Bundesministerium
für Verkehr,
Innovation und Technologie

NACHHALTIG wirtschaften
konkret

PH-Sanierungsbauteilkatalog: Zweite Ausbaustufe PH-SanPlus

Th. Zelger, T. Waltjen, et. al.

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

48/2012

Dynamik mit Verantwortung

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
http://www.nachhaltigwirtschaften.at

PH-Sanierungsbauteilkatalog. Zweite Ausbaustufe

PH-SanPlus

Projektleitung: DI Thomas Zelger, Dr. Tobias Waltjen

AutorInnen: DI Thomas Zelger, Mag. Hildegund Mötzl,
DI (FH) Astrid Scharnhorst IBO GmbH, Wien,
Dr. Tobias Waltjen IBO, Wien
Dipl.-Ing. Paul Wegerer, Dipl.-Ing. Maximilian Neusser
ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.Thomas Bednar, TU Wien

MitarbeiterInnen: DI (FH) Felix Heisinger, MSc Andreas Galosi, DI Erna Motz,
MSc Mario Schmitradner, DI Wolfgang Huber
Gerhard Enzenberger, alle IBO und IBO GmbH, Wien

Mit Beiträgen von:
DI Michael Steinbrecher, ZT, Wien (Konsulent Statik)
Ing. Jürgen Obermayer, New Energy Consulting (Haustechnik)
Arch. DI Heinz Geza Ambrozy, Wien (Konsulent Holzbaudetails)
Arch DI Martin Wölfl, Wien (Konsulent CAD-Details, architektonische Aspekte)
DI Dr. Karl Torghele, Spektrum GmbH (Konsulent Anschlüsse, Schallschutz)
DI Walter Porkorny (Konsulent Bauphysik)
Msc Clemens Häusler (Konsulent Bauphysik)

Wien, 14. Juni 2012

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms

HAUS der Zukunft

im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Das Projekt wurde außerdem gefördert von:

Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
Amt der Niederösterreichischen Landesregierung
Amt der Oberösterreichischen Landesregierung
Amt der Voralberger Landesregierung

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm *Haus der Zukunft* des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“). Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

Das Programm *Haus der Zukunft Plus* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert und elektronisch über das Internet unter der Webadresse http://www.HAUSderZukunft.at Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

INHALTSVERZEICHNIS

1 EINLEITUNG – ZUKUNFTSFÄHIG MODERNISIEREN: SANIEREN MIT PASSIV-HAUSKOMPONENTEN 16

2 HINTERGRUNDINFORMATIONEN ZUM PROJEKTINHALT 19

2.1 BESCHREIBUNG DES STANDES DER TECHNIK 19
2.2 BESCHREIBUNG DER VORARBEITEN ZUM THEMA 20
2.3 BESCHREIBUNG DER NEUERUNGEN SOWIE IHRER VORTEILE GEGENÜBER DEM IST-STAND (INNOVATIONSGEHALT DES PROJEKTS) 20
2.4 BESCHREIBUNG DER VORGANGSWEISE 28

3 GRUNDLAGEN DER THERMISCHEN SANIERUNG MIT PASSIVHAUS-KOMPONENTEN 30

3.1 LUFTDICHTIGKEIT 31
3.2 ZUR PROBLEMATIK DER FEUCHTE IN BESTANDSGEBÄUDEN UND IN DEREN SANIERUNG 32
3.3 ZU KELLERKLIMA UND ERDBERÜHRTEN BÖDEN OHNE FEUCHTEABDICHTUNG: GRUNDLEGENDE ZUSAMMENHÄNGE 40
3.4 INNENDÄMMUNG IN DER SANIERUNG UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG VON EINBINDENDEN HOLZBALKENDECKEN 127
3.5 BILDUNG VON MIKROORGANISMEN AUF FASSADENOBERFLÄCHEN 189
3.6 REKONSTRUKTION DES URSPRÜNGLICHEN AUSSEHENS ODER NEUE GESTALTERISCHE AKZENTE 194

4 BAUAUFGABEN 195

4.1 GEBÄUDE ERRICHTET BIS 1918 195
4.2 GEBÄUDE ERRICHTET 1920 BIS 1950 260
4.3 GEBÄUDE DER 50ER UND 60ER JAHRE 274
4.4 GEBÄUDE DER 70ER JAHRE 300
4.5 MASSIVE GEBÄUDE DER 80ER JAHRE 354
4.6 GEBÄUDE DER 80ER JAHRE – FERTIGTEIL-LEICHTBAU 374

5 REGELQUERSCHNITTE UND FUNKTIONALE EINHEITEN 396

5.1 BEWERTUNGSKRITERIEN 396
5.2 DÄMMSTOFFE: ÜBERBLICK UND ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG 397
5.3 AUßENSEITIGE WÄRMEDÄMMUNG VON AUßENWÄNDEN 412
5.4 INNENSEITIGE WÄRMEDÄMMUNG VON AUßENWÄNDEN 454
5.5 WÄRMEDÄMMUNG VON STEILDÄCHERN 466
5.6 WÄRMEDÄMMUNG VON FLACHDÄCHERN 477
5.7 WÄRMEDÄMMUNG DER OBERSTEN GESCHOßDECKE 491
5.8 WÄRMEDÄMMUNG DER KELLERDECKE OBERSEITIG 500
5.9 WÄRMEDÄMMUNG DER KELLERDECKE UNTERSEITIG 509
5.10 WÄRMEDÄMMUNG DES ERDBERÜHRTEN FUßBODENS 517
5.11 WÄRMEDÄMMUNG DER ERDBERÜHRTEN AUßENWAND AUßENSEITIG 531
5.12 BALKONE UND LOGGIEN 537

5.13 FENSTER 559

6 KOMFORTLÜFTUNG 576

6.1 VORBEMERKUNGEN 576
6.2 RAUMLÜFTUNGSGERÄT, MEHRERE GERÄTE PRO WOHNEINHEIT 577
6.3 DEZENTRALE LÜFTUNGSGERÄTE, 1 LÜFTUNGSGERÄT MIT WRG PRO WOHNEINHEIT 579
6.4 ZENTRALE ANLAGE 581
6.5 AUSWAHLKRITERIEN 582

7 SCHADSTOFFE IN BESTEHENDEN GEBÄUDEN 590

7.1 GEFAHREN UND PRÄVENTIVE MAßNAHMEN 590
7.2 SCHADSTOFFERKUNDUNG IM ALTBAU 592
7.3 SCHADSTOFFBELASTUNGEN IN INNENRÄUMEN DURCH NEUE BAUPRODUKTE 596
7.4 BIOLOGISCH BEDINGTE GEFÄHRDUNGEN – SCHIMMELPILZE 599
7.5 BIOLOGISCH BEDINGTE GEFÄHRDUNGEN – HOLZ ZERSTÖRENDE PILZE 601
7.6 RELEVANTE REGELWERKE UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR 606

8 DÄMMSTOFFRELEVANTE EINTRÄGE 609

9 ENTSORGUNGSMÖGLICHKEIT VON TYPISCHEN ABBRUCHPRODUKTEN 619

9.1 VERWERTUNGSORIENTIERTER RÜCKBAU ([SCHNEIDER 2010]) 619
9.2 ABBRUCHFRAKTIONEN ([MÖTZL 2009]) 619

10 DETAILANGABEN IN BEZUG AUF DIE ZIELE DES PROGRAMMS 623

10.1 EINPASSUNG IN DAS PROGRAMM 623
10.2 BEITRAG ZUM GESAMTZIEL DES PROGRAMMS 623
10.3 EINBEZIEHUNG DER ZIELGRUPPEN (GRUPPEN, DIE FÜR DIE UMSETZUNG DER ERGEBNISSE RELEVANT SIND) UND BERÜCKSICHTIGUNG IHRER BEDÜRFNISSE IM PROJEKT 623
10.4 BESCHREIBUNG DER UMSETZUNGS-POTENZIALE (MARKTPOTENZIAL, VERBREITUNGS- BZW. REALISIERUNGSPOTENZIAL) FÜR DIE PROJEKTERGEBNISSE 624

11 SCHLUSSFOLGERUNGEN ZU DEN PROJEKTERGEBNISSEN 625

12 AUSBLICK UND EMPFEHLUNGEN 625

13 LITERATURVERZEICHNIS 626

14 ANHANG 640

14.1 VERWENDETE ABKÜRZUNGEN 640
14.2 KLIMARANDBEDINGUNGEN 640
14.3 MATERIALPARAMETER 642

INHALTSVERZEICHNIS AUSFÜHRLICH

1 EINLEITUNG – ZUKUNFTSFÄHIG MODERNISIEREN: SANIEREN MIT PASSIV-HAUSKOMPONENTEN 16

2 HINTERGRUNDINFORMATIONEN ZUM PROJEKTINHALT 19

2.1 BESCHREIBUNG DES STANDES DER TECHNIK 19

2.2 BESCHREIBUNG DER VORARBEITEN ZUM THEMA 20

2.3 BESCHREIBUNG DER NEUERUNGEN SOWIE IHRER VORTEILE GEGENÜBER DEM IST-STAND (INNOVATIONSGEHALT DES PROJEKTS) 20

2.3.2 Ökobilanz 21

2.3.3 Grundlagen der dynamischen Feuchte-Bauteilsimulationen: Keller und erdberührte Fußböden, Balkenköpfe mit innenseitiger Dämmung von Außenwänden 24

2.4 BESCHREIBUNG DER VORGANGSWEISE 28

3 GRUNDLAGEN DER THERMISCHEN SANIERUNG MIT PASSIVHAUS-KOMPONENTEN 30

3.1 LUFTDICHTIGKEIT 31

3.2 ZUR PROBLEMATIK DER FEUCHTE IN BESTANDSGEBÄUDEN UND IN DEREN SANIERUNG 32

3.2.1 Mauerwerkstrockenlegung 33

3.2.2 Drainage: Immer ein Vorteil? 39

3.3 ZU KELLERKLIMA UND ERDBERÜHRTEN BÖDEN OHNE FEUCHTEABDICHTUNG: GRUNDLEGENDE ZUSAMMENHÄNGE 40

3.3.1 Keller Modellbeschreibung 40

3.3.2 Ergebnisse bei 0,01-fachem Luftwechsel 53

3.3.3 Ergebnisse bei 0,1-fachem Luftwechsel 54

3.3.4 Ergebnisse bei 0,2-fachem Luftwechsel 55

3.3.5 Ergebnisse bei 0,4-fachem Luftwechsel 56

3.3.6 Ergebnisse bei 0,8-fachem Luftwechsel 57

3.3.7 Erdberührter Boden 105

3.4 INNENDÄMMUNG IN DER SANIERUNG UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG VON EINBINDENDEN HOLZBALKENDECKEN 127

3.4.1 Einleitung 127

3.4.2 Eine Auswahl von kommentierter Fachliteratur zu Innendämmung mit besonderer Berücksichtigung von einbindenden Holzbalkendecken 130

3.4.3 Analyse von Beispielfällen 140

3.4.4 Zusammenstellung der Ergebnisse für Planung und Ausführung von Innendämmungen 155

3.4.5 Abschätzung des zusätzlichen energetischen Aufwandes für eine Temperierung der Holzbalkenköpfe 156

3.4.6 Empfehlungen für die Planung, Ausführung und die Kommunikation mit den Nutzer/innen bei Innendämmungen und Holzbalkendecken 163

3.4.7 Beispielhafte Anschlüsse mit Innendämmung anhand von Bestandskonstruktionen der Gründerzeitgebäude 166

3.4.8 Schlussfolgerung Innendämmung in mit Passivhauskomponenten sanierten Gebäuden .. 188

3.5 BILDUNG VON MIKROORGANISMEN AUF FASSADENOBERFLÄCHEN 189
3.5.1 Biozide in Fassadenbeschichtungen 190
3.5.2 Regenschutz von Fassaden 191
3.5.3 Bauphysikalische Maßnahmen zur Vermeidung von Oberflächenfeuchte 191
3.5.4 Nanosilber in Fassadenbeschichtungen 192
3.5.5 Zusammenfassende ökologische Bewertung 192
3.6 REKONSTRUKTION DES URSPRÜNGLICHEN AUSSEHENS ODER NEUE GESTALTERISCHE AKZENTE 194

4 BAUAUFGABEN 195

4.1 GEBÄUDE ERRICHTET BIS 1918 195
4.1.1 Charakterisierung des Bestandes: 195
4.1.2 Außenwände und erdberührte Außenwände 196
4.1.3 Typische Schadensbilder 207
4.1.4 Sanierungsaufgaben 207
4.1.5 Details Sockel: Außenwand – Kellerdecke 208
4.1.6 Innenwand – Kellerdecke 214
4.1.7 Sockel: Außenwand – Erdberührter Fußboden 216
4.1.8 Sockel: Innenwand – erdberührter Fußboden 224
4.1.9 Zwischengeschoße: Außenwand – Geschoßdecke 228
4.1.10 Zwischengeschoße: Außenwand – Außenwand 230
4.1.11 Attika: Außenwand – Dach unbeheizt 232
4.1.12 Attika: Außenwand – Dach beheizt 236
4.1.13 Attika: Außenwand – Terrasse 238
4.1.14 Dach: Innenwand – Oberste Geschoßdecke 248
4.1.15 Fenster: Außenwand – Fenster 252
4.2 GEBÄUDE ERRICHTET 1920 BIS 1950 260
4.2.1 Charakterisierung des Bestandes: 260
4.2.2 Typische Schadensbilder 265
4.2.3 Sanierungsaufgaben 265
4.2.4 Sockel: Außenwand – Kellerdecke 266
4.2.5 Attika: Außenwand – Dach unbeheizt 270
4.2.6 Fenster: Außenwand – Fenster 272
4.3 GEBÄUDE DER 50ER UND 60ER JAHRE 274
4.3.1 Charakterisierung des Bestandes: 274
4.3.2 Typische Schadensbilder 280
4.3.3 Sanierungsaufgaben 280
4.3.4 Sockel: Außenwand – Kellerdecke 282
4.3.5 Sockel: Innenwand – Kellerdecke 288
4.3.6 Zwischengeschoße: Außenwand – Geschoßdecke 290
4.3.7 Attika: Außenwand – Dach 294
4.3.8 Fenster: Außenwand – Fenster 296

4.4 GEBÄUDE DER 70ER JAHRE 300
4.4.1 Charakterisierung des Bestandes: 300
4.4.2 Typische Schadensbilder 308
4.4.3 Sanierungsaufgaben 308
4.4.4 Sockel: Außenwand – Kellerdecke 310
4.4.5 Sockel: Innenwand – Kellerdecke 316
4.4.6 Sockel: Außenwand – Erdberührter Fußboden 320
4.4.7 Attika: Außenwand – Dach unbeheizt 322
4.4.8 Attika: Außenwand – Dach beheizt 334
4.4.9 Dach: Innenwand – Dach 344
4.4.10 Fenster: Außenwand – Fenster 346
4.4.11 Balkon: Außenwand – Balkon 348
4.5 MASSIVE GEBÄUDE DER 80ER JAHRE 354
4.5.1 Charakterisierung des Bestandes: 354
4.5.2 Typische Schadensbilder 360
4.5.3 Sanierungsaufgaben 360
4.5.4 Details Sanierung Gebäude 80er Jahre 362
4.6 GEBÄUDE DER 80ER JAHRE – FERTIGTEIL-LEICHTBAU 374
4.6.1 Sockel: Außenwand – Kellerdecke 374
4.6.2 Zwischengeschoße: Außenwand – Außenwand 376
4.6.3 Attika: Außenwand – Dach beheizt 384
4.6.4 Dach – Dach 390
4.6.5 Fenster: Außenwand – Fenster 392
4.6.6 Tür: Außenwand – Tür 394

5 REGELQUERSCHNITTE UND FUNKTIONALE EINHEITEN 396

5.1 BEWERTUNGSKRITERIEN 396
5.2 DÄMMSTOFFE: ÜBERBLICK UND ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG 397
5.2.1 Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen 397
5.2.2 Dämmstoffe aus Kunststoffen 401
5.2.3 Dämmstoffe aus Pflanzenfasern und Tierhaaren 404
5.3 AUßENSEITIGE WÄRMEDÄMMUNG VON AUßENWÄNDEN 412
5.3.1 Eigenschaften des Bestands und Vorbereitung der Sanierung 412
5.3.2 Übersicht Systeme 414
5.3.3 Wärmedämmverbundsystem 416
5.3.4 Holzkonstruktion bauseits, verputzt 420
5.3.5 Holzkonstruktion bauseits, hinterlüftet 424
5.3.6 Holzkonstruktion vorgefertigt, Dämmstoff bauseits, verputzt 428
5.3.7 Holzkonstruktion vorgefertigt, Dämmstoff bauseits, hinterlüftet 432
5.3.8 Holzkonstruktion inkl. Dämmstoff vorgefertigt, verputzt 436
5.3.9 Holzkonstruktion inkl. Dämmstoff vorgefertigt, hinterlüftet 440
5.3.10 Punktuelle Anker bauseits 444

5.3.11 Zusammenschau über den Lebenszyklus ... 447
5.4 Innenseitige Wärmedämmung von Außenwänden ... 454
5.4.1 Beschreibung und Bewertung im Detail ... 455
5.4.2 Zusammenschau über den Lebenszyklus ... 460
5.5 Wärmedämmung von Steildächern ... 466
5.5.1 Beschreibung und Bewertung im Detail ... 467
5.5.2 Zusammenschau über den Lebenszyklus ... 472
5.6 Wärmedämmung von Flachdächern ... 477
5.6.1 Eigenschaften Bestand und Vorbereitung Sanierung ... 478
5.6.2 Beschreibung und Bewertung im Detail ... 478
5.6.3 Zusammenschau über den Lebenszyklus ... 486
5.7 Wärmedämmung der obersten Geschoßdecke ... 491
5.7.1 Beschreibung und Bewertung im Detail ... 492
5.7.2 Zusammenschau über den Lebenszyklus ... 496
5.8 Wärmedämmung der Kellerdecke oberseitig ... 500
5.8.1 Beschreibung und Bewertung im Detail ... 501
5.8.2 Zusammenschau über den Lebenszyklus ... 505
5.9 Wärmedämmung der Kellerdecke unterseitig ... 509
5.9.1 Beschreibung und Bewertung im Detail ... 510
5.9.2 Zusammenschau über den Lebenszyklus ... 512
5.10 Wärmedämmung des erdberührten Fußbodens ... 517
5.10.1 Beschreibung und Bewertung im Detail ... 518
5.10.2 Zusammenschau über den Lebenszyklus ... 526
5.11 Wärmedämmung der erdberührten Außenwand außenseitig ... 531
5.11.1 Beschreibung und Bewertung im Detail ... 531
5.11.2 Zusammenschau über den Lebenszyklus ... 533
5.12 Balkone und Loggien ... 537
5.12.1 Eigenschaften Bestand und Vorbereitung Sanierung ... 538
5.12.2 Beschreibung und Bewertung im Detail ... 540
5.12.3 Zusammenschau über den Lebenszyklus ... 552
5.13 Fenster ... 559
5.13.1 Eigenschaften Bestand und Vorbereitung Sanierung ... 559
5.13.2 Beschreibung und Bewertung im Detail ... 562
5.13.3 Zusammenschau über den Lebenszyklus ... 569
6 KOMFORTLÜFTUNG ... 576
6.1 Vorbemerkungen ... 576
6.2 Raumlüftungsgerät, mehrere Geräte pro Wohneinheit ... 577
6.3 Dezentrale Lüftungsgeräte, 1 Lüftungsgerät mit WRG pro Wohneinheit ... 579
6.4 Zentrale Anlage ... 581
6.5 Auswahlkriterien ... 582

7 SCHADSTOFFE IN BESTEHENDEN GEBÄUDEN 590

7.1 GEFAHREN UND PRÄVENTIVE MAßNAHMEN 590
7.2 SCHADSTOFFERKUNDUNG IM ALTBAU 592
7.3 SCHADSTOFFBELASTUNGEN IN INNENRÄUMEN DURCH NEUE BAUPRODUKTE 596
7.4 BIOLOGISCH BEDINGTE GEFÄHRDUNGEN – SCHIMMELPILZE 599
7.4.1 Innenraumrelevante Schimmelpilze 599
7.4.2 Ursachen für Schimmelpilzbefall im Innenraum 599
7.4.3 Wirkungen von Schimmelpilzen auf die Gesundheit 599
7.4.4 Vorgehensweise bei (Verdacht auf) Schimmelpilzbefall 600
7.5 BIOLOGISCH BEDINGTE GEFÄHRDUNGEN – HOLZ ZERSTÖRENDE PILZE 601
7.5.1 Ursachen, Quellen und Verbreitung holzzerstörender Pilze 601
7.5.2 Abbauverhalten holzzerstörender Pilze 602
7.5.3 Identifizierung holzzerstörender Pilze, deren Quelle und Ursache – Vorbereitung der Bekämpfungsmaßnahmen 604
7.5.4 Bekämpfung von holzzerstörenden Pilzen 604
7.6 RELEVANTE REGELWERKE UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR 606
7.6.1 Arbeitnehmer/innenschutzvorschriften 606
7.6.2 Toxikologie 606
7.6.3 Produkteigenschaften, -kennzeichnung und -verpackung 607
7.6.4 Abfall und Entsorgung 607
7.6.5 Biogene Schadstoffe – Schimmelpilze und holzzerstörende Pilze 607
7.6.6 Holzschutz im Hochbau 608

8 DÄMMSTOFFRELEVANTE EINTRÄGE 609

8.1.1 Ammoniumpolyphosphate 609
8.1.2 Benzol 609
8.1.3 Borsalze, Borate 609
8.1.4 Borsäure 610
8.1.5 Dicumylperoxid 610
8.1.6 Flüchtige organische Verbindungen 610
8.1.7 Formaldehyd 610
8.1.8 Formaldehydhältige Harze 611
8.1.9 Harnstoff-Formaldehyd-Harz 611
8.1.10 Hexabromcyclododecan (HBCDD) 611
8.1.11 HFKW und HFCKW 612
8.1.12 Kanzerogene, mutagene, reproduktionstoxische Stoffe (KMR-Stoffe) 612
8.1.13 Künstliche Mineralfaser (KMF) 612
8.1.14 Kunststoff-Stützfasern 613
8.1.15 Lösemittel, organische 613
8.1.16 MAK-Wert 613
8.1.17 MAK-Wert für biologisch inerte Schwebstoffe 614
8.1.18 Paraffin 614

8.1.19 Phenol-Formaldehyd-Harz ... 614
8.1.20 Polyurethan-Kleber ... 614
8.1.21 Primärenergieinhalt (PEI) ... 615
8.1.22 PVAc ... 615
8.1.23 Quarzsand ... 615
8.1.24 REACH-Verordnung ... 615
8.1.25 Silikone ... 616
8.1.26 Styrol ... 616
8.1.27 SVOC ... 616
8.1.28 Treibhauspotential (GWP) ... 616
8.1.29 TRK-Wert ... 617
8.1.30 Versäuerungspotential (AP) ... 617
8.1.31 Volatile Organic Compounds (VOC) ... 617

9 ENTSORGUNGSMÖGLICHKEIT VON TYPISCHEN ABBRUCHPRODUKTEN ... 619

9.1 VERWERTUNGSORIENTIERTER RÜCKBAU ([SCHNEIDER 2010]) ... 619
9.2 ABBRUCHFRAKTIONEN ([MÖTZL 2009]) ... 619

10 DETAILANGABEN IN BEZUG AUF DIE ZIELE DES PROGRAMMS ... 623

10.1 EINPASSUNG IN DAS PROGRAMM ... 623
10.2 BEITRAG ZUM GESAMTZIEL DES PROGRAMMS ... 623
10.3 EINBEZIEHUNG DER ZIELGRUPPEN (GRUPPEN, DIE FÜR DIE UMSETZUNG DER ERGEBNISSE RELEVANT SIND) UND BERÜCKSICHTIGUNG IHRER BEDÜRFNISSE IM PROJEKT ... 623
10.4 BESCHREIBUNG DER UMSETZUNGS-POTENZIALE (MARKTPOTENZIAL, VERBREITUNGS- BZW. REALISIERUNGSPOTENZIAL) FÜR DIE PROJEKTERGEBNISSE ... 624

11 SCHLUSSFOLGERUNGEN ZU DEN PROJEKTERGEBNISSEN ... 625

12 AUSBLICK UND EMPFEHLUNGEN ... 625

13 LITERATURVERZEICHNIS ... 626

14 ANHANG ... 640

14.1 VERWENDETE ABKÜRZUNGEN ... 640
14.2 KLIMARANDBEDINGUNGEN ... 640
14.2.1 Außenklima ... 640
14.2.2 Innenklima beheizter Raum ... 641
14.3 MATERIALPARAMETER ... 642
14.3.1 Mauerwerk ... 642
14.3.2 Außenputz ... 643
14.3.3 Lehmboden ... 644

Kurzfassung

Ausgangssituation/Motivation

Aufbauend auf dem IBO Passivhaus-Bauteilkatalog (gefördert vom Haus der Zukunft unter 805 785) und einer Vorstudie, gefördert vom Haus der Zukunft unter 813 968, die sich mit der Auswertung HdZ-geförderter Sanierungsprojekte als Grundstock für Konstruktionen beschäftigte, wollte das IBO einen Bauteilkatalog für hochwertige Sanierungen erarbeiten.

Inhalte und Zielsetzungen

Der Passivhaus-Sanierungsbauteilkatalog soll ein Standardwerk für nachhaltige Lösungen und Grundlagen in der Althaussanierung werden. Planern, Ausführenden und Baustoffherstellern werden bauphysikalisch, ökologisch und technisch geprüfte Konstruktionen angeboten, die eine nachhaltige Sanierung des Althausbestandes ermöglichen. Typische Sanierungsaufgaben wie z.B. Dachgeschoßausbauten, Trockenlegung von Kellerräumen, Fassadensanierungen etc. werden in systematischer Weise dargestellt. Bauökologische und wohnhygienische Kriterien fließen zentral in die Auswahl von innovativen Lösungen ein.

Methodische Vorgehensweise

Die konstruktiven Lösungen werden in Form von Regelquerschnitten, Anschlussdetails und technischen Überlegungen (Texte) ausgearbeitet.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Publikation ist gegliedert wie folgt:

- Grundlagen
- Sanierung erdberührter Bauteile
- Sanierung von Gründerzeithäusern mit und ohne Denkmalschutz
- Sanierung von Gebäuden der 20er bis 80er Jahre oder Passivhaus-Sanierung bereits einmal sanierter Gebäude inkl. Sanierung von Balkonen und Loggien
- Sanierung von Einfamilienhäusern in Leichtbauweise (ab 60er Jahre)
- Integration von Komfortlüftungen
- Regelquerschnitte bzw. Funktionale Einheiten
- Ökologische Bewertung von Dämmstoffen im Detail

Ausblick

Die Notwendigkeit für die Reduzierung des Treibhauseffektes führt bereits jetzt zu einer intensiven Beschäftigung mit der hochwertigen Sanierung der Gebäudehülle. Der Integration von energiegewinnenden Fassadenteilen wird in Zukunft eine weitere wesentliche Rolle zukommen auf dem Weg in eine nachhaltigere Lebensweise.

Abstract

Starting point/Motivation

Founding on the IBO Catalogue of Details for Passive Houses (funded by Building of the Future, Project No. 805 785) and a pilot study that evaluated Building of the Future Renovation Projects (funded by Building of the Future, Project No. 813 968) IBO wishes to produce a catalogue of details for high quality building renovation.

Contents and Objectives

With a Catalogue of Details for Refurbishments up to the passive house standard level, which is proposed here, it is aimed to provide a standard reference for sustainable solutions and basics of renovation of old building stock. Construction details that are evaluated with regard to building physics, ecological life cycle and technical quality will be offered to architects, contractors and building material producers. Typical refurbishment tasks as loft conversions, damp-proofing of cellars or renovation of façades will be dealt with systematically. Aspects of ecological life cycle evaluation and of hygiene (indoor air quality) will be considered in choosing among available innovative solutions.

Methods

Constructions will be shown as regular sections and connection details, supported by informative text.

Results

The publication is structured as follows:

- Basics
- Renovation of building parts in contact with ground
- Renovation of buildings of the Gründerzeit period (1870–1918) with or w/o classification as historical monument
- Renovation of buildings from the periods 1920 to 1980 and renovation of earlier renovated buildings up to the passive house standard
- Renovation of balconies and loggie
- Renovation of single family detached houses in light-weight construction (from the 1960ies and later)
- Integration of mechanical ventilation into existing buildings
- Regular cross sections and functional units

1 Einleitung – zukunftsfähig modernisieren: Sanieren mit Passivhauskomponenten

Die Lebensweise in den hochindustrialisierten Ländern des Westens und denjenigen Ländern, die dessen konsumistisches Modell annehmen, führt die Erde in den Abgrund:

- Der Treibhauseffekt, der vor allem durch die anthropogenen Kohlendioxid- und Methanemissionen verursacht wird, führt in den nächsten Jahrzehnten zu dramatischen Veränderungen des Weltklimas, die Überschwemmungen, Dürren, Hitzewellen, das Abschmelzen der Gletscher, das Verschwinden vieler Arten usw. zur Folge haben könnten. Die Aufnahmekapazität der Natur (Senke): Atmosphäre, Ozeane, Böden ist in vielen Fällen erschöpft [Flannery 2007].
- Der immer weiter wachsende Ausbeutung der natürlichen Ressourcen lässt zukünftigen Generationen nur mehr ausgeschöpfte oder schwer zugängliche Reserven übrig. Die Überschreitung von Peak Oil zeigt an einem für die Weltwirtschaft wesentlichen Rohstoff, dass die über Jahrmillionen entstandenen Erdöle nunmehr langsam, aber sicher zur Neige gehen. Verteilungskonflikte sind bereits im Gange und lassen für die Zukunft wenig Gutes erwarten [Welzer 2008].

An einer Begrenzung des Klimahausgasausstoßes wie auch der Verlangsamung des Ressourcenverbrauchs führt kein Weg vorbei, wenn das Leben aller Menschen „menschenwürdig“ möglich sein und künftige Generationen auch nur annähernd lebenswerte Bedingungen vorfinden sollen.
Das heißt (unter anderem, siehe [Paech 2012]): Die Umweltnutzung darf 2 Tonnen CO2-Äquivalent pro Mensch und Jahr im Jahr 2050 nicht überschreiten, damit die Aufheizung der Erde bis 2050 auf 2 °C gegenüber vorindustrieller Zeit beschränkt bleibt. Dies würde wahrscheinlich die Möglichkeit eröffnen, irgendwie mit dem Klimawandel fertig zu werden. Bis 2100 muss der Ausstoß weiter auf 1 Tonne pro Mensch und Jahr sinken [IPCC 2007], entsprechend ca. 500 Watt fossiler Energie [Frischknecht 2009].
Heute emittiert jede Österreicherin, bzw. jeder Österreicher im Durchschnitt ca. 12 t CO_2-Äquivalente pro Jahr (inkl. ökologischem Rucksack der Import- und Exportgüter. Ohne Rucksack sind es unter 10 t).
Einer der ganz großen Emissionsquellen ist der Gebäudepark. Für dessen Beheizung wird in gemäßigten und kalten Klimazonen ein wesentlicher Anteil der insgesamt aufgebrachten Energie verbraucht. Meist handelt es sich dabei um fossile Quellen wie Erdöl und Erdgas, je nach Land auch um Holz, Abwärme aus KWK-Anlagen, Strom als Direktheizung und für den Betrieb von Wärmepumpen. Strom wird in Europa meist nicht erneuerbar, sondern vor allem aus fossilen Quellen und aus Uran gewonnen.
Für ein energieautarkes Österreich 2050 (das wohl nachhaltiger ist als der Status Quo) wird eine Reduktion des derzeitigen Heizenergieverbrauchs um ca. 70 % gefordert [Streicher 2011].
Die Sanierung von Bestandsgebäuden zum Passivhausstandard, bzw. die Sanierung mit Passivhauskomponenten führt zu Einsparungen des Heizenergiebedarfs von 75 bis 90 %. Konventionelle Sanierungen realisieren meist nicht die Hälfte dieses Potentials. Zudem sind nicht optimiert sanierte Komponenten bis zum nächsten Sanierungszyklus für eine hochwertige Sanierung verloren und zementieren einen suboptimalen Zustand für viele Jahre ein. Die Sanierung mit Passivhauskomponenten garantiert langfristig beheizbare Gebäude, Unabhängigkeit von fossilen Importen, bauphysikalische Sicherheit und hohen Komfort. Und dies bei nur geringfügig höheren Kosten, wenn die Ertüchtigung in den üblichen Erneuerungszyklen durchgeführt wird. Steht ein solcher an, sollte ordentlich (i.e. passivhaustauglich) saniert werden.
Der Leitsatz muss daher lauten: „Wenn sanieren, dann ordentlich.“ Oder in Wolfgang Feists Worten [Feist 2009]: „Wenn schon, denn schon.“ Gemäß europäischer Energieeffizienzrichtlinie vom 28.2.2012 kann man

auch „deep renovation“ dazu sagen (Bezeichnung für thermische Gebäudesanierung mit mindestens 80 % Energieeffizienzverbesserung).
Neben dem hochwertigen Wärmeschutz ist eine bedarfsgerecht gesteuerte Komfortlüftung mit hochwirksamer Wärmerückgewinnung raum-, wohnungs-, stiegen- oder gebäudeweise erforderlich. Diese sichert den erforderlichen Luftaustausch und die Raumluftqualität. Eine Lüftungsanlage arbeitet effizient mit einer luftdichten Gebäudehülle. Undichte Gebäudehüllen sind nicht nur ein Komfortproblem, sondern eine der Hauptursachen für Schäden am Bauwerk. Typische Probleme einer konventionellen Sanierung wie Schimmelbildung (dichte Fenster und damit Raumluftfeuchten im Winter deutlich über 40 %, Wärmebrücken) vermeidet eine hochwertige Sanierung daher in zweierlei Art und Weise:

- Die Oberflächentemperatur ist durch den höheren Wärmeschutz und die bewusste Reduzierung der Wärmebrücken deutlich höher.
- Die Raumluftfeuchten liegen bei bedarfsgerechter Komfortlüftung der Räume im Hochwinter meist unter 40 %.

Die hohen Oberflächentemperaturen eröffnen auch eine neue Flexibilität der Möblierung, Schränke oder Sofas können auch an die Außenwand gestellt werden.
Der spürbarste Vorteil liegt aber im Komfort der angenehmen Strahlungstemperaturen!
Weil ein energetischer Standard angestrebt wird, der ab 2020 wohl der geforderte Neubaustandard sein wird, ist die Sanierung zukunftträchtig, Verkaufs- und Vermietungswert steigen.
Passivsanierte Gebäude eignen sich deutlich besser für Lowex-Gebäude [Leibundgut 2011]: geringe Temperaturdifferenzen, verringerter Energiebedarf in kritischer Winterzeit (wenig Wasserkraft, wenig Sonne).
Eine hochwertige Sanierung im Passivhausstandard im Großteil des Gebäudebestandes schafft erst die Flexibilität, den relativ kleineren Bestand an denkmalgeschützten oder sonstwie schwer von außen sanierbaren Fassaden ungedämmt zu lassen oder, wenn erforderlich, mit einer leichten Innendämmung auszustatten und trotzdem langfristig beheizbar zu halten.
Bei einem erwartbaren tendenziellen Steigen der Energiepreiseund wegen der langen Wirksamkeit von Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden ist der sofortige Einsatz der besten und energieeffizientesten Technologie – der Passivhaustechnologie – erforderlich. Diese führt auch zur optimalen Wirtschaftlichkeit, wenn die Sanierungsmaßnahmen bei ohnehin anfallenden Renovierungsarbeiten durchgeführt werden (z.B. muß bei einer Putzerneuerung der Fassade ohnehin ein Gerüst aufgestellt werden, die Fassade muß gereinigt und neu gestrichen werden). In [Feist 2012a] werden anhand einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung eines mehrgeschoßigen Wohngebäudes Kosten der eingesparten kWh im Rahmen einer umfassenden Passivhaussanierung von 2,51 Cent/kWh im Vergleich zum angesetzten Energiepreis von 7 Cent/kWh. Wird nur eine konventionelle Sanierung durchgeführt, so ist aus wirtschaftlichen Gründen eine hocheffiziente Maßnahme bis zum nächsten Instandhaltungszyklus nicht mehr sinnvoll, so sehr sie es aus ökologischen Gründen auch wäre.
Reboundeffekte verringern zwar oft ein wenig den erhofften Einspareffekt (bei erhöhtem Komfort allerdings) [Hänggi 2011], bei den zuletzt stark gestiegenen Energiepreisen könnten sich diese aber auch abschwächen.
Im gegenständlichen Projektbericht werden systematische Sanierungslösungen mit Passivhauskomponenten vorgeschlagen und diese technisch und über den Lebenszyklus bewertet. Spezifischen Problemstellungen wie nicht abgedichteten Kellern oder erdberührten Fußböden, der Innendämmung, gestalterischen Fra-

gestellungen, Schadstofferkundungen und der ökologischen Qualität von Sanierungslösungen werden spezifische Kapitel gewidmet.

Auf dem Weg zu einem energieautarken (bzw. energieautonomen) Österreich 2050 nimmt die hochwertige Sanierung des Gebäudebestandes eine entscheidende Rolle ein. Dabei ist in Zukunft nicht nur die Sanierung mit Passivhauskomponenten relevant, sondern auch die Integration von energiegewinnenden Systemen. Die Integration in den Bestand und eine verlässliche Ertragsprognose auch im verdichteten Gebäudebereich erscheint als eine der wesentlichen Lösungen.
Weiters ist die Frage einer sicheren Planung und Ausführung von Innendämmung besonders im Verbund mit Holzbalkendecken noch nicht gegeben, hier ist eine Vertiefung der Thematik dringend notwendig.
Dem von Wolfgang Feist auf der letzten Passivhaustagung geforderten Investitionsplan zur Energiewende kann nur vollinhaltlich zugestimmt werden (Kasten Zusammenfassung und Bild Feist/Lang, siehe PDF anbei). Das hier vorgestellte Werk stellt Planern und Bauträgern einen nicht unwesentlichen Teil des inzwischen umfangreichen Wissens in der Althaussanierung mit Passivhauskomponenten kompakt, leicht zugänglich und detailliert dargestellt zur Verfügung. Dieses Wissen erscheint grundlegend für eine zukunftssichere Gebäudemodernisierung, die bauphysikalisch, raumhygienisch, komfortmäßig, ökologisch und wirtschaftlich die derzeit vernünftigste Lösung darstellt.
Konkret werden die folgenden Ergebnisse dargestellt:

- Konstruktionen und Anschlüsse in Passivbauweise (Wärmeschutz, Luftdichtigkeit)
- Bauphysikalisch optimierte Anschlüsse
- Bewertung der bauphysikalischen Risiken in Planung und Ausführung der Konstruktionen
- Praktikable und einfache Lösungen
- Dauerhafte Lösungen mit wenig und einfacher Instandhaltung
- Effiziente Nutzung der Abbruchmaterialien
- Bauökologisch optimierte Lösungen
- Anregungen zur Erhöhung der Wohnqualität: Lärmschutz, thermische Behaglichkeit, Feuchteregulierung durch die bauliche Umwelt
- Darstellung von Lösungen zur Verbesserung der Raumluftqualität durch bauliche, heizungs- und lüftungstechnische Maßnahmen
- Gut umsetzbare Lösungen für den Einbau von Lüftungsrohren und bauteilintegrierten Heizsystemen
- Grundlage der ökologischen Bewertung von Sanierungslösungen durch die Förderstellen
- Intelligentes Zusammenwirken von Konstruktions- und Anschlussdetails, die bauphysikalisch solide herstellbar sind und die geforderten „nachhaltigen Dienstleistungen“ erbringen können
- Quantitative bauphysikalische und ökologische Kennwerte und eng am Gegenstand geführte bautechnische Beschreibungen sowie umfassende bauökologische Bewertungen

Hinweise auf alternative Lösungen sind natürlich hochwillkommen.

2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt

2.1 Beschreibung des Standes der Technik

Unter dem Gesichtspunkt einer nachhaltigen Entwicklung in der Althaussanierung sind folgende Aspekte der derzeitigen Praxis als problematisch zu nennen:

- Sanierung auf niedrigem Niveau: Thermische Sanierungen der Außenhülle erreichen zumeist nur das Niveau des in den Bauordnungen festgelegten Mindestwärmeschutzes für den Neubau und vergeben somit die Möglichkeit einer durchgreifenden Verbesserung der Gebäudequalität in Bezug auf Betriebskosten, thermischen Komfort und Energieverluste. Damit ist ein
- ungenutztes Marktpotential für bauökologisch gute und gleichzeitig kostengünstige Lösungen gegeben. Planer schöpfen trotz stark steigender Nachfrage der Bauherren das Auftrags-Potential bei weitem nicht aus. Der Grund dafür liegt in
- fehlendem Wissen: In den letzten Jahrzehnten war die Ausbildung der Planer auf Hochschulebene (Architekten und Bauingenieure) fast ausschließlich auf den Neubau ausgerichtet. Seit sich der Schwerpunkt der Bautätigkeit weg von Neubau in Richtung Erhaltung und Sanierung verschiebt, werden immer mehr Planer in diesem Bereich tätig, ohne aber über entsprechendes Fachwissen zu verfügen. So findet etwa
- das in der wissenschaftlichen Forschung vorhandene hohe Kenntnisniveau über die im Altbau wesentlichen thermisch-hygrischen Vorgänge nur stockend Eingang in die Praxis. Dies führt zu
- Planungsfehlern: Sanierungsmaßnahmen bedingen oft wesentliche aber unvorhergesehene bauphysikalische Veränderungen der bestehenden Substanz. So unterlaufen auch erfahrenen Planern Planungsfehler, die Bauschäden verursachen (insbesondere Kondensatschäden). Dies ist aber nur ein Aspekt der
- Komplexität der Bauaufgabe: Der Planungs- und Bauablauf bei Sanierungen ist, auch bei kleinen Bauvorhaben, komplexer als bei entsprechenden Neubauten und die Fehlerquellen sind zahlreicher. Ebenso ungenügend ist der
- Wissenstransfer zu Professionisten: Jahrzehntelang war die Sanierung von Gebäuden die Domäne kleiner Baufirmen, die aufgrund ihrer Personalstruktur keine Kontakte zu Forschungsinstitutionen pflegten. Entsprechend niedrig war und ist der Innovationsgrad der ausgeführten Sanierungen. Wobei andererseits „innovative“ Bauprodukte ein Problem für sich sein können, denn:
- Zahlreiche im Sanierungsbereich eingesetzte Bauprodukte können Schadstoffe emittieren (z.B. Dämmung und Abdichtung des erdberührten Fußbodens).
- Trotz des erwähnten hohen Wissensstandes in der wissenschaftlichen Forschung sind die zugänglichen Wissensquellen ungenügend,
- weil zu speziell: In vielen Projekten muss für Antworten auf spezifische Fragestellungen eine Vielzahl von Fachpublikationen oder Experten konsultiert werden, zumal in sehr vielen Sanierungsprojekten keine Fachplaner wie Bauphysiker oder Bautechniker eingesetzt werden –
- weil zu allgemein: Die umfangreiche Literatur im Sanierungsbereich bleibt zumeist sehr allgemein und kann daher als Ideengeber hilfreich sein, ist allerdings als Planungshilfsmittel unzureichend –
- weil lückenhaft oder einseitig oder fehlerhaft: Ökologische und wohnhygienische Aspekte werden überhaupt nicht behandelt. Produktkataloge sind sehr spezifisch und zudem nach Erfahrung der Projektantragsteller teilweise fehlerhaft.

2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema

Die erste Ausbaustufe für einen IBO Passivhaus-Sanierungsbauteilkatalog wurde durch das Haus der Zukunft unter der Nummer 813968 gefördert.
Inhalt: HdZ-geförderte Passivhaus-Projekte, die sich mit konstruktiven Aufgaben in der Sanierung beschäftigt haben, wurden ausgewertet in Bezug auf Lösungen von Regelquerschnitten, Anschlussdetails und die technischen Überlegungen, die zur Entwicklung und Anwendung der jeweiligen Lösungen geführt haben.
Dieses Material wurde

- durch eigene Entwicklungen ergänzt
- systematisch nach Bauaufgaben und historischen Bauepochen geordnet
- einheitlich durchgerechnet und
- nach der Darstellungsweise des IBO Passivhaus-Bauteilkataloges aufbereitet.

Diese erste Ausbaustufe entsprach dem Gesamtprojekt im Kleinen: Alle Themengebiete wurden in ersten Beispielen bearbeitet. Die zweite Ausbaustufe – dieses Projekt – entspricht dem Ausbau auf das gesamte Spektrum der Gebäudesanierung.

2.3 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projekts)

Auf dem Hintergrund der genannten Probleme und Hemmnisse kann der Althaussanierung ein ebenso technisch wie ökologisch gegründetes Fundament gegeben werden:

Problematik	**Beitrag zur Lösung durch das vorliegende Projekt**
Sanierung auf schwachem Qualitätsniveau	Konstruktionen und Anschlüsse in Passivbauweise mit besonderer Berücksichtigung von Ökologie und Wohnkomfort
Ungenutztes Marktpotential	Argumentationshilfe für Planer, Bauträger und Bauherren bei innovativen Konstruktionen mit Mehrfachnutzen
Fehlendes Wissen	Bautechnisches und ökologisches Wissen für „kleine Baufirmen“, Bauträger oder Studenten in umsetzungsorientierter Form
Wissenstransfer zu Professionisten	Das Fachwissen der wissenschaftlichen Projektpartner aus Fachzeitschriften und -kongressen fließt direkt in die Analyse und Optimierung von Konstruktionen und Anschlüssen ein. Es wird anwendungsbezogen strukturiert den Planern und Ausführenden verfügbar gemacht.
Planungsfehler	Das Wissen über Bauschäden wird aus Fachliteratur und dem Erfahrungsschatz der Projektteilnehmer konstruktionsbezogen zugänglich gemacht, Risiken werden abgewogen und Empfehlungen abgegeben
Komplexität der Bauaufgabe	Die Systematisierung der Bauaufgabe anhand von Risiken und Möglichkeiten von Ausführungsdetails sensibilisiert Planer und Ausführende
Mangelndes Wissen um bauökologische Qualität von Baustoffen	Konkrete Hinweise auf Baustoff- und Konstruktionsebene zur Emission von Schadstoffen, risikoarm zu verarbeitende Baustoffe, schadstofffreie Baustoffe und insbesondere Verbindungs- und Abdichtungstechnik, Berücksichtigung von Herstellungs- und Entsorgungsökologie von Bauteilen und Baustoffen

Mangelhafte Fachliteratur für Anwender	Die Darstellung der nachhaltigen Sanierung folgt dem Planungsprozess in der Praxis der Planer und der ausführenden Firmen (Bauaufgabe-Konstruktionen und Anschlüsse – Baustoffe) und bietet bauphysikalisch optimierte Details für Regelkonstruktionen und Anschlüsse. Die technische Engführung am Gegenstand (Kennwerte, Ausführungsdetails) unterstützt die direkte Umsetzbarkeit. Energetische und ökologische Aspekte sind gleich mit den technischen Informationen verfügbar

2.3.1.1 Verwendete Methoden

Fachliteratur, die sich mit konstruktiven Aufgaben in der Sanierung beschäftigt hat, wird ausgewertet in Bezug auf Regelquerschnitte, Anschlussdetails und die technischen Überlegungen, die zur Entwicklung und Anwendung der jeweiligen Lösungen geführt haben. Vor allem Publikationen des Passivhaus-Instituts in Darmstadt und des Fraunhofer Instituts für Bauphysik sind hier zu beachten. Dieses wertvolle Material wird

- durch eigene Entwicklungen ergänzt und vervollständigt
- systematisch nach Bauaufgaben und historischen Bauepochen geordnet
- einheitlich durchgerechnet und
- in der Darstellungsweise des IBO Passivhaus-Bauteilkatalogs (Wien, New York: Springer 2008) aufbereitet. Dieser Katalog zeigt Regelquerschnitte und Anschlussdetails mit bauphysikalischer Beschreibung und Berechnung sowie ökologischer Berechnung und Bewertung.

2.3.2 Ökobilanz

2.3.2.1 Definition

Die Ökobilanz ist eine Methode zur quantitativen Abschätzung der mit einem Produkt verbundenen Umweltaspekte und produktspezifischen „potenziellen Umweltwirkungen“ (ISO 14040). Dabei erfolgt eine systematische Analyse und Bewertung „sämtlicher“ Inputs (Rohstoffe, Energie) und Outputs (Emissionen, Abfälle). Den Rahmen bieten die Normen (in Österreich: ÖNORM EN ISO...):

- ISO 14040 Umweltmanagement - Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen
- ISO 14044 Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen

2.3.2.2 Spezifische methodische Vorgaben

Die spezifischen Rahmenbedingungen und methodischen Vorgaben der vorliegenden Studie entsprechen den methodischen Annahmen für die IBO-Richtwerte (IBO 2010). Sie sind unter http://www.ibo.at/de/oekokennzahlen.htm abrufbar.
Die Baumaterialien werden stufenkumuliert über alle Prozesse von der Rohstoffgewinnung bis zum Ende der Produktionsphase bilanziert (Cradle to Gate, Module A1 bis A3 gemäß EN 15804).
Die Basisdaten für allgemeine Prozesse wie Energiesysteme, Transportsysteme, Basismaterialien, Entsorgungsprozesse und Verpackungsmaterialien stammen aus ecoinvent v 2.1. Die Sachbilanzdaten aller Prozesse werden in die Datenbank der SimaPro 7 LCA Software eingegeben, mit den Basis-Datensätzen (Basisdaten) verknüpft und hochgerechnet.

2.3.2.3 Indikatoren

Überblick

In der vorliegenden Untersuchung werden die folgenden Umweltkategorien angeführt:

- Primärenergieinhalt an nicht-erneuerbaren Ressourcen (PEI n.e.)
- Primärenergieinhalt an erneuerbaren Ressourcen (PEI ern)
- Treibhauspotenzial (GWP)
- Versauerungspotenzial (AP)
- Photooxidantienbildungspotenzial (POCP)
- Ausdünnung der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)
- Eutrophierung (NP)

Für die Wirkungsabschätzung wird die Methode nach [CML 2001] herangezogen.

Primärenergieinhalt (PEI)

Als Primärenergieinhalt (abgekürzt PEI) wird der zur Herstellung eines Produktes oder einer Dienstleistung erforderliche Gesamtbedarf an energetischen Ressourcen bezeichnet. In der vorliegenden Untersuchung wird der Primärenergieinhalt aller nicht erneuerbaren Ressourcen angeführt. Er enthält sowohl die energetisch als auch die stofflich genutzten Ressourcen.
Der Primärenergieinhalt wird aus dem oberen Heizwert aller eingesetzten energiehaltigen Ressourcen berechnet und in MJ angegeben.

Treibhauspotenzial (GWP)

Das Treibhauspotenzial GWP (Global Warming Potential) beschreibt den Beitrag eines Spurengases zur globalen Erwärmung relativ zu Kohlendioxid. In der vorliegenden Untersuchung wird das Treibhauspotenzial für den Zeithorizont von 100 Jahren bestimmt.
Das Treibhauspotenzial wird in kg-CO_2-Äquivalenten angegeben.

Versauerungspotenzial (AP)

Versauerung wird hauptsächlich durch die Wechselwirkung von Stickoxid- (NO_x) und Schwefeldioxidgasen (SO_2) mit anderen Bestandteilen der Luft verursacht. Zu den eindeutig zugeordneten Folgen zählt die Versauerung von Seen und Gewässern, welche zu einer Dezimierung der Fischbestände in Zahl und Vielfalt führt. Für die Berechnung des Versauerungspotenzials werden die durchschnittlichen „Europäischen Säurebildungspotenziale“ verwendet.
Das Versauerungspotenzial wird in kg-SO_2-Äquivalenten dargestellt.

2.3.2.4 Entsorgungsindikator (Recycling, Verbrennung, Deponierung)

Nach: SCHNEIDER U., BÖCK M., MÖTZL H. et al: Recyclingfähig Konstruieren. Subprojekt 3 zum Leitprojekt „gugler! build & print triple zero“. POS-Architekten und IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie. Gefördert von BMVIT/Haus der Zukunft. FFG-Projektnr. 826004. Wien, Dezember 2010

2.3.2.5 Festlegung und Benotung des Entsorgungsweges

Es wird von einem verwertungsorientierten Rückbau ausgegangen. Sortenrein trennbare Bauteilschichten werden also voneinander getrennt, bei nicht sortenrein lösbaren Schichten werden Annahmen über die am benachbarten Bauteil verbleibenden Grenzschichten getroffen. Nicht trennbare Bauteile werden gemeinsam entsorgt.

Die Entsorgungswege und Entsorgungsprozesse werden auf Basis der heutigen Entsorgungspraxis mit Hilfe einer Bewertungsmatrix eingestuft.

Ausgangspunkt für die Bewertung der Eigenschaften von Baumaterialien ist die in ABC-Disposal ([Mötzl 2009]) erarbeitete Bewertungsmatrix. Es wird jedoch ein 5-stufiges statt eines 4-stufigen Systems herangezogen:

	Recycling	Verbrennung	Deponierung
1	Wiederverwendung bzw. -verwertung zu technisch gleichwertigem Sekundärprodukt oder -rohstoff	Hoher Heizwert (> 2000 MJ/m^3); natürliche Metall- und Halogengehalte im ppm-Bereich, sortenreines Material	Zur Ablagerung auf Inertabfalldeponie geeignete Abfälle
2	Recyclingmaterial wird mit geringem Aufwand sortenrein gewonnen und kann hochwertig verwertet werden.	Wie 1, jedoch nicht sortenrein, Anteil an nichtorganischen Fremdstoffen beträgt max. 3 M.-%	Zur Ablagerung auf Baurestmassen geeignete Abfälle ohne Verunreinigungen
3	Recyclingmaterial ist verunreinigt, kann mit höherem Aufwand rückgebaut und nach Aufbereitung verwertet werden	Wie 1 oder 2, jedoch mittlerer Heizwert (500 - 2000 MJ/m^3) oder geringfügige Metall- oder Halogengehalte (< 3 M%)	Materialien mit geringen nichtmineralischen Bestandteilen, z.B. Mineralische Baurestmassen mit organischen Verunreinigungen durch Bitumen oder WDVS-Resten
4	Downcycling	Hoher Stickstoffgehalt, hoher Anteil mineralischer Bestandteile oder erhöhter Metall- oder Halogengehalte (3-10 M%)	Gipshaltige, faserförmige oder mineralisierte organische Materialien sowie Materialien mit höheren nicht-mineralischen Verunreinigungen.
5	Kein Recycling möglich	Hoher Metall- oder Halogengehalt	Organisch-Mineralischer Verbund, Metalle als Verunreinigungen von Baurestmassen

Tab. 1: Beurteilungskriterien für die qualitative Einstufung der Entsorgungseigenschaften von Baukonstruktionen im vorliegenden Projekt.

Beispiele für die Einstufung diverser Fraktionen und für die Bewertung einer Baukonstruktion sind im Endbericht zu SP3 ([Schneider 2010]) zu finden.

Die Bauteilschichten werden entsprechend der Bewertungsmatrix eingestuft. Neu eingeführt wurde, dass „Recycling“ (stoffliche Verwertung) und „Verbrennung“ (energetische Verwertung) nur bis zur Stufe 3 als Verwertung gezählt werden. Stufe 4 und 5 werden ebenso wie alle Stufen der Kategorie „Beseitigung“ zugeordnet.

2.3.2.6 Zusammenführung auf Bauteilebene

Nach der Benotung aller Bauteilschichten erfolgt im nächsten Schritt eine Zusammenführung für jeden Entsorgungsweg. Als Messgröße dient einmal die Kubatur (m^3).
Die prozentuelle Aufteilung auf die verschiedenen Entsorgungswege wird berechnet.
Die Durchschnittsnote für jeden Entsorgungsweg wird berechnet. Dabei wird für jede Bauteilschicht die Note mit der Menge multipliziert. Die Ergebnisse für alle Bauteilschichten werden addiert und anschließend durch die gesamte Menge dividiert.

2.3.2.7 Einzahlbewertung („Recyclierbarkeit“)

Da die oben beschriebene Ergebnistabelle doch sehr unübersichtlich ist und eine Interpretation nur innerhalb und nach eingehenderer Beschäftigung mit der Konstruktion möglich ist, haben wir uns entschlossen, die Bewertungsergebnisse für die Messgröße „Volumen“ zusätzlich in einer Einzahl zusammenzuführen. Dafür werden die Noten in den einzelnen Entsorgungswegen gegeneinander mit folgenden Faktoren gewichtet.

1. Recycling, Verbrennung mit Note < 2
2. Verbrennung mit Note > 2 und < 3
3. Beseitigung

Für jeden Entsorgungsweg wird das anfallende Volumen mit der Note und dem Gewichtungsfaktor multipliziert. Die Ergebnisse werden anschließend addiert.
Für das angeführte Beispiel ergibt sich somit folgende Recyclingnote:
0,91 m^3 *(17 % * 1,0 * 1 + 0‘% * 3,0 *2 + 83 % * 3,7 * 3) / 1 m^3 = 8,5
Die Ergebnisse geben eine rasche Orientierung, sind aber mit entsprechender Vorsicht zu genießen. Die Gewichtungsfaktoren, die hier zunächst willkürlich mit 1, 2, 3 festgelegt wurden, haben nicht unbedeutenden Einfluss auf die Ergebnisse. Die weitere Arbeit mit der Methode wird die Praxistauglichkeit der Faktoren zeigen. Im nächsten Schritt müssten theoretische Grundlagen für die Festlegung der Gewichtungsfaktoren geschaffen werden.

2.3.3 Grundlagen der dynamischen Feuchte-Bauteilsimulationen: Keller und erdberührte Fußböden, Balkenköpfe mit innenseitiger Dämmung von Außenwänden

2.3.3.1 Normative Grundlagen

Die vorliegenden Berechnungen und Simulationen der Kellerdetails und der erdberührten Bauteile werden mit dem hygrothermischen Simulationsprogramm HAM4D_VIE durchgeführt. Das Programm löst die Wärme- und Feuchteleitungsgleichungen auf Basis der DIN EN 15026 und stellt somit einen gekoppelten hygrothermischen Berechnungsalgorithmus dar. Neben der operativen Lufttemperatur, der relativen Luftfeuchte und dem Wassergehalt sowie den Wärmeströmen an Bauteiloberflächen mit anliegender Randbedingung werden auch der Partialdruck und die Massenströme durch Bauteiloberflächen infolge von Luftströmungen ausgegeben [Bednar 2000]. Weiters werden abhängig vom Material das Schimmelpilzrisiko und das Verrottungspotential für eine bestimmte Bauteilschicht ausgegeben. Dies erfolgt nach dem Schimmelkriterium von Viitanen und Thelandersson [Thelandersson 2009]. In den folgenden Ausarbeitungen werden jedoch nur die relevanten Größen dargestellt. Dies ist in den meisten Fällen der Wassergehalt w, der den Feuchteverlauf in der Konstruktion darstellt, oder die relative Luftfeuchte φ, die einen Indikator für das Schimmelpilzrisiko an Bauteiloberflächen angibt.

Die Berechnungen des Holzbalkenanschlusses erfolgen mit COMSOL Multiphysics Version 4.2a [Comsol 2012]. Das Programm basiert auf der Finiten Elemente Methode und löst hygrothermisch gekoppelte Differentialgleichungssysteme. Die Auswertung der Simulationen erfolgt aufgrund der großen Anzahl an Vergleichsvarianten in tabellarischer Form.

2.3.3.2 Modellbildung und Rechenzeit

Für die Kellerdetails und die Anschlüsse der erdberührten Bauteile werden ausschließlich zweidimensionale Simulationen durchgeführt. Diese werden in einem orthogonalen Raster aufgebaut. Aufgrund langer Rechenzeiten bei komplizierten Modellen wird zur Beschleunigung der Berechnung ein 5 x 5 cm Zellraster angenommen. Dies hat nur geringe Auswirkungen auf die Genauigkeit und liefert gute Ergebnisse bei einer annehmbaren Rechenzeit.
Folien und Dampfbremsen werden als Widerstände an Schichtgrenzen und nicht als eigene Materialienschichten definiert. Dies hat den Vorteil, dass keine dünnen Schichten berechnet werden müssen und somit lange Rechenzeiten vermieden werden. Die Dampfbremsen sind in den grafischen Darstellungen nur in der Materialansicht in Form einer schwarz punktierten Linie abgebildet.
Die Details des Balkenkopfanschlusses werden dreidimensional berechnet. Das hierfür verwendete Simulationsprogramm COMSOL Multiphysics [Comsol 2012] basiert auf der Finiten Elemente Methode und verwendet ein Tetraedernetz, dessen Feinheit automatisch unter Beachtung der Rechengenauigkeit erstellt wird. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt bei den Balkenkopfdetails anhand des Wassergehalts an einer Bauteiloberfläche.

2.3.3.3 Vereinfachungen und Annahmen

Schlagregenbelastung

In den vorliegenden Berechnungen werden keine Variationen der Feuchteaufnahme unterschiedlicher Putze durchgeführt. Da die Schlagregenmenge auf eine Fassade in erster Linie standortabhängig ist, jedoch von vielen anderen Parametern beeinflusst werden kann, ist eine Auswertung der Details anhand einer bestimmten Schlagregenmenge nicht zielführend. Außerdem sind bei vielen Bestandsfassaden eine Sanierung der Putzschicht und ein gleichzeitiger Schutz gegen Schlagregen erforderlich. Es wird daher angenommen, dass die Fassade mit einem wasserhemmenden Putz gemäß DIN 4108-3 Tabelle 2 versehen ist. In der Berechnung wird ein Putz mit einem Wasseraufnahmekoeffizienten von 0,6 $kg/m^2\sqrt{h}$ angesetzt. Aufgrund dieser Eigenschaften kann davon ausgegangen werden, dass die Außenwandoberfläche keine Feuchtigkeit in Form von Flüssigwasser aufnimmt. Daher wird in allen Berechnungen die Schlagregenbelastung vernachlässigt. Der vertikale Regeneintrag in den Boden wird hingegen für den Standort Klagenfurt berücksichtigt.

Randbedingung zum gewachsenen Boden

Die Randbedingung zum gewachsenen Boden wird als konstant angenommen. Dabei werden eine Temperatur von 10 °C und eine relative Luftfeuchte von 100 % angegeben. Die Bodenrandbedingung soll die Simulation von Grundwasser darstellen, das über eine konstante Saugspannung definiert wird und somit einen Flüssigwassertransport aus dem Boden entgegen der Gravitation bis an das Fundament oder die Bodenplatte hervorruft. Aufgrund der Abhängigkeit der Saugspannung vom Wassergehalt w(suc) kann durch die Variation der Saugspannung an der Bodenschicht der Feuchtegehalt des Bodens und der gesamten

Konstruktion gesteuert werden. In den vorliegenden Simulationen werden Kellervarianten mit geringem und erhöhtem Durchfeuchtungsgrad des Mauerwerks betrachtet. Die Änderung des Temperaturgradienten infolge der jahreszeitlichen Klimaschwankungen an der Außenluft und im Kellerbereich wird an dieser Stelle vernachlässigt. Die Bodenrandbedingung wird 50 cm unter der Fundamentsohle angesetzt.

Flüssigwassertransport zwischen Boden und Mauerwerk

Bei den vorliegenden Modellen wird der Flüssigwassertransport zwischen zwei Materialien über die Flüssigkeitsleitzahl des Materials in Abhängigkeit des Wassergehalts bzw. der anliegenden Saugspannung definiert. Es wird ein ungestörter Übergang angenommen, der jedoch bei einigen Materialgrenzen nicht der Realität entspricht. Die Flüssigkeitsleitung über Schichtgrenzen, speziell vom Erdboden in das anliegende Mauerwerk, hängt von vielen Parametern ab und lässt sich schwer modellieren. Hohlräume oder teilweise hydrophob wirkende Oberflächen können zu einer verminderten Flüssigkeitsleitung führen. Risse zwischen zwei Materialien entsprechen sogar einer kapillarbrechenden Schicht, die jedoch in der Simulation gänzlich vernachlässigt wird. Eine ähnliche Vereinfachung wird auch bei der Modellierung von Mauerwerk verwendet. Dieses besteht im Allgemeinen aus Ziegelsteinen, Lagerfugen und Stoßfugen. Je nach Qualität sind vor allem die Stoßfugen mit Lufteinschlüssen versehen, die eine kapillarbrechende Schicht darstellen. Auch die Lagerfugen können zu einer Verringerung der Flüssigkeitsleitung führen, da zwischen dem Mauermörtel und dem Ziegel Haarrisse bestehen. In den vorliegenden Modellen wird Mauerwerk als ein homogener Baustoff angenommen, der eine geringere Flüssigkeitsleitung aufweist als ein normaler Vollziegel.

2.3.3.4 Klimarandbedingungen

Bei den vorliegenden Simulationen werden durchwegs dynamische Randbedingungen angesetzt, die zu instationären Temperatur- und Feuchteströmen in der jeweiligen Konstruktion führen. Bei der Simulation über mehrere Jahre werden die Randbedingungen im Jahresrhythmus wiederholt, bis sich ein quasistationärer Zustand einstellt. Als Außenklima wird das Testreferenzjahr für Klagenfurt herangezogen, wobei die Außentemperatur zusätzlich um zwei Kelvin abgemindert wird. Die Klimadaten bestehen aus Stundenmittelwerten für Temperatur, relative Luftfeuchte, solare Einstrahlung sowie Normalregen. Die Grundlagen dafür werden in [Rietschel 1994] behandelt. Die Umrechnung der solaren Einstrahlung auf eine Wand- bzw. eine Bodenfläche erfolgt gemäß ÖNORM B 8110-3. Der Schlagregen wird bei den vorliegenden Simulationen aus den in 2.3.3.3 beschriebenen Gründen nicht berücksichtigt. Der Normalregen auf die Bodenfläche wird zu 100 % in die Berechnung einbezogen. In Bezug auf den Solarstrahlungseintrag wird in den vorliegenden Simulationen eine nach Westen orientierte Wand simuliert.
Als Innenklima werden sinusförmige Verteilungen von Temperatur und relativer Luftfeuchte angenommen. Die Schwankungsbreiten bewegen sich von 22 °C bzw. 40 % im Winter bis 26 °C bzw. 60 % im Sommer. Alle Klimarandbedingungen sind im Anhang angeführt.

2.3.3.5 Materialparameter

Bei den Simulationen kommen insgesamt 18 verschiedene Materialien zum Einsatz, deren Materialparameter im Folgenden beschrieben werden. Die Tabelle 2 zeigt die wesentlichen Kennwerte. Die Feuchtespeicherfunktion sowie die Darstellung der Flüssigkeitsleitung der für den Feuchtetransport wesentlichen Materialien werden im Anhang A angegeben.

Materialbezeichnung	Dichte ρ [kg/m³]	spez. Wärme-kapazität c [J/kgK]	Wärmeleit-fähigkeit λ [W/mK]	Diffusionswider-stand μ_{25}, μ_{80}, μ_{100} [-]			Wasseraufnahme-koeffizient Aw [kg/m²sqrt(h)]	u_{80} [kg/m³]	u_F [kg/m³]
Außenputz	850	850	0,2	18	16	10	0,6	8	160
Beschüttung	1300	840	0,6	8	8	8	-	8	150
EPS	100	800	0,04	100	100	100	-	1	950
Estrich	600	1700	1,7	200	50	10	1,0	8	160
Gipskarton	510	1000	0,1	11	11	11	17,0	6	400
Innenputz	850	850	0,2	18	16	10	1,0	8	160
Kalziumsilikat	270	1162	0,07 – 1,0	4	4	4	90,0	10	850
Stampflehm	1800	900	0,5	7	7	7	-	19	150
Lehmboden	1560	850	0,5	1	1	1	-	72	419
Mauerwerk	1560	850	0,7 – 1,5	15	12	10	5,0	13	300
Mineralwolle	14,5	950	0,04	1	1	1	-	1	800
Stahlbeton	2400	1700	2,3	80	25	10	1,0	8	160
Vollziegel	1800	890	0,55	19	19	19	-	15	320
Weichholz	450	1000	0,13	80	20	0,01	0,4	80	600
XPS	100	800	0,04	100	100	100	-	1	950

Tab. 2: Auflistung der verwendeten Materialparameter

Der Wasseraufnahmekoeffizient wird für den Außenputz mit 0,6 $kg/m^2\sqrt{h}$ und für das Mauerwerk mit 5 $kg/m^2\sqrt{h}$ festgelegt. Die Wasseraufnahme hat einen wesentlichen Einfluss auf den Feuchtehaushalt der Konstruktion und ist vor allem für die richtige Annahme der Bodenfeuchte und des Schlagregeneintrags von Bedeutung. Dies wurde bereits in Abschnitt 2.3.3.3 genauer erläutert.

2.3.3.6 Darstellung des Bestands

Der hygrothermische Zustand der Bestandskonstruktion wird als „eingeschwungener Jahresgang“ angenommen. Dies wird durch eine Simulation über 50 bzw. 100 Jahre erreicht, wobei das Erreichen eines quasistationären Zustands unterschiedlich lange dauern kann und von verschiedenen Parametern abhängt. Während das Temperaturfeld bereits nach wenigen Jahren einen eingeschwungenen Zustand erreicht hat, kann der Gesamtwassergehalt des Modells über 100 Jahre Rechenzeit benötigen, um einen rezidivierenden Jahresverlauf zu erlangen. Dies wird vor allem durch Diffusionsprozesse hervorgerufen, die in der Regel sehr langsam ablaufen.

In manchen Fällen wird die Simulation nach dem Erreichen eines annähernd eingeschwungenen Temperatur- und Feuchtezustands vorzeitig abgebrochen. Die Ergebnisse der Bestandssimulationen werden als Anfangsbedingungen für die Variantensimulationen herangezogen, wobei die Parameter blockweise abgestuft und je nach Temperatur- und Feuchteverteilung definiert werden. Die Simulation startet jeweils am

1. Jänner. Als Ergebnis werden im Allgemeinen die hygrothermischen Zustände im Winter (1. Jänner) demonstriert.
Die Simulationen verschiedenster Varianten zeigen, dass die Anfangsbedingungen eine wesentliche Rolle bei der Beurteilung von Sanierungsvarianten darstellen. Die Variation der Saugspannung der Bodenrandbedingung zeigt, dass geringe Änderungen dieses Parameters zu starken Schwankungen des Feuchtegehalts im Erdboden und somit zu unterschiedlichen Feuchtegehalten im Fundamentbereich führen. Die Abbildung eines typischen feuchten Kellers gestaltet sich schwierig, da weder die genauen Feuchtezustände im Boden noch der Einfluss des Grundwassers im Vorfeld erhoben wurden. Daher wird in den nachfolgenden Untersuchungen nur eine Bodenart behandelt. Die Berechnungen beruhen auf einer analytischen Überlegung, wodurch die Saugspannung für eine bestimmte Bodenart und Steighöhe festgelegt wurde. In den Simulationen werden ein eher trockener und somit unkritischer sowie ein nasser Boden als Bestand angenommen. Das dafür ausschlaggebende Bewertungskriterium ist der Durchfeuchtungsgrad des Mauerwerks im Fundamentbereich. Die einzelnen Sanierungsvarianten basieren alle auf demselben Bestandsmodell.

2.3.3.7 Interpretation und Anwendbarkeit der Ergebnisse

Am Beginn der Ausarbeitungen der Details steht die Frage, wie stark ein Mauerwerk durchfeuchtet sein darf, um als „nass“ oder „trocken“ zu gelten. Da hier keine eindeutigen Antworten gegeben werden können, weil keine Grenzwerte zur Einordnung bestimmter Feuchtezustände vorhanden sind, dient ein analytisches Beispiel als Grundlage für die angenommenen Durchfeuchtungsgrade des Bestandsmauerwerks. Mit Hilfe der Saugspannung an der Bodenrandbedingung kann die Durchfeuchtung des Mauerwerks simuliert werden.
Für die vorliegenden Berechnungen werden zwei verschiedene Durchfeuchtungsgrade modelliert.
Da die Durchfeuchtung stark von der Bodenart und den Materialparametern abhängt, können hier keine allgemein gültigen Ergebnisse geliefert werden. Es wird eine Bodenart beispielhaft für alle Berechnungen herangezogen und somit ein qualitativer Vergleich der einzelnen Varianten anhand eines bestimmten Durchfeuchtungsgrades des Mauerwerks bzw. des angrenzenden Bodens möglich.
Alle dargestellten Schaubilder sind beispielhaft für den jeweiligen Fall zu verstehen und nur unter Berücksichtigung der angenommenen Randbedingungen zu interpretieren. Die Ergebnisse lassen sich daher nicht direkt auf andere Situationen umlegen. Vor allem die Kellerdetails sind jedes für sich einzigartig, da neben dem Durchfeuchtungsgrad des umgebenden Bodens vor allem die Materialparameter des Mauerwerks und des Bodens sowie das Luftvolumen einen großen Einfluss auf das Klima im Kellerraum haben. Die Geometrie ist somit eine wesentliche Vorgabe der behandelten Details. Die Angaben zu den Wärmeverlusten über ein Bauteil können in den Berechnungen ebenfalls nur qualitativ interpretiert werden, da diese in allen Fällen von der Geometrie der jeweils angenommenen Randbedingung abhängen. Da keine Wärmebrücken berücksichtigt werden, sind auch die Wärmeströme durch die Kellerdecke rein qualitativ vergleichbar.

2.4 Beschreibung der Vorgangsweise

Für die systematische Analyse der Althaussanierung werden Gebäude in Abhängigkeit

- vom Errichtungszeitpunkt (verwendete Baustoffe und Konstruktionen, Bauweise)
- von der Struktur (EFH und Reihenhäuser, mehrgeschoßige Wohnbauten)

eingeteilt.

Weiters werden die Motive für Sanierungen betrachtet:

- Einsparung von Heizenergie
- Instandsetzung: Beseitigung von (Bau-)Schäden (Schimmelbildung, Kondensatschäden, Schäden an vorgehängten Fassaden)
- Schaffung von Wohnraum (Dachgeschoßausbau, Aufstockung, Anbau)
- Modernisierung (Standardanhebung, Nutzungsänderung)
- Instandhaltung: Verhinderung von Schäden (Fassadenerhaltung, Sanierung Tragsysteme, Dachhaut)
- Verbesserung der Behaglichkeit (Schallschutz, Wärmeschutz)
- Anpassung an gesetzliche Vorschriften (z.B. Rampen, Aufzüge)

Aus dem Althaussanierungsbereich werden die folgenden Bauaufgaben im vorliegenden Projekt behandelt (in Klammer Angabe der üblichen Motive):

1. Gründerzeithäuser, Errichtungszeitraum vor 1919 (Instandhaltung, Modernisierung)
2. Mehrgeschoßige Wohnbauten 1919 bis 50er Jahre (Instandhaltung, Heizenergieeinsparung)
3. Mehrgeschoßige Wohnbauten 60er bis frühe 80er Jahre (Beseitigung von Bauschäden, Heizenergieeinsparung)
4. Einfamilienhäuser 1919 bis frühe 80er Jahre (Heizenergieeinsparung)
5. Sanierung erdberührter Räume (Beseitigung von Bauschäden)
6. Dachgeschoßausbau (Schaffung von Wohnraum)

Die vorgeschlagenen Detaillösungen sollen geeignet sein, das primäre Sanierungsziel (vgl. vorstehende Motive) zu erreichen, dazu aber energetisch, bauökologisch und wohnhygienisch optimierten und bauphysikalisch soliden Wohnraum zu schaffen.

3 Grundlagen der thermischen Sanierung mit Passivhaus-komponenten

Als Beispiel für die ökologische Amortisation von Maßnahmen im Bereich der thermischen Sanierung bzw. der Sanierung mit Passivhauskomponenten wird nachfolgend die Wärmedämmung von Außenwänden herangezogen.

Die außenseitige Wärmedämmung von Außenwänden erfordert für die Erreichung des Passivhausniveaus je nach Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs und der Systemcharakteristika üblicherweise Dämmstärken von 20 bis 40 cm. Als Referenz-Wärmewiderstand wurde eine 30 cm starke homogene Dämmstoffschicht mit einer Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,04 W/mK gewählt. Damit ergeben sich die folgenden Bezugs-Kennwerte:

Wärmewiderstand der funktionalen Einheit	7,5	m²K/W
U-Werte nach Sanierung	0,11–0,13	W/m²K

Bevor auf die funktionalen Einheiten im Einzelnen eingegangen wird, soll der Aufwand zur Herstellung einer Dämmschicht auf Außenwänden den Heizenergieeinsparungen durch den verringerten Transmissionswärmeverlust gegenübergestellt werden. Als Referenzdämmung wurde ein Wärmedämmverbundsystem mit EPS-F-Dämmplatte gewählt. Als Betrachtungszeitraum wurden 100 Jahre herangezogen.

Die Gegenüberstellung von Aufwand zur Herstellung und Instandhaltung des Dämmsystems im Vergleich zur Beheizung des Gebäudes auf 20 °C für ein typisches mitteleuropäisches Klima, dargestellt anhand des Treibhauspotentials über 100 Jahre, führt zu den folgenden Ergebnissen:

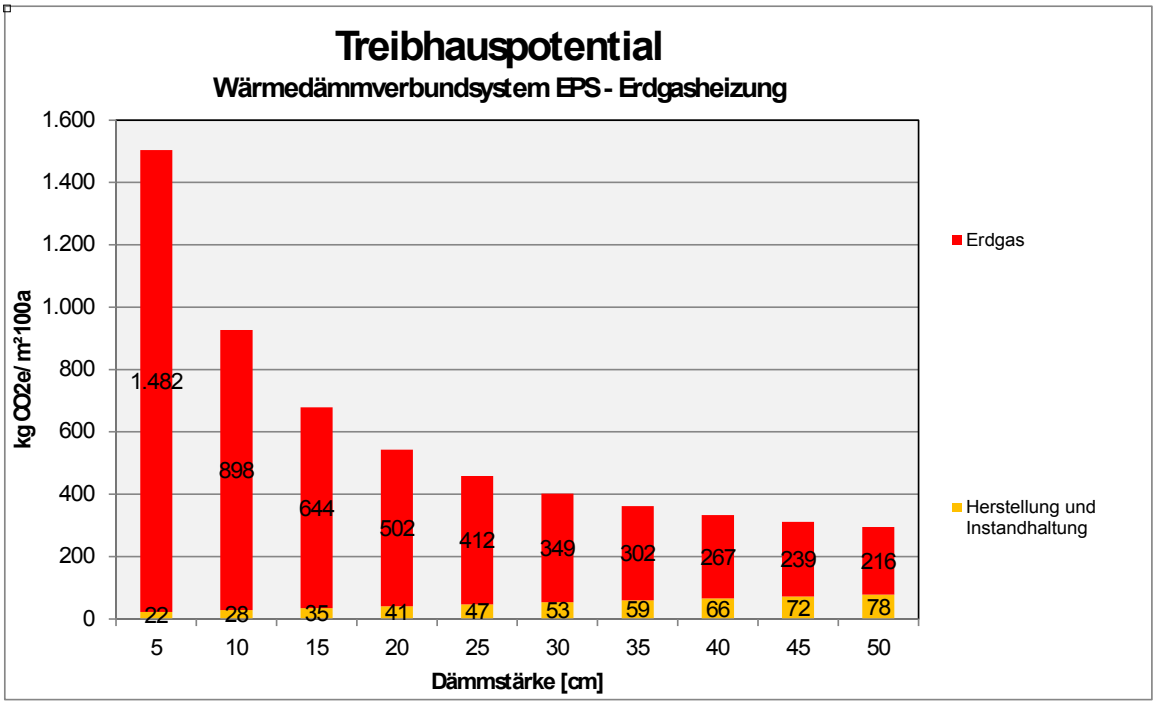


Abb. 1: Treibhauspotenzial der Herstellung eines Wärmedämmverbundsystems unterschiedlicher Dicke (inkl. Materialtausch im Betrachtungszeitraum von 100 Jahren) sowie der Beheizung mit Erdgas zur Kompensation der Transmissionswärmeverluste.

Abbildung 2 zeigt die Verminderung des Treibhauspotenzials (100 Jahre) in Folge der Sanierungsmaßnahme.

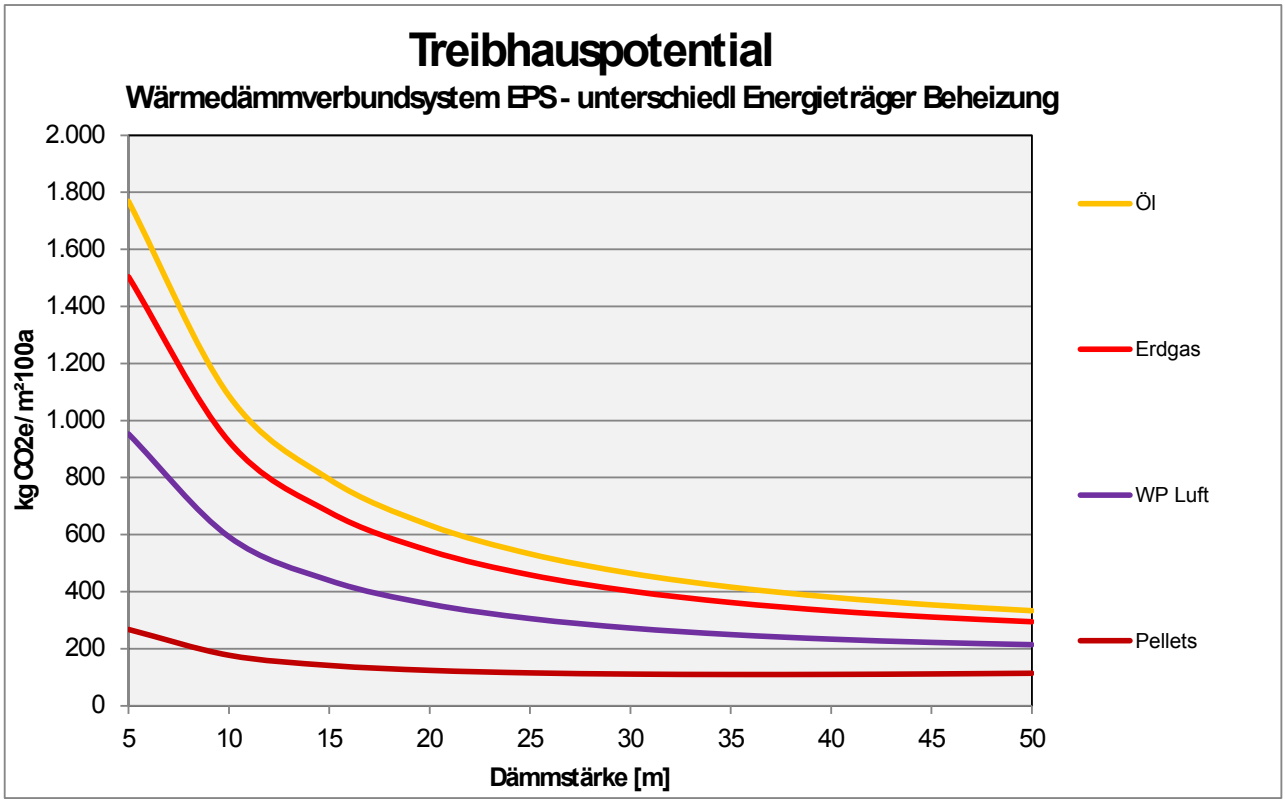


Abb. 2: Treibhauspotential Wärmedämmverbundsystem EPS – unterschiedliche Energieträger Beheizung

- Für die Bewertung des Wärmedämmverbundsystems EPS mittels Treibhauspotential liegen die Optima jenseits von 50 cm Dämmstoff.
- Einzig für den Fall mit einer Pelletsheizung und der CO_2-neutralen Verbrennung ergibt sich ein sehr flaches Belastungsminimum zwischen 30 und 45 cm Dämmstoffstärke.
- Eine Wärmedämmung mit dem ökologisch eher ungünstigen Dämmstoff aus EPS legt daher Dämmstärken im Passivniveau nahe. Mit produktionsökologisch günstigeren Dämmstoffen liegt das Optimum bei noch höheren Dämmstoffstärken.

3.1 Luftdichtigkeit

Luftdichtigkeit von Gebäuden ist wünschenswert, weil Undichtigkeiten zu wenig und nicht zuverlässig zur Lüftung beitragen können. Stattdessen sind Bauschäden zu befürchten für den Fall, dass Fugen im Winter von innen nach außen durchströmt werden und die Feuchte der warmen Raumluft auf ihrem Weg ins Freie kondensiert und beträchtliche Durchfeuchtungen der Konstruktion verursachen kann. Im Fall der Strömungsrichtung von außen nach innen kann es bei Schlagregen und Winddruck zum Wassereintrag von außen in die Konstruktion kommen.
Luftdichtigkeit wird am besten durch zwei Drucktests vor und nach Abschluss der Sanierungsarbeiten überprüft.

In sich luftdicht sind

- gemauerte Außenwände mit durchgehendem Innenputz
- Fensterscheiben
- Betondecken

Sorgfältig an Stößen und Anschlüssen abgeklebt werden müssen

- Schalen aus Holzwerkstoffplatten

Die Stiftmethode hilft Lücken in der luftdichten Ebene zu entdecken: Das gesamte Volumen muss auf dem Plan lückenlos mit einem breiten Stift umfahrbar sein (Wolfgang Feist in [Zelger 2009]). Im Altbau ist das nicht immer realisierbar. Holzbalkendecken bilden mit den Balkenköpfen eine häufige Durchdringung der luftdichten Ebene, die Balkenköpfe sind deshalb infolge Kondensats feuchtegefährdet. Die beste Lösung für dieses Problem wird noch gesucht.
Während in Neubauten die luftdichte Ebene am besten an der Innenseite der Bauteile hergestellt wird, kann im Sanierungsfall bei nachträglichen Außendämmungen der Außenwände auch der alte Außenputz, nach Abdichtung der Risse durch Spachtelung und geschützt durch die neue Dämmstofflage, die luftdichte Ebene bilden. Bewährt hat sich das Anschließen möglichst an beide Bestandsputzebenen, so werden beispielsweise Bestandaußen- und Innenputz über einen Glattstrich luftdicht miteinander verbunden und daran das Fenster angebunden. Damit werden beide Ebenen wirksam.

3.2 Zur Problematik der Feuchte in Bestandsgebäuden und in deren Sanierung

Vor der thermischen Sanierung eines Bestandsgebäudes, insbesondere bei Gründerzeitgebäuden bzw. Gebäuden mit Keller- und Erdgeschoßmauerwerk aus Ziegeln, ist vor Baubeginn im Rahmen der Planung abzuklären, ob eine Feuchtigkeitsbelastung des Mauerwerks im Keller- und Erdgeschoßbereich vorliegt. Wenn eine Feuchtbelastung vorliegt, Indizien sind unter anderem muffiger Geruch im Keller, Putzabplatzungen im Sockelbereich, Verfärbungen des Putzes aufgrund von Salzausblühungen etc., sind entsprechende Maßnahmen zu setzen. Einerseits der Einbau einer nachträglichen Abdichtung und andererseits Maßnahmen zur Reduzierung des Feuchtegehalts im Mauerwerk.

Im Allgemeinen stellt sich nach der Errichtung eines Gebäudes ein Gleichgewicht zwischen dem Feuchtegehalt des Mauerwerks und der umgebenden Raum- und Außenluft ein. Nach dem Ausdiffundieren der Baufeuchtigkeit weist das Mauerwerk eine dem Innen- und Außenklima entsprechende Ausgleichsfeuchtigkeit auf, wenn kein Wasser bzw. Feuchtigkeit zusätzlich in das Mauerwerk eindringt.

Bei feuchtem (Keller-)Mauerwerk, bedingt durch aufsteigende Feuchtigkeit oder seitlich eindringendes Oberflächenwasser, ist der Feuchtigkeitsgehalt im Mauerwerk höher als die Ausgleichsfeuchte. Das Wasser wandert entsprechend der kapillaren Steighöhe des Wandbaustoffes nach oben und verdunstet an der Putzoberfläche außen. Der Verdunstungshorizont ist bei Ziegelmauerwerk an den typischen Schadensbildern des Putzes (Abplatzungen, Verfärbungen etc.) erkennbar. Die im Wasser gelösten Salze kristallisieren im Bereich des Verdunstungshorizonts aus, dies hat eine Volumensvergrößerung zur Folge. Der Kristallisa-

tionsdruck ist sehr groß, selbst ein harter Zementverputz wird von den Salzen über die Jahre hinweg abgesprengt und zerstört.

Durch Umbauten und Fassadensanierungen wird das über Jahre eingestellte Gleichgewicht zwischen Verdunstung und kapillar aufsteigender Feuchtigkeit verändert, bis sich ein neues Gleichgewicht einstellt. Wenn bei bestehender kapillar aufsteigender Feuchtigkeit keine Trockenlegungsmaßnahmen durchgeführt werden und die Möglichkeit der Verdunstung im Sockelbereich durch sperrende Schichten, z.B. Zementverputz, Abdichtung, diffusionsdichte Wärmedämmungen, beeinträchtigt oder gänzlich verhindert wird, stellt sich entweder ein neuer Verdunstungshorizont weiter oben ein oder die Feuchtigkeit reichert sich im Wandbaustoff weiter an bzw. verdunstet innenseitig und durch die gelösten Salze wird der Innenputz geschädigt.

Auch wenn Trockenlegungsmaßnahmen durchgeführt werden, wird nur der zukünftige kapillare Wassertransport verhindert, das „trockengelegte“ Mauerwerk bleibt weiterhin feucht. D.h. dem trockengelegten Mauerwerk muss entweder Zeit zum Austrocknen gegeben werden (bei Kellermauerwerk mit einer Wandstärke von 90 cm zwei bis drei Jahre), oder durch technische Hilfsmittel (z.B. Heizstäbe) mit entsprechender Energiezufuhr wird der Austrocknungsprozess beschleunigt. Beispiel: 1 m³ Mauerwerk kann bei voller kapillarer Sättigung der Poren je nach Rohdichte der Ziegel 200 bis ca. 300 l Wasser enthalten!

Bei Natursteinmauerwerk ist die kapillare Steighöhe abhängig von der verwendeten Steinart meist niedriger als bei Ziegelmauerwerk. Bei Mischmauerwerk aus Ziegel und Naturstein ist häufig der Ziegel stärker durchfeuchtet und mehr zerstört als der Naturstein.

Grundsätzlich ist bei einer thermischen Sanierung zu entscheiden, ob der Keller gedämmt wird oder nicht. Wird der Keller nicht gedämmt und ist das Erdgeschoß etwas über das angrenzende Niveau herausgehoben (z.B. freistehendes Einfamilienhaus mit Natursteinsockel), besteht die Möglichkeit durch flankierende Maßnahmen (Sanierung von Abfall-, Regen- und Kanalrohre, Absenkung des angrenzenden Niveaus, Ableitung von Oberflächenwässern weg vom Gebäude etc.) den Verdunstungshorizont so weit zu senken, dass Schäden durch aufsteigende Feuchtigkeit verhindert werden können. Dies ist im Einzelfall entsprechend den objektspezifischen Gegebenheiten zu überprüfen, erforderlichenfalls mit einer Simulationsberechnung. Wird der Keller wärmegedämmt und somit in die thermische Gebäudehülle miteinbezogen, sind Maßnahmen zur Entfeuchtung des Mauerwerks meist unumgänglich, Trockenlegungsmaßnahmen sind zu prüfen, u.a. auch abhängig von der geplanten Nutzung des Kellers.

Im Allgemeinen sind Feuchteschäden durch die Ausbildung eines Verdunstungshorizontes an der Fassade erkennbar, jedoch ist nicht jeder Feuchteschaden auf aufsteigende Feuchtigkeit zurückzuführen (siehe dazu auch weiter unten). In vielen Fällen ist es sinnvoll, die Nachbargebäude in die Betrachtungen mit einzubeziehen. Weisen diese Schäden auf? Wurden die Nachbargebäude trockengelegt? Ist auch der Nachbarkeller feucht?

3.2.1 Mauerwerkstrockenlegung

Die Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk bedarf einerseits der sorgfältigen Analyse der Ursachen und andererseits einer genauen Planung der durchzuführenden Maßnahmen. Erfolgreich sind nur Maßnahmen,

die auf die objektspezifischen Gegebenheiten eingehen und während bzw. nach der Ausführung der Trockenlegungsarbeiten einer Erfolgskontrolle unterzogen werden. In Österreich existieren im Gegensatz zu anderen Ländern ÖNORMEN zur Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk für die Planung und die Ausführung.

Die Anwendung von Verfahren zur Trockenlegung von Mauerwerk ist nur dann zielführend, wenn die Ursache von feuchtem Mauerwerk tatsächlich aufsteigende Feuchtigkeit ist. Andere Ursachen von feuchtem Mauerwerk können sein:

- seitlich eindringendes (Oberflächen-)Wasser: z.B. undichte Regen-, Abfall- bzw. Kanalrohre, Gefälle von betonierten Hofflächen zur Kelleraußenwand etc.
- Kondensat: insbesondere im Frühjahr und im Sommer kann feuchte Außenluft z.B. nach einem Gewitter an der Oberfläche der kalten (Keller-)Mauern kondensieren.
- Hygroskopische Salze: Salze können Wasser aufnehmen und wieder abgeben, als Schadensbild zeichnen sich feuchte Flecken im Wandputz ab.

3.2.1.1 Bauwerksdiagnose

Eine gezielte Bauwerksdiagnose ist zur Bestimmung der Schadensursache und als Grundlage zur Auswahl der geeigneten Maßnahmen im Rahmen der Sanierungsplanung erforderlich. Die durchzuführenden Schritte der Bauwerksdiagnose sind in der ÖNORM B 3355-1 geregelt. Im Allgemeinen sollte eine Bauwerksdiagnose folgende Punkte umfassen: eine Bestandsaufnahme, die Probenentnahme und die Bestimmung der Baustoff-Kennwerte.

- Bestandaufnahme des Gebäudes und seiner Umgebung:
  - Erhebung der Konsenspläne bei der Baubehörde bzw. Anfertigung von Bestandsplänen, sowie Erhebung der Baugeschichte.
  - Erkundung des Grundwasserstandes und des Schichtenaufbaus des Bodens.
  - Erkundung der Wand- und Deckenaufbauten, der Wand- und Deckenbaustoffe und der Gründungsart.
  - Erkundung und Analyse des Erdreiches bzw. des Grundwassers z.B. durch Probegrabungen, chemische Salzanalyse des Grundwassers im Labor.
  - Aufnahme der Umgebung des Gebäudes: Gelände, Bewuchs etc.
  - Feststellung von Gebäudeschäden: z.B. Risse, Wasserschäden etc.
  - Erhebung der Gebäudenutzung in der Vergangenheit: z.B. chemische Fabrik, Stall und Festlegung der Nutzung in der Zukunft.

Bei unter Denkmalschutz stehenden Gebäuden können weitere (kunsthistorische) Erhebungen bzw. Befunde notwendig sein. Dies ist im Einzelfall mit den zuständigen Behörden abzuklären.

Die Probenentnahme hat in Bezug auf Feuchtigkeit und Salzgehalt, den verwendeten Baumaterialien, den Bauzustand und den Schadensbildern repräsentativ zu erfolgen.

- Probeentnahme:
  - Festlegung der Entnahmeorte und Messstellen (Messprofile)
  - Festlegung der Art der Probenentnahme
  - Dokumentation der Probenahme

Der Ort der Probenentnahme muss lage-, höhen- und tiefenmäßig genau durch ein Protokoll für spätere Kontrollmessungen dokumentiert werden, ebenso die klimatischen Bedingungen (Temperatur), Datum der Entnahme, Objektbezeichnung und Bezeichnung des Entnahmewerkzeugs.
Die Bestimmung der Baustoff-Kennwerte und auch der Feuchtekennwerte sollte im Labor einer autorisierten Prüfanstalt erfolgen. Andere Verfahren zur Bestimmung von Feuchte- und Salzkennwerten sollten nur ergänzend angewandt werden. Elektrische Verfahren zur Messung von Feuchtigkeit sind für Holz bzw. Estriche sehr gut geeignet, für Mauerwerk weniger. Dabei wird die Leitfähigkeit gemessen, die bei höherer Feuchtigkeit zunimmt. Im Mauerwerk beeinflussen auch die Salze die Leitfähigkeit. D.h. bei einer geringen Feuchtigkeitsbelastung des Mauerwerks und bei einer hohen Salzkonzentration wird die gleiche Leitfähigkeit gemessen wie bei einer hohen Feuchtigkeit und geringer Salzbelastung.

- Bestimmung der Baustoff-Kennwerte:
  - Bestimmung der feuchtespezifischen Parameter (Feuchtegehalt, Hygroskopische Ausgleichsfeuchte, maximale Wasseraufnahme, kapillare Wasseraufnahme, Durchfeuchtungsgrad, Restsaugfähigkeit) nach ÖNORM B 3355-1.
  - Bestimmung der bauschädlichen Salze und des pH-Werts nach ÖNORM B 3355-1.
  - Darstellung der Analyseergebnisse (Feuchte- und Salzbelastung) in die Bestandspläne entsprechend der ÖNORM B 3355-1.

Der Durchfeuchtungsgrad gibt an, zu wie viel Prozent die zugänglichen Poren des Baustoffs mit Wasser gefüllt sind und errechnet sich aus dem Feuchtigkeitsgehalt und der maximalen Wasseraufnahme. Ein Mauerwerk gilt baupraktisch als trocken, wenn der Durchfeuchtungsgrad der Baustoffe in der Kernzone weniger als 20 % beträgt. Bei einem höheren Durchfeuchtungsgrad ist der Einbau einer nachträglichen horizontalen Abdichtung erforderlich und gegebenenfalls Maßnahmen zur Mauerwerksentfeuchtung durchzuführen. Wenn diese Maßnahmen nicht gesetzt werden, können Folgeschäden z.B. an neu aufgebrachten Putzen bzw. Schimmelbildungen nicht ausgeschlossen werden.
Aufbauend auf der Bauwerksdiagnose und den Messergebnissen ist die Sanierungsplanung abzustimmen und ein Sanierungskonzept zu erstellen.

3.2.1.2 Sanierungskonzept

Ein Sanierungskonzept hat zumindest folgende Punkte zu umfassen:

- Angabe der Bereiche, wo der Altputz entfernt werden muss
- Angaben zur mechanischen Reinigung der Mauerwerksoberflächen
- Angaben über Maßnahmen zur Schadsalzreduktion (wenn erforderlich)
- Angaben über die Anforderungen an den Neuverputz und/oder an die Beschichtung (Außenwand, Sockelbereich, Innenwände, Diffusionseigenschaften etc.)
- Angaben zur horizontalen Feuchtigkeitsabdichtung des Mauerwerks, Angaben zu den Verfahren gegen aufsteigende Feuchtigkeit (Auswahlkriterien)
- Angaben zur vertikalen Feuchtigkeitsabdichtung des Mauerwerks
- Angaben zur Flächenabdichtung des (Keller-)Fußbodens
- Angaben zur Mauerwerksentfeuchtung (z.B. mittels Heizstabtechnik)

- Angaben zu flankierenden Maßnahmen (Ableitung Oberflächenwässer, Raumlüftung, Wärmedämmung, bauphysikalische Hinweise, etc.)
- Angaben zum Bauablauf

Das Sanierungskonzept dient als Grundlage für die Sanierungsdetailplanung. In der Sanierungsdetailplanung ist das Planungsziel (zu erreichender Durchfeuchtungsgrad etc.) anzugeben. Das Erreichen des Planungsziels (Durchfeuchtungsgrad) ist durch Kontrollmessungen nachzuweisen.

3.2.1.3 Verfahren gegen aufsteigenden Feuchtigkeit im Mauerwerk

Die ÖNORM B 3355-2 „Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk - Teil 2: Verfahren gegen aufsteigende Feuchtigkeit im Mauerwerk“ unterscheidet folgende drei Verfahrensgruppen:

- mechanische Verfahren,
- Injektionsverfahren,
- aktive elektrophysikalische Verfahren.

Basierend auf Nachmessungen an 40 Objekten zeigten die mechanischen Verfahren entsprechend den in der ÖNORM definierten Kriterien einen Trockenlegungserfolg zwischen 75 und 81 %. Bei den Injektionsverfahren lag die Erfolgsquote zwischen 39 und 56 % und bei den aktiven elektrophysikalischen Verfahren zwischen 33 und 46 %. Die Auswahl des Verfahrens hat nach den objektspezifischen Gegebenheiten und Anforderungen zu erfolgen.

Mechanische Verfahren

Bei den mechanischen Verfahren wird nachträglich eine Sperrschichte gegen aufsteigende Feuchtigkeit eingebaut. Vertikale und flächige horizontale Abdichtungen können an die nachträglich eingebaute Sperrschichte (Abdichtung) relativ einfach angeschlossen werden. Bei einigen mechanischen Verfahren wird der gesamte Mauerquerschnitt durchtrennt, was Kraftumlagerungen und Verformungen zur Folge hat. Im Einzelfall sind die geplanten Maßnahmen und der Bauablauf von einem Statiker zu prüfen, insbesondere dann wenn im Auflagerbereich von Gewölben bzw. Gurtbögen Säge- bzw. Bohrlochfrässchlitzverfahren zur Anwendung kommen. Folgende Verfahren werden unterschieden:

- Maueraustauschverfahren
- Chromstahlblechverfahren
- Bohrkernverfahren
- Bohrlochfrässchlitzverfahren
- Sägeverfahren

Auf die Vor- und Nachteile einzelnen mechanischen Verfahren wird hier nicht näher eingegangen und auf die einschlägige Literatur verwiesen.

Injektionsverfahren

Bei den Injektionsverfahren werden in die Porenräume Injektionsmittel eingebracht und so der kapillare Wassertransport zu 80 bis 95 % unterbunden. Grundsätzlich wird zwischen drucklosen Injektionsverfahren und Verfahren unter Druck unterschieden, weiters zwischen porenverschließenden und hydrophobierenden Systemen. Bei allen Systemen sind die Anwendungsgrenzen genau zu beachten, vor allem in Hinblick auf

den Durchfeuchtungsgrad des Mauerwerks. Vielfach weist das Mauerwerk einen zu hohen Durchfeuchtungsgrad auf und das Mauerwerk muss zur Reduzierung des Feuchtigkeitsgehalts mittels Heizstabtechnik vorgetrocknet werden. Basierend auf neuesten Untersuchungen ist der Durchfeuchtungsgrad vor den Injektionsarbeiten auf mindestens 40 % (bei einigen Injektionsmitteln auf unter 20 %) durch geeignete technische Maßnahmen zu reduzieren, ansonsten sind die Injektionen nicht wirksam, auch wenn von Produktherstellern höhere Grenzwerte angegeben werden.
Der Bohrlochabstand darf 10 cm nicht überschreiten. Die Anordnung der Bohrlöcher hat übereinander in zwei Reihen zu erfolgen, wobei die Bohrlochreihen zueinander versetzt anzuordnen sind.
Zur Qualitätssicherung sind nach erfolgter Injektion entweder Bohrkerne bzw. Stemmproben zu entnehmen und im Labor zu untersuchen oder Messungen am Bauwerk selbst durchzuführen. Erforderlichenfalls sind Bereiche nachzuinjizieren. Durch die Bohrlöcher wird die Bauteilquerschnittsfläche um bis zu 20 % reduziert, dies ist besonders bei Mauerwerkspfeilern zu beachten, gegebenenfalls ist ein Statiker mit der Beurteilung der geplanten Maßnahmen zu beauftragen.
Folgende Verfahren werden unterschieden:

- Impuls-Sprüh-Verfahren
- Infusionsrohr-Verfahren
- Mehrstufeninjektion
- Paraffininjektion
- Injektion mittels Injektionsmittelvorratsbehälter

Aktive elektrophysikalische Verfahren

Bei den aktiven elektrophysikalischen Verfahren wird eine Gleichspannung über kontaktierende Elektroden an das Mauerwerk angelegt, dadurch wird ein Transportmechanismus zur Absenkung der als Elektrolyt wirkenden Feuchtigkeit im Mauerwerk in Gang gesetzt. Zur Wirkungsweise aktiver elektrophysikalischer Verfahren gibt es in der Literatur widersprüchliche, d.h. positive wie negative, Angaben. Kommen elektrophysikalische Verfahren zur Anwendung, sind wie bei allen anderen Verfahren auch die Anwen-dungsgrenzen zu beachten. Metallische Einbauteile im Mauerwerk wie Gassteigleitungen, Eisen- oder Stahlträger, Metalltürzargen etc. sind jedenfalls elektrisch zu isolieren.
Die angeführten Verfahrensgruppen bzw. Verfahren sind Verfahren gegen kapillar aufsteigende Feuchtigkeit, d.h. der kapillare Transport von Wasser (Feuchtigkeit) wird unterbrochen, das „trockengelegte“ Mauerwerk bleibt so feucht wie vorher, nur der weitere Feuchtigkeitstransport wird unterbrochen. Zum Austrocknen des Mauerwerks (Mauerwerksentfeuchtung) bedarf es Zeit (bei massiven Mauern zwei bis drei Jahre) oder der Zufuhr von Energie.

3.2.1.4 Mauerwerksentfeuchtung

Um eine möglichst baldige Putzaufbringung bei trockengelegtem Mauerwerk zu ermöglichen, ist es erforderlich, nach der nachträglichen Herstellung einer Horizontalabdichtung das Mauerwerk zu entfeuchten. Ziel der Maßnahme ist es, den Durchfeuchtungsgrad in der Kernzone des Mauerwerks auf unter 20 % zu senken. Die Erwärmung des Mauerwerks von außen durch Heißluftanblasung kann zu Schäden im Mauer-

werk durch Temperaturspannungen infolge reiner oberflächennaher Erwärmung führen. Die Erwärmung des Mauerwerks von innen kann durch folgende Verfahren durchgeführt werden:

- Heizstabtechnik
- Heizstabtechnik in Kombination mit konditionierter Druckluft
- Heizstabtechnik in Kombination mit Druckluft
- Mikrowellentechnik

3.2.1.5 Sanierungsdetailplanung und Ausführung

Nach der Auswahl des geeigneten Verfahrens zur Mauerwerkstrockenlegung kann die Sanierungsdetailplanung erfolgen, darauf aufbauend die Massenermittlung und die Ausschreibung der geplanten Maßnahmen. Die Mauerwerkstrockenlegung sollte eine der ersten Maßnahmen nach Baubeginn sein, insbesondere sollte der Putz im Keller- und im Sockelbereich frühzeitig abgeschlagen werden, um die natürliche Austrocknung zu beschleunigen. Die Zeitdauer der Wandaustrocknung ist abhängig von der Wandstärke, der Wandoberfläche, den klimatischen Bedingungen und dem Feuchtigkeitsgehalt und beträgt einige Monate bis zu fünf Jahre. Zur Beschleunigung der Entfeuchtung können Heizstäbe oder die Mikrowellen-technik eingesetzt werden. Das Aufbringen des Keller- bzw. Sockelputzes sollte im Bauablauf eine der letzten durchzuführenden Maßnahmen sein.
Die begleitende Kontrolle und die Nachmessung der Feuchtigkeitskennwerte, die über die Wirksamkeit (Reduzierung des Feuchtigkeitsgehalts im Mauerwerk) der durchgeführten Maßnahmen Auskunft geben, sollten durch eine von der ausführenden Firma unabhängige Person bzw. Institut oder Prüfanstalt erfolgen.

3.2.1.6 Putze

Auf trockengelegtem Mauerwerk neu aufgebrachte Putze sollten diffusionsoffen sein, sodass eventuell noch, nach dem Austrocknen, vorhandene Mauerfeuchtigkeit ausdiffundieren kann. Folgende Systeme werden unterschieden:

- Sanierputze nach ÖNORM B 3345
- Sanierputze nach WTA-Merkblatt
- Feuchtmauerputze

Zwischen Sanierputzen nach ÖNORM B 3345 bzw. nach WTA-Merkblatt (WTA - Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege, München, http://www.wta.de) bestehen nur graduelle Unterschiede. Diese Putze müssen bestimmte, genau definierte Kriterien erfüllen, um die Bezeichnung geprüft nach ÖNORM bzw. WTA führen zu dürfen.

Feuchtmauerputze sind noch nicht genormt d.h. es existieren noch keine einheitlichen Richtlinien, nach denen Feuchtmauerputze geprüft bzw. eingeteilt werden. Bei Anwendung dieser Putze ist die Eignung zu prüfen und die Herstellerrichtlinien zu beachten.

Als Farbanstrich sind wasserdampfdurchlässige Mineralfarben zu verwenden, z.B. Kalkfarben, Silikatfarben, Silikonharzfarben. Sperrende Anstriche und/oder Tapeten, Dispersionsanstriche, Fliesen, Wandverkleidungen etc. sind nicht geeignet.

3.2.1.7 Hinweise

Insbesondere auf die sorgfältige Ausarbeitung der Anschlussdetails ist bei der Detailplanung zu achten. Im Rahmen der örtlichen Bauaufsicht ist dann auf die korrekte Umsetzung Wert zu legen. Später auftretende Schäden bei Mauerwerkstrockenlegungsmaßnahmen sind vielfach auf mangelhafte Ausführung von Anschlüssen zurückzuführen, z.B. bei den Anschlüssen der Flächenabdichtung an die nachträgliche horizontale Abdichtung der Wände, Flankenübertragungen bei Anschlüssen von Innenwänden etc.

Die häufigsten Mängel bei mechanischen Verfahren [Balak 2008]:

- Eingebaute Horizontalabdichtungen werden durch den Baufortschritt wieder beschädigt.
- Anbindungen an weiterführende Abdichtungen werden nicht ordnungsgemäß hergestellt.
- Einstufige Verfahren erwiesen sich im Bereich von Gebäudeecken und bei Wandanschlüssen als problematisch.
- Wesentliche Anforderungen an die Schnittfugen, die Qualität der Materialien, den Abdichtungsübergriff, die Kraftschlüssigkeit, die Anbindung an Durchdringungen und Rohrdurchführungen werden nicht eingehalten.

Die häufigsten Mängel bei Injektionsverfahren [Balak 2008]:

- Die Anwendungsgrenzen werden vielfach nicht beachtet.
- Der Durchfeuchtungsgrad wird meist nicht im Vorhinein ermittelt.
- Durch das Nachlassen der Wirkung des Injektionsmittels kann eine Wiederbefeuchtung eintreten.
- Die Injektionsmittel weisen oft nur eine bremsende Wirkung auf, die für eine Erfüllung der Wirksamkeitskriterien zu gering ist.
- Durch unsachgemäße Einbringung („Do-it-yourself“-Verfahren) konnte die erforderliche Wirkung nicht erreicht werden.

3.2.2 Drainage: Immer ein Vorteil?

Drainagen dienen zur Entwässerung des an ein Gebäude angrenzenden Bodens, insbesondere bei Hanglagen, und sind als Ringleitungen um ein Gebäude auszuführen. Folgende Voraussetzungen müssen gegeben sein, damit Drainagen ihre ihnen zugedachte Funktion, des Schutzes des Gebäudes vor Wasserandrang, erfüllen:

1. Die Drainagerohre sind von einem Hochpunkt in einem definierten Gefälle von min. 1 % zum Tiefpunkt (= Ableitung zum Vorfluter bzw. Sickerschacht) zu verlegen. Flexschläuche sind dafür ungeeignet, da diese nicht mit einem kontinuierlichen Gefälle verlegt und so Vertiefungen nicht ausgeschlossen werden können, in welchen das Wasser stehen bleibt.
2. Kontroll-, Reinigungs- und Spülschächte sind jedenfalls auszuführen. Je nach angrenzender Bodenart lagern sich mit der Zeit Feinteile des Bodens in den Drainagerohren ab, sodass die Drainage in gewissen zeitlichen Abständen auf ihre Funktionstüchtigkeit hin überprüft werden muss. Erforderlichenfalls ist die Drainage zu spülen, um die Feinteile zu entfernen. Geschieht dies nicht, wird die Drainage mit der

Zeit vollständig verlegt und verliert ihre Funktion. Werden keine Kontroll- und Spülschächte ausgeführt, ist es sinnvoller, auf das Verlegen einer Drainage zu verzichten.

3. Das gesammelte Wasser ist entweder in einen Vorfluter bzw. Kanal zu leiten oder in einem Sickerschacht zu versickern. Der Sickerschacht ist ausreichend zu dimensionieren (Schneeschmelze) bzw. die Versickerungsfähigkeit des Bodens ist zu berechnen. Hat der Boden keine ausreichende Versickerungsfähigkeit, so ist ebenfalls auf die Ausführung einer Drainage zu verzichten. Ebenso auf die Ausführung einer Drainage ist zu verzichten, wenn nicht sicher vermieden werden kann, dass Wasser durch die Drainage zum Gebäude zurückgeleitet werden kann. Läuft z.B. der Straßenkanal bei Starkregen über bzw. wird verstopft, kann Wasser über den Kanal und die Drainage zurückgeleitet werden, wenn eine Rückstauklappe fehlt.

Der Tiefpunkt der Ringleitung sollte nicht unterhalb der Fundamentunterkante des Streifenfundaments bzw. der Bodenplatte liegen, der Hochpunkt nicht über der Oberkante des Fundaments. Das Drainagerohr wird in einem Drainagekörper (Kieskoffer) verlegt, der vom umgebenden Boden durch ein Filtervlies getrennt wird. Das Filtervlies soll das Einschlämmen von Bodenfeinteilen in den Kieskoffer verhindern. Über die Jahre und Jahrzehnte werden jedoch trotz des Filtervlieses Feinteile in den Kieskoffer und die Drainagerohre eingeschwemmt, sodass eine regelmäßige Wartung (Spülung) der Drainage unumgänglich ist. Das Wasser aus dem Boden bzw. dem Kieskoffer wird durch die Drainagerohre nur bis zur Unterkante des Rohrs abgeleitet, unterhalb des Rohres bleibt Wasser im Kieskoffer stehen, sodass es in diesem Bereich zur Feuchtigkeitsanreicherung bzw. einer Befeuchtung der Fundamente kommt.

Bei bindigen Böden (Lehm, Tone, Schluffe) ist die Ausführung einer Drainage sehr sorgfältig zu überlegen. Bindige Böden nehmen Wasser sehr langsam auf und geben es wieder sehr langsam ab, speichern Wasser also über einen langen Zeitraum. Das in Tonen und Schluffen gespeicherte Wasser stellt im Allgemeinen keine Gefährdung von Gebäuden mit einer technisch richtig ausgeführten Feuchtigkeitsabdichtung dar, daher ist auch keine Drainagierung erforderlich. Auf eine sichere Ableitung von Oberflächen- bzw. Regenwasser weg vom Gebäude ist jedenfalls zu achten. Wird doch eine Drainage ausgeführt, so kann sich der umgekehrte Effekt einstellen, dass sich im Kieskoffer mehr Wasser sammelt, als es ohne Drainage der Fall wäre, und somit das Gebäude „bewässert“ statt entwässert wird.

3.3 Zu Kellerklima und erdberührten Böden ohne Feuchteabdichtung: Grundlegende Zusammenhänge

3.3.1 Keller Modellbeschreibung

Das Ausgangsmodell der in den folgenden Abschnitten dargestellten Berechnungen ist ein zweidimensionaler Schnitt durch den Keller und das Erdgeschoß eines typischen Gründerzeithauses. Die Simulationsmodelle zur Fensterlüftung sind in der Symmetrieebene der Mittelmauer abgeschnitten und an der Außenseite mit 2 m, an der Unterseite mit 0,5 m Erdreich umgeben. Das Modell weist eine Kellerraumhöhe von 2,60 m, eine Trakttiefe von 4,90 m und eine Abschnittstiefe von 4,00 m auf.
Für die weiteren Simulationen werden vereinfachte Modelle herangezogen, die einen halben Keller darstellen und somit nur die Außenwand sowie einen zwei Meter langen Deckenabschnitt mit adiabatischem Abschluss in der halben Raumtiefe des Kellers aufweisen. Dieses Modell entspricht nicht dem typischen Grün-

derzeitkeller mit zwei Trakten, sondern einem einfachen Keller mit nur einem Gebäudetrakt. Bei den Simulationen mit Luftwechsel wurde dies mit einer Verringerung des Luftvolumens berücksichtigt.

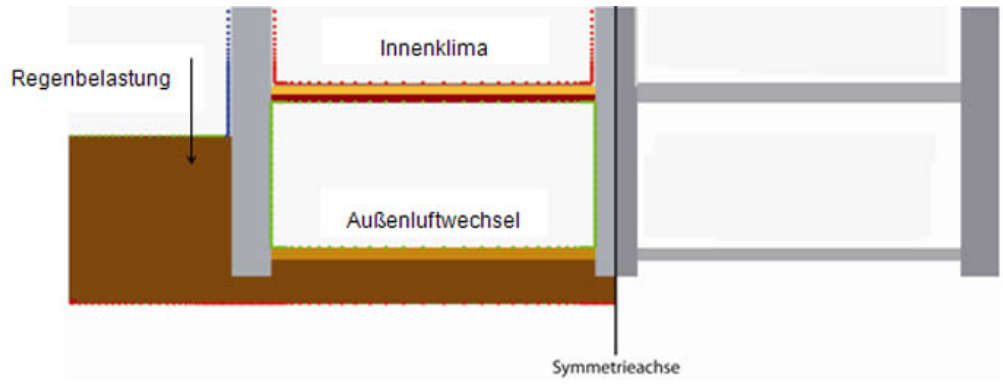


Abb. 3: Simulationsmodell der natürlichen Kellerdurchlüftung

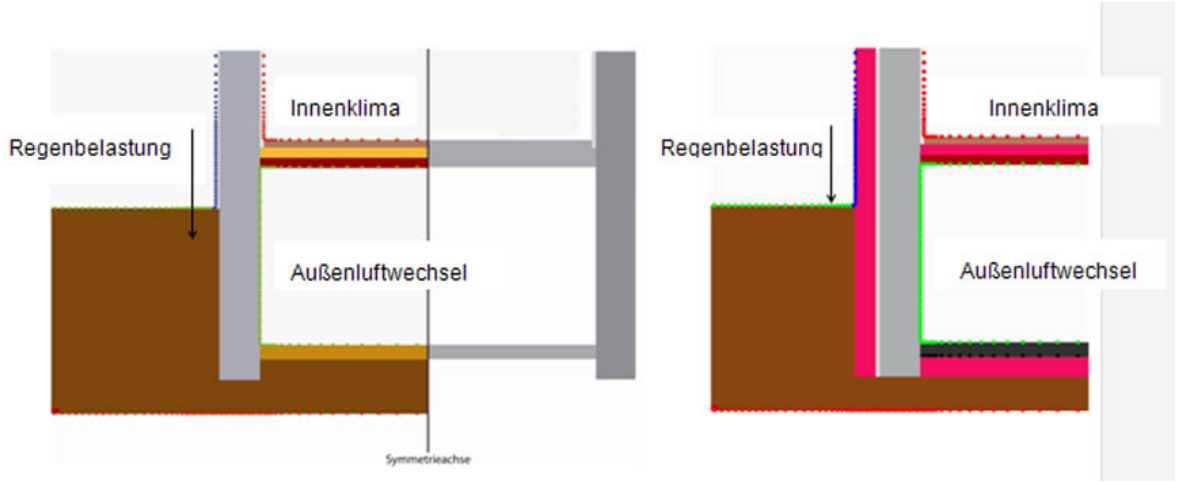


Abb. 4: Simulationsmodelle mit mechanischem Luftwechsel und Varianten der thermischen Sanierung

Für die Varianten der Außendämmung wird, wie in

Abb. 4 dargestellt, im Bestandsmodell eine 30 cm dicke Dämmschicht ergänzt. Die Dämmung der Geschoßdecke erfolgt durch Austausch der Beschüttung mit EPS. Ebenso wird für die Bodendämmung die Stampflehmschicht durch Stahlbeton und der darunter liegende Lehmboden durch XPS ersetzt. Die Randbedingungen und Materialparameter werden gemäß Anhang angesetzt.

3.3.1.1 Bestand mit angenommener natürlicher Kellerdurchlüftung

Modellbildung der Bestandssituation

Um eine realitätsgetreuere Abbildung der Bestandssituation zu erhalten, wird angenommen, dass der Keller durch eine Fensteröffnung kontinuierlich belüftet wird. Dies ist einerseits bei beabsichtigten Belüftungsöffnungen der Fall, andererseits bei undichten bzw. kaputten oder schlecht schließenden Kellerfenstern. In

Abb. 5 sind zwei typische Kellerfenster dargestellt, wie sie bei Gründerzeithäusern oft vorkommen. Die Fenster sind direkt über dem Gehsteigniveau angeordnet und dienen häufig als Zierelemente im Sockelbereich der Fassade. Der rein thermische Luftwechsel ist bei solchen Fenstern aufgrund der Öffnungsgeometrie nur schwer nachzurechnen. Es wird daher eine Vereinfachung auf rechteckige Lüftungsöffnungen vorgenommen.



Abb. 5: Ausführungsvarianten von Lüftungsöffnungen

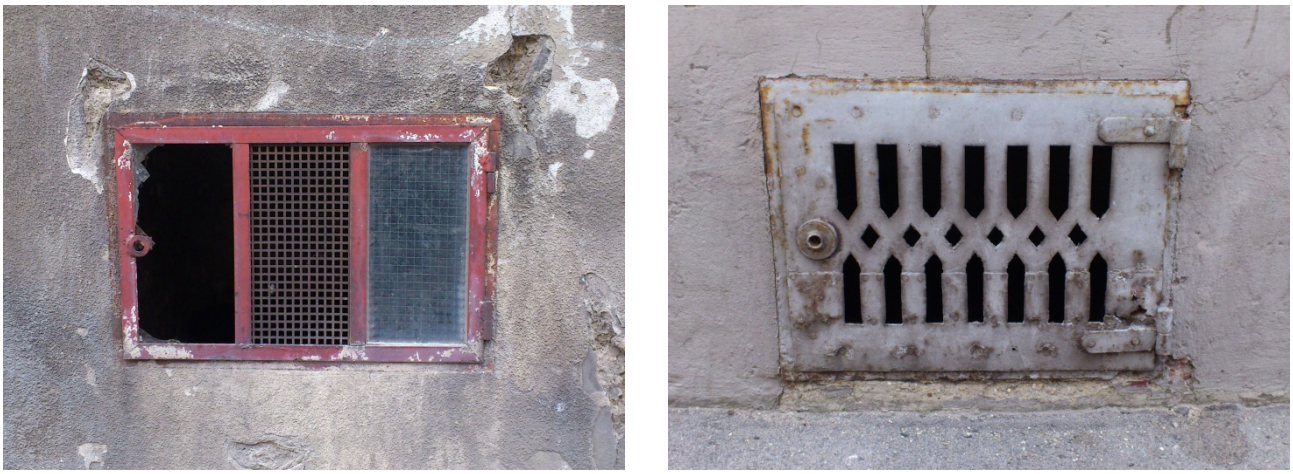


Abb. 6: Rechteckige Lüftungsöffnungen in verschiedenen Größen

In Abb. 6 sind verschiedene rechteckige Lüftungsöffnungen dargestellt. Derartige Öffnungen werden als Grundlage für die Berechnungen herangezogen, wobei die Öffnungsfläche und somit der Volumenstrom variiert werden.

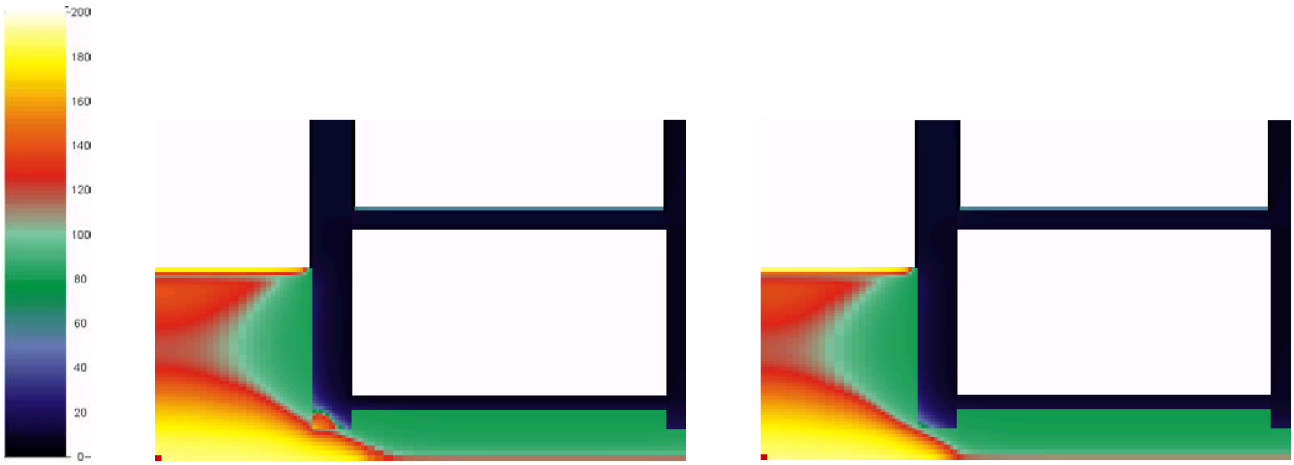
In den Simulationen mit Fensterlüftung beruht die Annahme darauf, dass sich infolge thermischer Druckunterschiede zwischen Außenbereich und Kellerraum ein Luftwechsel durch eine vordefinierte Öffnung ausbildet. Es wird eine effektive Öffnungsfläche A sowie eine thermisch relevante Höhe z definiert. Die Höhe gibt den vertikalen Abstand zwischen zwei Öffnungen an, wobei die untere als Einström- und die obere als Ausströmöffnung bezeichnet wird. Für alle folgenden Simulationen wird eine konstante Höhe z mit 0,5 m angenommen. Die effektive Fläche, durch die ein Luftaustausch stattfindet, ist die Summe der beiden Teilflächen. Es werden Öffnungen von 1 cm² bis 10 dm² behandelt. Aufgrund von Ein- und Ausströmöffnung ergeben

sich effektive Öffnungsflächen von 0,2 m², 0,02 m², 0,002 m² und 0,0002 m². Druckunterschiede zwischen Kellerraum und Außenluft infolge Windbelastung werden nicht berücksichtigt.
Ein weiterer Parameter, der in die Simulation der natürlichen Fensterlüftung einfließt, ist das belüftete Raumvolumen. Dieses ergibt sich aus der Modellgröße zu einem belüfteten Gesamtvolumen von 50,96 m³.
Zur Beschreibung des Bestands werden zwei Fälle unterschieden: zum einen ein Bestandsmauerwerk mit geringer Feuchtebelastung, zum anderen ein Mauerwerk mit erhöhter Feuchtebelastung.
In den weiteren Kapiteln werden die maßgeblichen Sanierungsfälle für die jeweiligen Kellersituationen unterschieden und anhand des Wassergehalts oder der relativen Luftfeuchte in der Konstruktion bzw. an Bauteiloberflächen erläutert. Zur genaueren Darstellung der Einflüsse aus der jahreszeitlichen Klimaschwankung werden Jahresganglinien der maßgeblichen Größen angegeben.

Geringe Durchfeuchtung des Bestandsmauerwerks

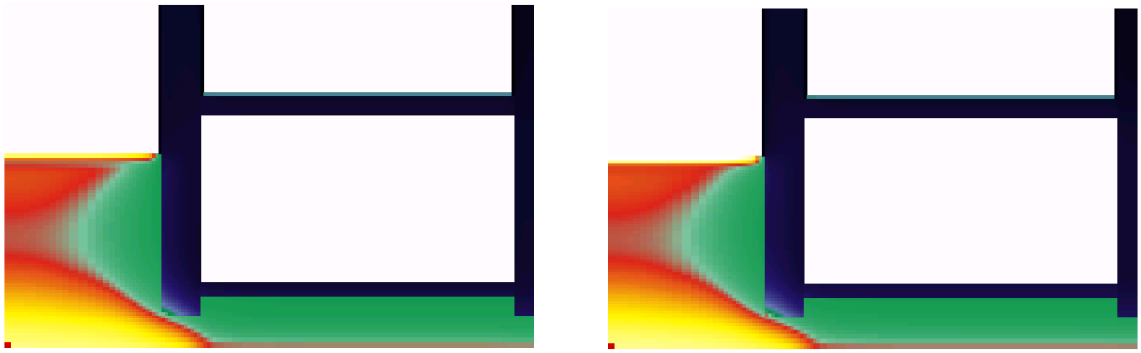
Als erste Ausgangssituation wird ein trockener Lehmboden durch eine in 0,5 m Tiefe unter der Fundamentsohle anliegende Saugspannung definiert. Diese beträgt 10^5 Pascal und hält den Fundamentbereich in einem annähernd trockenen Zustand mit einem Wassergehalt von maximal 100 kg/m³. Aufgrund der Eigenschaften des Mauerwerks hinsichtlich Flüssigkeitsleitung und Diffusion sowie des vorhandenen Temperaturfeldes überwiegt bei der vorliegenden Durchfeuchtung des Mauerwerks der Diffusionsstrom vom Keller in den Boden. Diese Tatsache wird anhand der folgenden Abbildungen veranschaulicht, die den Wassergehalt sowie die relative Luftfeuchte und das Temperaturfeld im Winter (1. Jänner) darstellen. Das Temperaturfeld im Mauerwerk bzw. im Boden wird durch einen rein thermisch bedingten Luftwechsel anhand unterschiedlicher Fensteröffnungsgrößen variiert.

Wassergehalt in kg/m³



Fensteröffnungsgröße 0,2 m²

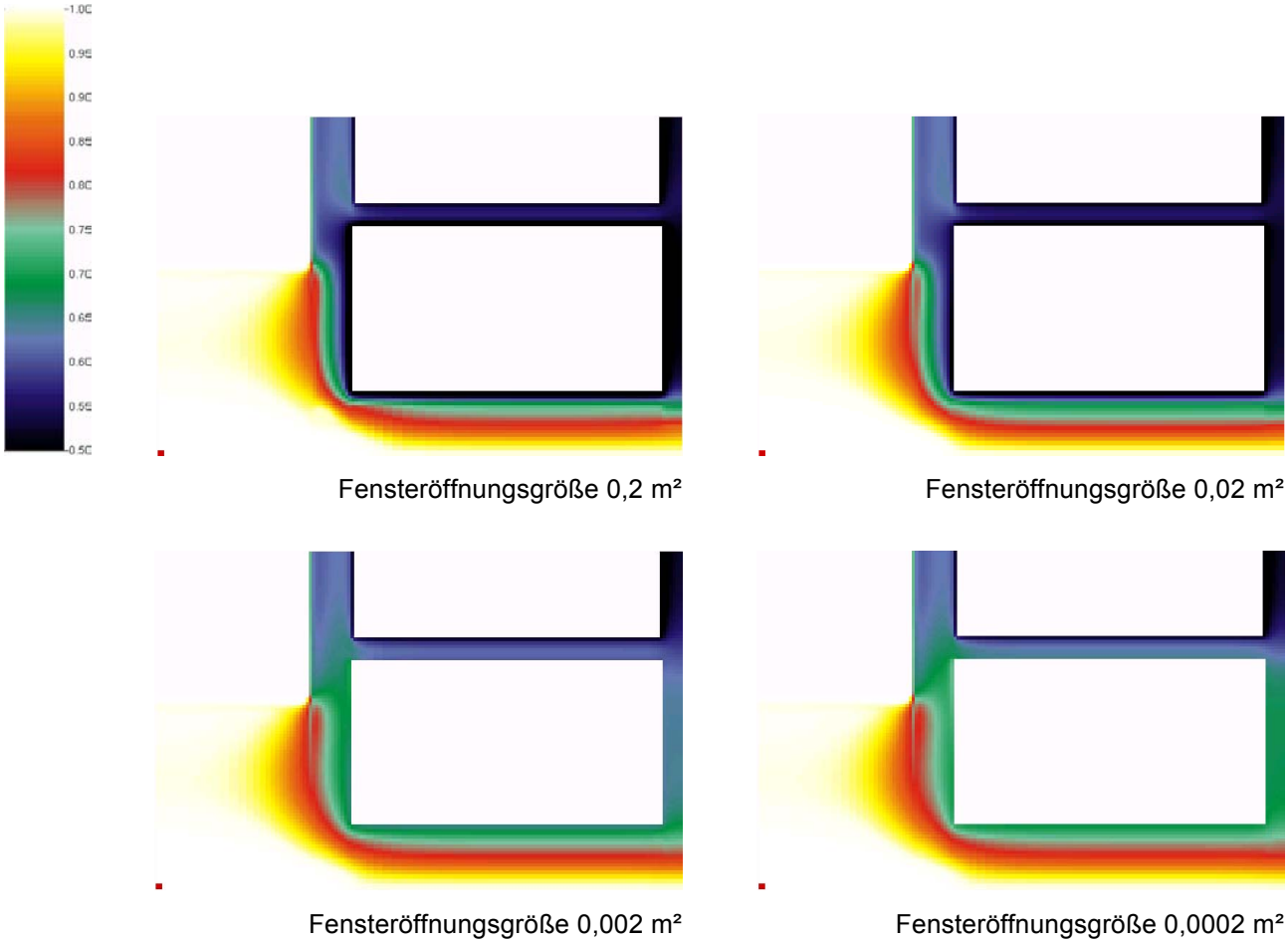
Fensteröffnungsgröße 0,02 m²



Fensteröffnungsgröße 0,002 m² Fensteröffnungsgröße 0,0002 m²

Abb. 7: Wassergehalt bei geringer Durchfeuchtung und unterschiedlicher Kellerbelüftung am 1.1.

Relative Luftfeuchte dimensionslos



Fensteröffnungsgröße 0,2 m² Fensteröffnungsgröße 0,02 m²

Fensteröffnungsgröße 0,002 m² Fensteröffnungsgröße 0,0002 m²

Abb. 8: Relative Luftfeuchte bei geringer Durchfeuchtung und unterschiedlicher Kellerbelüftung am 1.1.

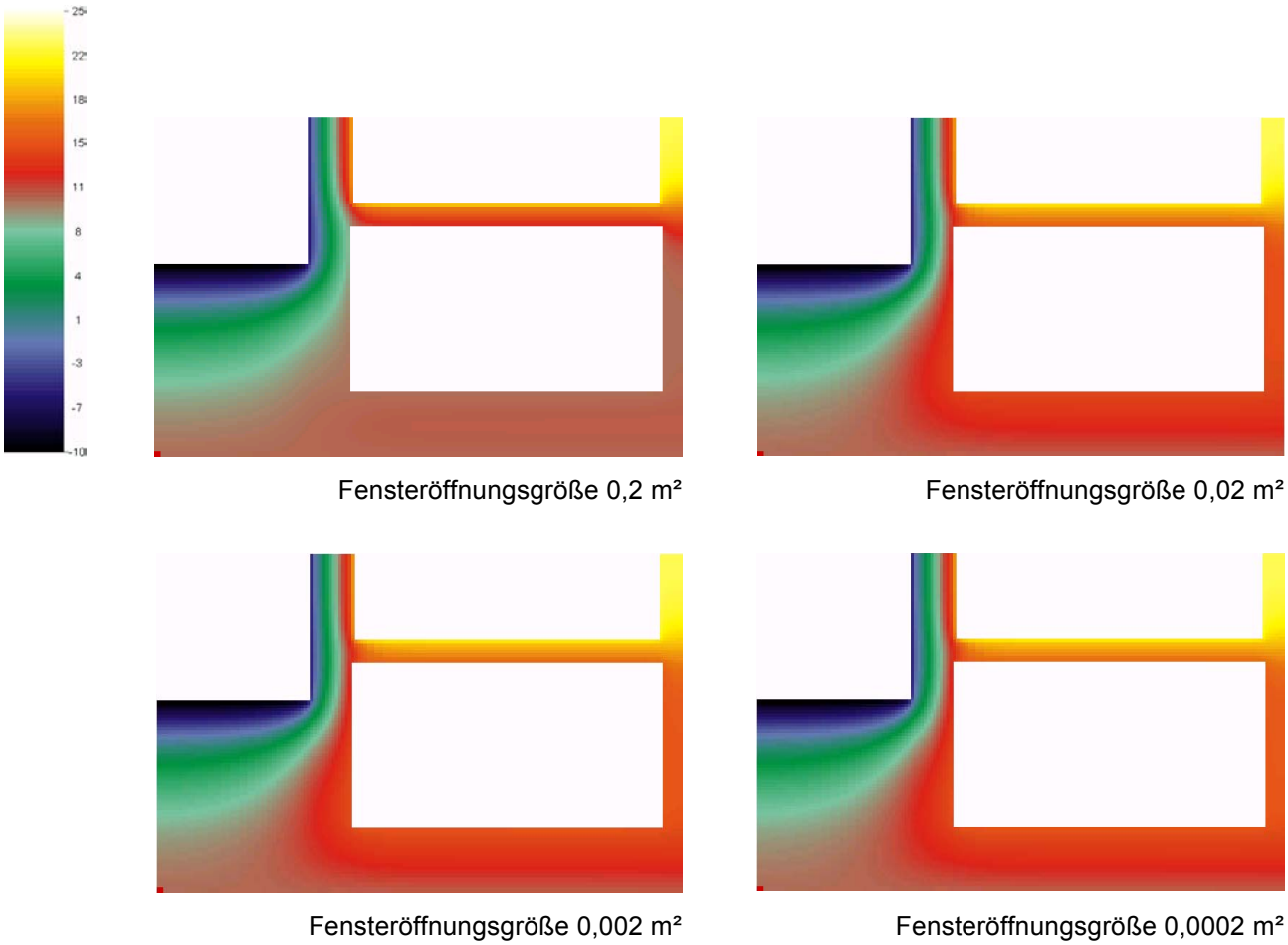


Abb. 9: Temperatur bei geringer Durchfeuchtung und unterschiedlicher Kellerbelüftung 1.1.

Die Gegenüberstellung der Varianten zeigt, dass der stärker belüftete Keller im Winter auskühlt, der Temperaturgradient zwischen Kellerraumluft und Boden flacher wird und somit die Flüssigkeitsleitung im Mauerwerk angeregt wird. Bei geringerer Belüftung des Kellers wird die Raumluft hingegen wärmer und das sich einstellende Temperaturfeld treibt die Feuchtigkeit durch Diffusion in den umgebenden Boden. In diesem Fall wirkt die Diffusion in entgegengesetzter Richtung zum Flüssigwassertransport. Dies wird durch die Verteilungen des Feuchtegehalts bestätigt, da sich der Feuchtehorizont parallel zum Temperaturfeld ausbildet. Daher bleibt das Erdreich unter dem Kellerboden vergleichsweise trocken. Ein vermehrtes Auskühlen des Kellers infolge Dämmmaßnahmen an der Geschoßdecke kann zu einem Ansteigen der Feuchtebelastung des Mauerwerks führen. Diese Problemstellung wird in Kapitel 3.3.6.1 dieses Abschnitts genauer erörtert. Anhand der Auswertung der relativen Luftfeuchte der Kellerraumluft wird deutlich, dass bei zunehmender Belüftung des Kellers unter Berücksichtigung der vorliegenden Randbedingungen eine Austrocknung des Mauerwerks in oberflächennahen Schichten erfolgt. Die Feuchteverteilungen zeigen auch, dass das Risiko für Schimmelpilzbildung aufgrund der niedrigen relativen Luftfeuchte gering bleibt.
Da die Abbildungen nur den temporären Zustand am 1.1. darstellen, werden im Folgenden die Jahresverläufe von Temperatur und relativer Luftfeuchte aller vier Varianten angegeben. Dabei zeigt sich, dass bei sehr kleinen Öffnungen auch nur ein sehr geringer Luftwechsel auftritt, da die Kellerluft über das gesamte

Jahr annähernd gleich feucht bleibt. Bei großen Luftwechselraten ist hingegen eine Angleichung des Kellerklimas an das Außenklima (siehe Anhang) zu erkennen. Das folgende Diagramm zeigt die Verteilungen der relativen Luftfeuchte (durchgezogene Linien) und der Temperatur (strichlierte Linien) in der Kellerraumluft in Abhängigkeit vom Luftwechsel durch eine definierte Lüftungsöffnung.

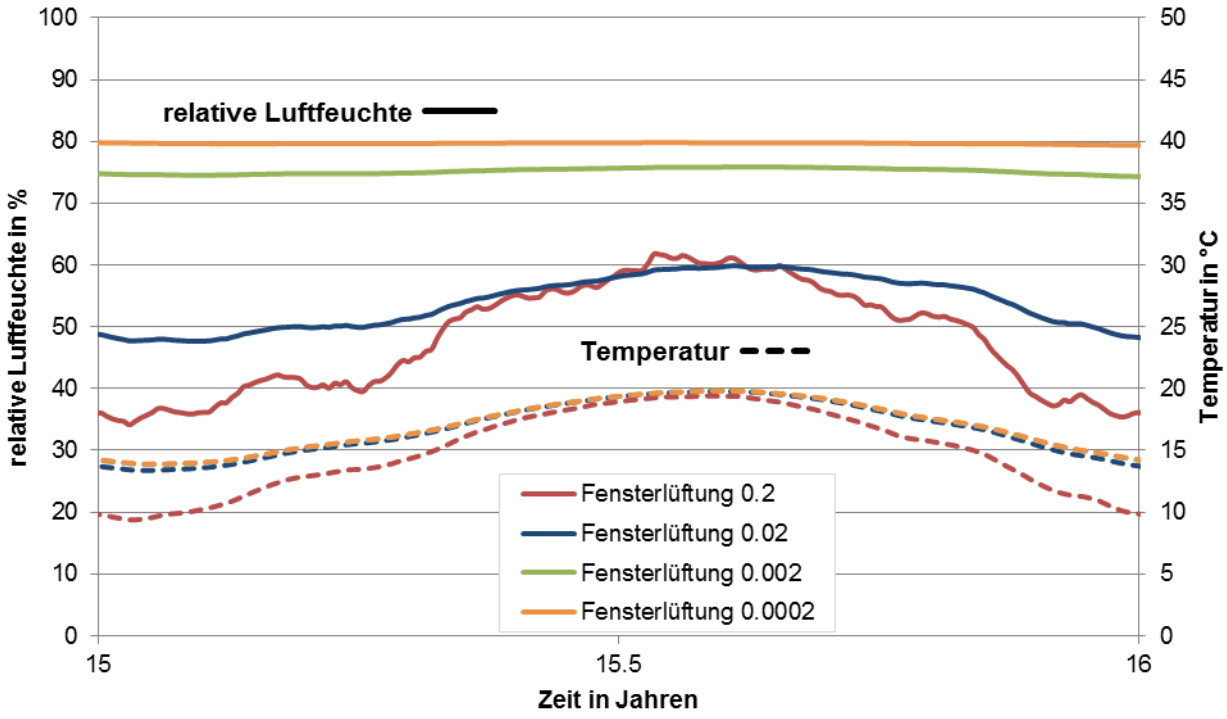


Abb. 10: Jahresverlauf von Temperatur und relativer Luftfeuchte bei geringer Durchfeuchtung und unterschiedlicher Kellerbelüftung

Erhöhte Durchfeuchtung des Bestandsmauerwerks

Als zweite Ausgangssituation wird ein nasser Lehmboden durch eine in 0,5 m Tiefe unter der Fundamentsohle anliegende Saugspannung definiert. Diese beträgt $5*10^4$ Pascal und verursacht im Fundamentbereich eine Materialfeuchte von bis zu 200 kg/m³. Die Klimarandbedingungen werden gemäß Abschnitt A 2.3.3.4 definiert, wobei sich das Kellerklima in Abhängigkeit von der Luftwechselrate und vom Außenklima einstellt. Bei erhöhter Durchfeuchtung des umgebenden Bodens ist die Wasseraufnahme des Mauerwerks deutlich zu erkennen. In den vorliegenden Fällen überwiegt die Flüssigkeitsleitung gegenüber der Diffusion. Im Unterschied zu den Varianten mit geringer Bodendurchfeuchtung bildet sich bei diesen Modellen ein ausgeprägter Feuchtehorizont aus. Anhand des Wassergehalts im Mauerwerk lässt sich der Einfluss der Kellerlüftung erkennen. Bei starker Kellerdurchlüftung wird ausreichend Feuchtigkeit aus der Raumluft abtransportiert, sodass die Wandfläche austrocknen und sich dadurch ein niedriger Kapillarhorizont im Mauerwerk einstellen kann.

Eine geringe Kellerbelüftung führt in Kombination mit einer erhöhten Durchfeuchtung des Mauerwerks zu einem starken Ansteigen des Feuchtehorizonts in den Wandkonstruktionen. Wenn der Luftwechsel zu gering ist, können die durchfeuchteten Wandflächen nicht in die Kellerluft abtrocknen. Dies ist an der Darstellung der relativen Luftfeuchten ersichtlich. Während bei größeren Fensteröffnungen, die einen höheren Luftwechsel induzieren, die Wandflächen gut abtrocknen können, bleibt die relative Luftfeuchte bei geringer Kel-

lerlüftung auch in oberflächennahen Schichten des Mauerwerks bei 100 %. Anhand der Darstellung der relativen Luftfeuchten kann abgeschätzt werden, wie groß das Schimmelpilzrisiko in Abhängigkeit vom Luftwechsel ist.

Die folgenden Abbildungen zeigen den Wassergehalt, die relative Luftfeuchte und die Temperatur in Abhängigkeit von der thermisch bedingten Kellerdurchlüftung infolge einer bestimmten Öffnungsgröße.

Wassergehalt in kg/m³

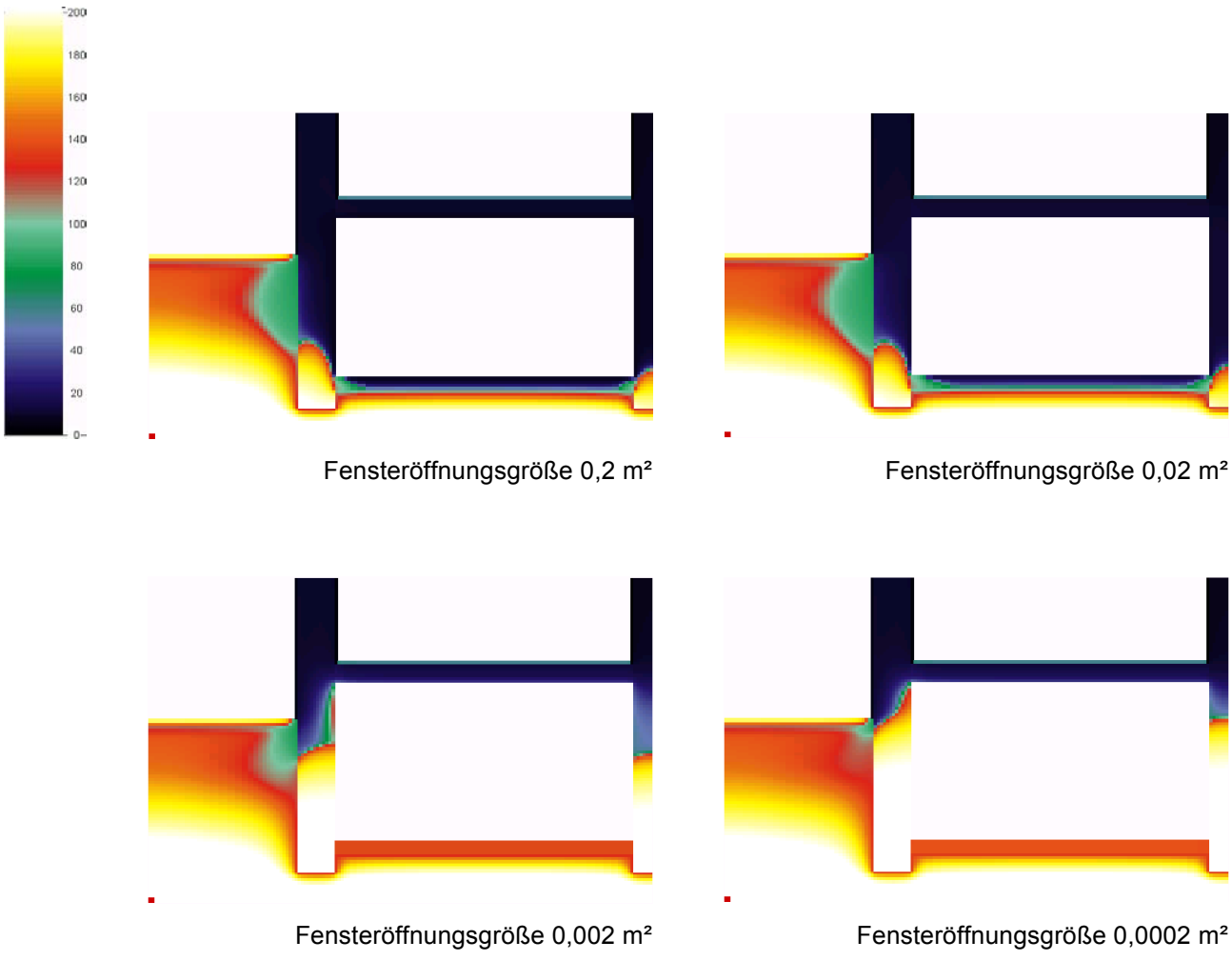


Abb. 11: Wassergehalt bei erhöhter Durchfeuchtung und unterschiedlicher Kellerbelüftung am 1.1.

Relative Luftfeuchte dimensionslos

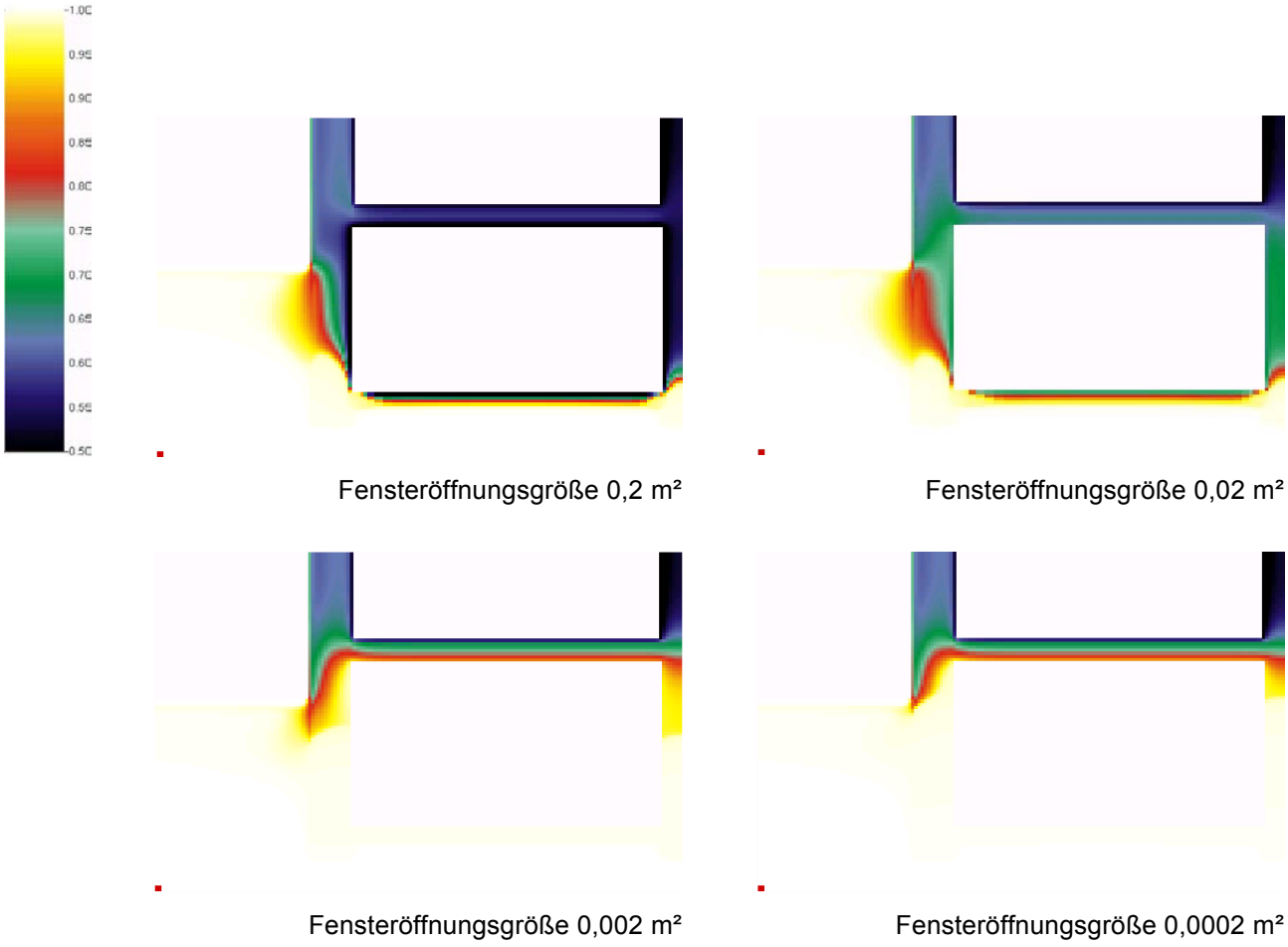


Abb. 12: Relative Luftfeuchte bei erhöhter Durchfeuchtung und unterschiedlicher Kellerbelüftung am 1.1.

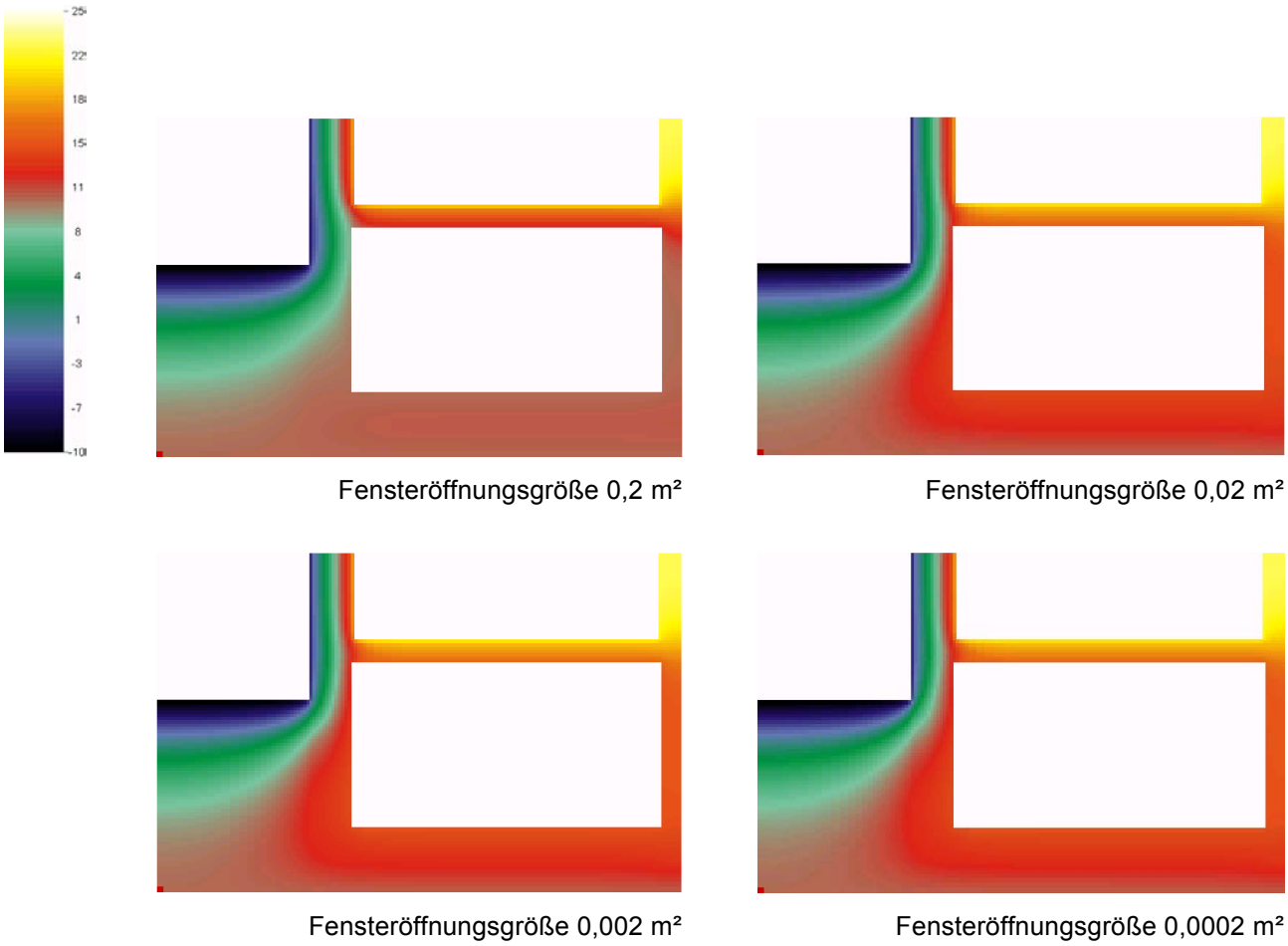


Abb. 13: Temperatur bei erhöhter Durchfeuchtung und unterschiedlicher Kellerbelüftung am 1.1.

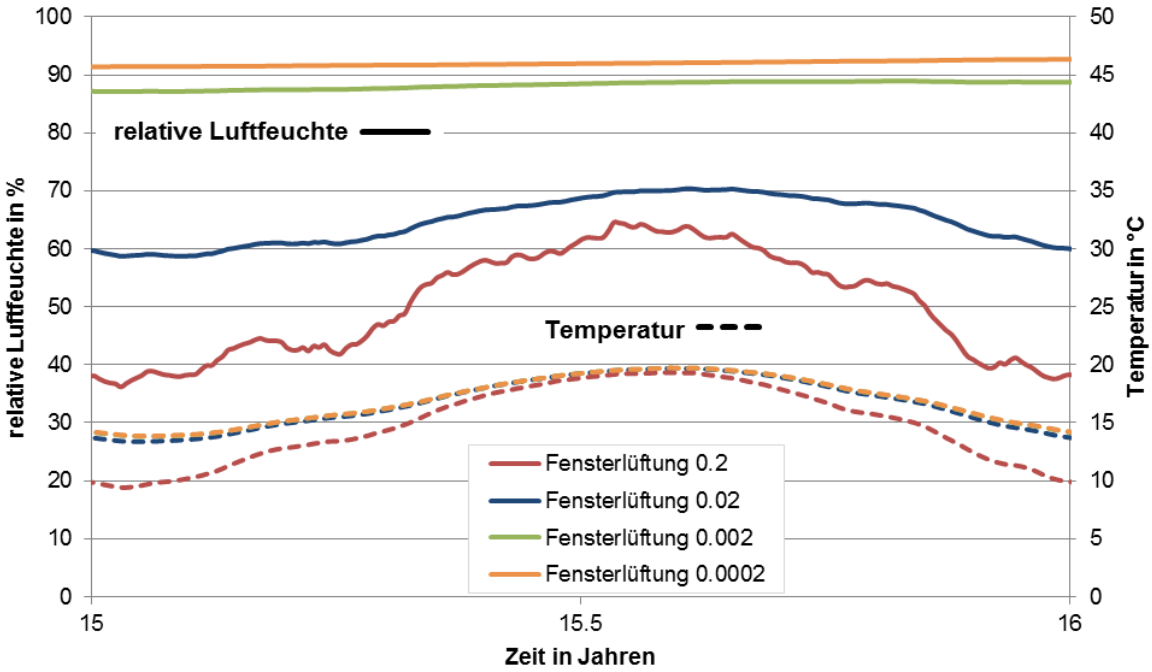


Abb. 14: Jahresverlauf von Temperatur und relativer Luftfeuchte bei erhöhter Durchfeuchtung und unterschiedlicher Kellerbelüftung

Die Jahresverläufe der relativen Luftfeuchte der Kellerraumluft liefern bei einem geringen Luftwechsel annähernd konstante Werte jenseits von 85 %. Gleichzeitig bleibt das Temperaturniveau im Keller hoch. Diese für einen Gründerzeitkeller typische Kombination begünstigt das Schimmelpilzwachstum und kann zu einem Pilzbefall von Möbel- oder Bauteiloberflächen führen.

Zusammenfassung der Ergebnisse der natürlichen Kellerbelüftung

Die Ergebnisse zeigen, dass eine ausreichende Belüftung eines Kellerraumes im Winter zu einer Entfeuchtung des Mauerwerks und zu einer Absenkung der Raumluftfeuchte führen kann. Dies ist vor allem dann zu beachten, wenn ein Gebäude, insbesondere ein Keller, thermisch saniert werden soll. Der Durchfeuchtungsgrad des Mauerwerks hat einen wesentlichen Einfluss auf das Kellerklima. Aufgrund des Zusammenhangs von Kellertemperatur sowie relativer Luftfeuchte und Luftwechsel kann das Schimmelpilzrisiko an Oberflächen durch ein gezieltes Lüftungsverhalten beeinflusst werden. Vor allem bei trockenen Kellern kann es im Sommer zu einer Befeuchtung der Kellerraumluft kommen. Liegt der Feuchtegehalt der Außenluft über jenem der Kellerluft, besteht bei einer starken Durchlüftung und einem hohen Feuchteeintrag die Gefahr von lokaler Kondensatbildung. Dies wird in der folgenden Abb. 15 verdeutlicht, da hier im Sommer der Feuchtegehalt der Außenluft geringfügig über jenem eines gut durchlüfteten Kellers liegt.

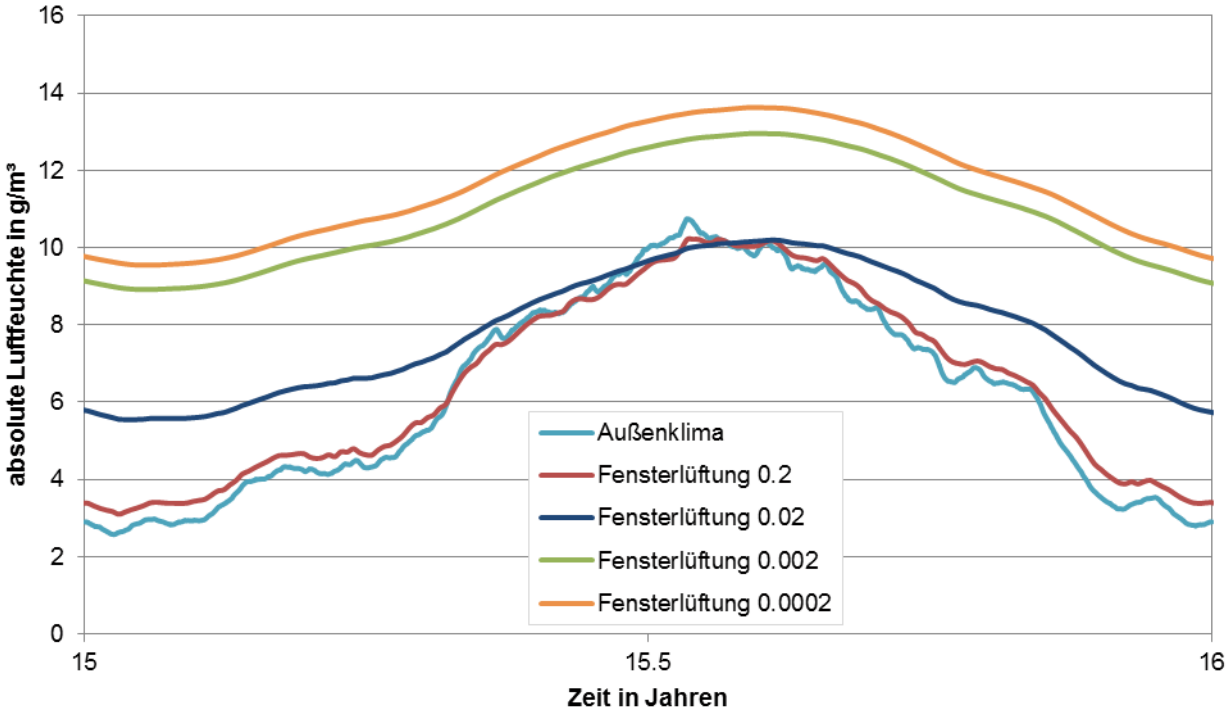


Abb. 15: Jahresverlauf der absoluten Luftfeuchte bei geringer Durchfeuchtung des Bodens

In Kapitel 3.3.6.1 werden verschiedene Sanierungsvarianten untersucht. Um den Einfluss der Kellerbelüftung genauer darstellen zu können, werden im folgenden Abschnitt 3.3.1.2 Varianten mit konstantem Luftwechsel vorgestellt. Es ist dabei darauf zu achten, dass die hierbei verwendeten Modelle ein kleineres Luftvolumen aufweisen als die Kellermodelle mit Fensterlüftung.
Auf Basis der konstanten Luftwechsel werden die Sanierungsvarianten ausgewertet.

3.3.1.2 Bestandskonstruktion mit Lüftungsanlage

Adaptierung des Modells für mechanische Kellerbelüftung

Die folgenden Simulationen beruhen auf den Anfangsbedingungen aus Abschnitt 3.3.1 . Während im vorigen Abschnitt die Auswirkungen verschiedener natürlicher Luftwechsel infolge thermischer Differenzen zwischen Kellerluft und Außenbereich direkt miteinander verglichen wurden, werden im Folgenden die Ergebnisse von unterschiedlich stark durchfeuchtetem Kellermauerwerk unter der Berücksichtigung bestimmter konstanter Luftwechselraten einander gegenübergestellt. Es wird angenommen, dass der Keller mit einer mechanischen Be- und Entlüftungsanlage versehen wird. Dabei werden Luftwechselraten von 0,1, 0,2, 0,4 und 0,8 pro Stunde untersucht. Zusätzlich wird ein sehr gering belüfteter Keller simuliert, dessen Klima sich infolge einer Luftwechselrate von 0,01 pro Stunde einstellt. Anhand dieses Beispiels lassen sich die Auswirkungen der Bodenfeuchte auf das Kellerklima am besten darstellen.
Zur Vereinfachung des Modells und zur Reduzierung der Rechenzeit werden die Simulationsmodelle in Deckenmitte halbiert. Die Kellerraumhöhe von 2,60 m sowie die Abschnittstiefe von 4,00 m bleiben gleich, wodurch sich für die Berechnungen ein Kellerraumvolumen von 24,96 m³ ergibt.

Alle Lüftungsvarianten werden jeweils für ein gering durchfeuchtetes Mauerwerk und ein durch erhöhte Durchfeuchtung belastetes Mauerwerk dargestellt. Im Anschluss an die Einzelgrafiken werden die Jahresganglinien von Temperatur, relativer Luftfeuchte sowie absoluter Luftfeuchte dargestellt.
Aufbauend auf den Ergebnissen der Simulationen mit einer Lüftungsanlage werden in Kapitel 3.3.6.1 thermische Sanierungsvarianten vorgestellt.

Auswirkungen des Durchfeuchtungsgrades und des Luftwechsels

Die Kellermodelle können hinsichtlich zweier Parameter miteinander verglichen werden: einerseits bezüglich des Durchfeuchtungsgrads des Mauerwerks und andererseits hinsichtlich des Luftwechsels. Die Resultate bestätigen die Ergebnisse des rein thermisch induzierten Luftwechsels aus Kapitel 3.3.1.1.
Je größer der Luftwechsel zwischen Kellerraum und Außenluft angesetzt wird, desto stärker kühlt der Keller und somit die umgebende Konstruktion im Winter aus. Einerseits ergeben sich dadurch hohe relative Feuchtegehalte im Mauerwerk, andererseits können oberflächennahe Konstruktionsschichten bei einem hohen Luftwechsel abtrocknen. Vergleicht man die Feuchtegehalte der Wand im Fundamentbereich bei einem Luftwechsel von 0,01 mit den Werten bei einem Luftwechsel von 0,1, zeigt sich deutlich der Einfluss der Kellerbelüftung. Vor allem bei einer erhöhten Durchfeuchtung des Mauerwerks wirken sich die Lüftung des Raumes und die Möglichkeit des Abtrocknens an die Raumluft positiv aus.
Die Verteilung der relativen Luftfeuchte beschreibt drei mögliche Bereiche:
Bei einem geringen Luftwechsel wird zu wenig Feuchtigkeit aus dem Keller abtransportiert und die Außenwand weist über den gesamten Querschnitt relative Luftfeuchten über 75 % auf. Im Falle einer erhöhten Durchfeuchtung des Mauerwerks ist mit relativen Luftfeuchten über 95 % zu rechnen. Dies kann negative Auswirkungen auf das Kellerklima und auf angrenzende Bauteile haben, da auch in der Deckenkonstruktion über 80 % relative Feuchte angegeben werden.
Bei einem hohen Luftwechsel wird zwar sehr viel Feuchtigkeit von der Außenwand an die Kellerluft abgegeben und in weiterer Folge an die Außenluft abgelüftet, gleichzeitig kühlt jedoch der gesamte Kellerbereich mit allen angrenzenden Bauteilen stark ab, was wiederum zu hohen relativen Luftfeuchten in der gesamten Konstruktion führt. Der Einfluss der oberflächennahen Abtrocknung des Mauerwerks ist geringfügig erkennbar.
Die Ergebnisse der Modelle mit Luftwechselraten von 0,1 bis 0,4 stellen einen Bereich zwischen geringer und starker Kellerbelüftung dar, in dem gerade ausreichend viel Feuchtigkeit aus der Kellerluft abgeführt werden kann, um zumindest eine oberflächennahe Austrocknung des Mauerwerks sicherzustellen. Gleichzeitig bleibt der Luftwechsel aber gering genug, um eine starke Auskühlung, die zu negativen Auswirkungen in Bezug auf die relative Luftfeuchte führen würde, zu vermeiden.
Die Simulationen zeigen, dass es einen optimalen Luftwechsel gibt, der in Abhängigkeit vom erforderlichen abzuführenden Massenstrom und von der sich einstellenden Kellertemperatur zu einem möglichst trockenen Kellerklima führt.
Die folgenden Abbildungen zeigen die beschriebenen Ergebnisse für einen Keller mit geringer sowie mit erhöhter Durchfeuchtung bei unterschiedlichen Luftwechselraten.

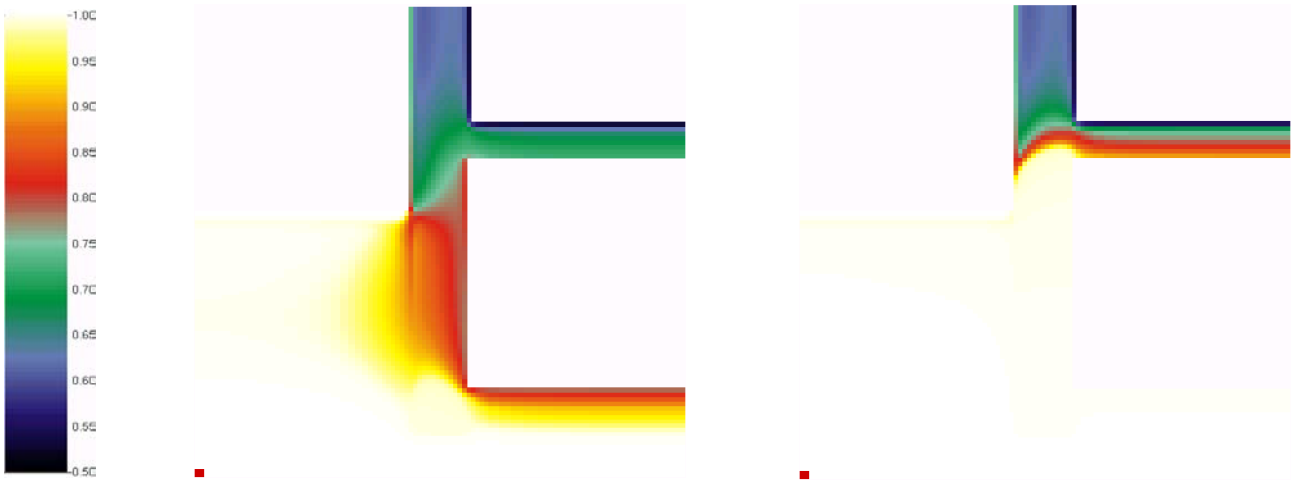
3.3.2 Ergebnisse bei 0,01-fachem Luftwechsel

geringe Durchfeuchtung erhöhte Durchfeuchtung

Wassergehalt in kg/m³



Relative Luftfeuchte dimensionslos



Temperatur in °C

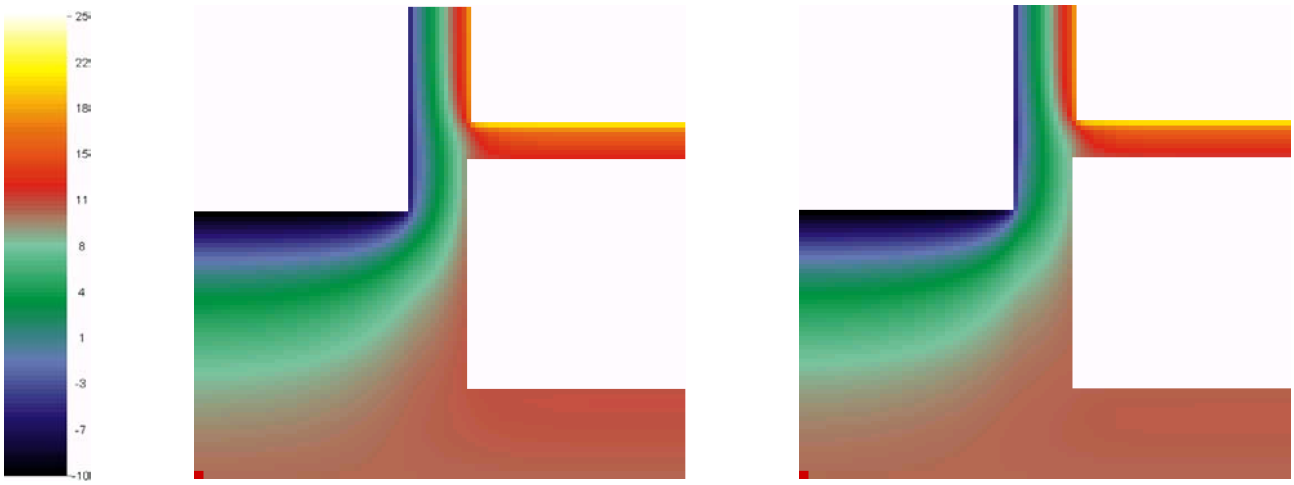


Abb. 16: Ergebnisse bei einem Luftwechsel von 0,01/Stunde

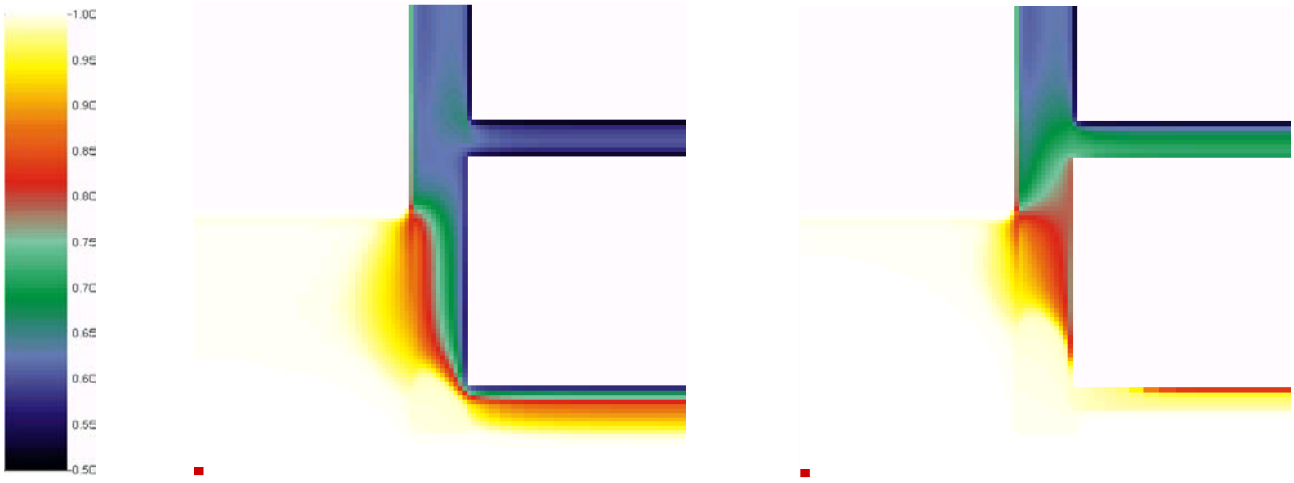
3.3.3 Ergebnisse bei 0,1-fachem Luftwechsel

geringe Durchfeuchtung erhöhte Durchfeuchtung

Wassergehalt in kg/m³



Relative Luftfeuchte dimensionslos



Temperatur in °C

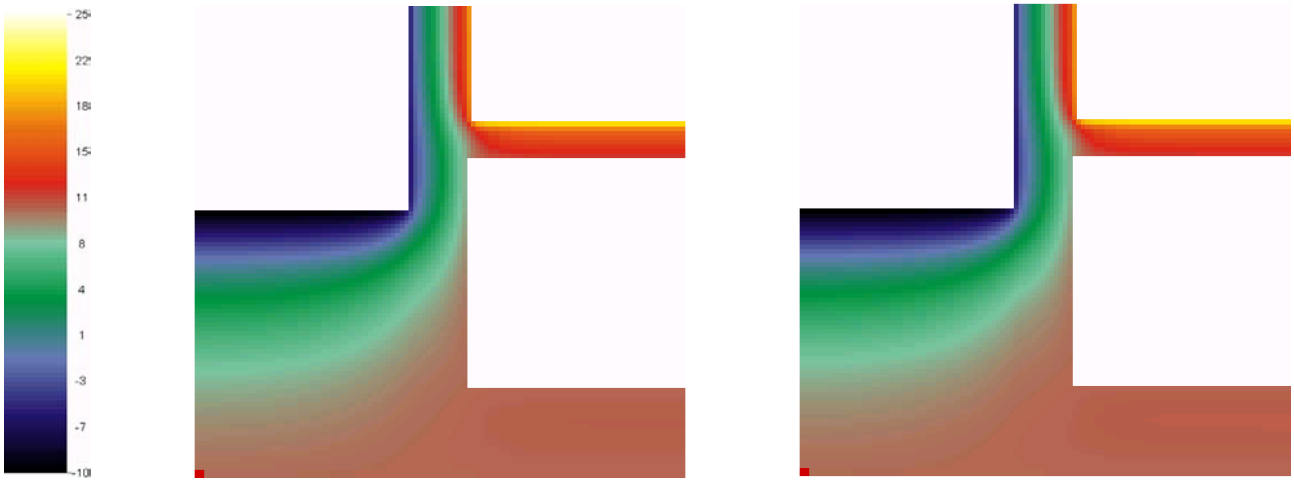


Abb. 17: Ergebnisse bei einem Luftwechsel von 0,1/Stunde

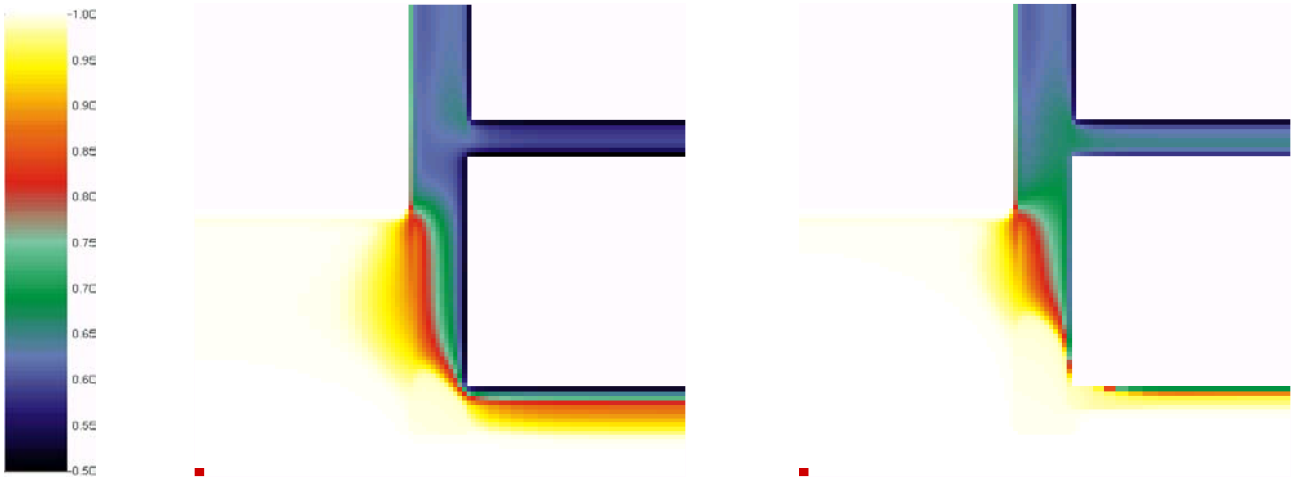
3.3.4 Ergebnisse bei 0,2-fachem Luftwechsel

geringe Durchfeuchtung erhöhte Durchfeuchtung

Wassergehalt in kg/m³



Relative Luftfeuchte dimensionslos



Temperatur in °C

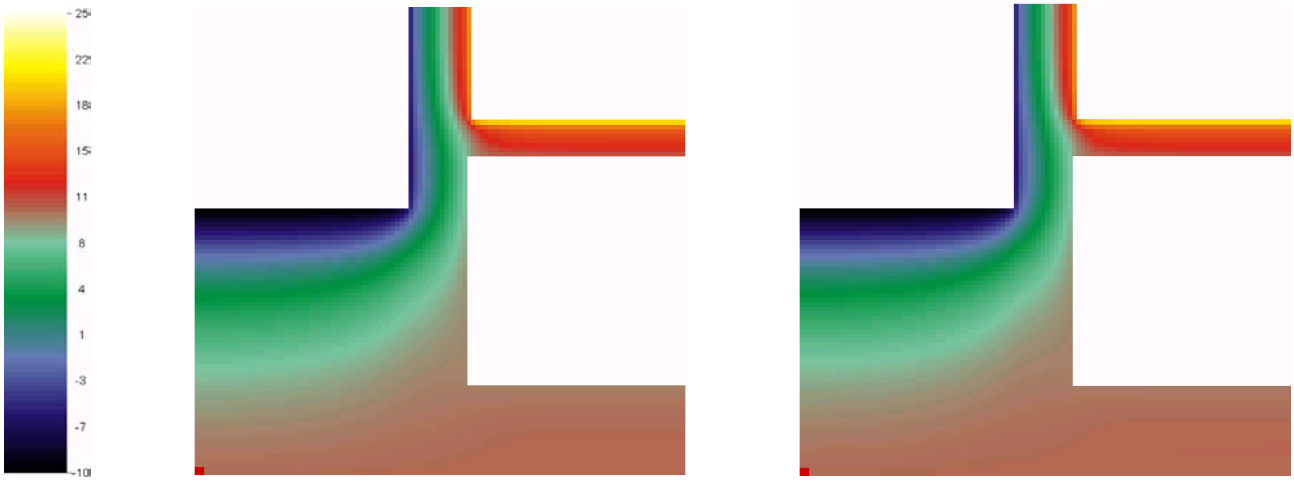


Abb. 18: Ergebnisse bei einem Luftwechsel von 0,2/Stunde

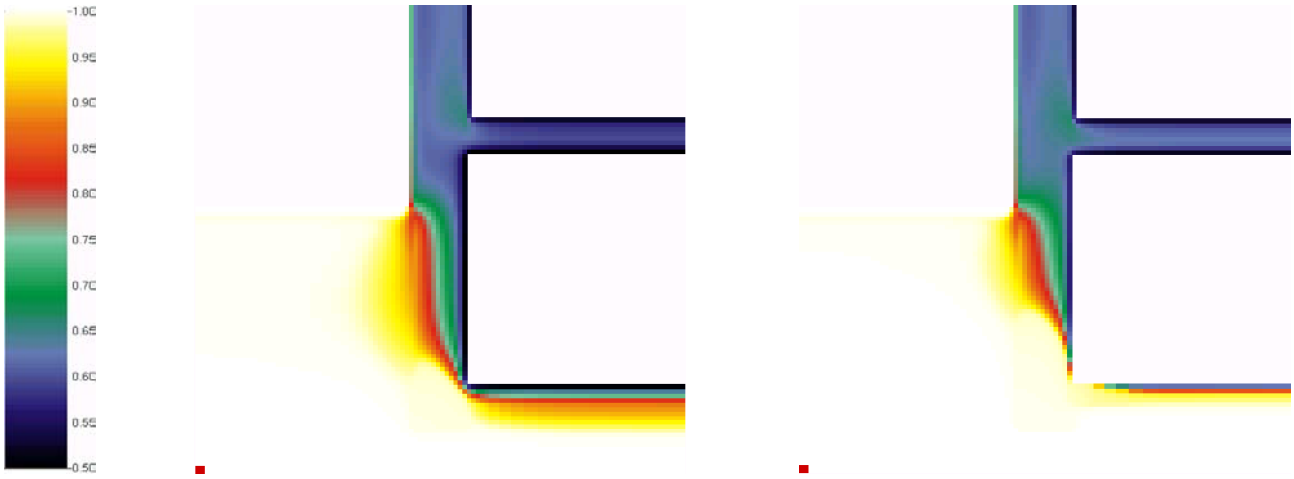
3.3.5 Ergebnisse bei 0,4-fachem Luftwechsel

geringe Durchfeuchtung erhöhte Durchfeuchtung

Wassergehalt in kg/m³



Relative Luftfeuchte dimensionslos



Temperatur in °C

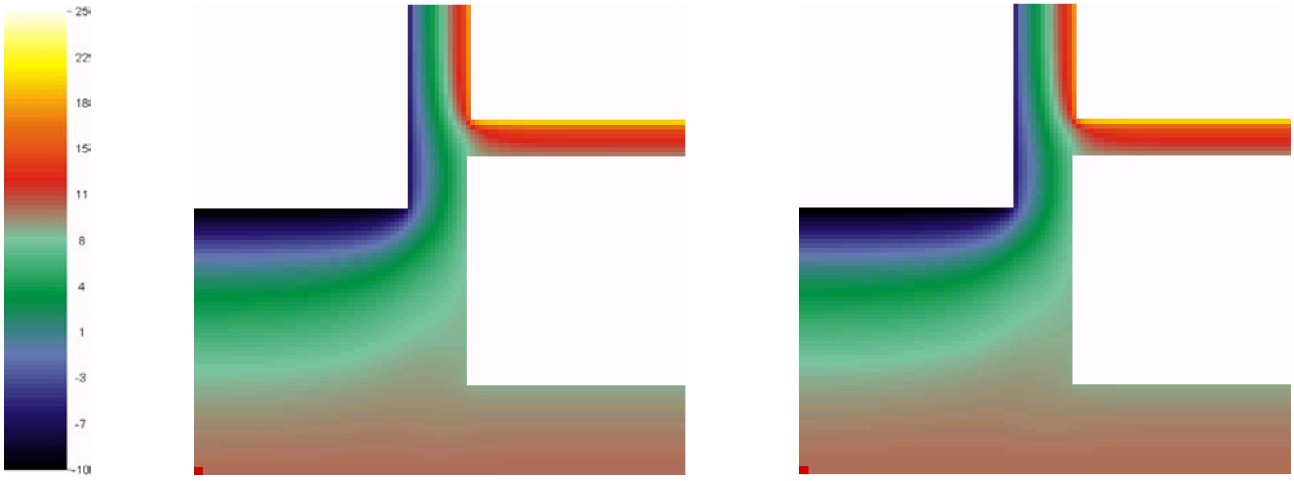


Abb. 19: Ergebnisse bei einem Luftwechsel von 0,4/Stunde

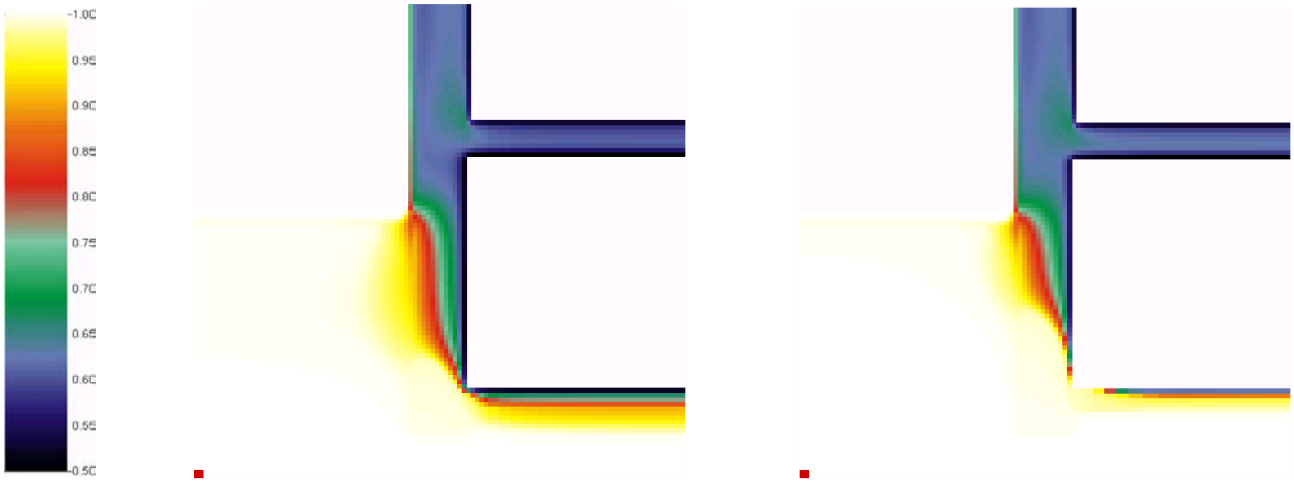
3.3.6 Ergebnisse bei 0,8-fachem Luftwechsel

geringe Durchfeuchtung erhöhte Durchfeuchtung

Wassergehalt in kg/m³



Relative Luftfeuchte dimensionslos



Temperatur in °C

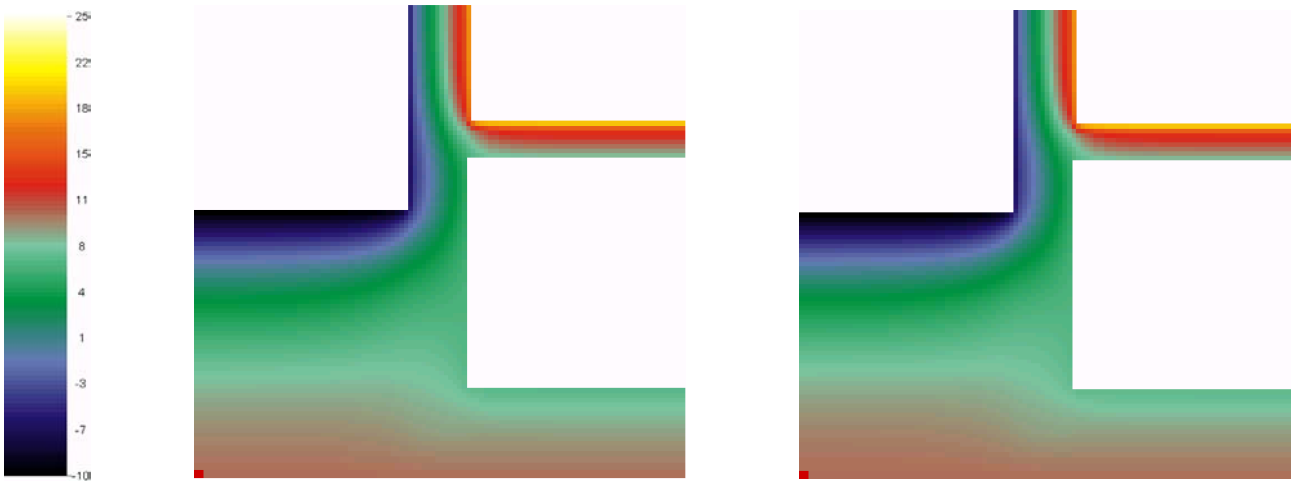


Abb. 20: Ergebnisse bei einem Luftwechsel von 0,8/Stunde

Jahresverlauf des Kellerklimas infolge verschiedener Luftwechselraten

Während in den vorherigen beiden Abschnitten Momentaufnahmen der hygrothermischen Zustandsgrößen in der Konstruktion dargestellt wurden, sollen im Folgenden die Jahresverläufe der Temperatur sowie der relativen und absoluten Luftfeuchte in der Kellerraumluft angegeben werden. Außerdem wird der Verlauf des Wärmestroms durch die Kellerdecke demonstriert. So lässt sich eine Aussage über die Einflüsse des Außenklimas auf die Kellerraumluft treffen.

Temperatur und Durchfeuchtung

Vergleicht man die Auswirkungen verschiedener Luftwechselraten auf das Kellerklima, kann man feststellen, dass die Temperatur der Kellerluft mit zunehmendem Luftwechsel absinkt und dadurch die relativen Luftfeuchten tendenziell ansteigen (siehe Abb. 21 und Abb. 22). Das Temperaturniveau liegt bei großen Luftwechselraten das ganze Jahr unter jenem von gering belüfteten Kellern. Auch im Sommer kann der Keller durch eine starke Belüftung nicht stärker erwärmt werden als mit einem geringen Luftwechsel. Da weder die Kellerdecke noch der Kellerboden gedämmt sind, führt die umgebende Speichermasse zu sehr trägen Änderungen der Kellertemperatur.

Der Feuchtegehalt der Kellerraumluft wird hauptsächlich von zwei Parametern beeinflusst. Einerseits hängt er vom Luftwechsel und somit von den äußeren Klimarandbedingungen ab, andererseits spielt die Wechselwirkung mit dem Boden und der Konstruktion eine wesentliche Rolle. Diese Abhängigkeiten werden beim Vergleich von gering und erhöht durchfeuchtetem Mauerwerk (Abb. 21 und Abb. 22) deutlich.

Betrachtet man einen Keller, der sehr schwach belüftet wird, zeigen sich ein gedämpfter, jedoch der Außentemperatur folgender Temperaturverlauf und ein über das Jahr ausgeglichener Verlauf der relativen Luftfeuchte. Dieser ist sehr stark vom Durchfeuchtungsgrad des Mauerwerks bzw. des Bodens abhängig. Aus diesem Grund wirkt sich bei einem gering durchfeuchteten Mauerwerk bereits ein kleiner Luftwechsel positiv auf die Feuchtebelastung der Kellerluft aus. Da wenig Feuchte aus dem Boden ausdiffundiert, trocknet die Kellerluft bereits mit Hilfe von kleinen Luftwechseln bis zu einem bestimmten Grad ab. Bei größeren Luftwechseln kann zwar vorerst die Trocknung im Winter gesteigert werden, bei einer weiteren Erhöhung des Luftwechsels zeigen sich jedoch negative Auswirkungen während der Sommermonate. Ein hoher Luftwechsel führt zu einer Befeuchtung der Kellerraumluft, wenn die Außenluftfeuchte über jener im Kellerraum liegt. Dies ist vor allem im Sommer der Fall und kann bei einem Keller mit geringer Bodenfeuchte zu einem beträchtlichen Feuchteeintrag führen. Dieser Fall ist in Abb. 21 dargestellt.

Allgemein kann festgehalten werden, dass bei einem ausreichend kleinen Luftwechsel die Kellertemperatur zwar auf einem höheren Niveau bleibt, aufgrund des geringen Luftaustauschs wird jedoch weniger Feuchtigkeit abgelüftet und der Keller bleibt feuchter als bei hohen Luftwechseln. Der am schwächsten belüftete Keller mit einer Luftwechselrate von 0,01 pro Stunde weist das höchste Temperaturniveau auf. Betrachtet man die relative Luftfeuchte dieses Modells, kann man ein vergleichsweise ausgeglichenes aber stark erhöhtes Feuchteniveau aufgrund des geringen Luftwechsels erkennen.

Die Erkenntnisse der letzten beiden Absätze belegen, dass jeder beliebige Keller durch Lüftung getrocknet werden kann und dass es einen optimalen Luftwechsel in Abhängigkeit vom Feuchteeintrag aus dem Boden und dem Außenklima gibt. Die Feuchteabführung durch gezielte Lüftung ist daher eine wesentliche Maßnahme zur Verbesserung des Kellerklimas.

Die folgenden Diagramme zeigen die Temperaturen und relativen Luftfeuchten sowie die absoluten Luftfeuchten nach einer Simulationsdauer von 30 Jahren für einen Keller mit geringer und einen mit erhöhter Feuchtebelastung bei unterschiedlichen Luftwechselraten in Abhängigkeit vom Außenklima anhand von Monatsmittelwerten.

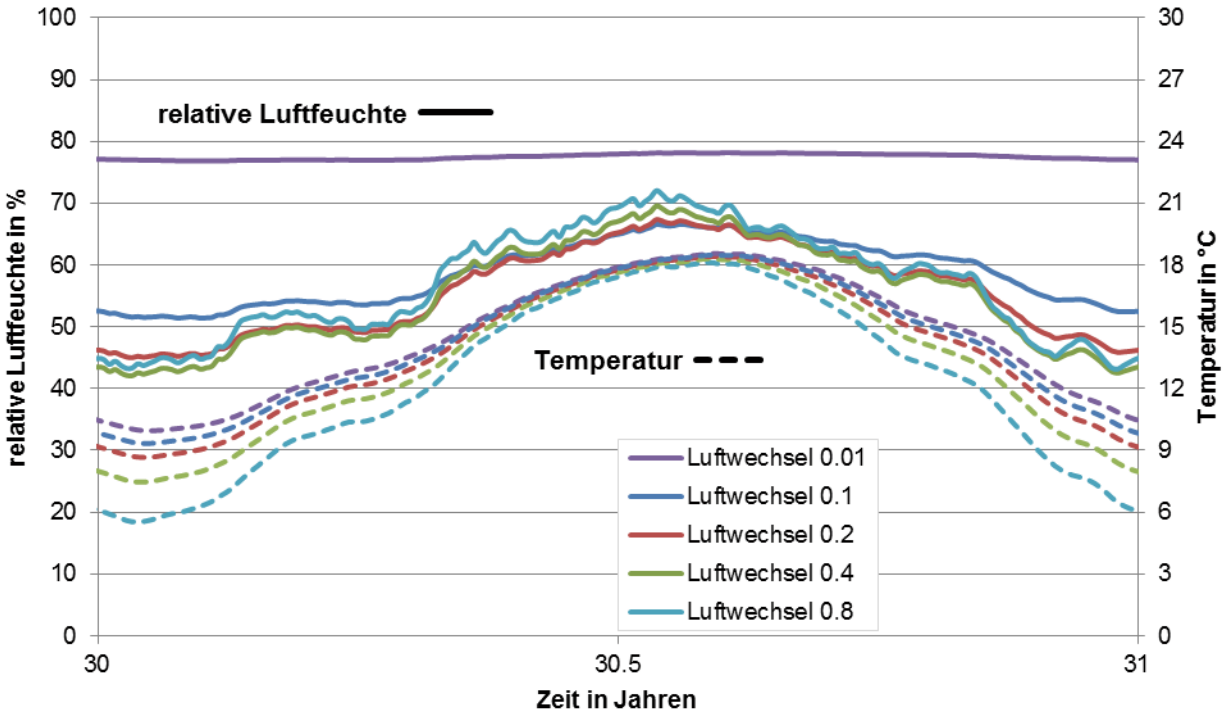


Abb. 21: Temperatur und relative Luftfeuchte bei geringer Durchfeuchtung und verschiedenen Luftwechselraten

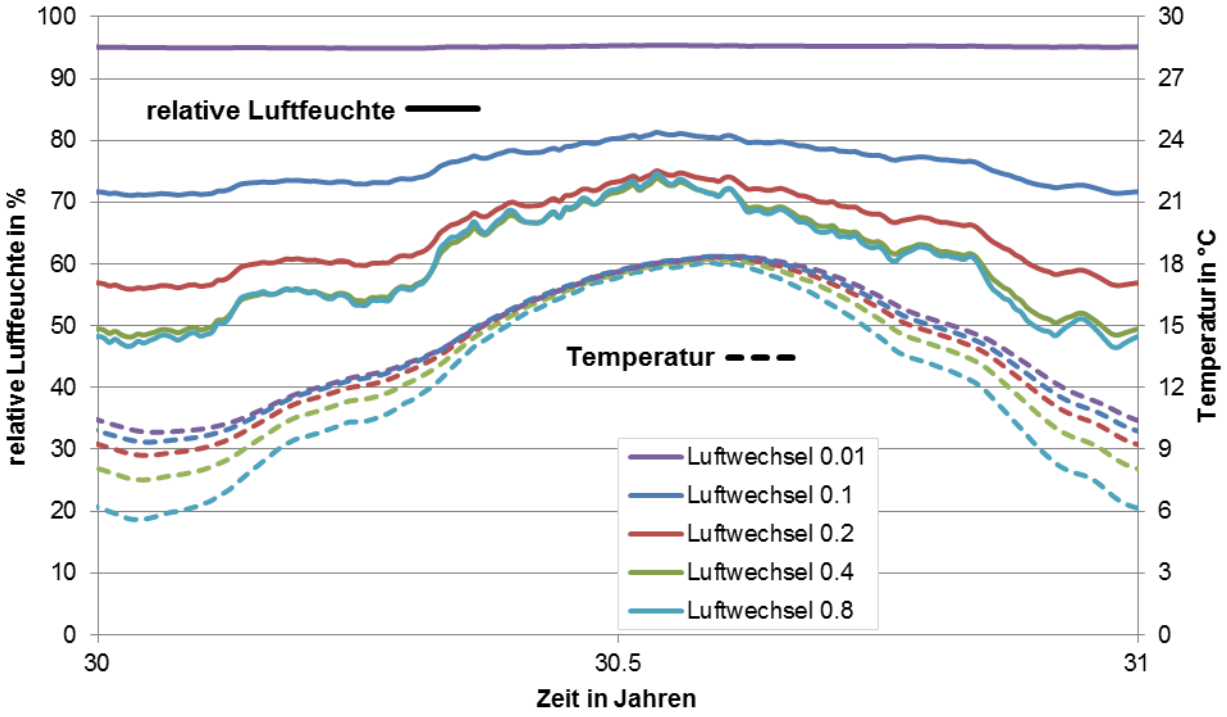


Abb. 22: Temperatur und relative Luftfeuchte bei erhöhter Durchfeuchtung und verschiedenen Luftwechselraten

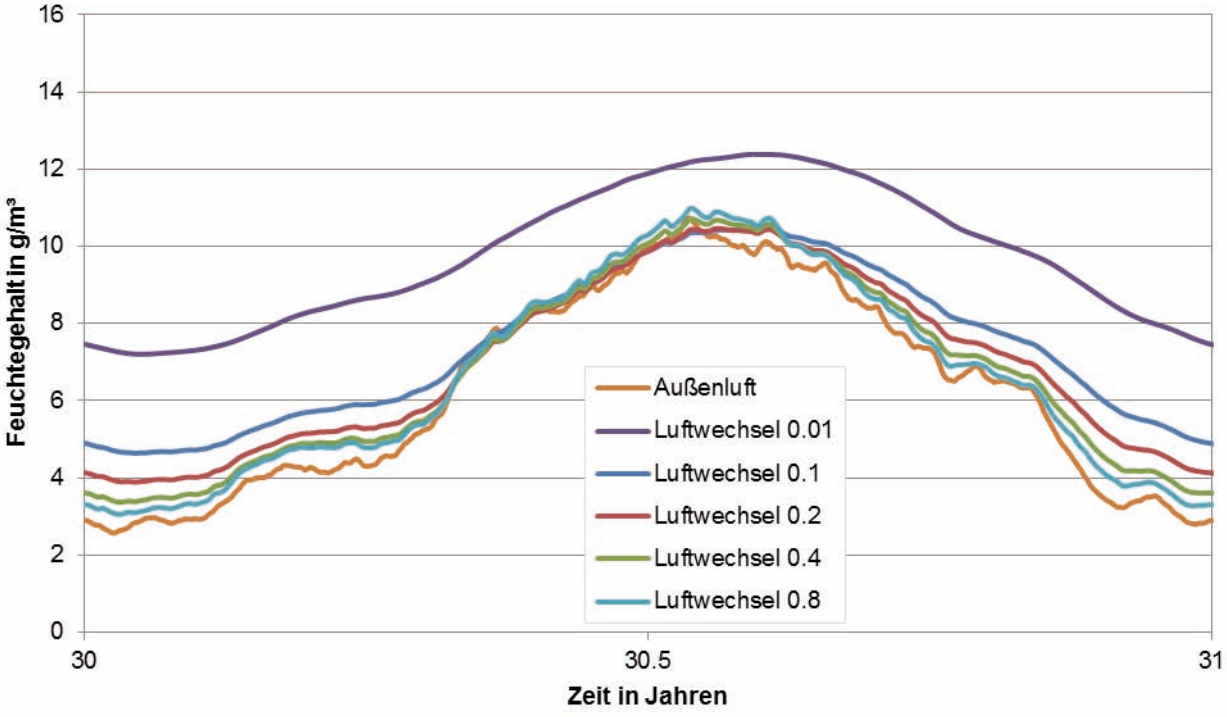


Abb. 23: Absolute Luftfeuchte bei geringer Durchfeuchtung und verschiedenen Luftwechselraten

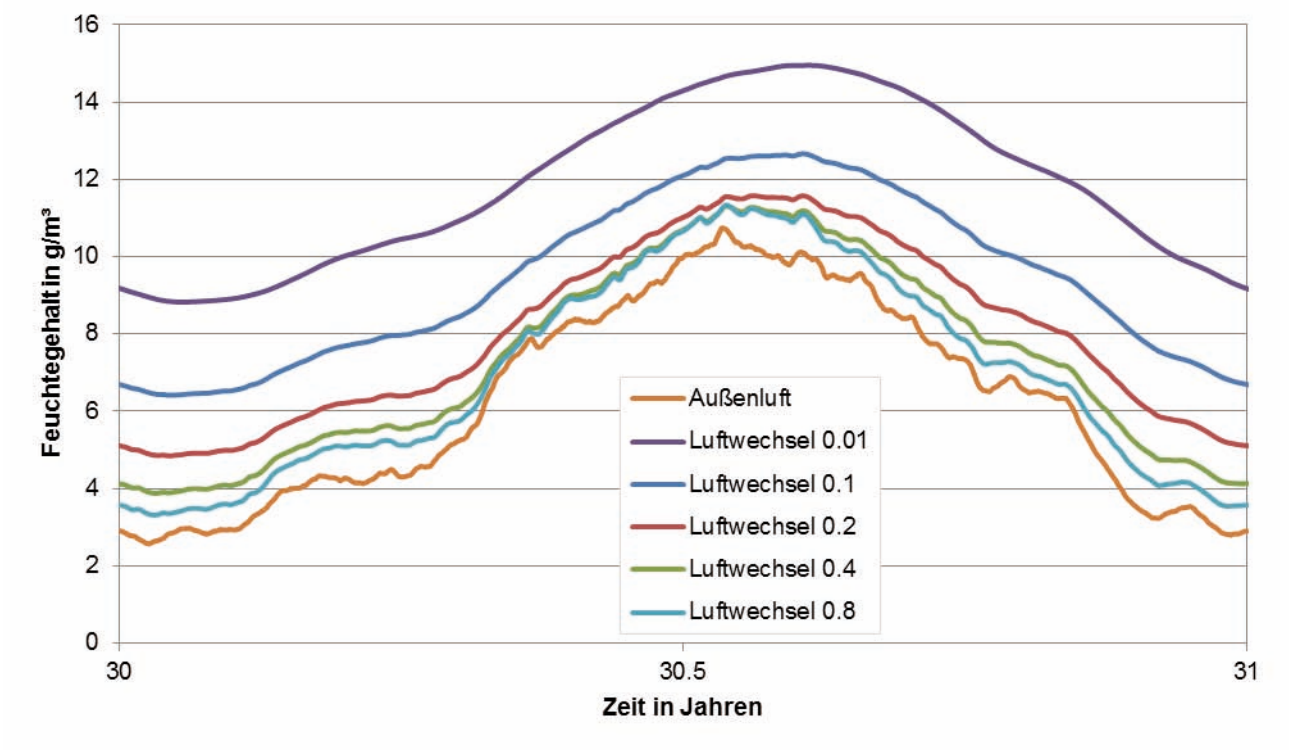


Abb. 24: Absolute Luftfeuchte bei erhöhter Durchfeuchtung und verschiedenen Luftwechselraten

Anhand des Feuchtegehalts der Kellerluft im Vergleich zur Außenluft lässt sich der Einfluss der Bodenfeuchte darstellen. Bei erhöhter Durchfeuchtung des Mauerwerks wirkt sich die Kellerbelüftung auch im Sommer positiv aus, da der Feuchteeintrag aus dem Boden und der Konstruktion gegenüber jenem aus der Außenluft überwiegt. Dies wird durch einen Vergleich der luftwechselabhängigen Raumluftfeuchten mit der Außenluftfeuchte in Abb. 24 ersichtlich.

Wärmestrom

Die Verläufe des Wärmestroms durch die Kellerdecke (siehe Abb. 25) zeigen ein ähnliches Verhalten wie die Temperaturverläufe. Hier ist deutlich zu erkennen, dass bei zunehmendem Luftwechsel und somit kälterem Kellerklima der Wärmestrom durch die Kellerdecke zunimmt. Da der Feuchtegehalt des Bodens keinen merklichen Einfluss auf die Kellertemperatur hat, unterscheidet sich der Wärmestrom durch die Kellerdecke zwischen gering und stark durchfeuchtetem Boden nicht.

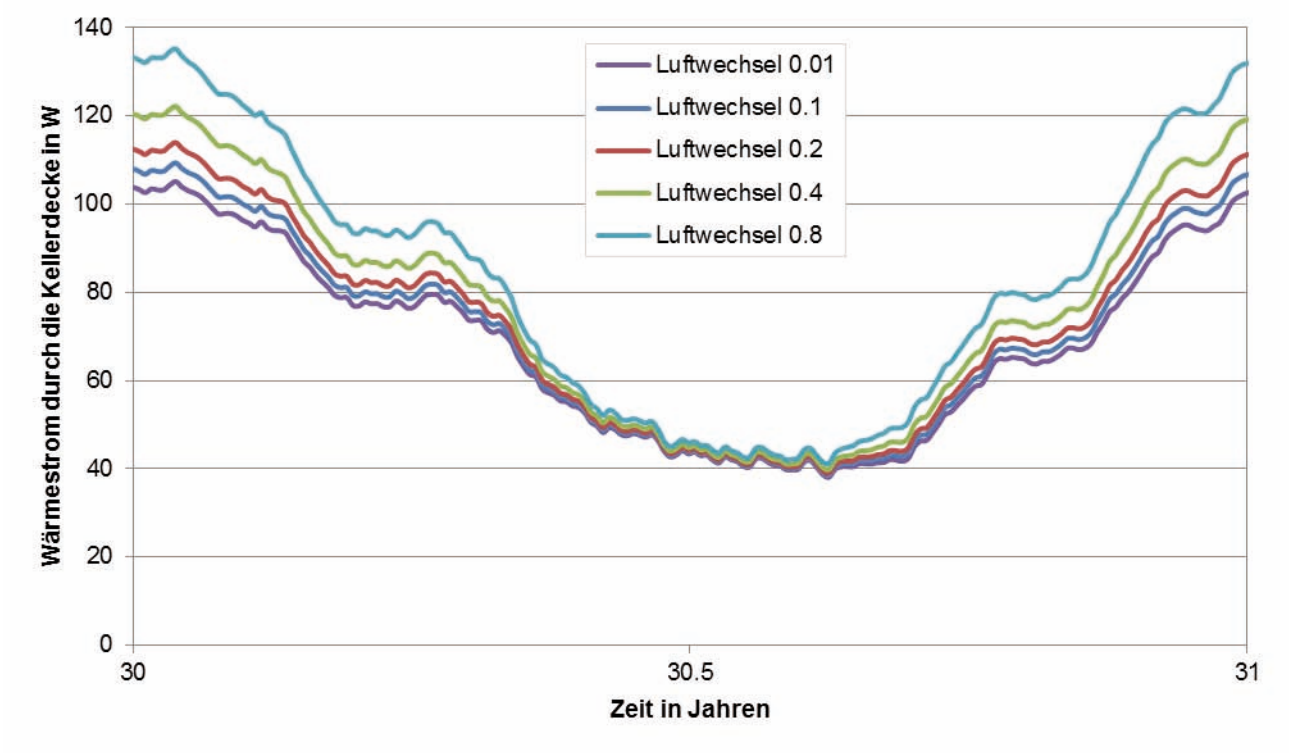


Abb. 25: Wärmestrom durch die Kellerdecke bei verschiedenen Luftwechselraten

Bei dem vorliegenden Modell wird die Wärmebrücke zwischen Decken- und Wandanschluss vernachlässigt. Von den gesamten Wärmeverlusten durch Decke, Wand und Wärmebrücke wird der Wandanteil abgezogen. Dieser wird auf Basis des simulierten Temperaturgefälles sowie des simulierten Wärmestroms und eines stationären U-Werts errechnet. Die Zahlenwerte in Watt beziehen sich auf die 4 m breite Abschnittsfläche des Modells.

Alternativ werden in Abb. 26 die Wärmeverluste über die gesamte Innenrandbedingung angegeben. Dabei werden sowohl die Wärmeverluste über die Kellerdecke und die Außenwand als auch die Verluste über die Wärmebrücke berücksichtigt. Anhand dieser Darstellung lassen sich die später folgenden Sanierungsvarianten mit der Bestandskonstruktion in puncto Energieeffizienz vergleichen.

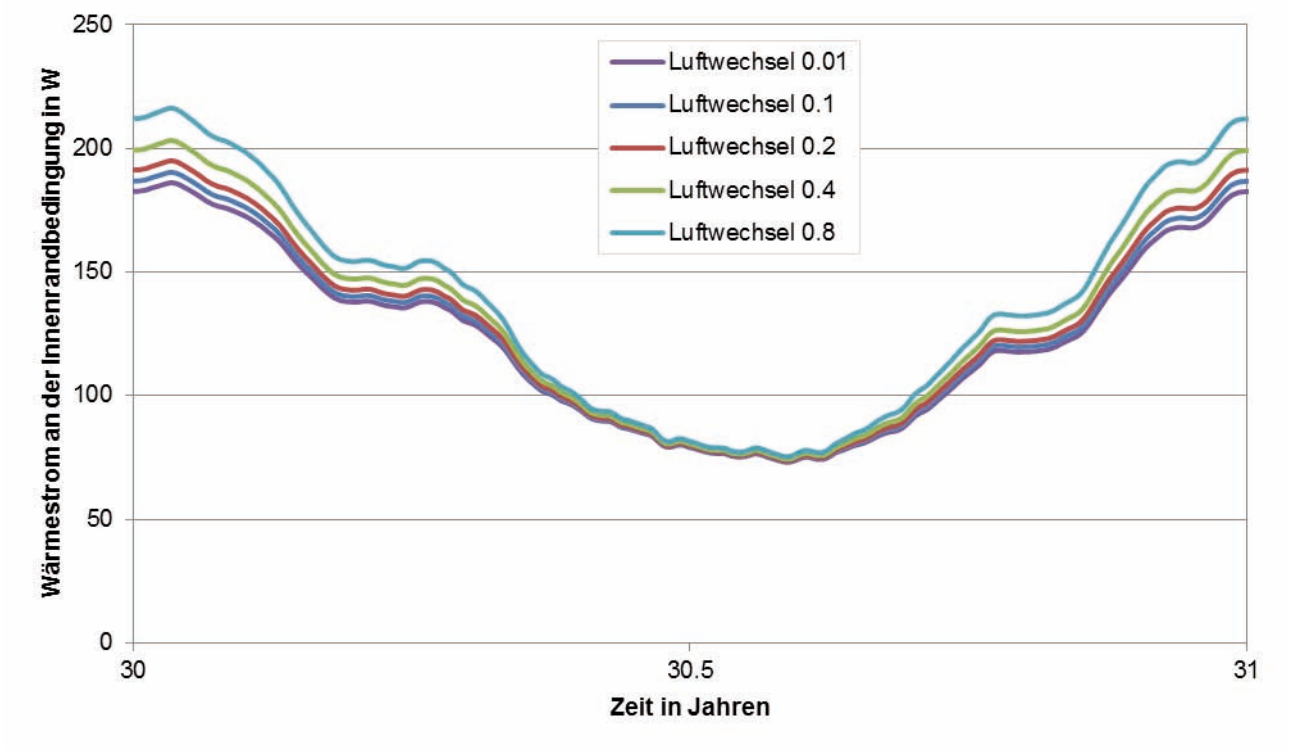


Abb. 26: Wärmestrom an der gesamten Innenrandbedingung

Auswirkungen des jahreszeitbedingten Außenklimas auf das Kellerklima

Wie bereits Abb. 21 verdeutlicht, wirkt sich ein hoher Luftwechsel im Sommerhalbjahr negativ auf die relative Luftfeuchte in der Kellerraumluft aus. Während der Wassergehalt in der Konstruktion über das gesamte Jahr annähernd gleich bleibt, sind bei der Temperatur und der relativen Luftfeuchte deutliche Änderungen feststellbar. Am Beispiel einer konstanten Kellerbelüftung mit einem 0,8-fachen Luftwechsel pro Stunde lässt sich der luftwechselbedingte Feuchteeintrag darstellen. Vor allem an der Gegenüberstellung der Verteilungen der relativen Luftfeuchten am 1.1. mit jenen am 1.7. lässt sich eine markante oberflächennahe Anfeuchtung des Kellermauerwerks im Sommer erkennen. Dies erfolgt dann, wenn die Zuluft einen höheren Feuchtegehalt aufweist als die Kellerraumluft. Ein solcher Vergleich wurde im vorigen Kapitel in Abb. 23 und Abb. 24 dargestellt.

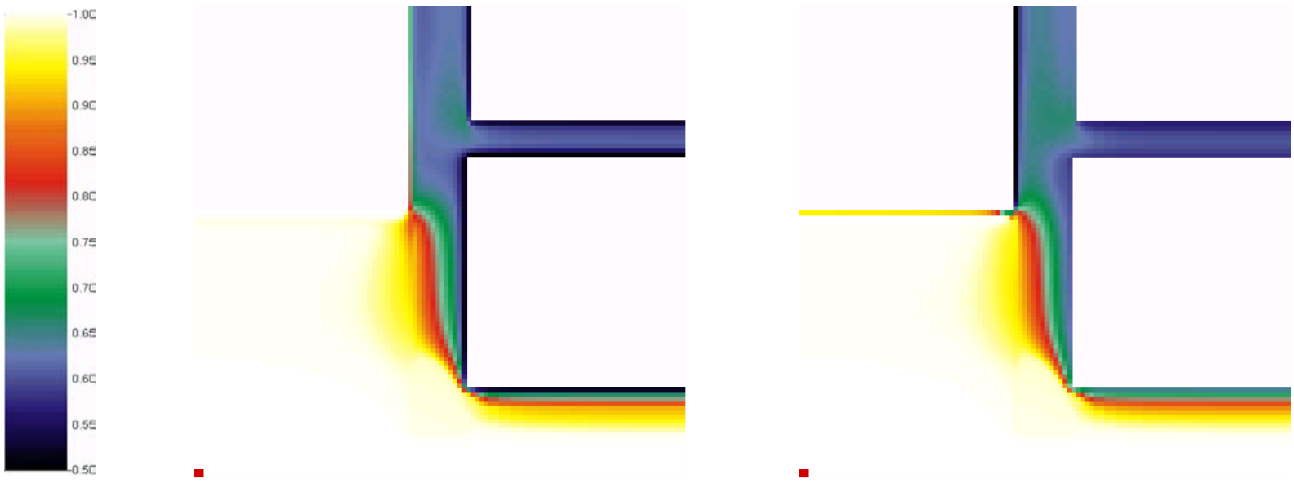
Die folgenden Abbildungen zeigen eine Gegenüberstellung eines gering durchfeuchteten Kellers im Winter (1.1.) und im Sommer (1.7.) mit einem Luftwechsel von 0,8 pro Stunde.

Zustände im Winter: 1.Jänner **Zustände im Sommer: 1.Juli**

Wassergehalt in kg/m³



Relative Luftfeuchte dimensionslos



Temperatur in °C

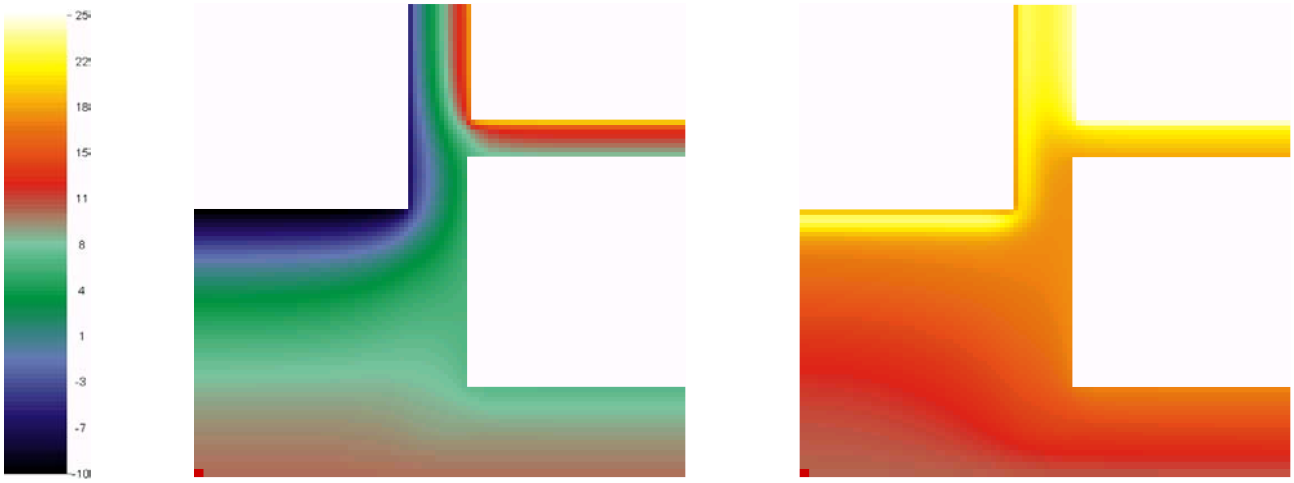


Abb. 27: Gegenüberstellung der Werte eines gering durchfeuchteten Kellers im Winter und im Sommer bei einem Luftwechsel von 0,8/Stunde

3.3.6.1 Auswirkungen von Sanierungen auf das Kellerklima

Dämmung der Kellerdecke

Basierend auf den bisherigen Ergebnissen werden die Kellermodelle mit 0,1- und 0,8-fachem Luftwechsel zusätzlich mit einer Deckendämmung versehen. Dadurch wird der Wärmeeintrag vom beheizten Wohnraum durch die Kellerdecke in den Keller vermindert und das Temperaturniveau im Keller gesenkt. Dies führt zu einer Verschärfung der Feuchteproblematik, wie die folgenden Abbildungen zeigen.

Es werden vier Modelle mit Kellerdeckendämmung verglichen: Boden mit geringer und erhöhter Durchfeuchtung in Kombination mit Luftwechselraten von 0,1 und 0,8 pro Stunde. Die folgenden Abbildungen zeigen den jeweiligen Zustand im Winter (1.1.).

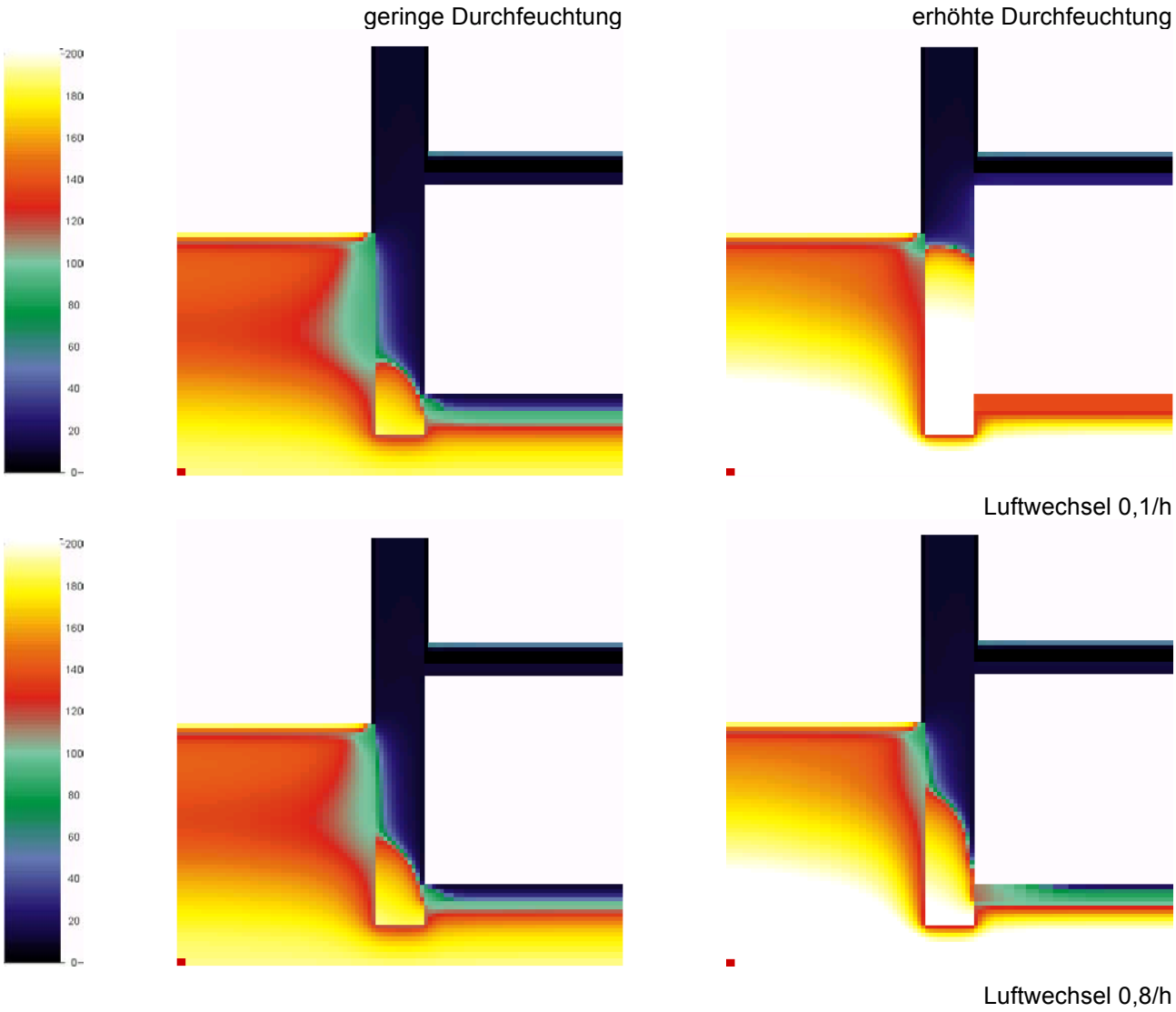


Abb. 28: Wassergehalt bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung und unterschiedlichen Luftwechselraten

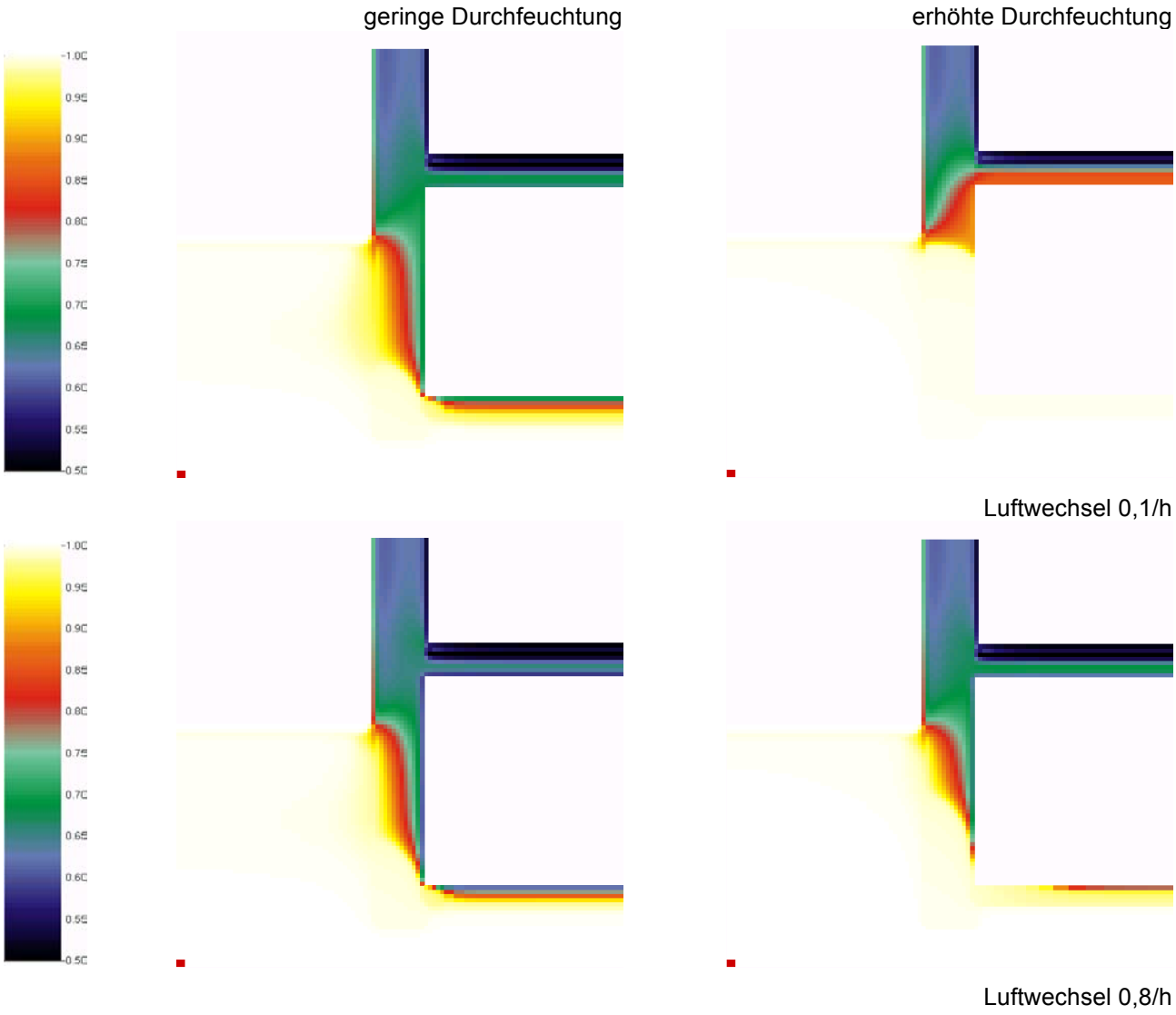


Abb. 29: Relative Luftfeuchte bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung und unterschiedlichen Luftwechselraten

Der Vergleich von geringer und erhöhter Durchfeuchtung sowie von kleiner und großer Luftwechselrate anhand von Wassergehalt und relativer Luftfeuchte zeigt für das Kellermodell mit gedämmter Kellerdecke qualitativ gleiche Ergebnisse wie für die Bestandskonstruktion (siehe Abschnitt 3.3.1.3). Vergleicht man hingegen die einzelnen Modelle mit und ohne Kellerdeckendämmung miteinander, ist eine Zunahme der Durchfeuchtung des Mauerwerks infolge der Dämmmaßnahme festzustellen. Dabei fällt der Feuchteanstieg bei geringem Luftwechsel und erhöhter Durchfeuchtung des Mauerwerks am stärksten aus, wie der Vergleich von Abb. 17 und Abb. 28 belegt.

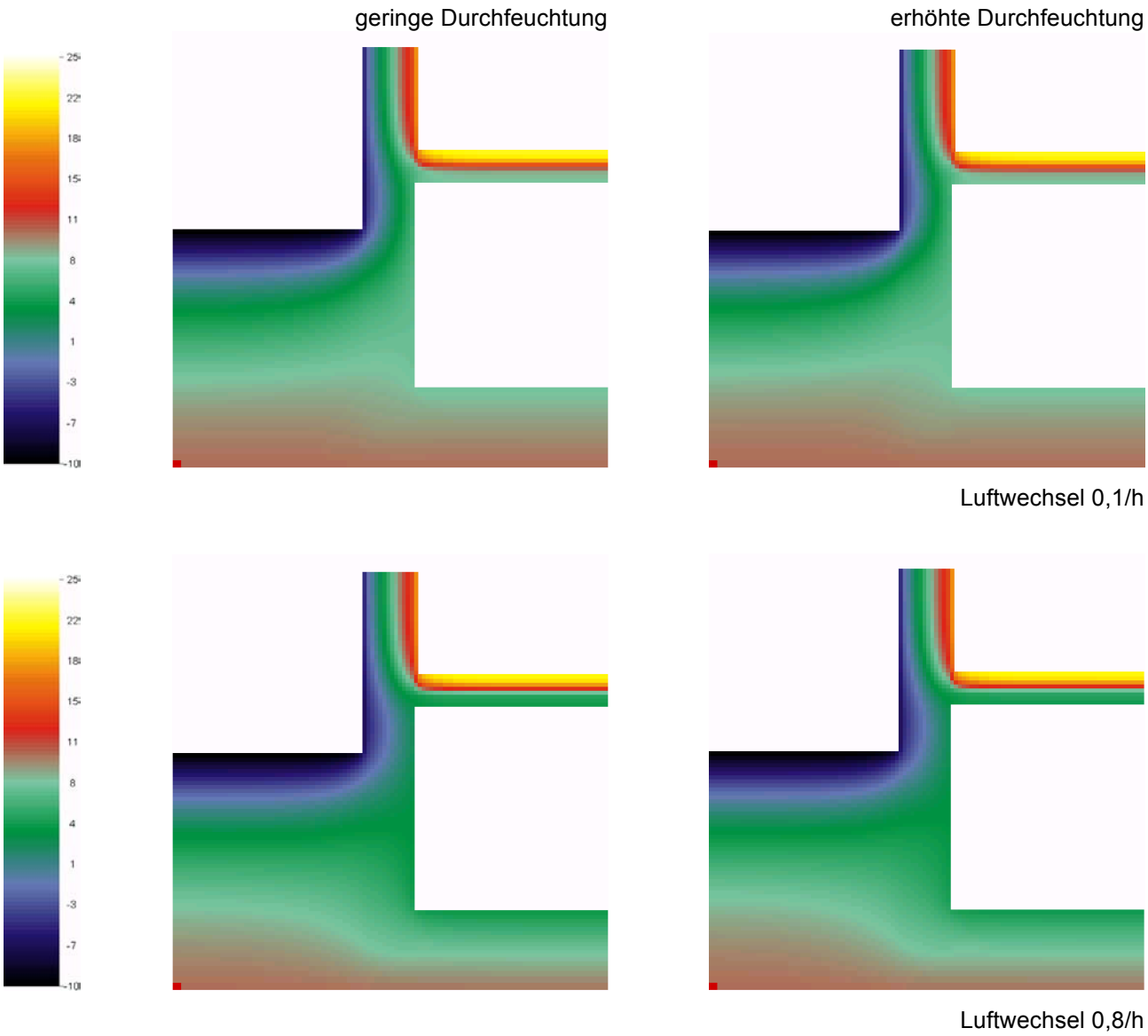


Abb. 30: Temperatur bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung und unterschiedlichen Luftwechselraten

Infolge der Kellerdeckendämmung sinkt das Temperaturniveau im Kellerraum ab. Der Temperaturunterschied zwischen niedrigem und hohem Luftwechsel ist im Winter gering, da die Keller-deckendämmung eine Erwärmung des Kellerraums verhindert. Der Durchfeuchtungsgrad hat keinerlei Auswirkungen auf das Temperaturniveau im Keller. Daher werden bei den weiteren Sanierungsvarianten keine Zustandsbilder der Temperaturverteilung angegeben.

Zur genauen Beurteilung der Durchfeuchtung sind die Auswirkungen auf das Raumklima von Interesse. Daher werden in den Abb. 31 bis Abb. 34 die Verläufe von Temperatur sowie relativer und absoluter Luftfeuchte mit Kellerdeckendämmung den Werten des Bestandszustands gegenübergestellt.

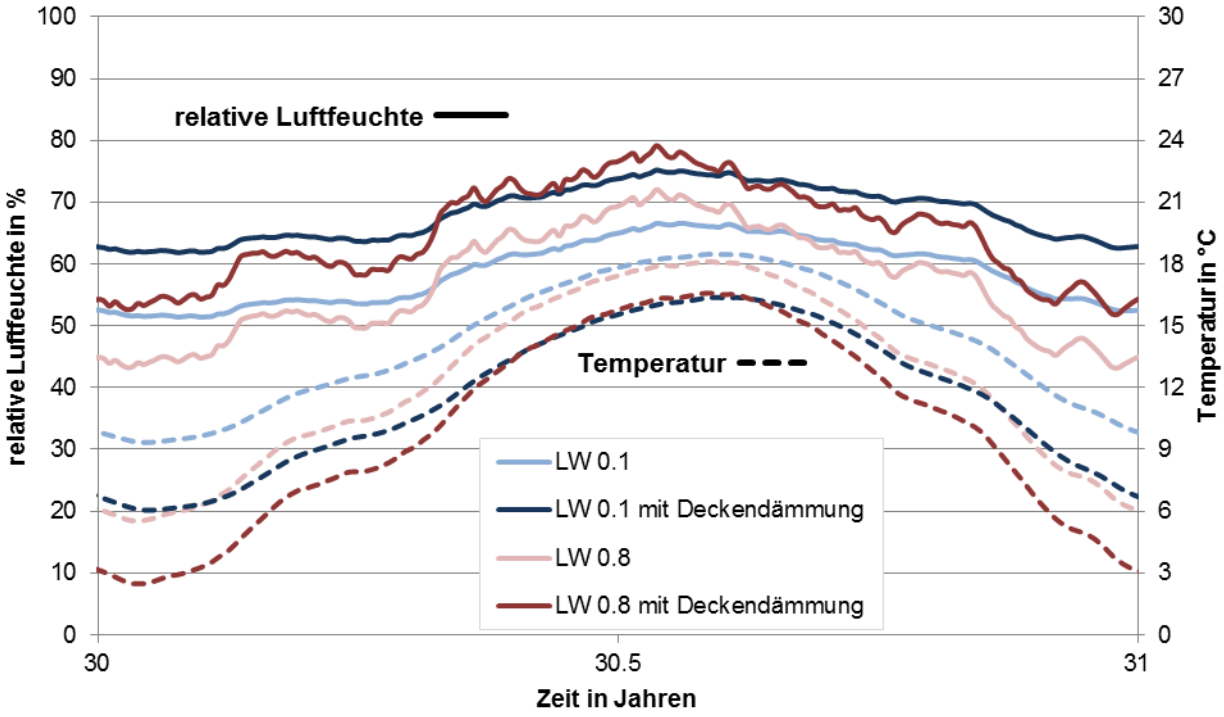


Abb. 31: Temperatur und relative Luftfeuchte bei geringer Durchfeuchtung sowie mit/ohne Deckendämmung

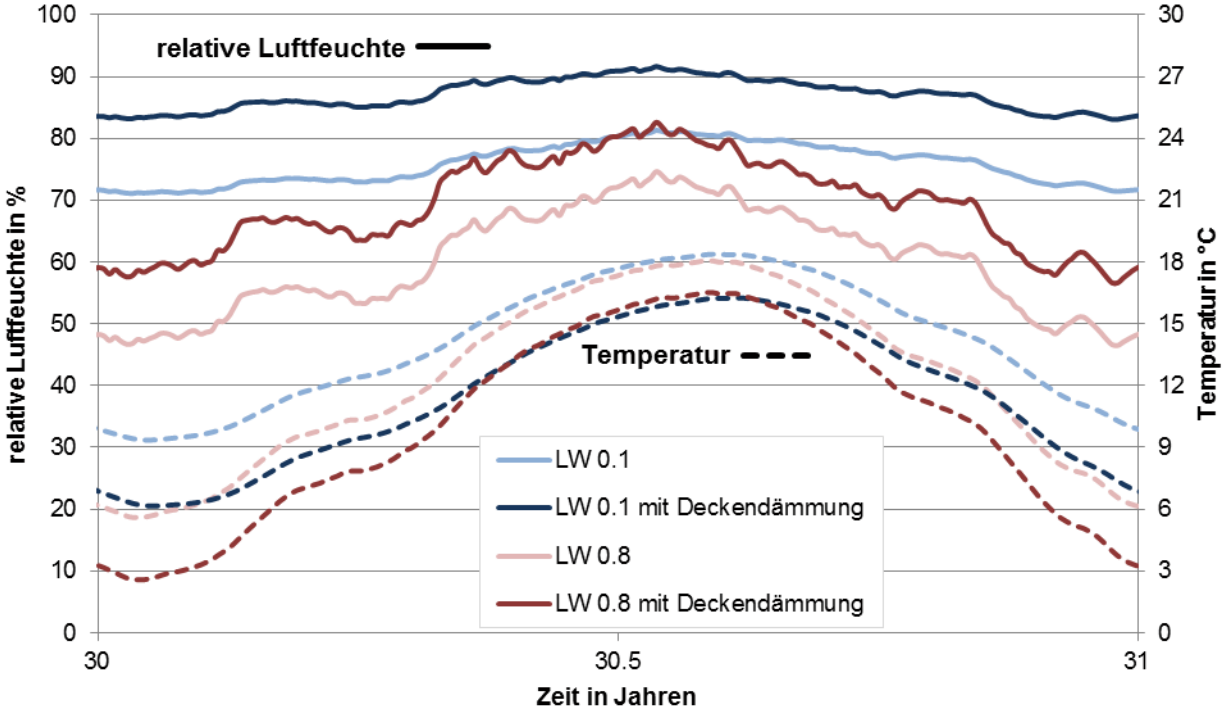


Abb. 32: Temperatur und relative Luftfeuchte bei erhöhter Durchfeuchtung sowie mit/ohne Deckendämmung

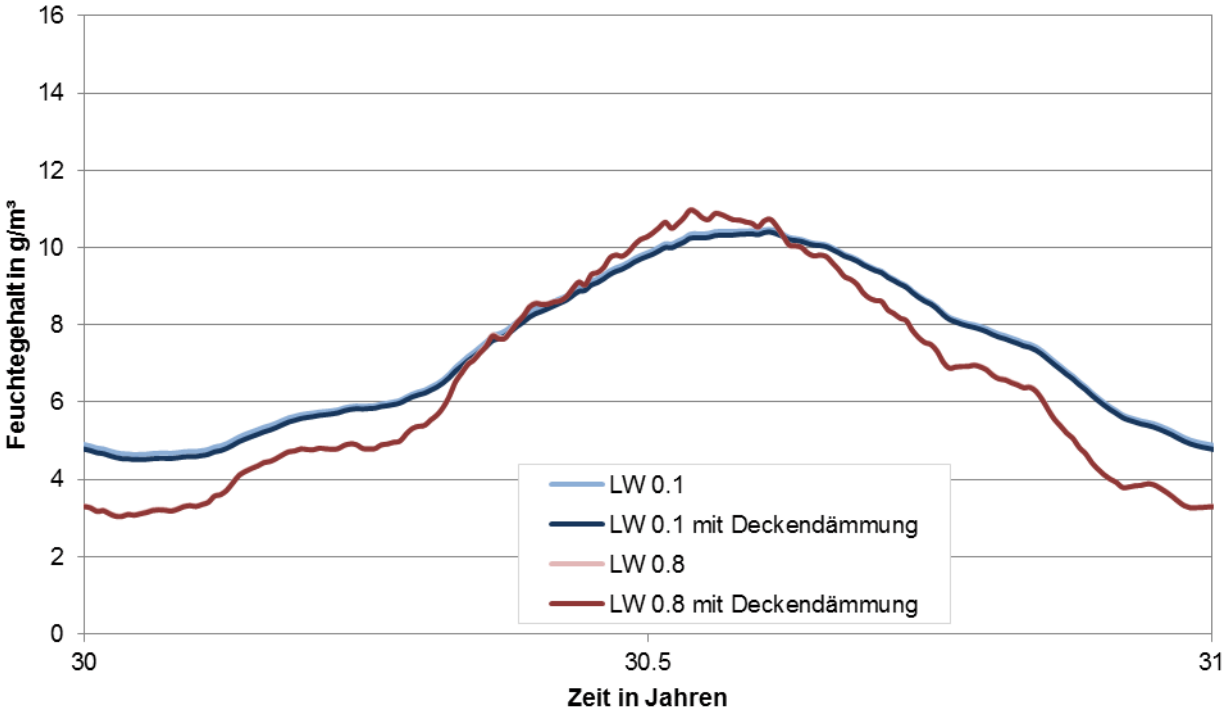


Abb. 33: Absolute Luftfeuchte bei geringer Durchfeuchtung sowie mit/ohne Deckendämmung

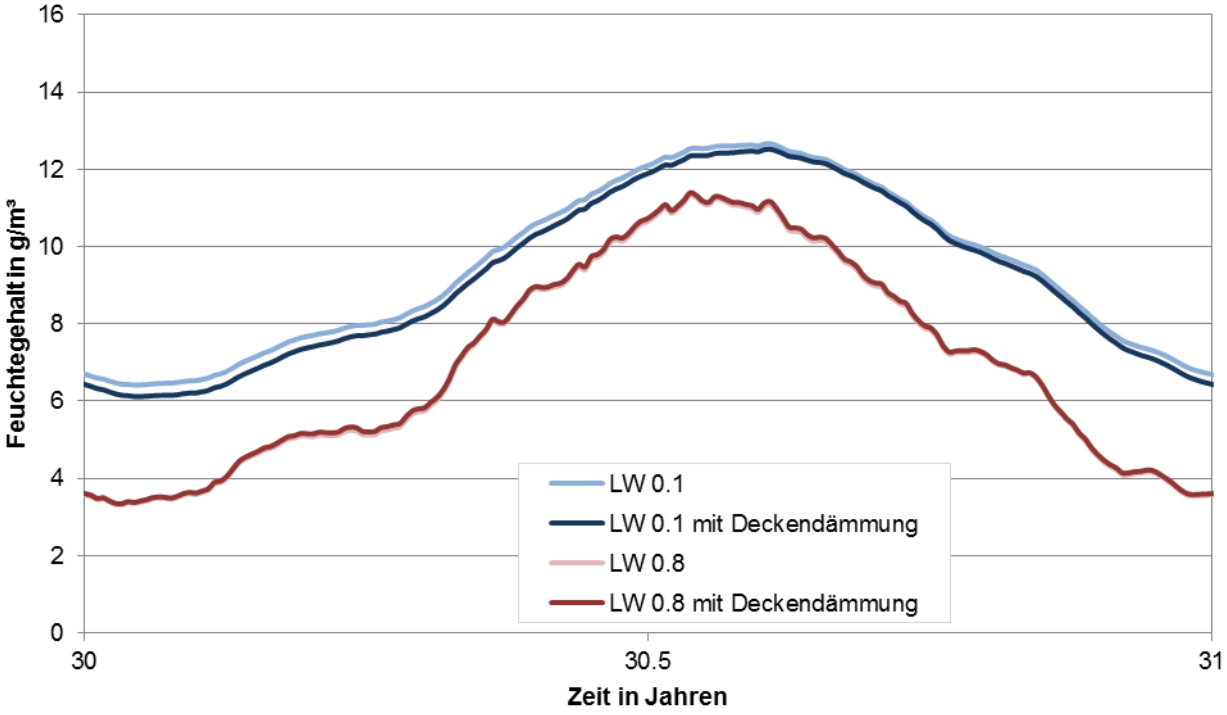


Abb. 34: Absolute Luftfeuchte bei erhöhter Durchfeuchtung sowie mit/ohne Deckendämmung

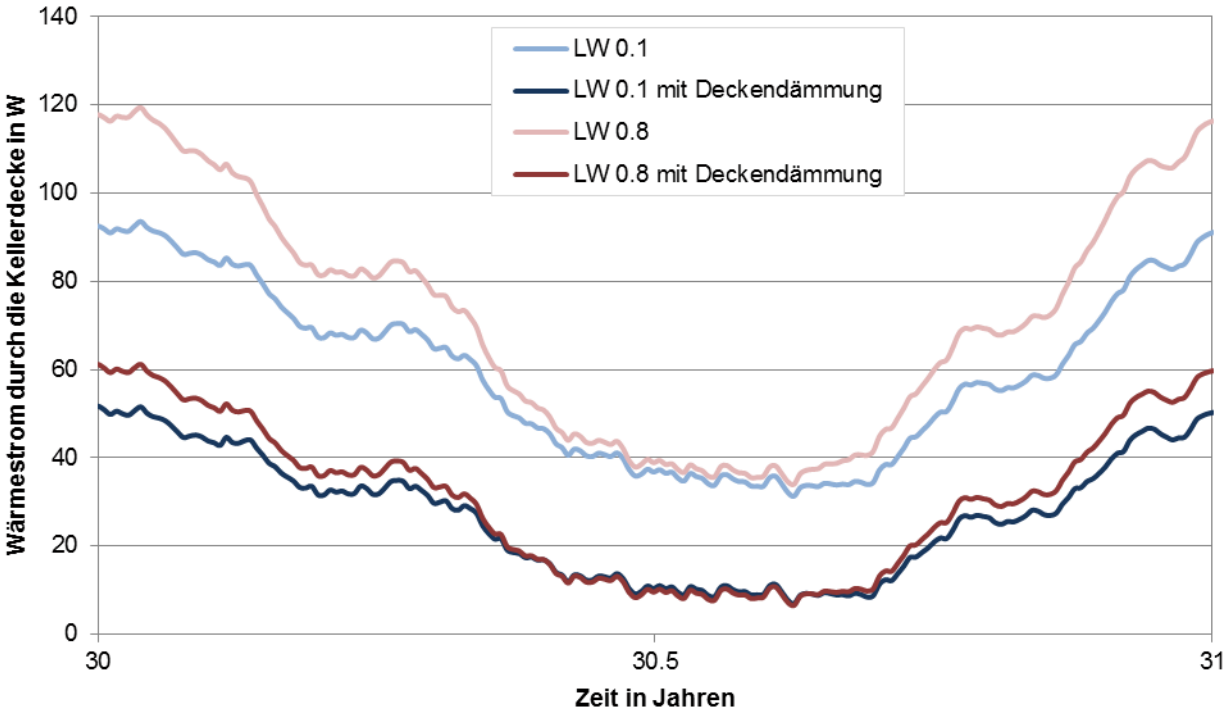


Abb. 35: Wärmestrom durch die Kellerdecke mit/ohne Deckendämmung

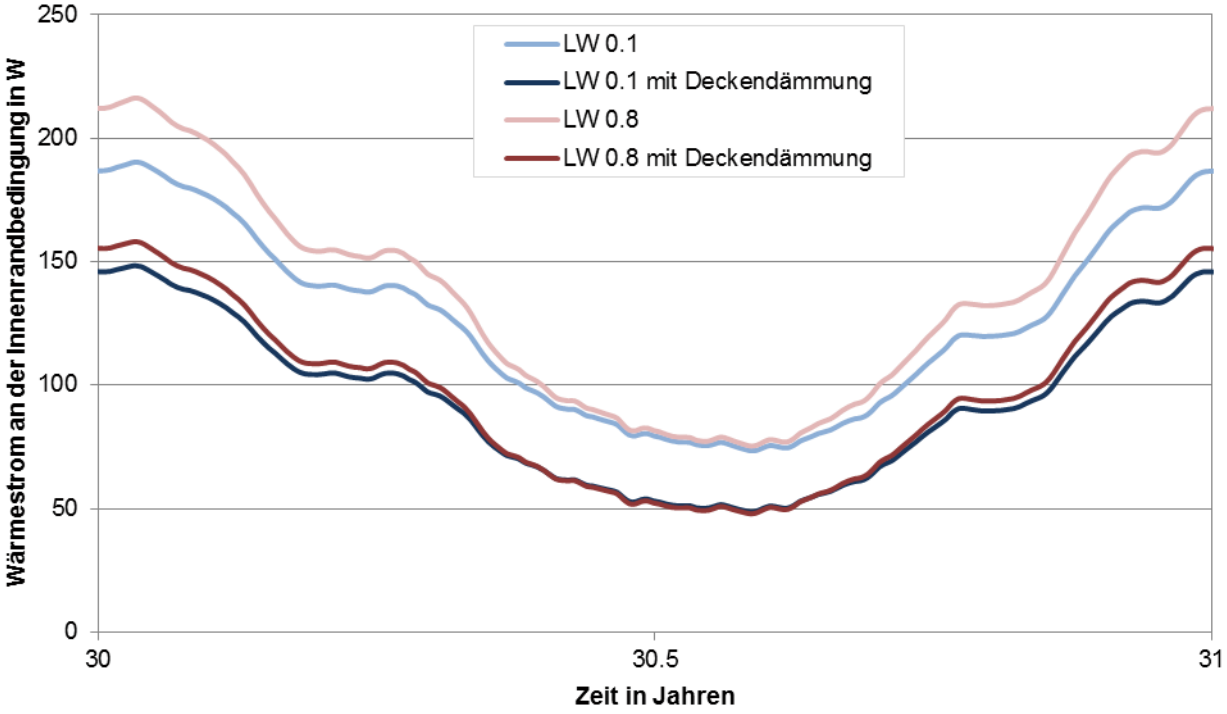


Abb. 36: Wärmeverluste über die Innenrandbedingung mit Deckendämmung

Der Durchfeuchtungsgrad des Mauerwerks hat, wie in der Bestandskonstruktion so auch hier, keinen Einfluss auf den Wärmestrom durch die Kellerdecke. Die Deckendämmung führt zu einer Verbesserung der

thermischen Eigenschaften des Wohnraums gegenüber dem Bestand. Die Auswirkungen einer Deckendämmung auf das Kellerklima sind vor allem vom Luftwechsel abhängig, da dieser die Raumlufttemperatur im Keller massiv beeinflusst. Abb. 35 veranschaulicht, dass die Wärmeverluste infolge einer hohen Kellerbelüftung durch eine Kellerdeckendämmung vollständig kompensiert werden können. Dies führt jedoch zu erhöhten relativen Luftfeuchten in der Kellerraumluft.

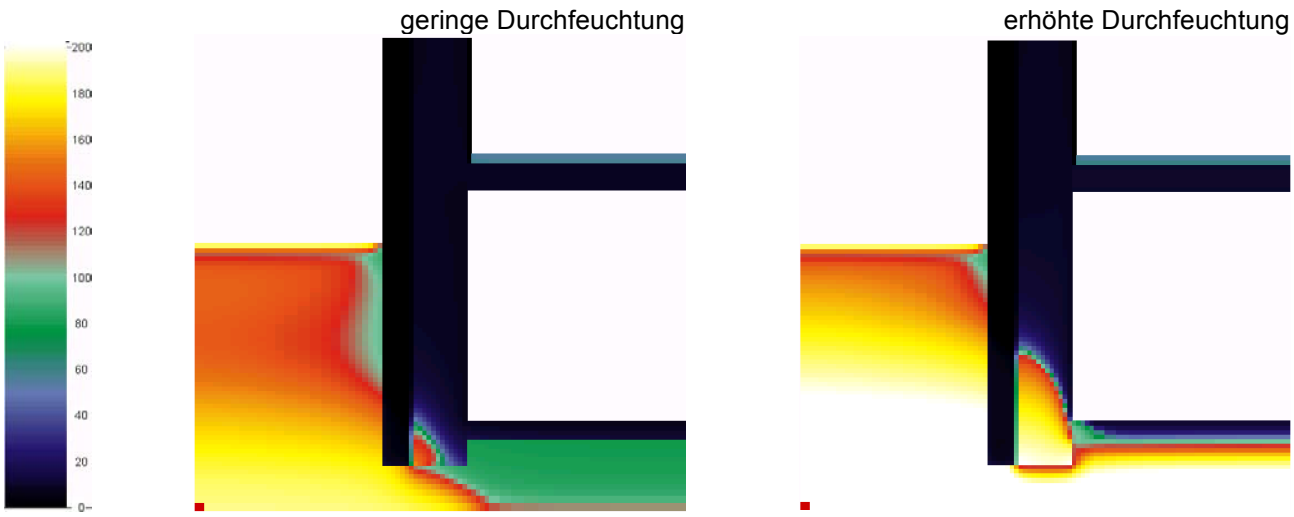
Wertet man die Ergebnisse nicht nur unter dem Gesichtspunkt der Energieeffizienz aus, sondern berücksichtigt die Dauerhaftigkeit und das Risiko eines Feuchteschadens, können aus den Jahresganglinien der relativen Luftfeuchten und des Wärmestroms zwei Fälle abgelesen werden: Liegt bei einem Sanierungsfall mit geplanter Deckendämmung eine geringe Durchfeuchtung des Mauerwerks vor, kann mit einem geringen Luftwechsel ausreichend Feuchtigkeit aus dem Keller abtransportiert und ein Bauschaden vermieden werden. Bei einem Sanierungsfall mit erhöhter Durchfeuchtung des Mauerwerks muss ein höherer Luftwechsel angesetzt werden, der jedoch zu Abstrichen in puncto Energieeffizienz führt.

Außendämmung

Basierend auf den bisherigen Ergebnissen werden die Kellermodelle mit 0,1- und 0,8-fachem Luftwechsel zusätzlich mit einer Außendämmung versehen. Dadurch werden die Transmissionswärmeverluste in den Boden und an die Außenluft vermindert und das Temperaturniveau im Keller erhöht. Dies führt zu einer Entspannung der Feuchteproblematik, wie die folgenden Abbildungen zeigen.

Es werden vier Modelle mit Außendämmung verglichen: Boden mit geringer und erhöhter Durchfeuchtung in Kombination mit Luftwechselraten von 0,1 und 0,8 pro Stunde. Die folgenden Abbildungen zeigen den jeweiligen Zustand im Winter (1.1.).

Wassergehalt in kg/m³



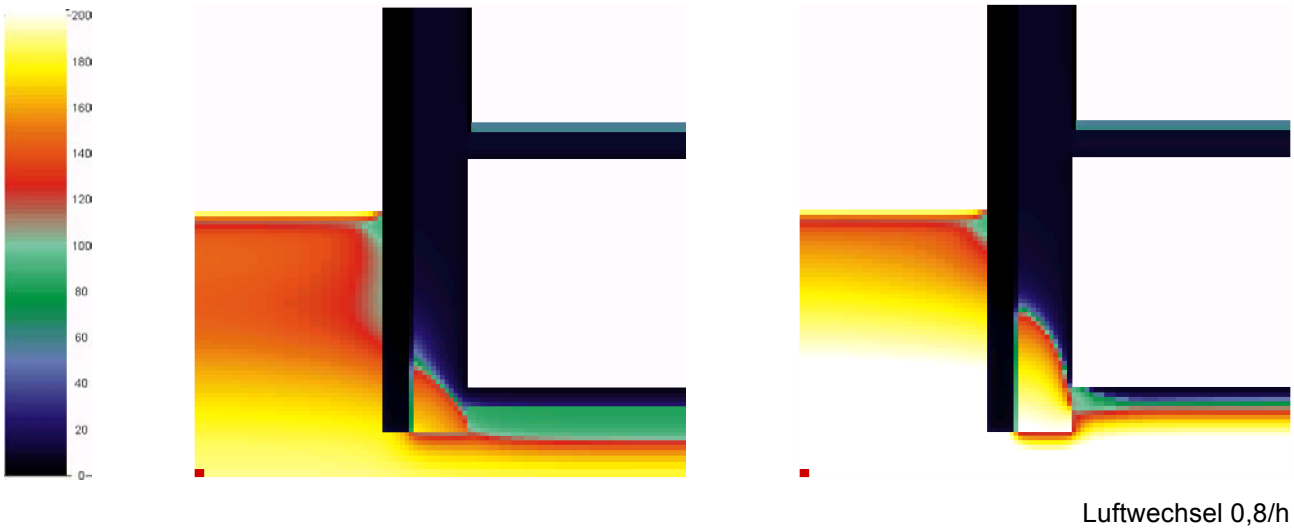


Abb. 37: Wassergehalt bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung und unterschiedlichen Luftwechselraten

Relative Luftfeuchte dimensionslos

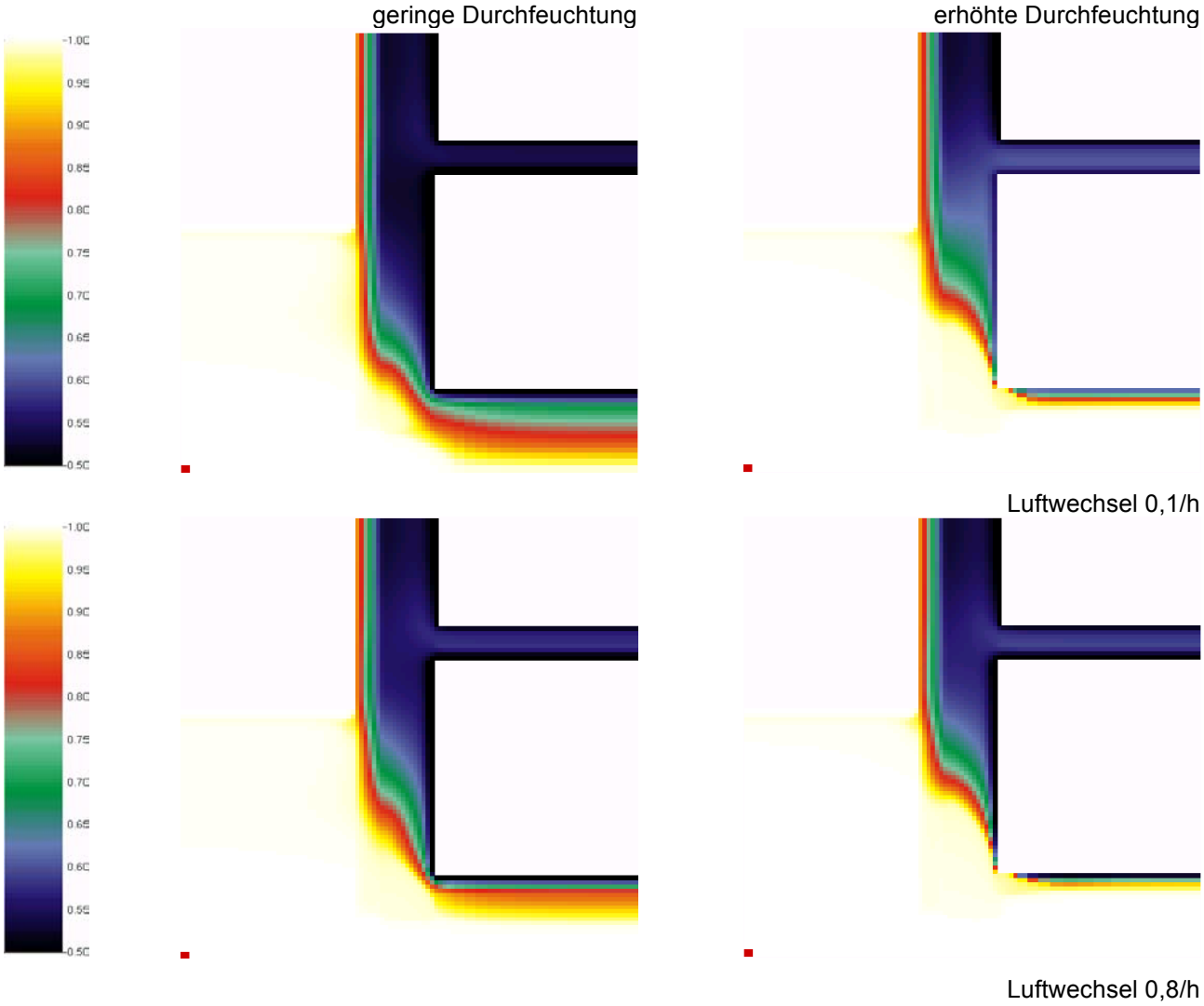


Abb. 38: Relative Luftfeuchte bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung und unterschiedlichen Luftwechselraten

Aufgrund der Außendämmung und der damit verbundenen Anhebung des Temperaturniveaus im Kellerraum kann die relative Luftfeuchte in der Kellerraumluft gesenkt werden. Der Jahresverlauf zeigt, dass dies mit unterstützendem Luftwechsel vor allem im Winter gut funktioniert. Während der Sommermonate ist bei großem Luftwechsel hingegen ein Anstieg der relativen Luftfeuchte zu verzeichnen, da der Feuchteeintrag von außen überwiegt. Ein Vergleich von Abb. 39 (geringe Durchfeuchtung) und Abb. 40 (erhöhte Durchfeuchtung) zeigt den Einfluss der Feuchtequellen aus dem Boden und aus der Außenluft. Bei geringer Durchfeuchtung des Mauerwerks wirkt sich ein geringer Luftwechsel positiv aus, bei erhöhter Durchfeuchtung liefert ein höherer Luftwechsel bessere Ergebnisse in Bezug auf die relative Raumluftfeuchte.

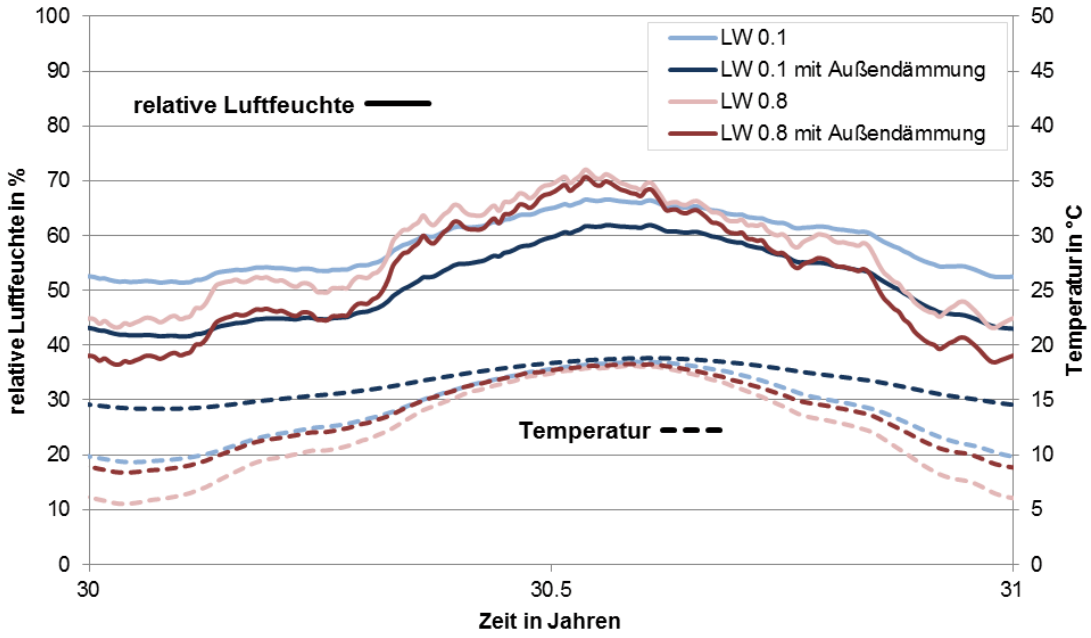


Abb. 39: Temperatur und relative Luftfeuchte bei geringer Durchfeuchtung mit/ohne Außendämmung

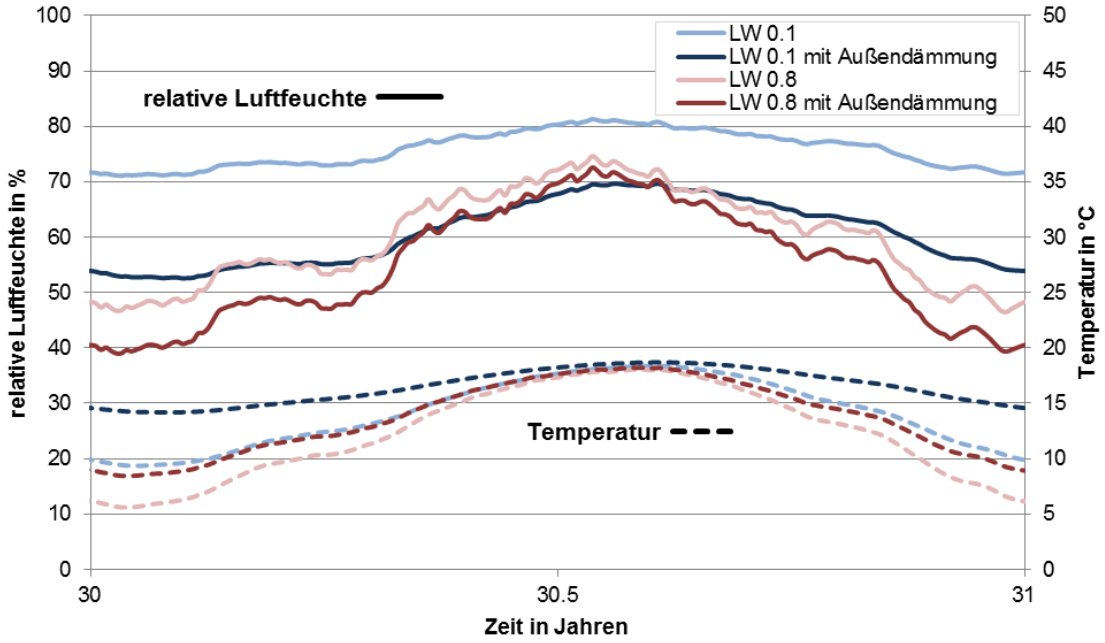


Abb. 40: Temperatur und relative Luftfeuchte bei erhöhter Durchfeuchtung mit/ohne Außendämmung

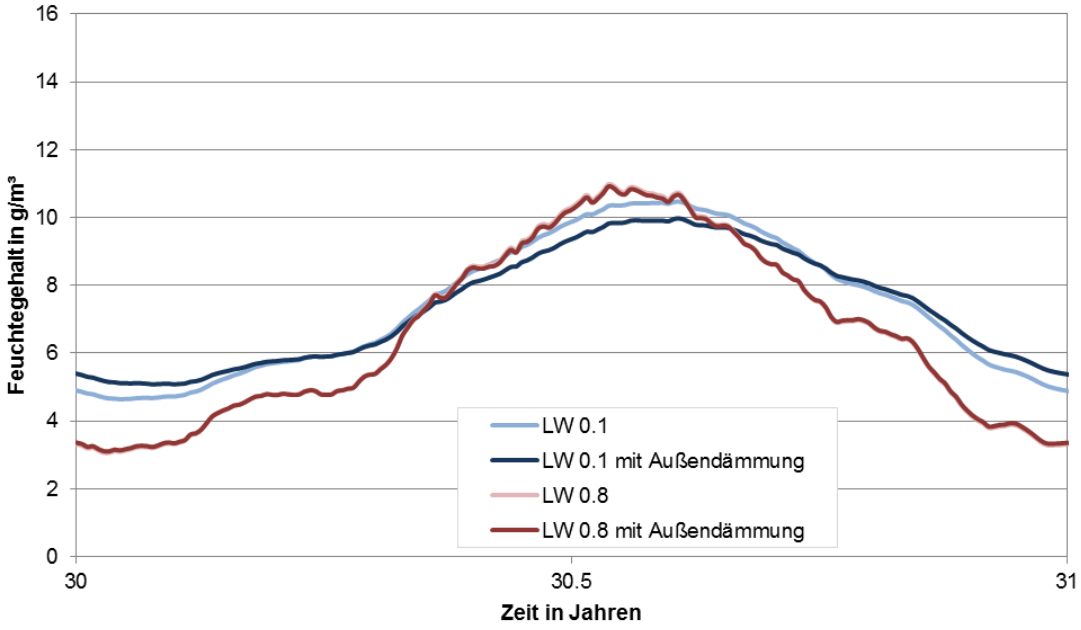


Abb. 41: Absolute Luftfeuchte bei geringer Durchfeuchtung mit/ohne Außendämmung

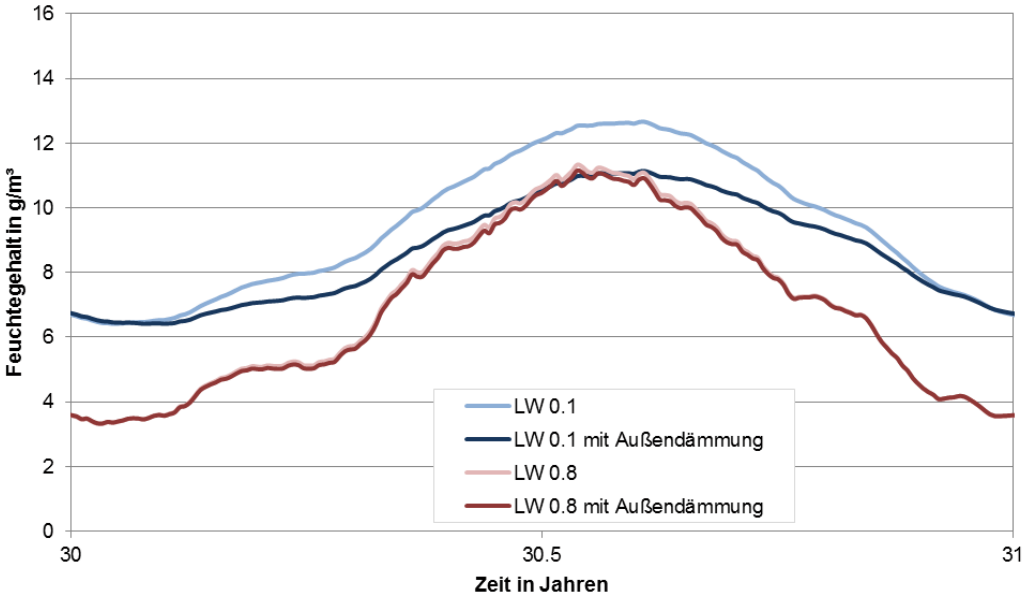


Abb. 42: Absolute Luftfeuchte bei erhöhter Durchfeuchtung mit/ohne Außendämmung

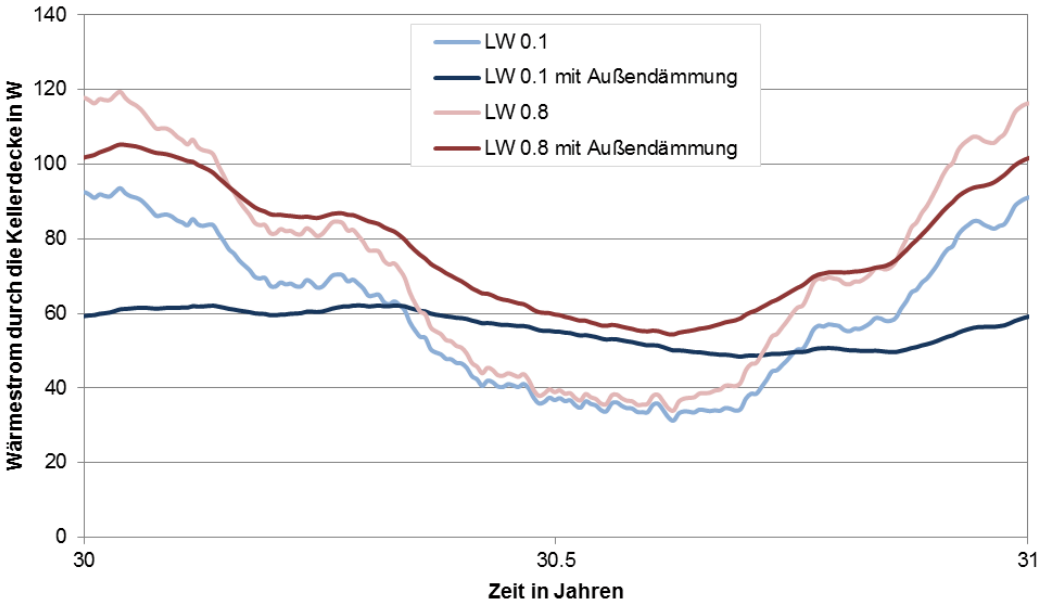


Abb. 43: Wärmestrom durch die Kellerdecke mit/ohne Außendämmung

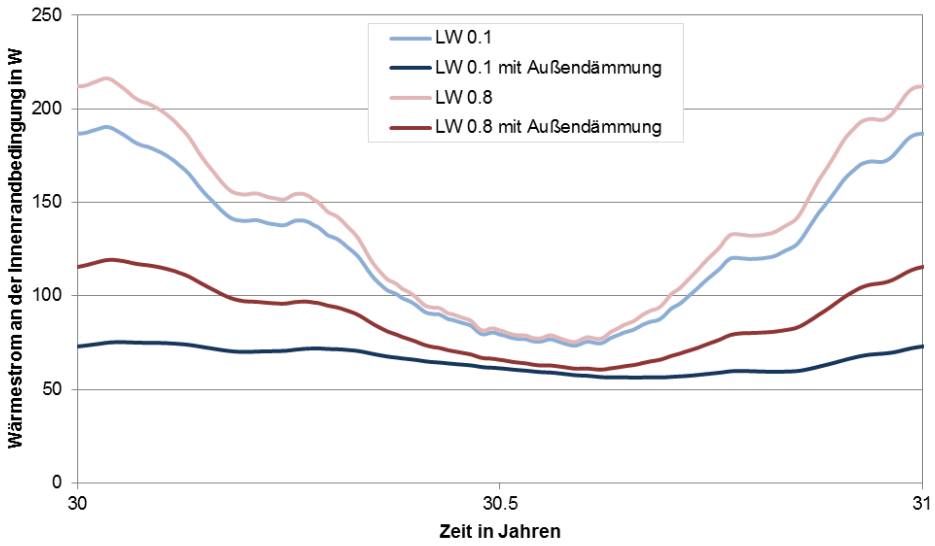


Abb. 44: Wärmeverluste der Innenrandbedingung mit/ohne Außendämmung

Außendämmung und Kellerdeckendämmung

Modellbildung

Basierend auf den bisherigen Ergebnissen werden die Kellermodelle mit 0,1- und 0,8-fachem Luftwechsel zusätzlich mit einer Außen- und einer Kellerdeckendämmung versehen. Dadurch werden die Transmissionswärmeverluste in den Keller vermindert, wodurch die Kellertemperatur absinkt.
Diese Variante mit Außendämmung wird anhand von zwei baulich verschiedenen Varianten untersucht. Die erste Variante beinhaltet eine Außendämmung über die gesamte Fassade und den Sockelbereich bis zur Fundamentsohle. Eine baulich einfachere Variante besteht darin, nur die Fassade bis zur Geländeoberkante zu dämmen. Die kostenintensive Freilegung und Dämmung des Fundamentbereichs wird weggelassen. Diese Konstruktion wird in der zweiten Variante untersucht.
Die beschriebenen Modelle sind in der folgenden Abbildung gegenübergestellt.

Var1: Fassaden- und Sockeldämmung Var2: Nur Fassadendämmung

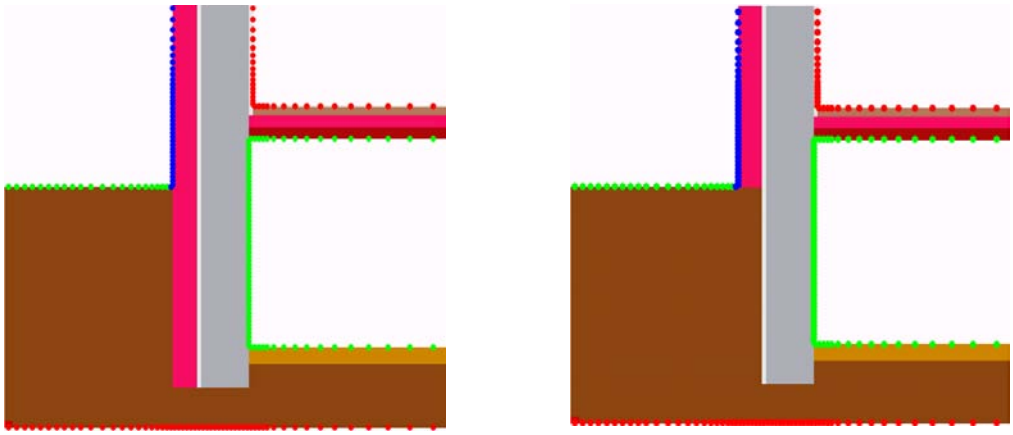


Abb. 45: Modelle mit Fassaden- und Kellerdeckendämmung

Wird zusätzlich eine Dämmung in die Kellerdecke eingebaut, führen beide Kombinationen zu einer massiven Abkühlung der Kellerraumluft im Winter. Dieses Phänomen ist bei der Variante 2 noch stärker ausgeprägt, da die an das Erdreich angrenzende Außenwand nicht gedämmt ist und somit ein vermehrter Wärmeabfluss in den umgebenden Erdkörper stattfinden kann.
Für beide Varianten werden vier Modelle mit Außen- und Deckendämmung verglichen: Boden mit geringer und erhöhter Durchfeuchtung in Kombination mit Luftwechselraten von 0,1 und 0,8 pro Stunde. Die folgenden Abbildungen zeigen den jeweiligen Zustand im Winter (1.1.).

Fassaden- und Sockeldämmung sowie Kellerdeckendämmung

In den nachfolgenden Schaubildern werden die Verteilungen von Wassergehalt und relativer Luftfeuchte am 1.1. dargestellt. Das Modell beinhaltet eine Außendämmung, die bis zur Fundamentsohle reicht, und eine Kellerdeckendämmung.

Wassergehalt in kg/m³

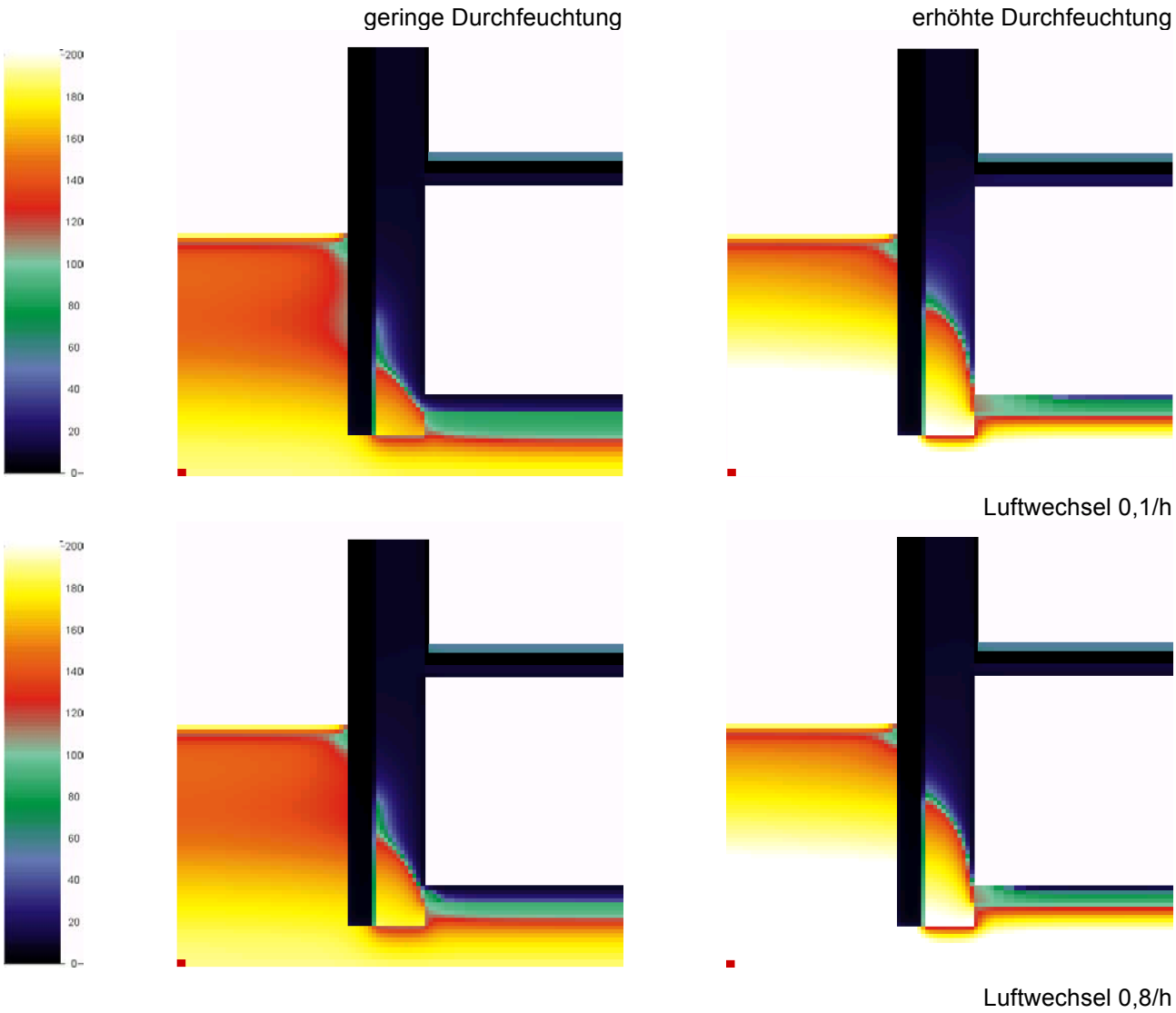


Abb. 46: Wassergehalt bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung und unterschiedlichen Luftwechselraten

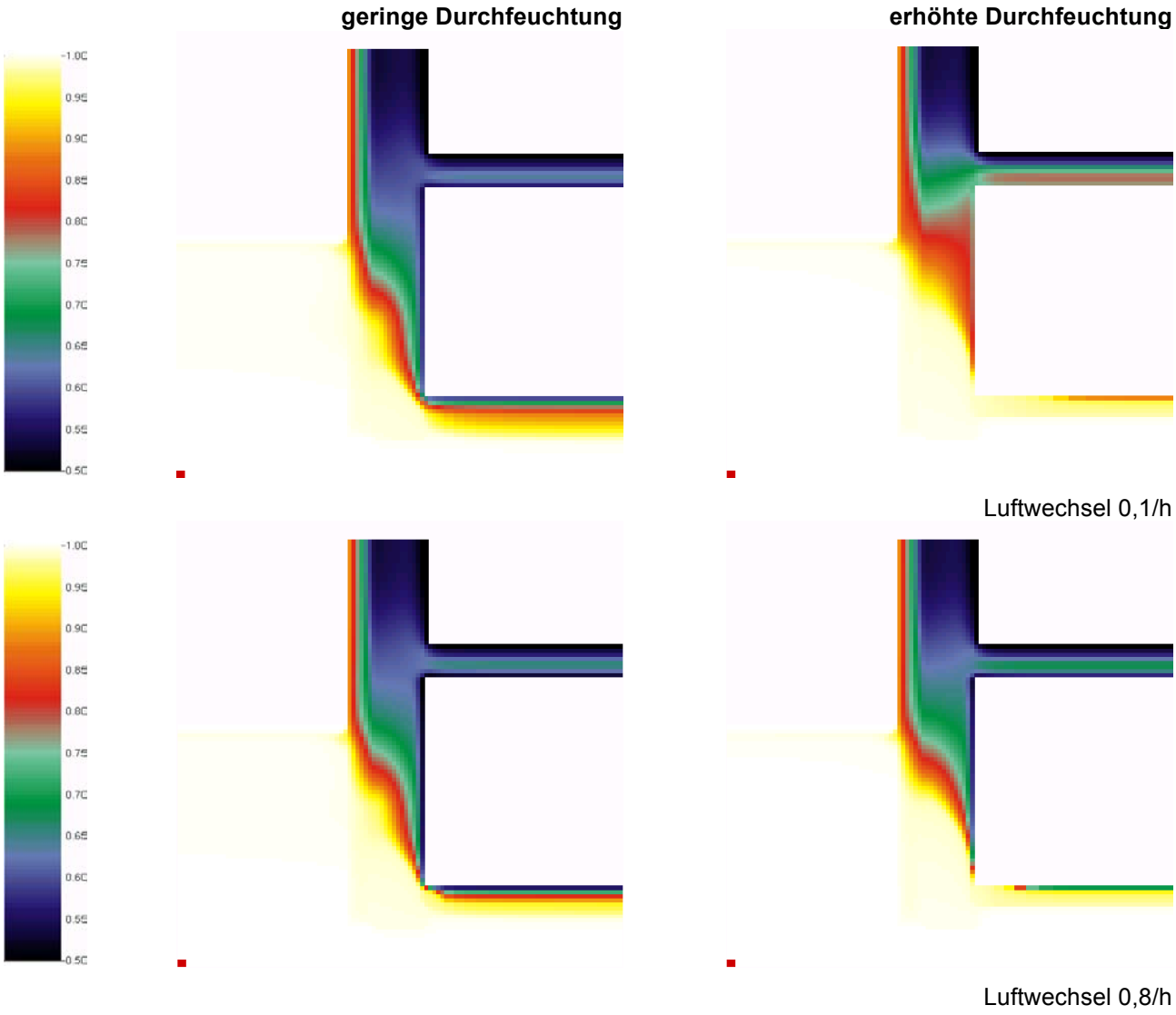


Abb. 47: Relative Luftfeuchte bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung und unterschiedlichen Luftwechselraten

Die Kombination von Außendämmung und Kellerdeckendämmung führt in allen untersuchten Varianten zu einer Verschärfung des Feuchteproblems. Vor allem bei geringem Luftwechsel zeichnet sich eine massive Erhöhung der relativen Luftfeuchte ab. Auch bei diesen Varianten ist der Einfluss der Feuchtequellen deutlich erkennbar.

Fassadendämmung und Kellerdeckendämmung

In den nachfolgenden Schaubildern werden die Verteilungen von Wassergehalt und relativer Luftfeuchte am 1.1. dargestellt. Bei diesem Modell wird die Außendämmung nur bis zur Geländeoberkante geführt. Das im Erdreich liegende Mauerwerk wird als verputzt angenommen, was zu einer geringeren Wasseraufnahme in diesem Bereich führt.

Wassergehalt in kg/m³

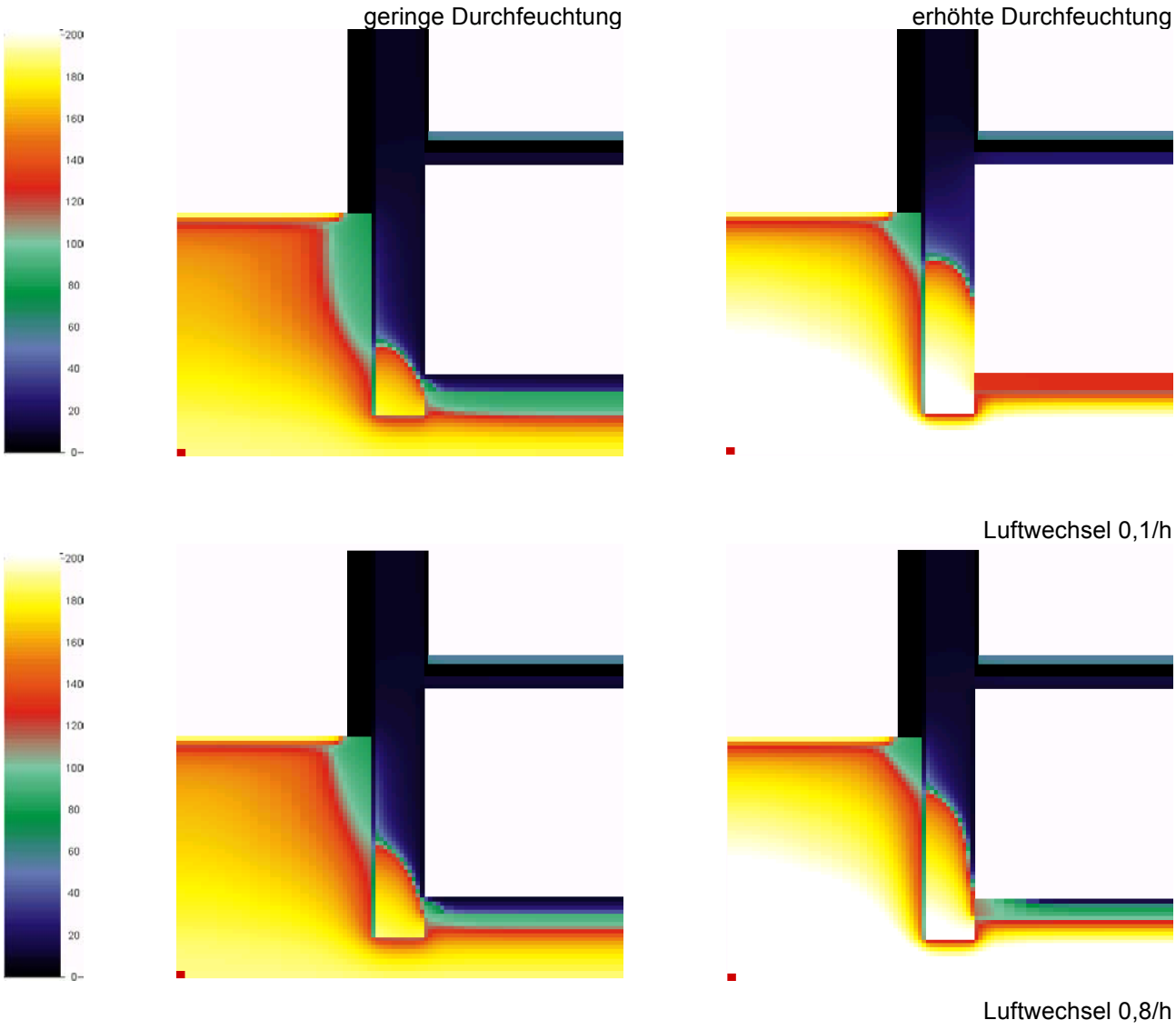


Abb. 48: Wassergehalt bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung und unterschiedlichen Luftwechselraten

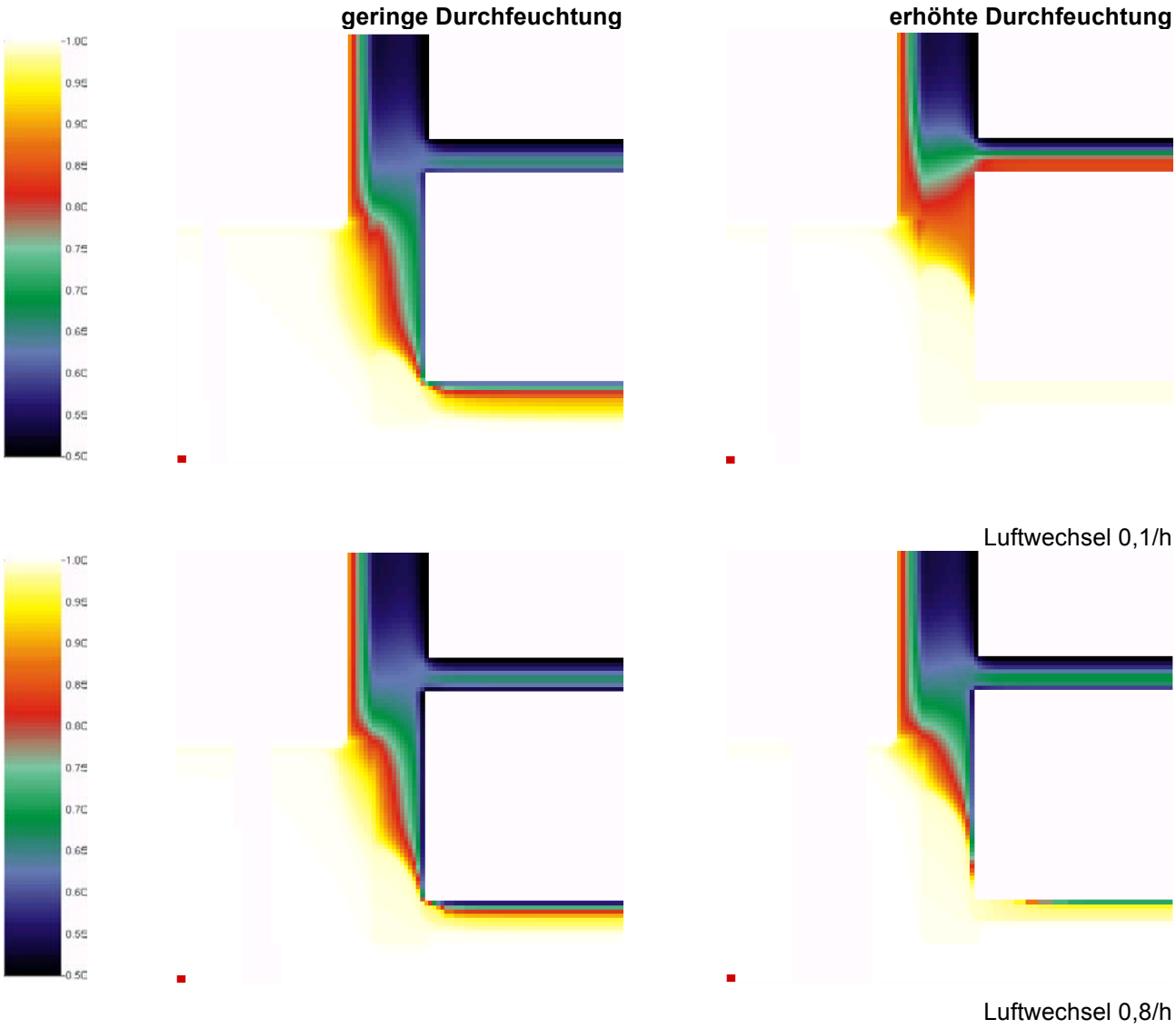


Abb. 49: Relative Luftfeuchte bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung und unterschiedlichen Luftwechselraten

Die Ergebnisse des Modells ohne Außendämmung im Sockelbereich zeigen ein deutliches Ansteigen des Feuchtehorizonts im Mauerwerk. Der Einfluss des Luftwechsels ist an der oberflächlichen Abtrocknung bei hohen Luftwechselraten erkennbar. Bei erhöhter Durchfeuchtung des Bodens und gleichzeitig geringem Luftwechsel liegt der gesamte Wandquerschnitt des Kellermauerwerks im kritischen Bereich der relativen Luftfeuchte. Die Gefahr von Schimmelpilzwachstum ist in diesem Zustand beträchtlich.

Vergleich der Ergebnisse der Modelle mit Außendämmung

Um die Auswirkungen der Sockeldämmung genauer zu analysieren, werden im Folgenden die Jahresverläufe beider Varianten bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung des Mauerwerks dargestellt.

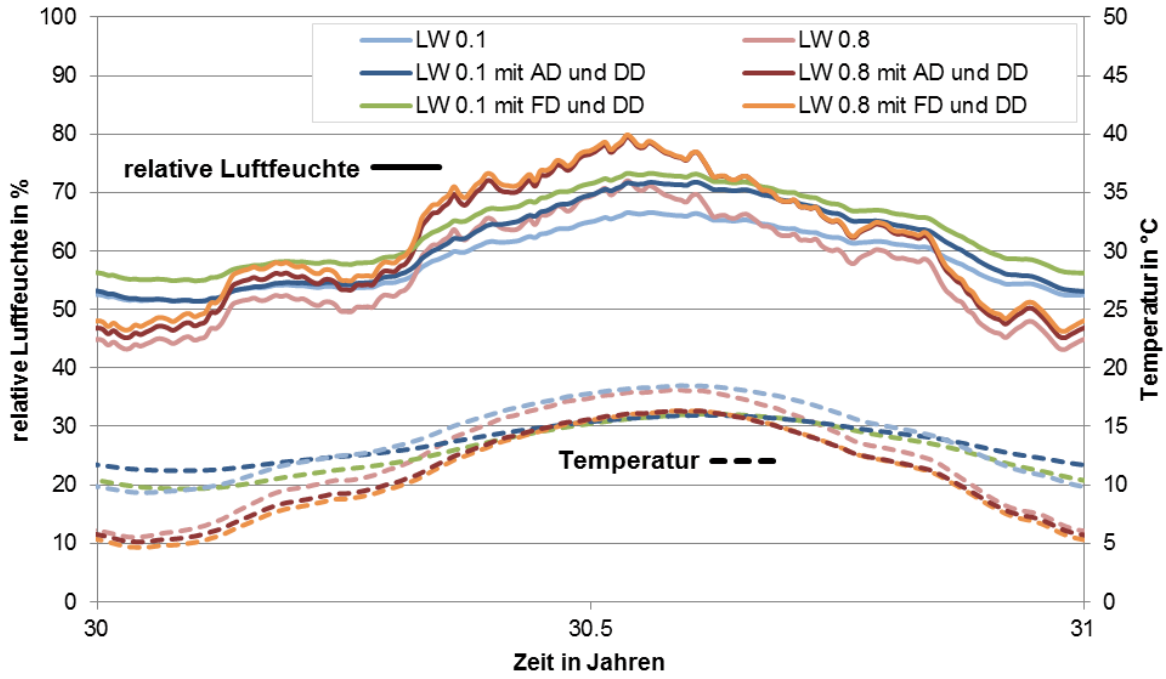


Abb. 50: Temperatur und relative Luftfeuchte bei geringer Durchfeuchtung mit/ohne Außen- bzw. Fassadendämmung sowie Deckendämmung

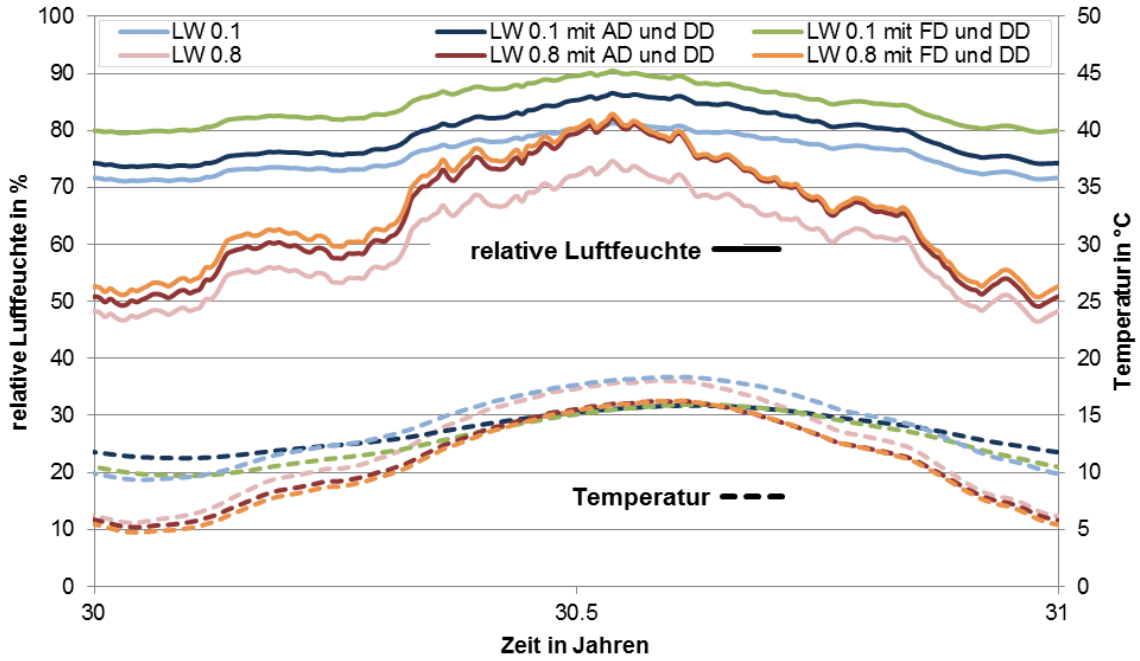


Abb. 51: Temperatur und relative Luftfeuchte bei erhöhter Durchfeuchtung mit/ohne Außen- bzw. Fassadendämmung sowie Deckendämmung

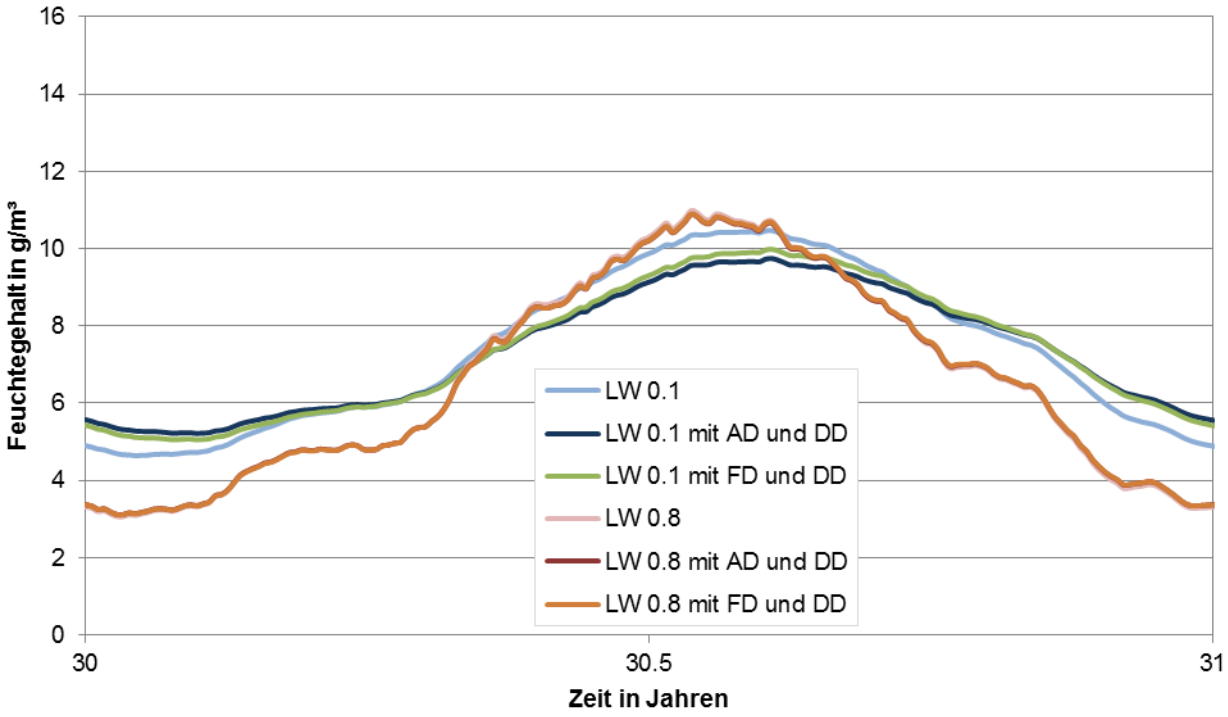


Abb. 52: Absolute Luftfeuchte bei geringer Durchfeuchtung mit/ohne Außen- bzw. Fassadendämmung sowie Deckendämmung

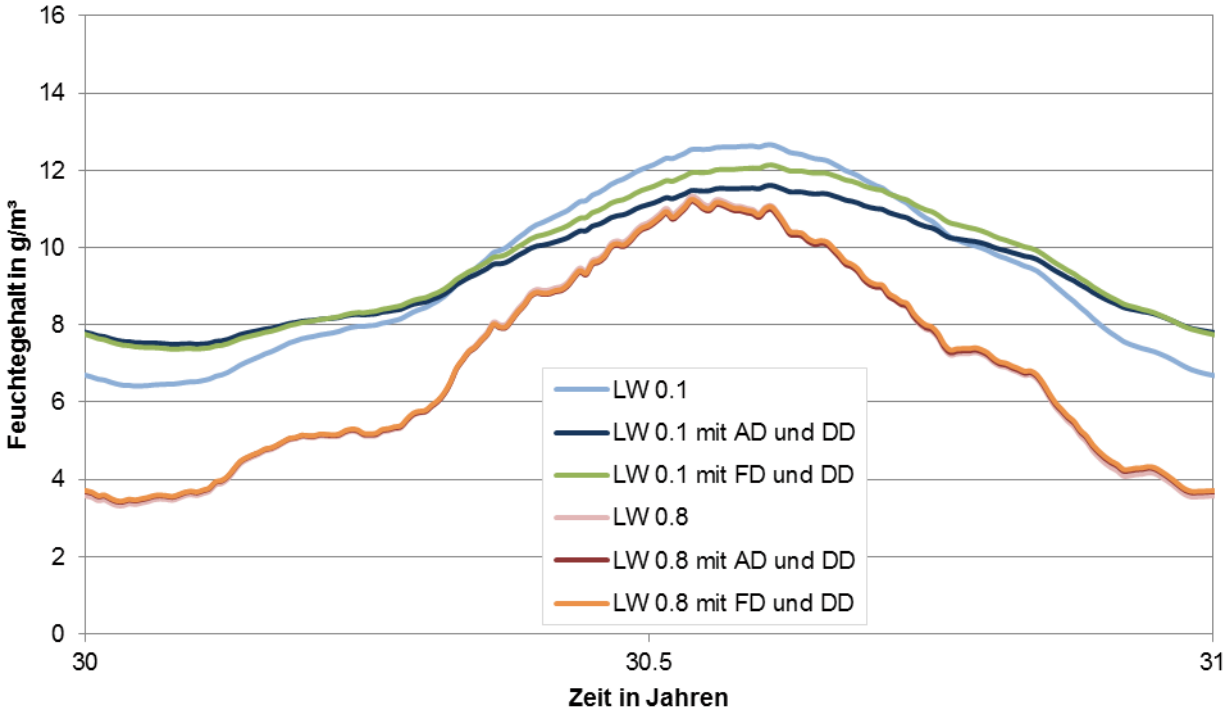


Abb. 53: Absolute Luftfeuchte bei erhöhter Durchfeuchtung mit/ohne Außen- bzw. Fassadendämmung sowie Deckendämmung

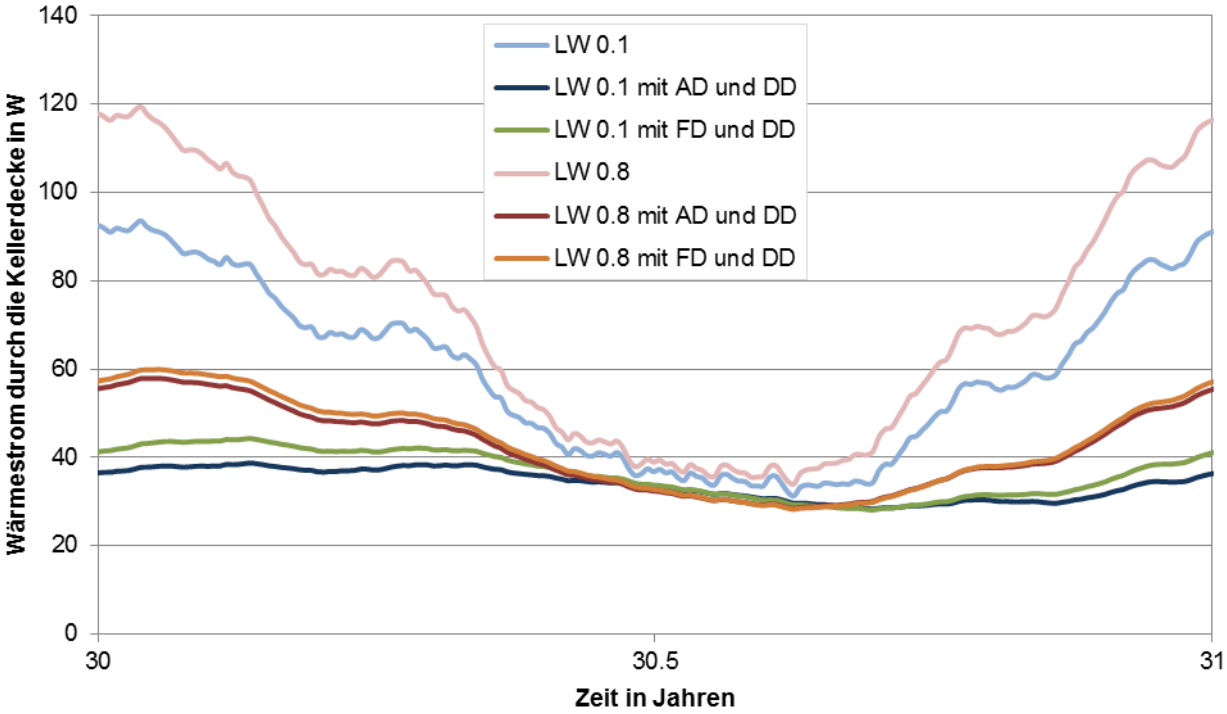


Abb. 54: Wärmestrom durch die Kellerdecke bei geringer Durchfeuchtung mit/ohne Außen- bzw. Fassadendämmung und Deckendämmung

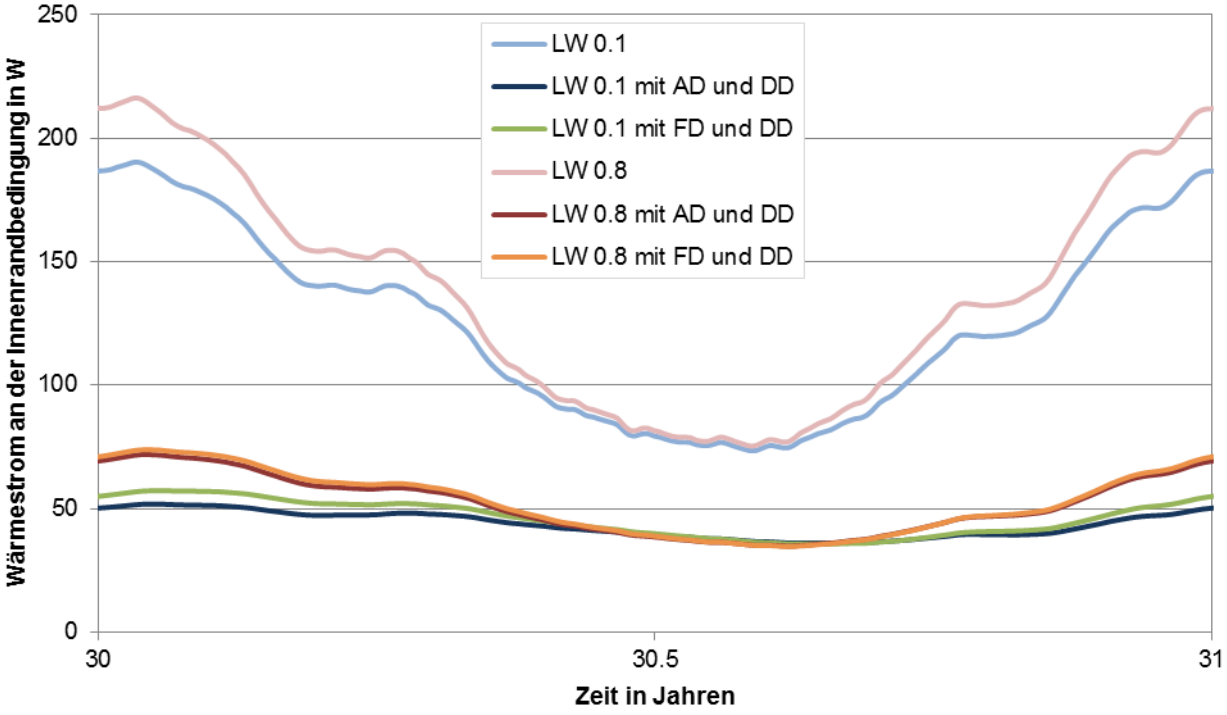


Abb. 55: Wärmeverluste über die Innenrandbedingung bei geringer Durchfeuchtung mit/ohne Außen- bzw. Fassadendämmung und Deckendämmung

Dämmung der Außenhülle mittels Außen- und Kellerbodendämmung

Wird ein außen gedämmter Keller zusätzlich mit einer Kellerbodendämmung versehen, ist die Kellerraumluft noch stärker von der Außenrandbedingung bzw. vom Luftwechsel abhängig. Außerdem wird durch die Bodendämmung die Feuchtezufuhr aus dem Kellerboden reduziert. Der zusätzliche Diffusionswiderstand aufgrund des neuen Fußbodenaufbaus aus 30 cm XPS mit einem µ-Wert von 100 sowie 20 cm Stahlbeton mit einem µ-Wert von 80 führt zu einem gesamten Diffusionswiderstand der Bauteilschicht von s_d = 46 m. Dadurch wird der Feuchteeintrag vom Boden in die Kellerraumluft deutlich reduziert.

Es werden vier Modelle mit Außen- und Kellerbodendämmung verglichen: Boden mit geringer und erhöhter Durchfeuchtung in Kombination mit Luftwechselraten von 0,1 und 0,8 pro Stunde. Die folgenden Abbildungen zeigen den jeweiligen Zustand im Winter (1.1.).

Wassergehalt in kg/m³

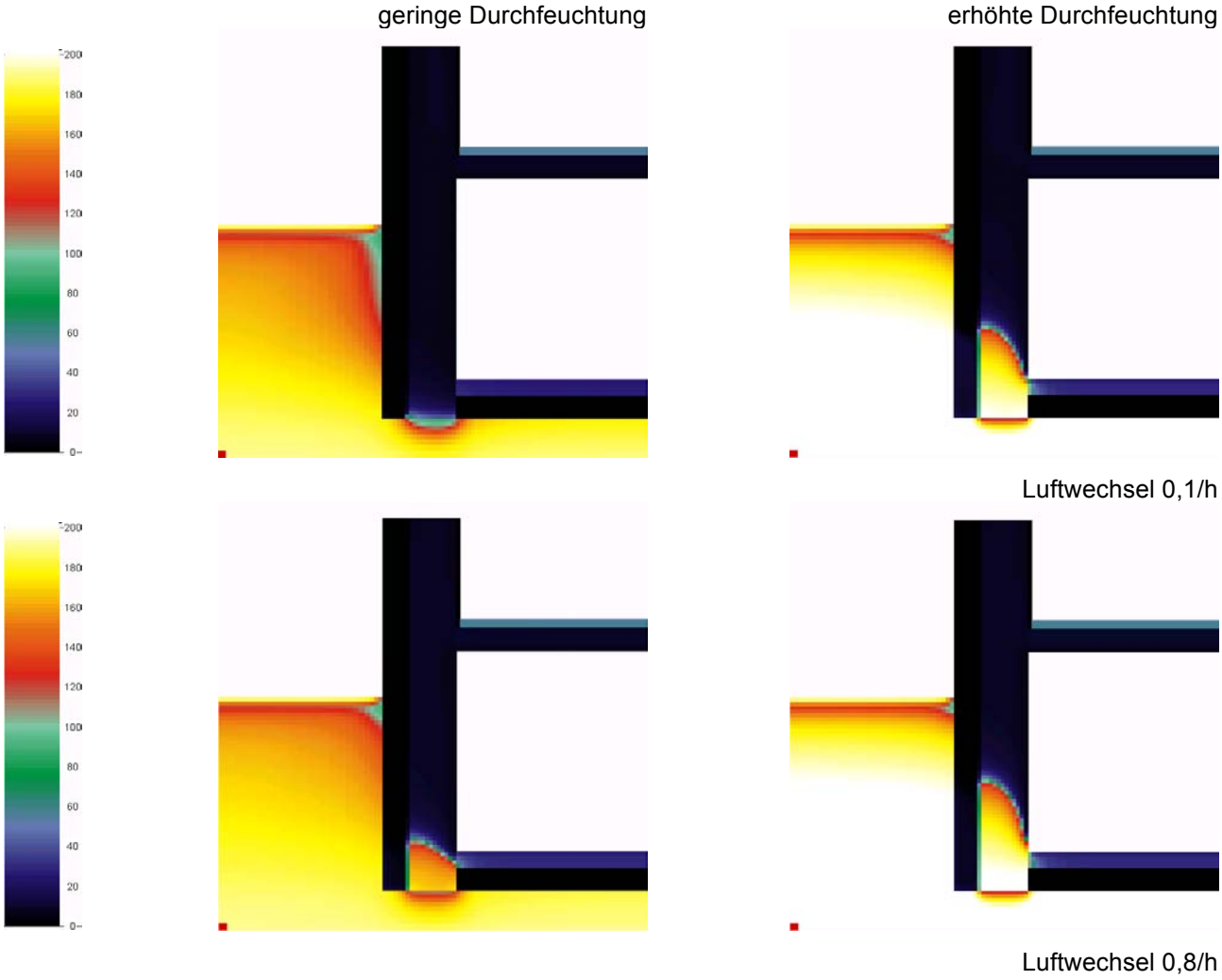


Abb. 56: Wassergehalt bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung und unterschiedlichen Luftwechselraten

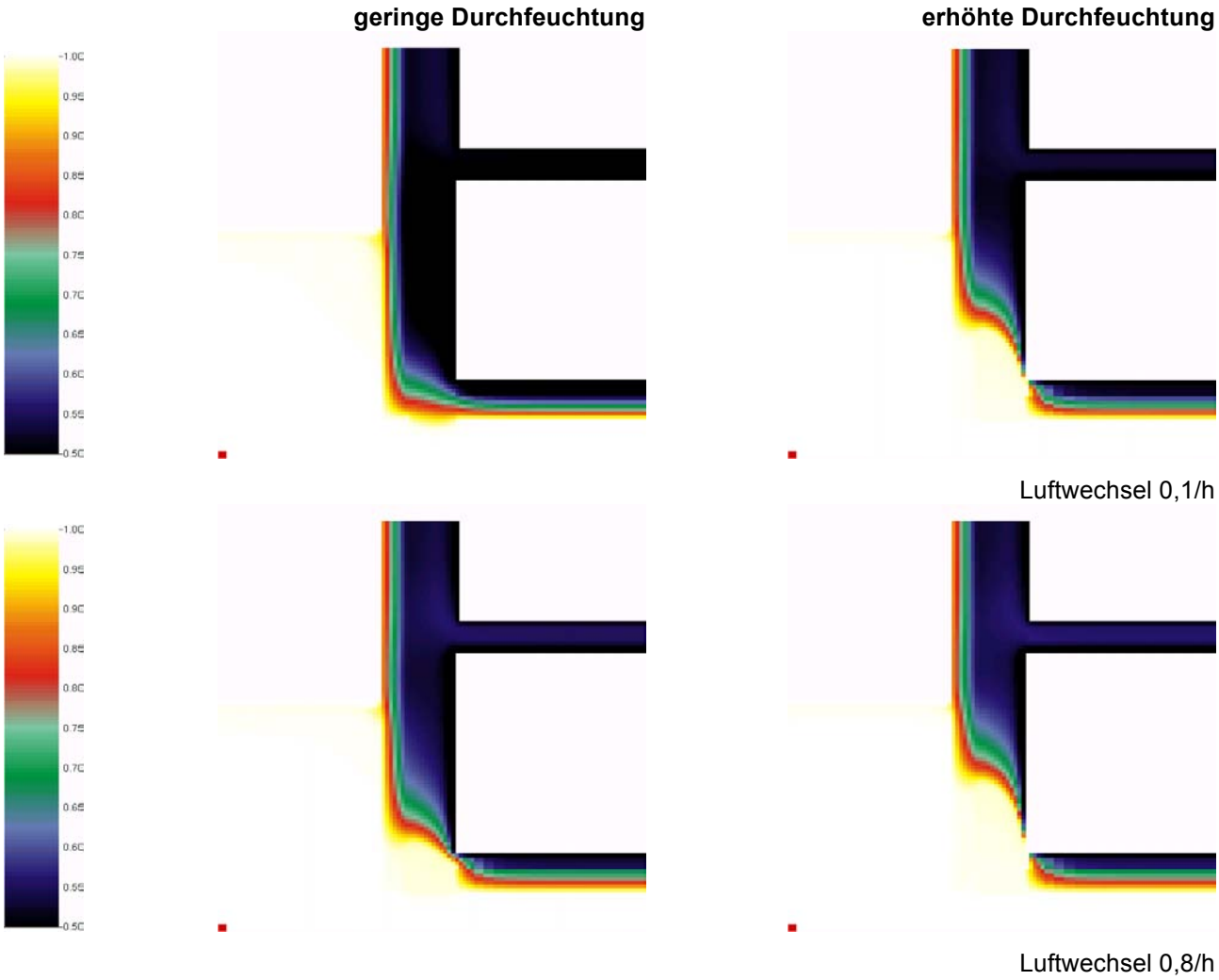


Abb. 57: Relative Luftfeuchte bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung und unterschiedlichen Luftwechselraten

Die Schaubilder zeigen eine deutliche Abtrocknung der oberflächennahen Bauteilschichten der Kellerwand. Da die Kellerdecke nicht gedämmt ist, bleibt ein beträchtlicher Wärmeeintrag von der Erdgeschoßwohnung in den unbeheizten Keller bestehen. Dadurch ist das Temperaturniveau der Kellerraumluft relativ hoch. Aufgrund der Bodendämmung und der damit verbundenen Abdichtung des anliegenden Erdreichs ist der Feuchteeintrag in die Kellerraumluft geringer als bei den Varianten ohne Bodendämmung. Dies ist anhand der Jahresverläufe der relativen und der absoluten Luftfeuchte der Kellerluft in den Abb. 58 bis Abb. 61 erkennbar. In allen simulierten Fällen wird die Kellerraumluft infolge der Dämmmaßnahme trockener. Bei einem Keller mit erhöhter Durchfeuchtung des Mauerwerks und einer geringen Belüftung wirkt sich der Einbau einer gedämmten Bodenplatte am markantesten aus, da der Feuchteeintrag über den Boden verringert wird. Dies ist in Abb. 61 anhand der blauen Jahresverläufe sehr deutlich erkennbar.

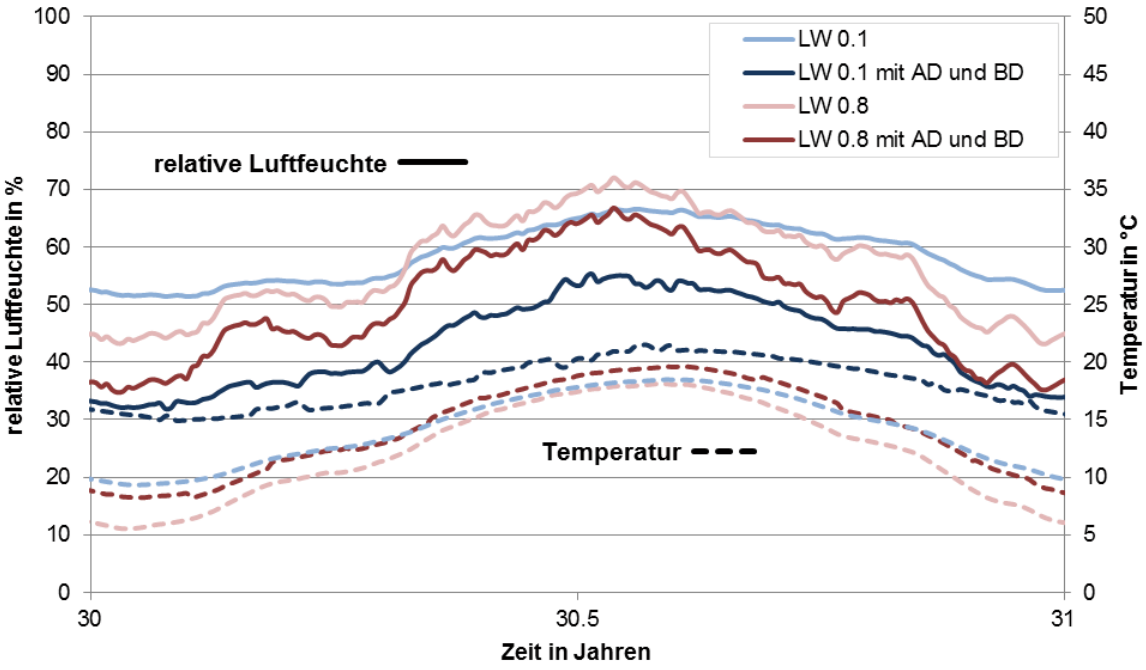


Abb. 58: Jahresverlauf von relativer Luftfeuchte und Temperatur bei geringer Durchfeuchtung des Bodens mit/ohne Außendämmung und Bodendämmung

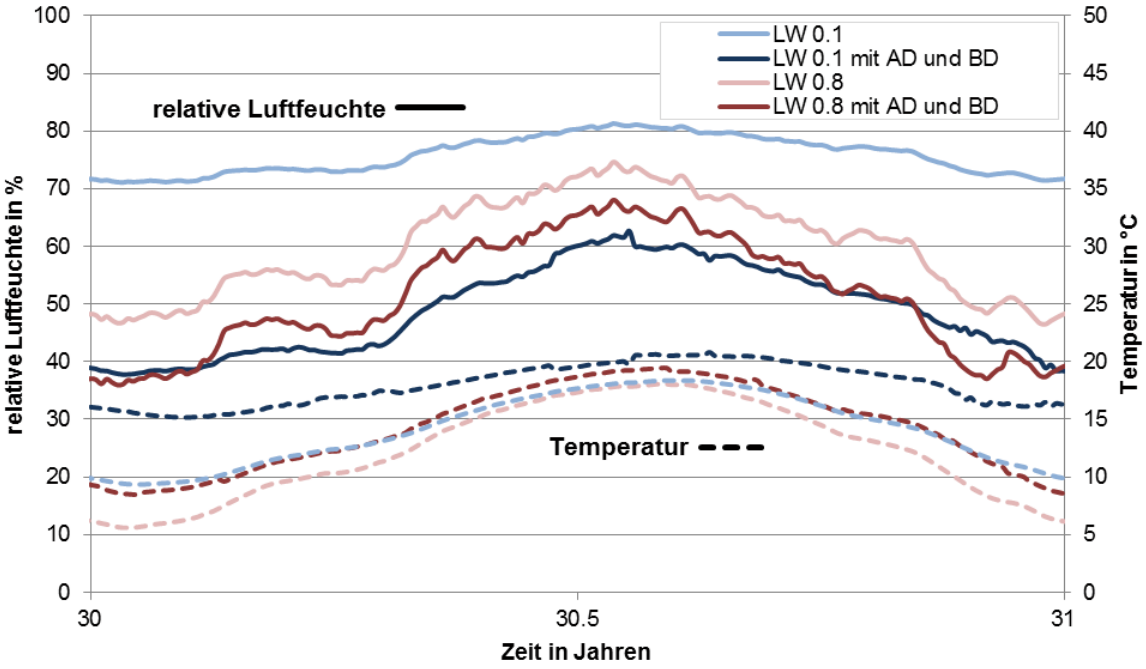


Abb. 59: Jahresverlauf von relativer Luftfeuchte und Temperatur bei erhöhter Durchfeuchtung des Bodens mit/ohne Außendämmung und Bodendämmung

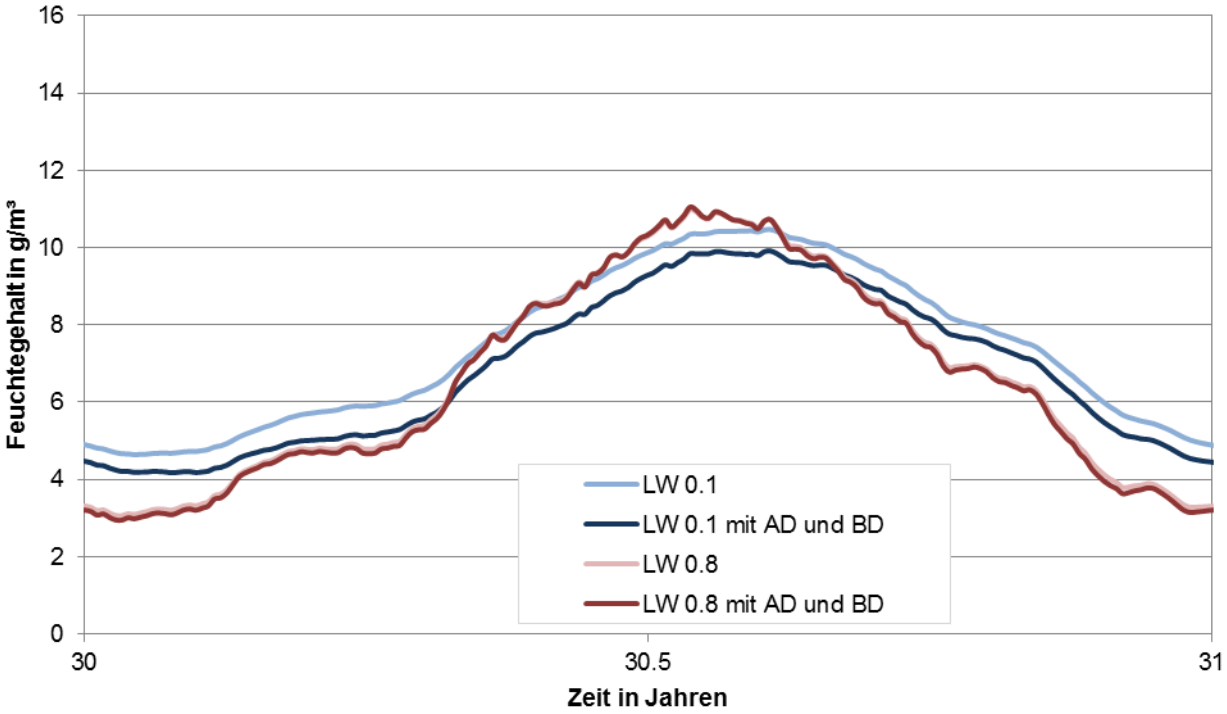


Abb. 60: Absolute Luftfeuchte bei geringer Durchfeuchtung mit/ohne Außendämmung sowie Bodendämmung

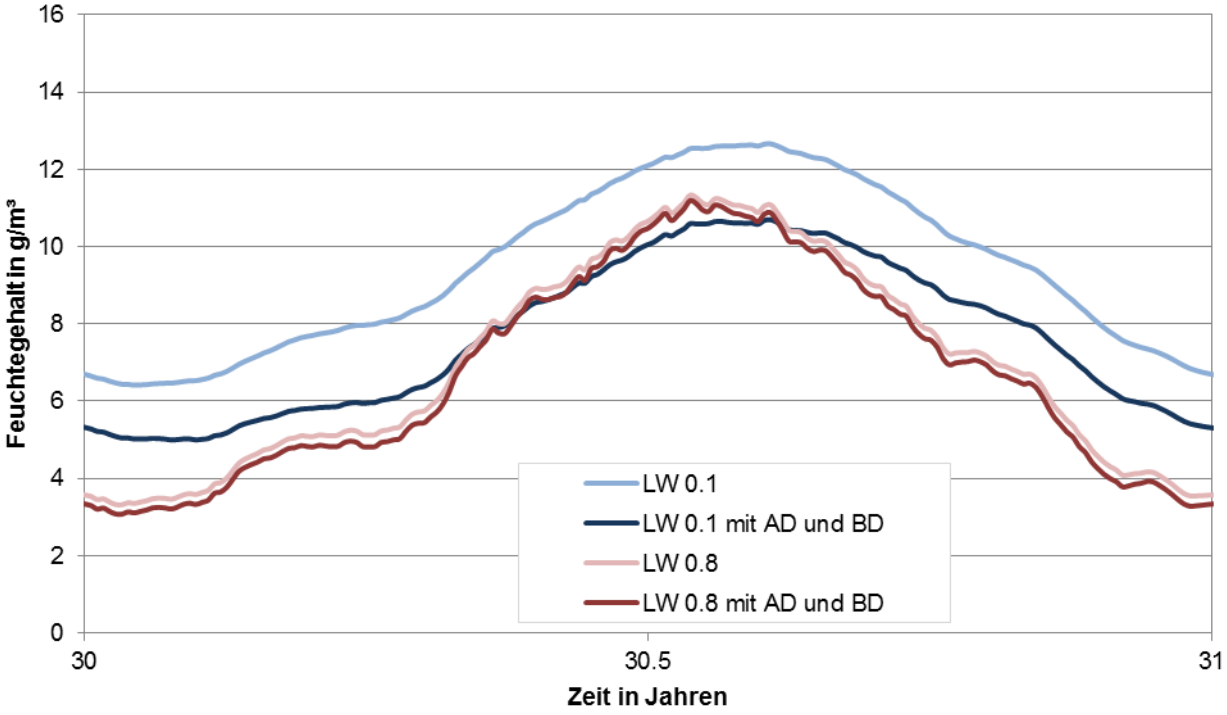


Abb. 61: Absolute Luftfeuchte bei erhöhter Durchfeuchtung mit/ohne Außendämmung sowie Bodendämmung

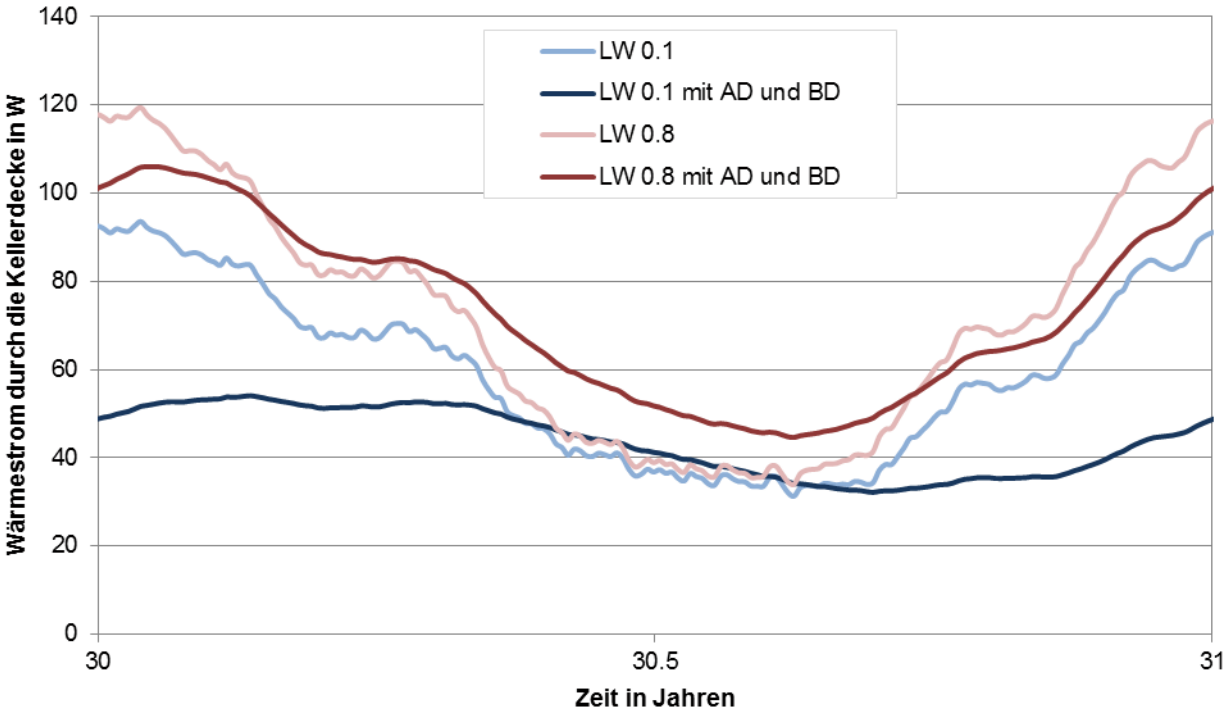


Abb. 62: Wärmestrom durch die Kellerdecke mit/ohne Außendämmung und Bodendämmung

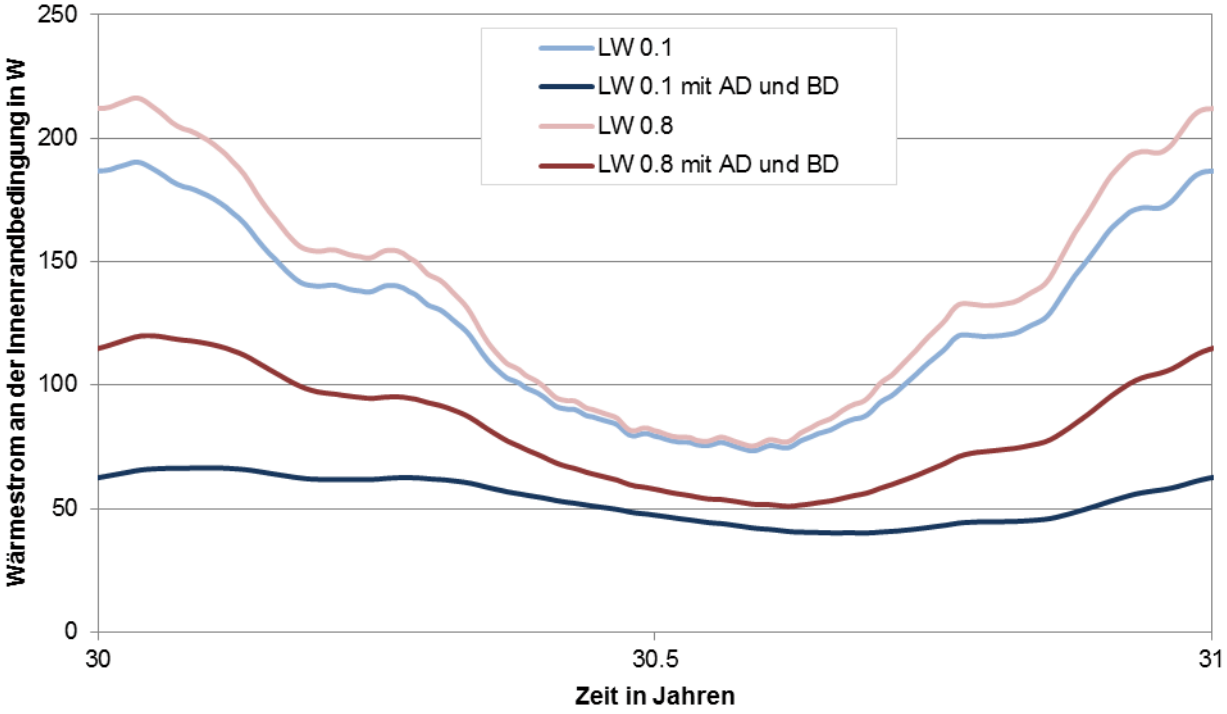


Abb. 63: Wärmestrom über die Innenrandbedingung mit/ohne Außendämmung und Bodendämmung

Vergleich der Sanierungsvarianten

Die Ergebnisse des Abschnitts 3.3.6.1 zeigen, dass Dämmmaßnahmen an Bauteilen, die an konditionierte Räume grenzen, zu einem Temperaturabfall in einem nicht konditionierten Kellerraum führen. Dies wird durch Lüftungswärmeverluste verstärkt und führt zu einem Anstieg der relativen Luftfeuchte in der Kellerraumluft. Wird hingegen die äußerste Hülle des Gebäudes samt Kellergeschoß gedämmt, kann einerseits das Temperaturniveau im Keller hoch gehalten und andererseits der Feuchteeintrag aus dem Erdreich mit Hilfe einer dampfbremsenden Konstruktion im Kellerboden verringert werden.

Die Ergebnisse können nach verschiedenen Gesichtspunkten ausgewertet werden. Im vorliegenden Bericht wird das Hauptaugenmerk auf die Senkung der relativen Raumluftfeuchte im Keller gelegt, wobei die Energieeffizienz nicht außer Acht gelassen werden soll.

Relative Luftfeuchte

Grundsätzlich hängt die relative Luftfeuchte direkt mit dem Durchfeuchtungsgrad des Mauerwerks und dem Luftwechsel zusammen. Die Sanierungsvarianten haben unabhängig vom Durchfeuchtungsgrad ähnliche Auswirkungen auf das Raumklima. Wie auch in Schnieders [Schnieders 2009] erörtert, führt die Applikation einer Kellerdeckendämmung zu einer massiven Verschärfung des Feuchteproblems im Keller und stellt bei einer thermischen Sanierung eines Kellers – ohne Berücksichtigung von Begleitmaßnahmen – den schlimmsten Fall für das Raumklima dar. Grundsätzlich sollten daher thermische Verbesserungen der Außenhülle vorgezogen werden, um eine Anhebung des Temperaturniveaus im Keller und somit eine Reduktion der relativen Luftfeuchte zu erreichen. Jede Art der thermischen Sanierung eines Kellers erhöht die Feuchteproblematik und muss daher mit Begleitmaßnahmen wie beispielsweise einer gezielten Kellerbelüftung kombiniert werden.

Die optimale thermische Sanierung eines Kellers ist also nicht nur von der Dämmstärke, sondern auch vom Durchfeuchtungsgrad des anliegenden Bodens und des Mauerwerks sowie vom vorhandenen Luftwechsel mit der Außenluft abhängig. Die nachfolgende Gegenüberstellung in Abb. 64 zeigt die Verläufe der relativen Luftfeuchte für einen gering bzw. einen erhöht durchfeuchteten Keller bei verschiedenen Luftwechselraten.

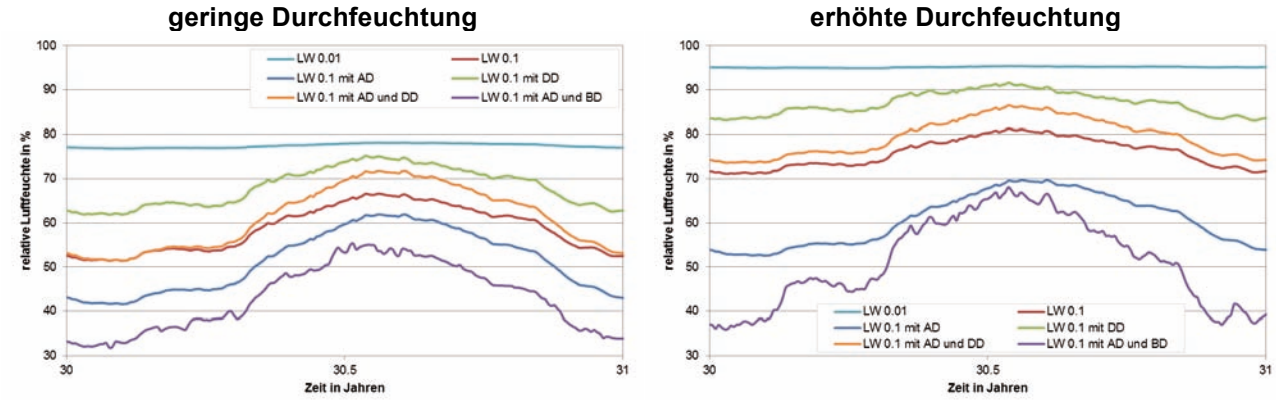


Abb. 64: Relative Luftfeuchte bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung im Vergleich aller Sanierungsvarianten

Temperaturverlauf

Der Durchfeuchtungsgrad der Konstruktion hat keine deutlichen Auswirkungen auf die Temperaturverteilungen. Lediglich die Variante mit Bodendämmung, bei der der Feuchteeintrag in die Kellerraumluft aufgrund des zusätzlichen Fußbodenaufbaus verringert wird, weist einen geringfügig anderen Temperaturverlauf auf. Die Gegenüberstellung in der folgenden Abb. 65 zeigt die Temperaturverläufe bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung des Kellermauerwerks.

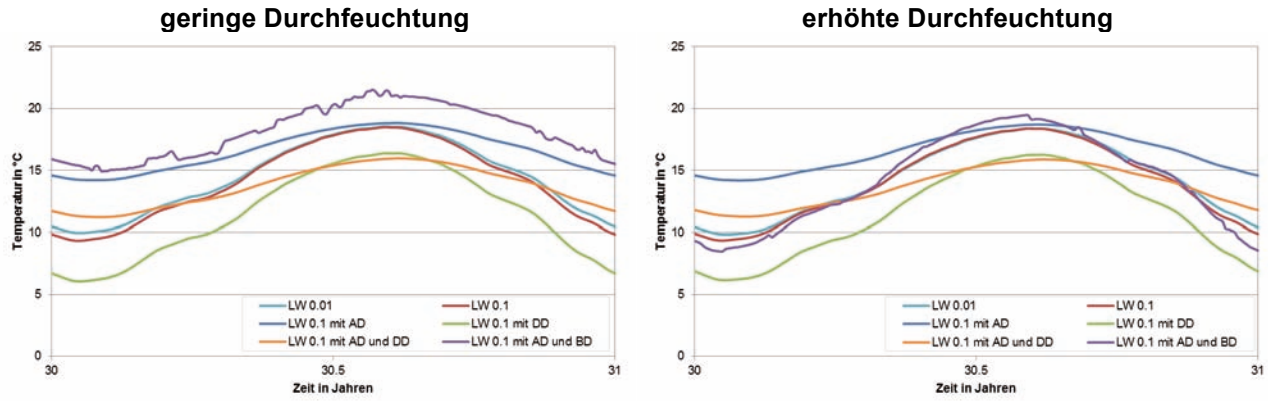


Abb. 65: Temperaturverteilung bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung im Vergleich aller Sanierungsvarianten

Wärmestrom

Das Simulationsprogramm gibt für jede Randbedingung den Wärmestrom durch die gesamte von der Randbedingung bedeckte Fläche an. Um die einzelnen Varianten miteinander vergleichen zu können, werden die Wärmeverluste durch die Kellerdecke und über die gesamte Innenrandbedingung untersucht.
Der Wärmestrom durch die Kellerdecke wird vereinfacht bestimmt, indem der Wärmestrom durch die Außenwand vom Gesamtwärmestrom durch die Innenrandbedingung abgezogen wird.

$$q_{Decke} = q_{InnenRB} - q_{Wand} \quad \Leftarrow q_{InnenRB} - U_{Wand} \cdot A_{Wand} \cdot \Delta T$$

Die Wärmebrücke im Deckenanschlussbereich wird vernachlässigt. Der Vergleich zeigt in Anlehnung an Abb. 25 die Auswirkungen unterschiedlicher Luftwechselraten. Außerdem wird der Einfluss der Kellerdeckendämmung sichtbar. Der Ersatz der 15 cm dicken Beschüttung durch EPS bringt eine Reduktion der Wärmeverluste durch die Kellerdecke um 43 % im Winter und 73 % im Sommer.
Der Wärmestrom über die gesamte Innenrandbedingung zeigt nicht nur die Auswirkungen der Kellerdeckendämmung, sondern auch die thermische Verbesserung der Außenhülle infolge der Außendämmung. Ein Optimum an Energieeffizienz und Reduktion der Transmissionswärmeverluste kann mit einer Kombination von Außen- und Kellerdeckendämmung erreicht werden.

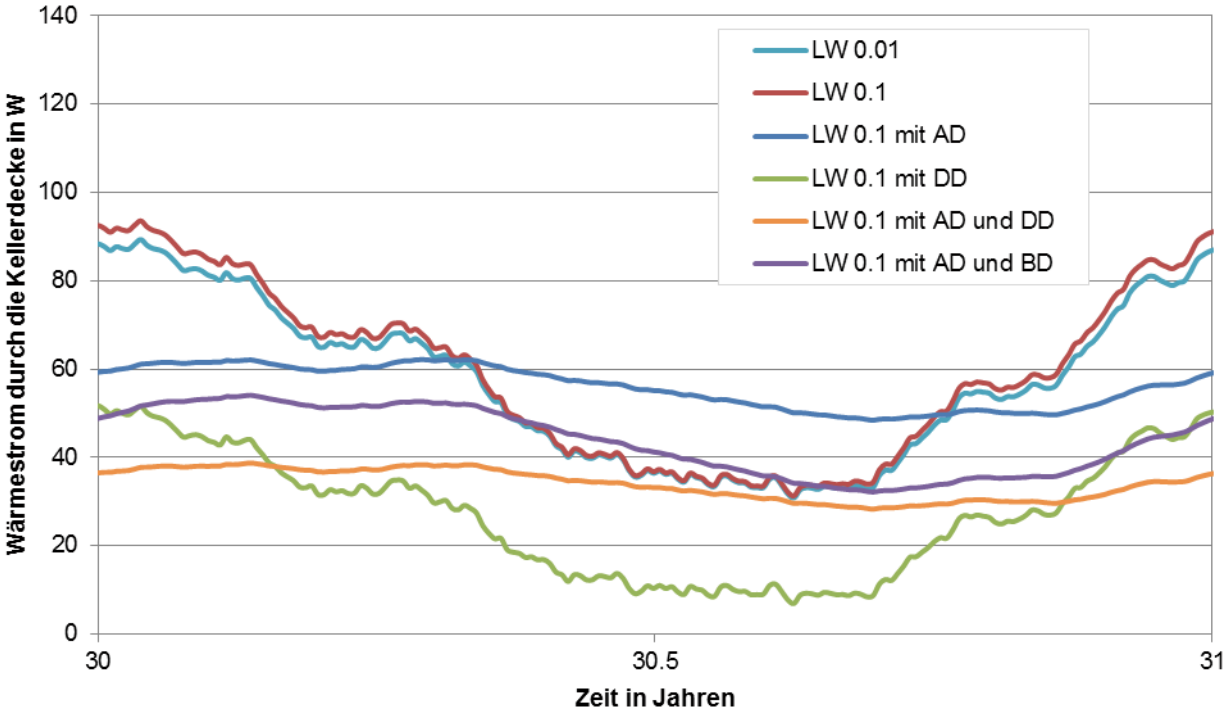


Abb. 66: Wärmestrom durch die Kellerdecke im Vergleich aller Sanierungsvarianten

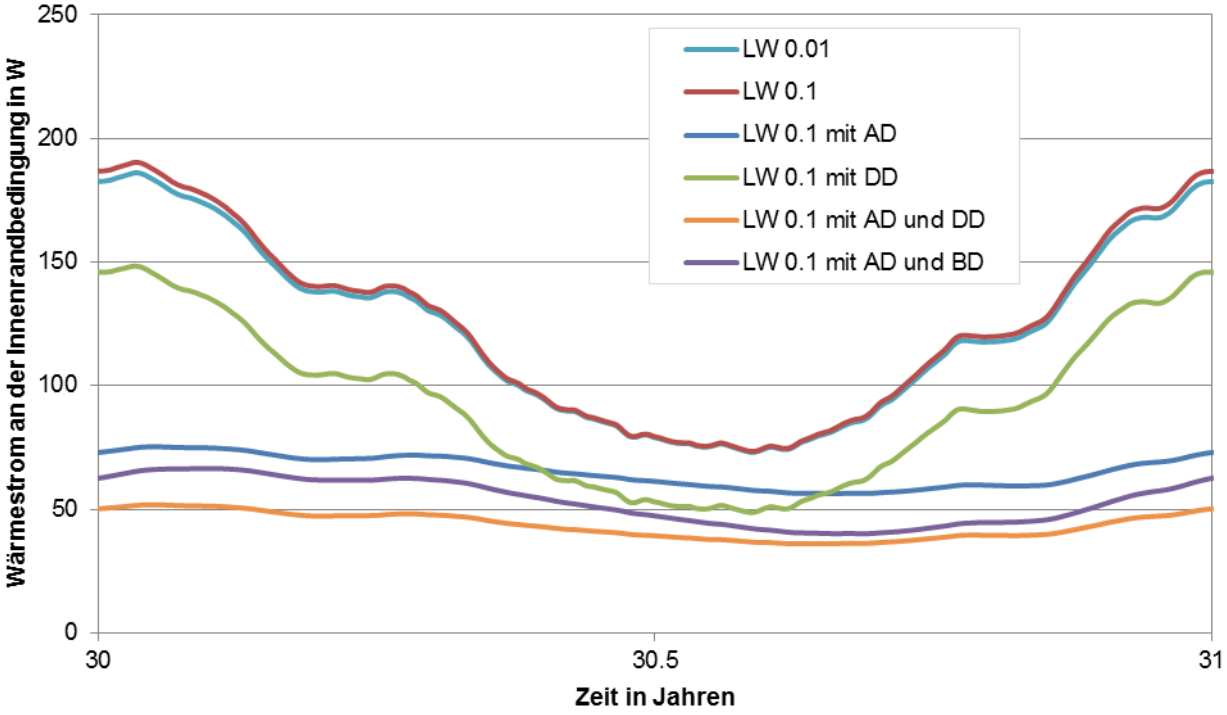


Abb. 67: Wärmeverluste über die Innenrandbedingung im Vergleich aller Sanierungsvarianten

Risiko für Schimmelpilzwachstum

Ein wesentliches Bewertungskriterium für die Funktionstüchtigkeit einer Konstruktion bzw. für die Nutzbarkeit eines Kellerraumes ist das Risiko für Schimmelpilzbildung an Bauteiloberflächen oder Möbelstücken. Dieses Risiko ist wiederum von verschiedenen Parametern wie beispielsweise der Oberflächenfeuchte, der Temperatur und der Dauer dieser Einflussparameter abhängig. Außerdem muss ein bestimmter Nährboden vorhanden sein, um das Wachstum von Schimmelpilzen zu ermöglichen. In vielen Fällen kann ein mineralischer Putz oder ein anorganischer Anstrich das Entstehen von Schimmel verhindern. Dabei darf jedoch nicht außer Acht gelassen werden, dass sich auch auf mineralischen Oberflächen im Laufe der Zeit organische Substanzen wie z.B. Staub ablagern. Diese können einen Nährboden bilden und somit ein geeignetes Milieu für Schimmelpilzwachstum bereitstellen.
Die Oberflächenfeuchte und die Oberflächentemperatur eines Bauteils werden durch das Raumklima massiv beeinflusst. Dadurch ist es möglich, die Bauteiloberflächen mit Hilfe einer Kopplung der Raumluft an das Außenklima zu beeinflussen. In den vorliegenden Simulationen konnte gezeigt werden, dass eine gezielte Belüftung des Kellers zu einer Abtrocknung von Bauteiloberflächen und zu einer Verringerung des Risikos für Schimmelpilzwachstum beiträgt. Weiters kann durch die Regelung der Zuluft in Abhängigkeit von der absoluten Luftfeuchte der Außenluft eine optimale feuchtetechnische Belüftung eines Kellerraumes erfolgen. Auf Seite 138 wird näher auf diese Regelungsmöglichkeit eingegangen.

3.3.6.2 Auswirkungen des Kellervolumens auf das Kellerklima

Wie bereits bei der Beschreibung der Kellermodelle in Abschnitt 3.3.1 erwähnt, werden zwei Kellermodelle mit unterschiedlich großem Luftvolumen untersucht. Dabei wird der kleinere Keller durch zwei Außenwände begrenzt (Abb. 68), während das größere Kellermodell mit einer Außen- und einer tragenden Mittelwand abgeschlossen wird (
Abb. 69). Dadurch ergeben sich unterschiedlich große Luftvolumina, die in Wechselwirkung mit den Bauteiloberflächen auch unterschiedliche Raumklimata erzeugen. Da der angegebene Luftvolumenstrom in den vorliegenden Simulationen als Anteil des Gesamtluftvolumens des jeweiligen Modells angenommen wird, ist im vorliegenden Bericht ein direkter Vergleich von großen und kleinen Kellermodellen nicht möglich. Die Berechnung von kleinen Modellen liefert ausreichend genaue Ergebnisse bei einer unverhältnismäßig geringeren Rechenzeit.

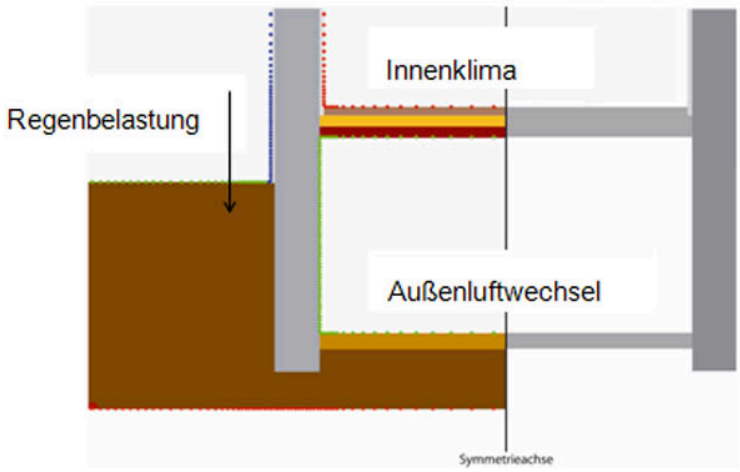


Abb. 68: Kleines Kellermodell mit beidseitiger Außenwand

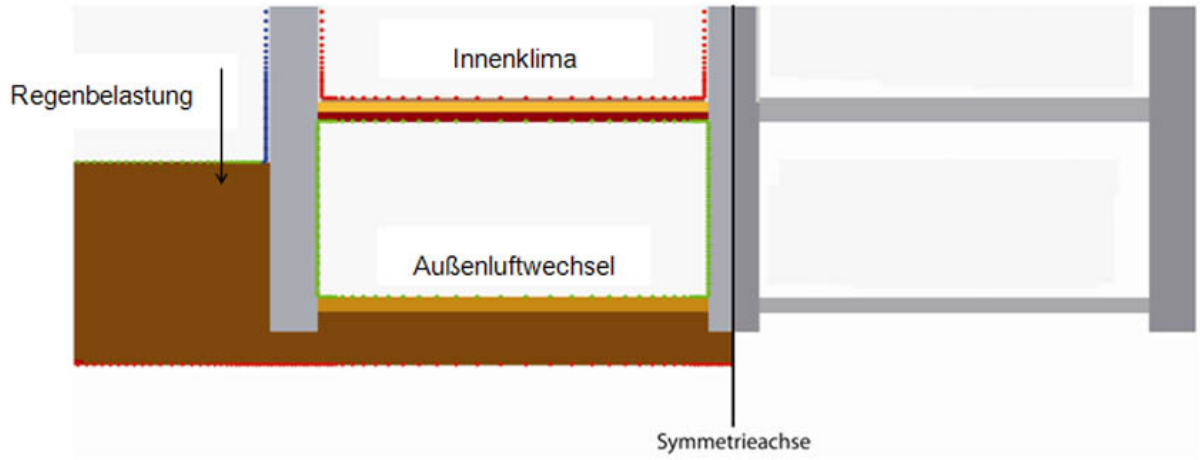


Abb. 69: Großes Kellermodell mit Außenwand und innenliegender Mittelwand

Allgemein betrachtet hat das Kellerluftvolumen große Einflüsse auf das Kellerklima und die Feuchtebelastung des Kellerraumes. Außerdem spielt die Relation zwischen Luftvolumen und Bauteiloberfläche eine wesentliche Rolle, vor allem bei Details mit erhöhter Durchfeuchtung des Bodens und somit einem hohen Feuchteeintrag in die Kellerluft. In diesem Zusammenhang steht auch das Verhältnis des maß-geblichen Feuchteeintrags, der entweder durch Luftwechsel aus der Außenluft oder durch aufsteigende Grundfeuchte beschrieben wird. Um diese Einflussgrößen genauer darstellen zu können, muss eine Variation von Luftvolumen und Luftvolumenstrom bzw. Luftwechsel bei gleichzeitiger Berücksichtigung verschiedener Bodendurchfeuchtungsgrade berechnet und tabellarisch dargestellt werden. Da dies nicht Teil dieses Berichts ist, wird eine Gegenüberstellung der Jahresverläufe von relativer Luftfeuchte und Temperatur sowie des Feuchtegehalts der Kellerraumluft jeweils in Abhängigkeit vom Luftvolumen und vom Durchfeuchtungsgrad des Bodens dargestellt. Der Luftwechsel wird mit 0,1 pro Stunde angenommen.

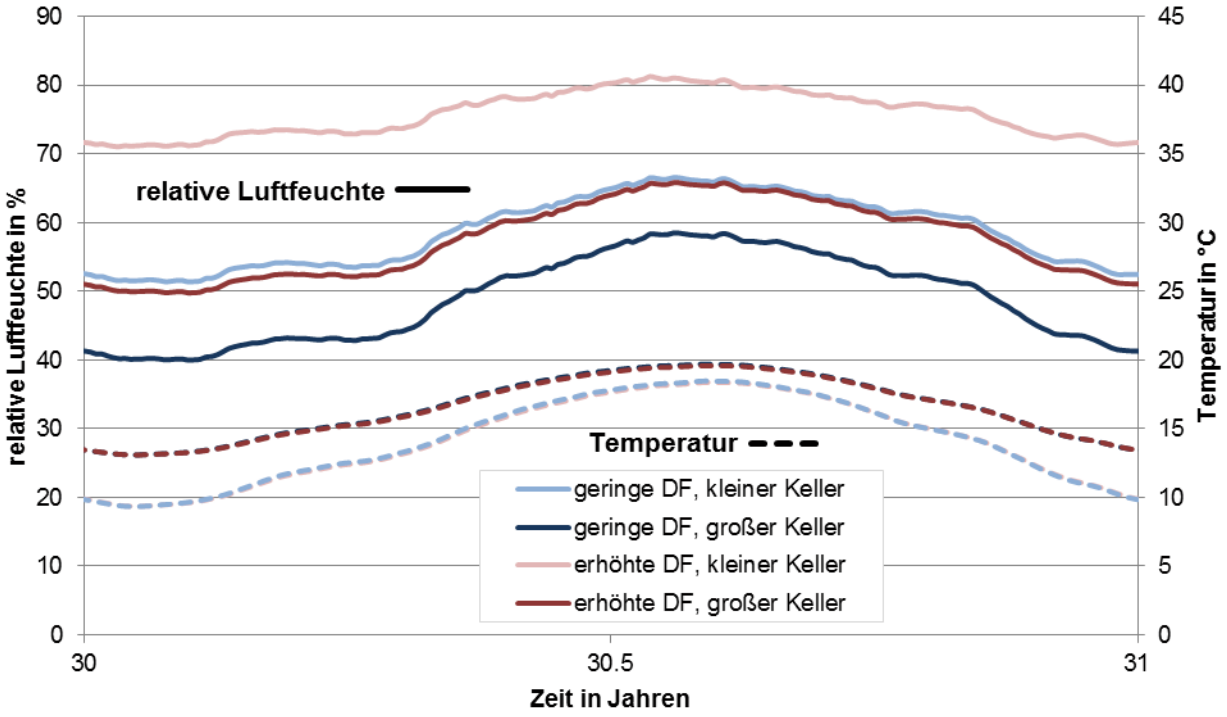


Abb. 70: Jahresverlauf von relativer Luftfeuchte und Temperatur im Vergleich von kleinem und großem Kellervolumen bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung (DF)

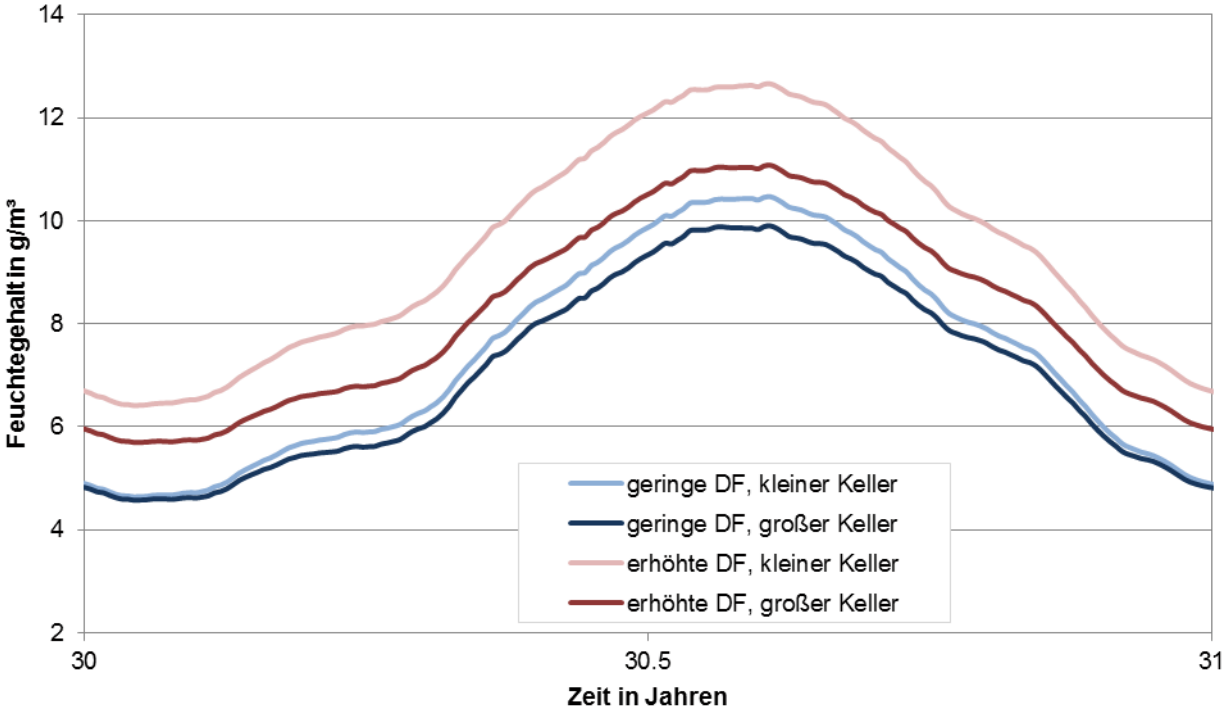


Abb. 71: Jahresverlauf des Feuchtegehalts der Kellerraumluft im Vergleich von kleinem und großem Kellervolumen bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung (DF)

3.3.6.3 Wärmerückgewinnung aus der Kellerraumluft und Feuchtesteuerung

Beschreibung des Modells mit Wärmerückgewinnung

Die Modelle mit Wärmerückgewinnung sind wie jene mit natürlicher Kellerdurchlüftung aufgebaut. Die Geometrie beschreibt eine gesamte Trakttiefe eines Gründerzeithauses gemäß

Abb. 3. Sie entsprechen also dem im vorigen Abschnitt beschriebenen größeren Keller. Zusätzlich zum konstanten Luftwechsel wird ein Wärmetauscher simuliert, der im Zuge des Luftwechsels Wärme aus der Raumluft zurückgewinnt. Dies erfolgt dann, wenn die Außentemperatur unter 20 °C liegt und die Innentemperatur einen höheren Wert als die Außentemperatur aufweist. Wenn die Außentemperatur über 24 °C und gleichzeitig über die Innen-temperatur steigt, wird die Zuluft mit Hilfe der Abluft gekühlt. Die Lüftungsanlage ist darauf ausgelegt, die Raumtemperatur auf 20 °C zu halten und dementsprechend Wärme zu tauschen. Die einzige variable Größe ist im vorliegenden Fall der Luftwechsel, der im Lüftungsfall als konstant angenommen wird.

Zusätzlich zur Wärmerückgewinnung regelt die Anlage den Luftwechsel in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt der Außenluft. Ist der Feuchtegehalt der Außenluft größer als jener der Kellerraumluft, wird der Luftwechsel auf null gesetzt. Dies ist vor allem an feuchten und warmen Sommertagen der Fall und soll eine Befeuchtung der Kellerraumluft verhindern. In Abb. 72 ist die absolute Luftfeuchte des Innen- und Außenklimas sowie eine Summenfunktion der Laufzeit der Lüftungsanlage nach 30 Jahren Simulation dargestellt. Dadurch wird ersichtlich, dass bei einer zu hohen Außenluftfeuchte die Lüftungsanlage absperrt und kein Luftwechsel stattfindet. Vor allem während der Sommermonate überschreitet der Feuchtegehalt der Außen-luft jenen der Kellerluft und führt zu einem Abschalten der Lüftung. Im Jahresverlauf ist die Lüftungsanlage 5441 Stunden in Betrieb, das entspricht 62 %. In der folgenden Abbildung ist der Feuchtegehalt in 48-Stunden-Mittelwerten dargestellt. Die Zeitfunktion der Lüftungsanlage ist hingegen in Stunden aufgelöst, was zu geringfügigen Abweichungen im Sommer führt.

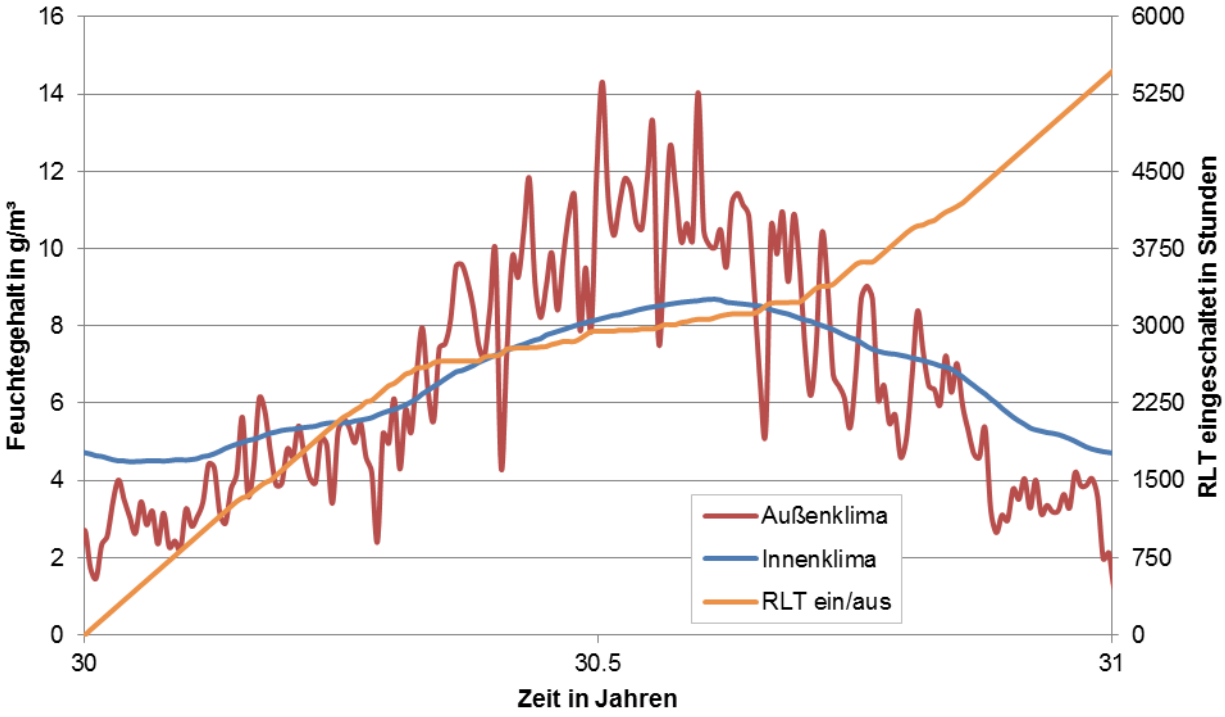


Abb. 72: Innen- und Außenklima anhand der absoluten Luftfeuchte (in 48-Stunden-Mittelwerten) und Laufzeit der Lüftungsanlage als Summenfunktion

Wärmerückgewinnung bei unterschiedlichem Luftwechsel und geringem sowie erhöhtem Durchfeuchtungsgrad

Die Wärmerückgewinnung aus der Kellerluft führt dazu, dass der unbeheizte Keller im Winter nicht so stark auskühlt wie bei konstantem Luftwechsel mit dem Außenbereich. Betrachtet man die Entwicklung des Temperaturniveaus aufgrund der Wärmerückgewinnung, stellt sich in der Kellerraumluft ein ähnliches Klima wie nach der Anbringung einer Außendämmung ein. Aufgrund der Wärmerückgewinnung und dem gleichzeitig aufrecht bleibenden Luftwechsel mit der Außenluft sinkt die relative Luftfeuchte im Keller ab. Durch die Erwärmung der Zuluft wird die Feuchtezufuhr aus der Außenluft vermindert und ein Abtrocknen des Kellers wird möglich. Dabei ist zu beobachten, dass mit steigendem Luftwechsel auch eine bessere Kellertrocknung erzielbar ist, wie die Darstellung der relativen Luftfeuchte im Bauteil in Abb. 74 zeigt.

Der Vergleich der Wassergehalte bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung zeigt ein ähnliches Bild wie bereits in den zuvor untersuchten Varianten. Eine Änderung des Luftwechsels hat keine merklichen Auswirkungen auf die Verteilung des Feuchtegehalts in der Konstruktion. Dies wird durch die folgenden Abbildungen am Beispiel des Bestandsmodells mit Wärmerückgewinnung aus der Kellerluft bestätigt. Die Modelle mit geringer Durchfeuchtung (links) werden jenen mit erhöhter Durchfeuchtung (rechts) gegenübergestellt.

Wassergehalt in kg/m³

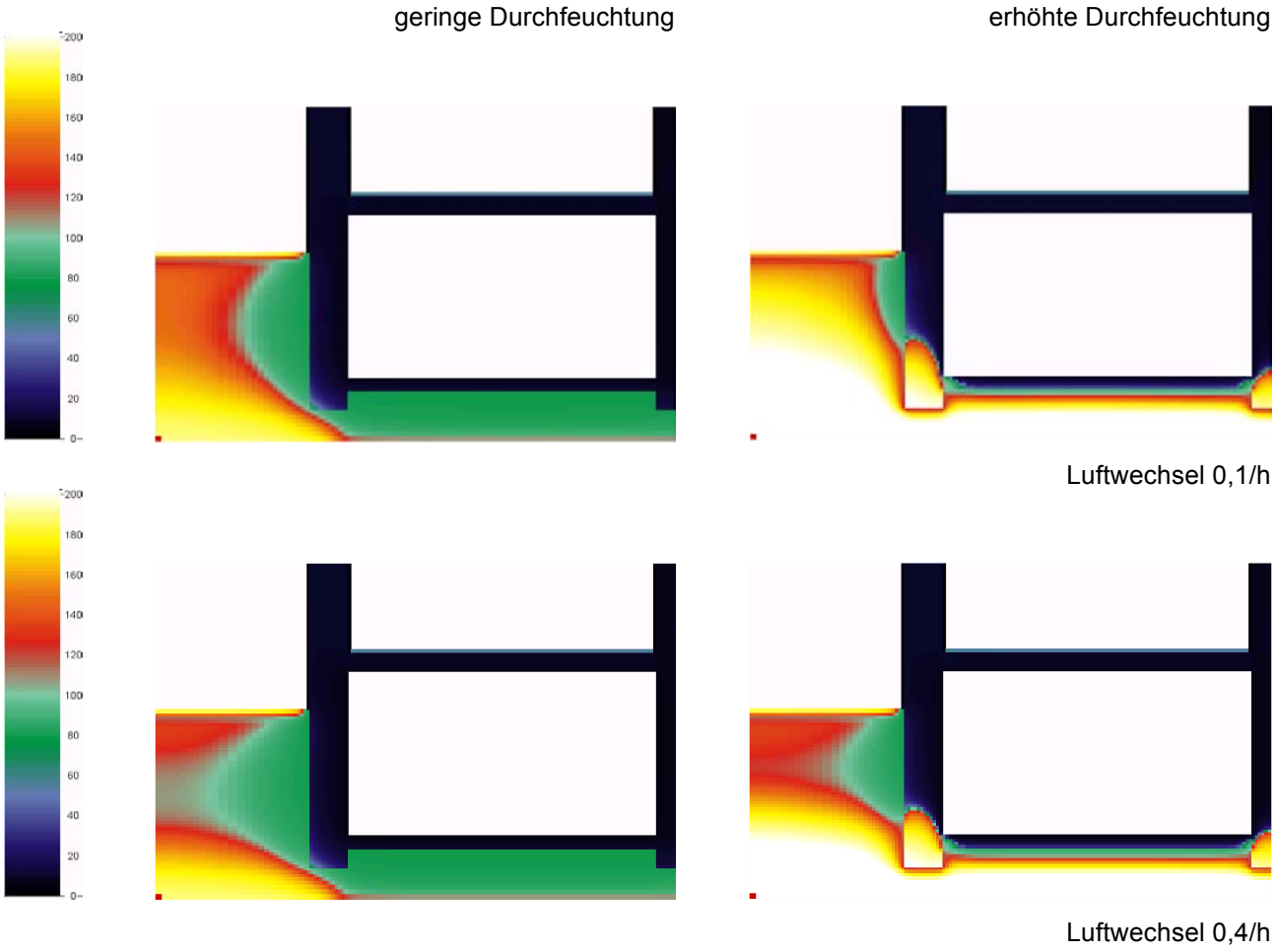


Abb. 73: Wassergehalt bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung und unterschiedlichen Luftwechselraten

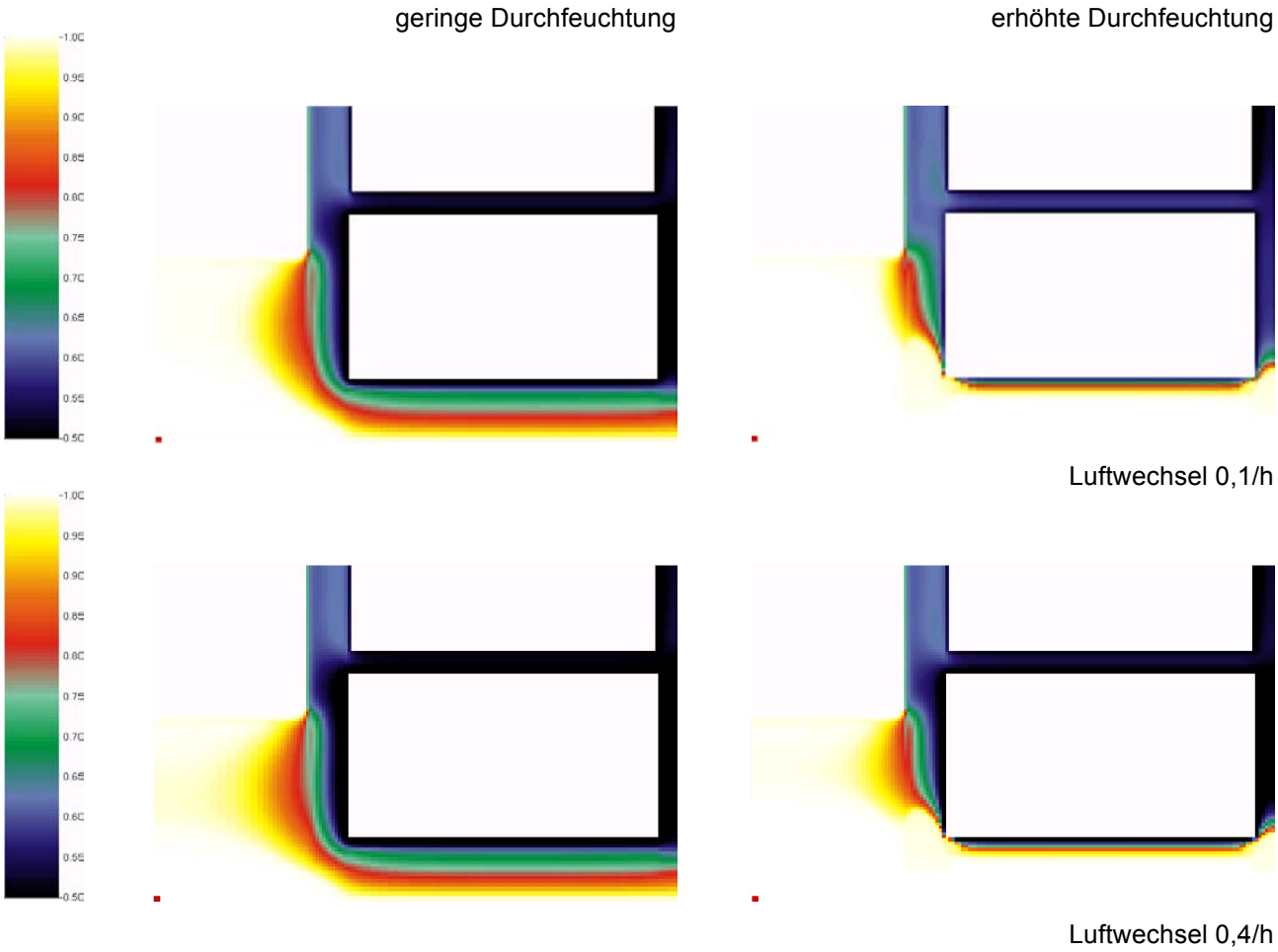


Abb. 74: Relative Luftfeuchte bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung und unterschiedlichen Luftwechselraten

In den Abb. 75 bis Abb. 77 wird der Vergleich der Kellermodelle mit und ohne Wärmerückgewinnung (WRG) bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung (DF) dargestellt. Es werden Varianten mit einem Luftwechsel (LW) von 0,1 und 0,4 pro Stunde vorgestellt. Dabei ist deutlich erkennbar, dass sich bei einer Kellerbelüftung ohne Wärmerückgewinnung höhere relative Luftfeuchten in der Kellerraumluft einstellen, wobei gleichzeitig das Temperaturniveau niedriger liegt als bei einer Belüftung mit Wärmerückgewinnung.

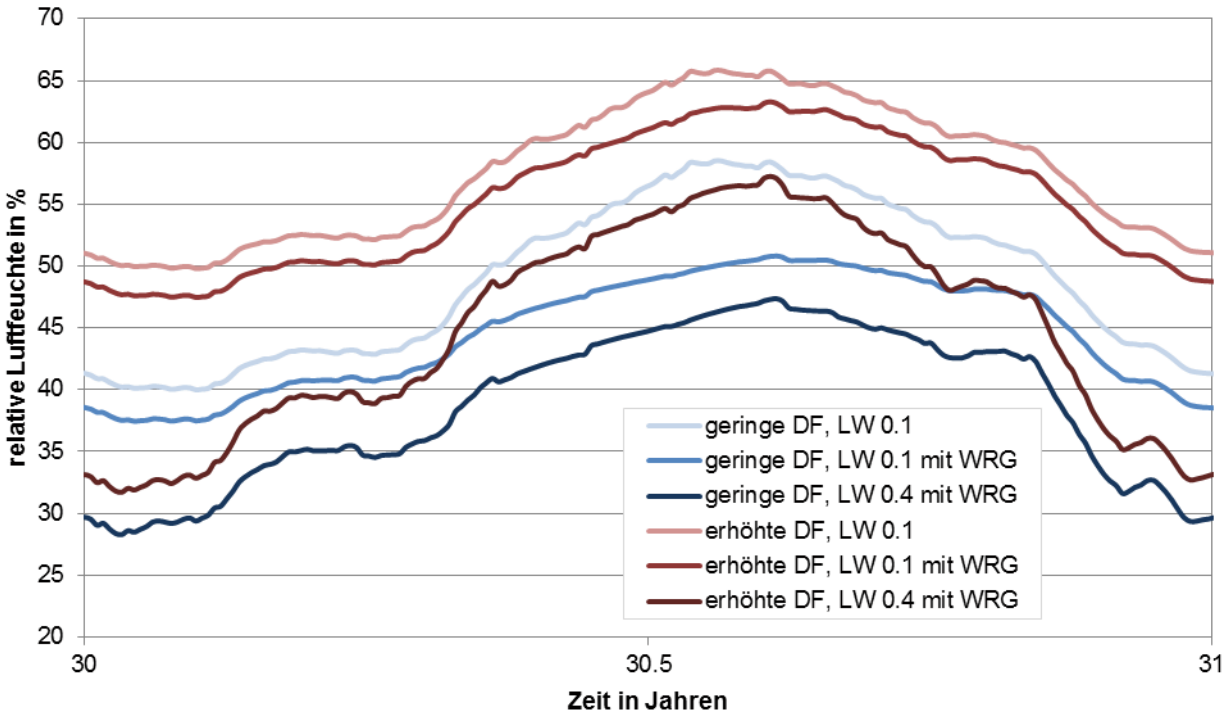


Abb. 75: Relative Luftfeuchte in Abhängigkeit vom Durchfeuchtungsgrad des Mauerwerks mit/ohne Wärmerückgewinnung bei einem Luftwechsel von 0,1 und 0,4/Stunde

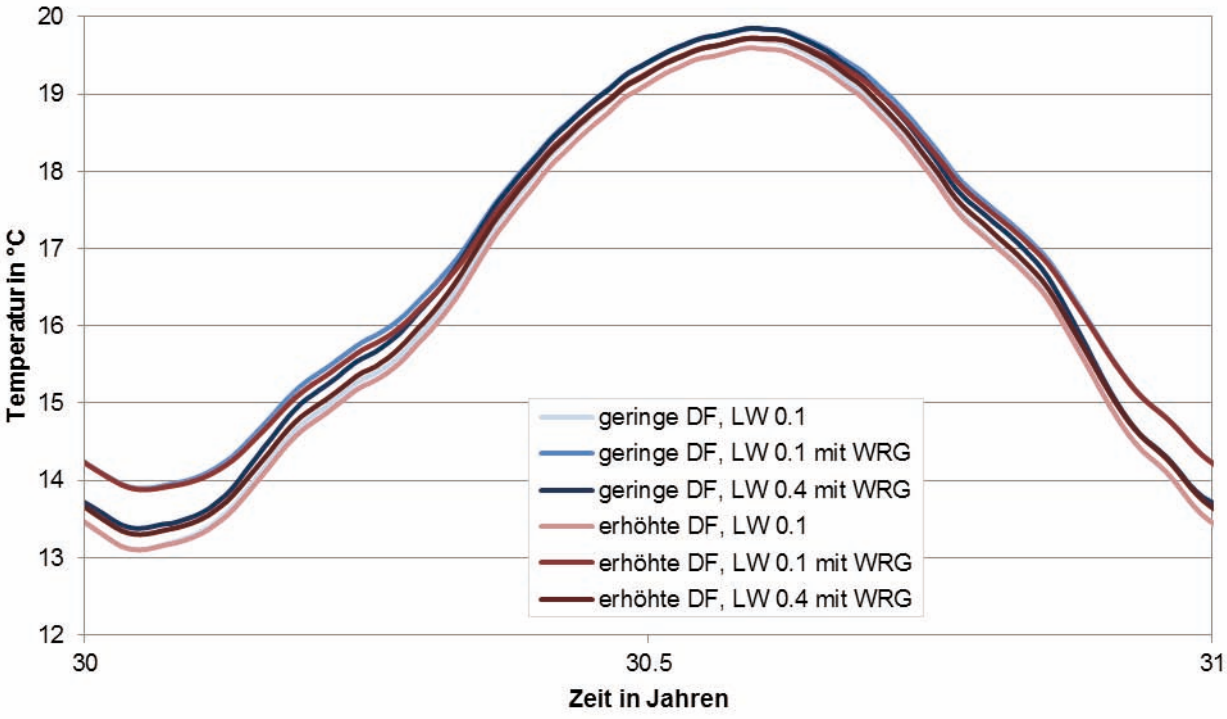


Abb. 76: Temperatur in Abhängigkeit vom Durchfeuchtungsgrad des Mauerwerks mit/ohne Wärmerückgewinnung bei einem Luftwechsel von 0,1 und 0,4/Stunde

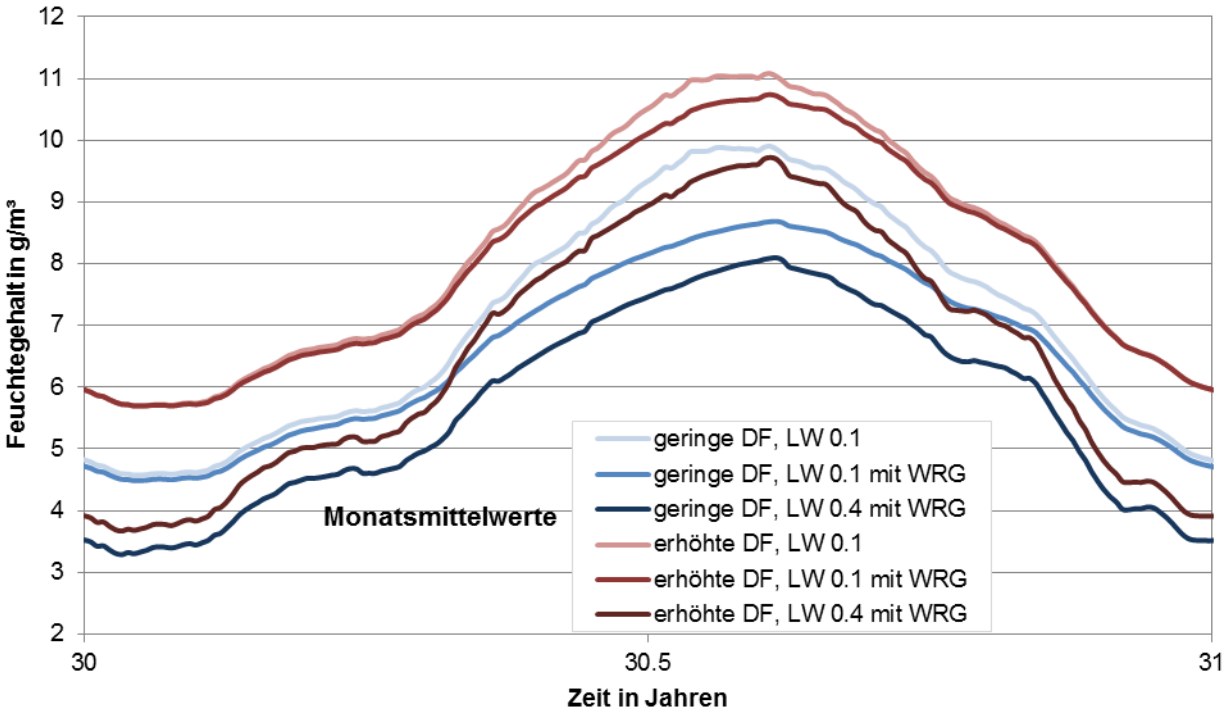


Abb. 77: Feuchtegehalt der Kellerluft in Abhängigkeit vom Durchfeuchtungsgrad des Bodens mit/ohne Wärmerückgewinnung bei einem Luftwechsel von 0,1 und 0,4/Stunde

Die Ergebnisse zeigen, dass mit Hilfe der Wärmerückgewinnung selbst bei einer hohen Feuchtebelastung des Mauerwerks und des Kellerbodens eine Senkung des Feuchtegehalts der Kellerraumluft möglich und zielführend ist. In Kombination mit einem ausreichend hohen Luftwechsel wird eine optimale Entfeuchtung des Kellers erreicht.
Im Folgenden werden Sanierungsvarianten mit Außendämmung und Kellerdeckendämmung sowie mit Wärmerückgewinnung berechnet und die Verteilungen von Feuchtegehalt und relativer Luftfeuchte in der Konstruktion dargestellt.

Wärmerückgewinnung bei einem Keller mit Außendämmung

Beim vorliegenden Modell ist die Außenwand mit einer Dämmung an der Fassade und im Sockelbereich bis zur Fundamentsohle versehen. Die folgenden Abbildungen zeigen die Feuchtezustände im Winter (1.1.) nach einer Simulationsdauer von 100 Jahren.

Wassergehalt in kg/m³

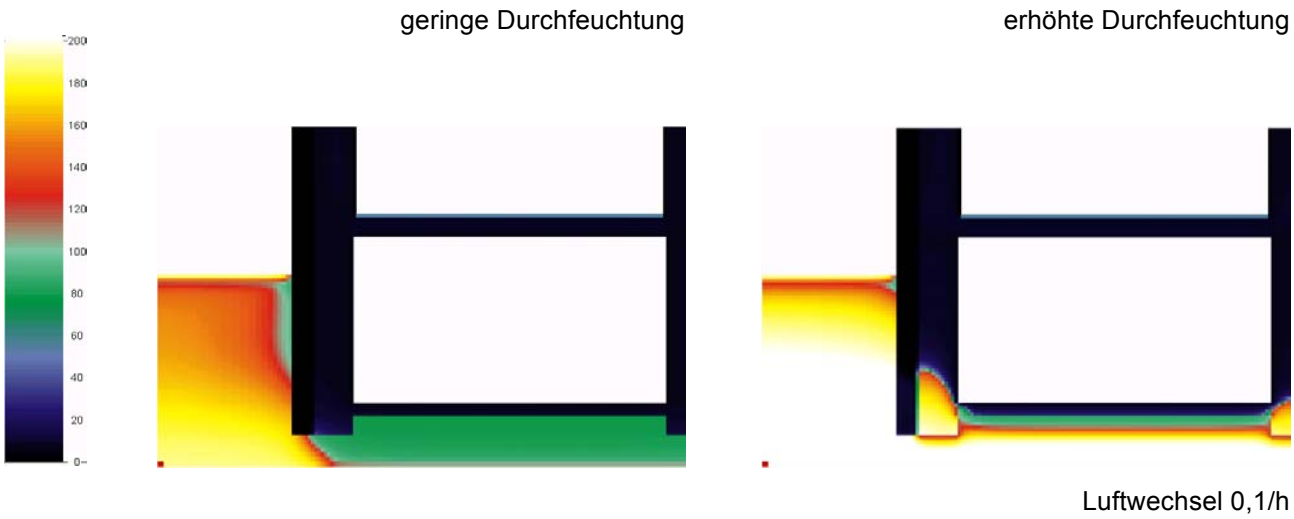


Abb. 78: Wassergehalt bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung und einem Luftwechsel von 0,1/Stunde

Relative Luftfeuchte dimensionslos

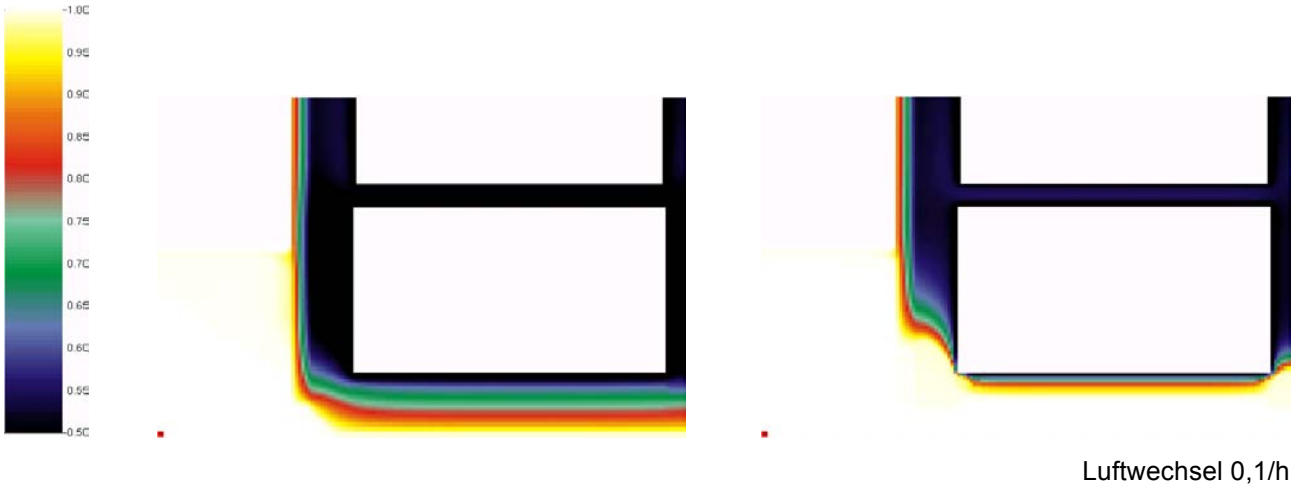


Abb. 79: Relative Luftfeuchte bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung und einem Luftwechsel von 0,1/Stunde

Die Schaubilder zeigen eine deutliche Reduktion der Feuchtebelastung. Durch die Temperaturanhebung in der Kellerraumluft wird der Diffusionsstrom vom Keller in das umgebende Erdreich bzw. Mauerwerk begünstigt. Dadurch wird der Feuchtehorizont in der Wand und im Fußboden zurückgedrängt. Bei einem gering durchfeuchteten Boden überwiegt der Diffusionsstrom und es kann kein Flüssigwasser über Kapillarwirkung in das Mauerwerk geleitet werden. Selbst bei der hier dargestellten erhöhten Durchfeuchtung des Bodens ist die Ausprägung des Diffusionsstroms noch erkennbar, da die Durchfeuchtung des Bodens infolge des Diffusionsstroms gebremst wird. Dadurch kann sich eine deutliche Feuchtegrenzschicht ausbilden.

Wärmerückgewinnung bei einem Keller mit Außendämmung sowie Kellerdeckendämmung

Dieses Modell wird neben der Außendämmung um eine Kellerdeckendämmung ergänzt. Die folgenden Abbildungen zeigen die Feuchtezustände im Winter (1.1.) nach einer Simulationsdauer von 100 Jahren.

Wassergehalt in kg/m³

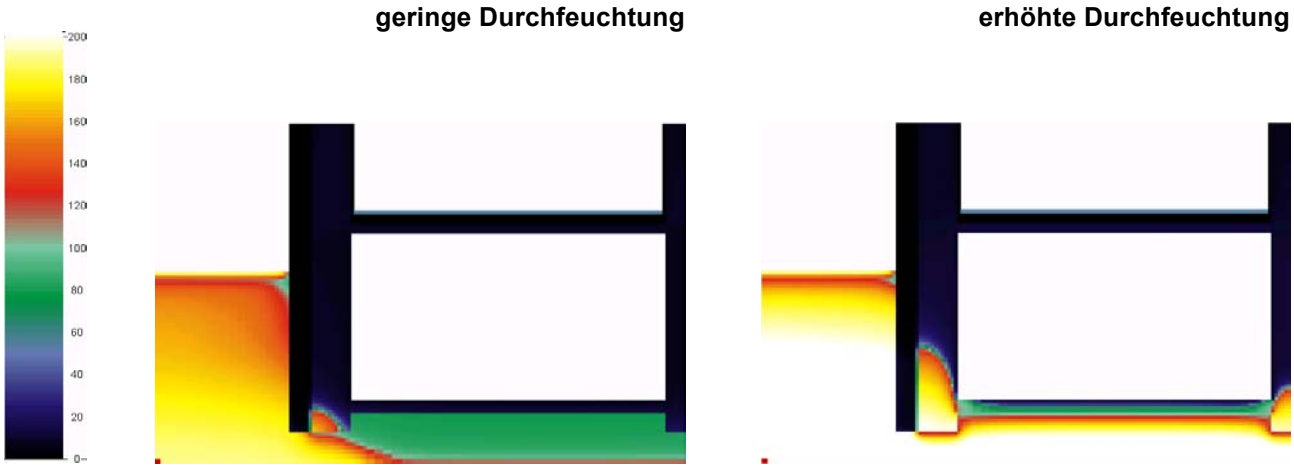


Abb. 80: Wassergehalt bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung und einem Luftwechsel von 0,1/Stunde

Relative Luftfeuchte dimensionslos

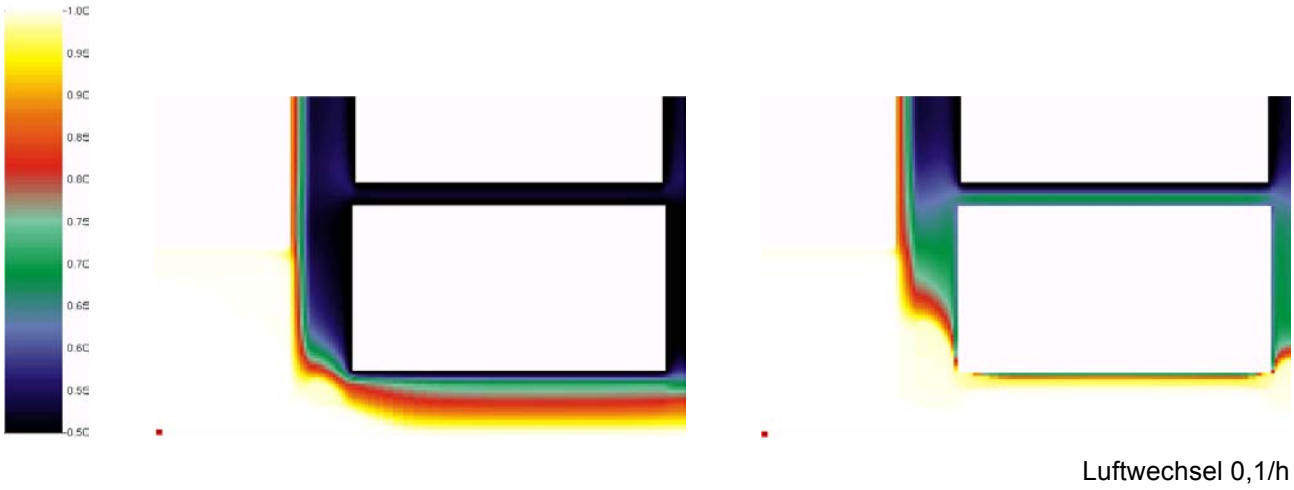


Abb. 81: Relative Luftfeuchte bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung und einem Luftwechsel von 0,1/Stunde

Ein Vergleich mit der Bestandskonstruktion zeigt deutlich, dass aufgrund der Deckendämmung das Temperaturniveau im Keller abfällt. Dies hat Auswirkungen auf die relative Luftfeuchte und ist vor allem bei einer erhöhten Durchfeuchtung des Bodens ausschlaggebend für mögliche Schadensbilder.

Vergleich der Varianten mit Wärmerückgewinnung

Der Vergleich aller Varianten mit Wärmerückgewinnung bei einem Luftwechsel von 0,1 pro Stunde zeigt, dass die Dämmmaßnahmen an der Außenwand und der Kellerdecke vor allem bei einem gering durch-

feuchteten Keller zu geringeren Feuchtegehalten in der Kellerraumluft führen. Bei erhöhter Mauerwerksdurchfeuchtung ist hingegen infolge von kombinierten Dämmmaßnahmen aus Decken- und Außendämmung ein Ansteigen der absoluten Luftfeuchte im Keller zu verzeichnen. Dies hat einerseits mit dem in diesem Fall geringen Luftwechsel zu tun, andererseits reicht die Wärmerückgewinnung nicht aus, um das Temperaturniveau im Keller so weit anzuheben, dass die aus dem Boden nachströmende Feuchtigkeit abgeführt werden kann. Dies wird durch die Darstellungen der absoluten Feuchtegehalte bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung des Mauerwerks in den Abb. 82 und Abb. 83 erkennbar.

Die Wärmerückgewinnung sowie die Kombination aus Wärmerückgewinnung und Außendämmung führen zu einer Absenkung der relativen Luftfeuchte im Keller. Die Kombination von Außendämmung, Kellerdeckendämmung und Wärmerückgewinnung führt hingegen zu einem deutlichen Anstieg der relativen Luftfeuchte, da das Temperaturniveau im Keller absinken kann. Die Kombination von Außendämmung und Wärmerückgewinnung stellt somit im Hinblick auf mögliche Schimmelpilzbildung an Bauteiloberflächen ein Optimum dar und liefert auch bei Mauerwerk mit erhöhter Durchfeuchtung ein in Bezug auf das Schimmelpilzrisiko unkritisches Kellerklima.

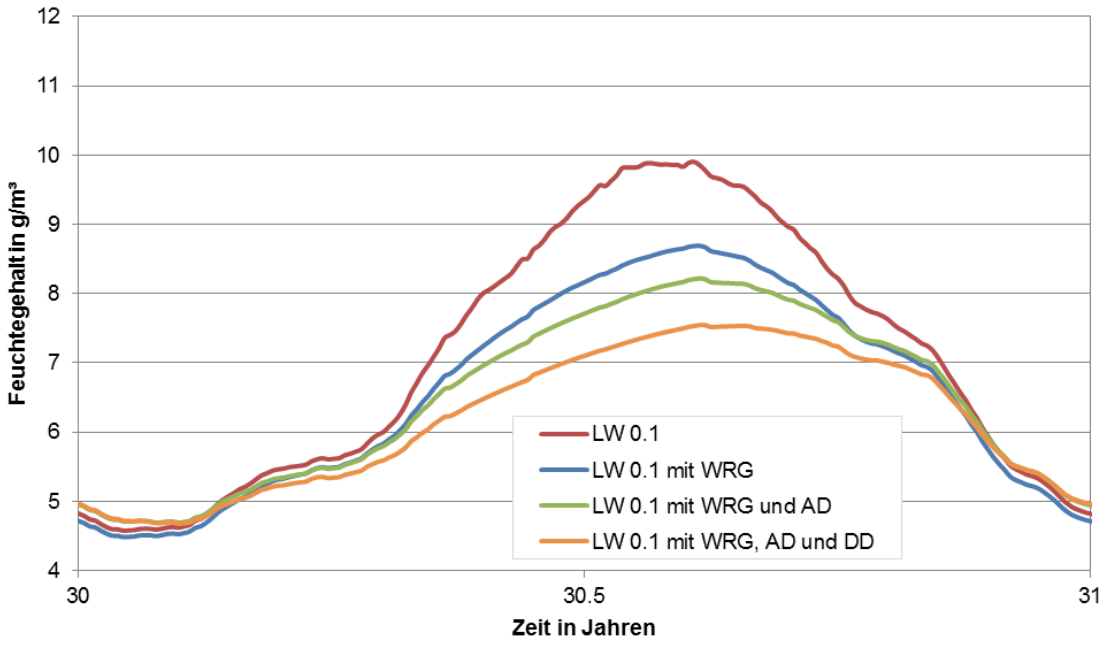


Abb. 82: Feuchtegehalt der Kellerluft bei geringer Durchfeuchtung und einem Luftwechsel von 0,1/Stunde mit/ohne Wärmerückgewinnung

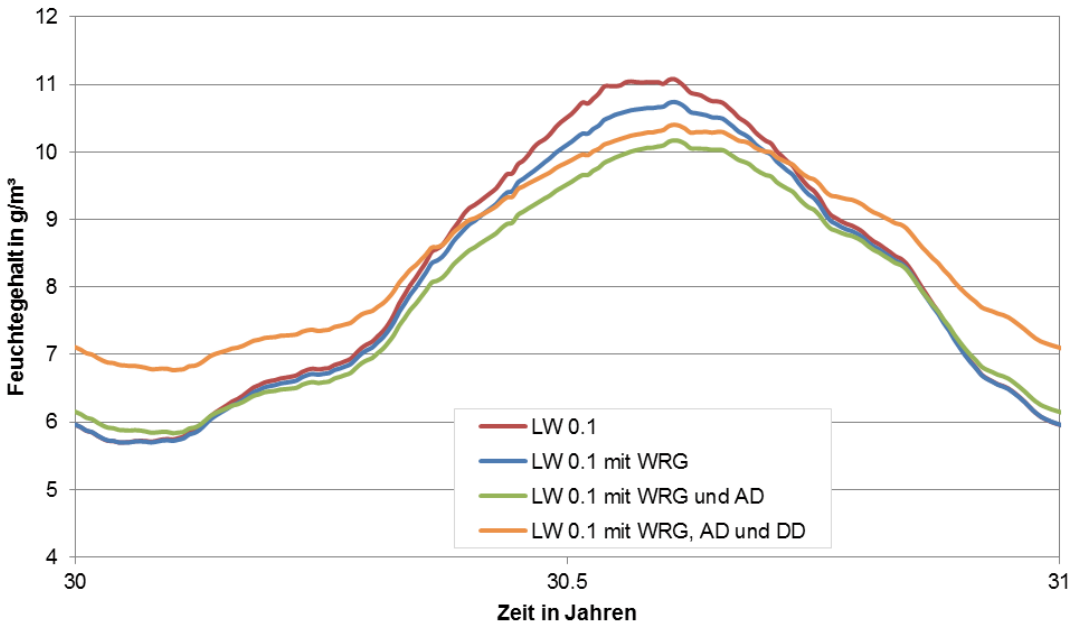


Abb. 83: Feuchtegehalt der Kellerluft bei erhöhter Durchfeuchtung und einem Luftwechsel von 0,1/Stunde mit/ohne Wärmerückgewinnung

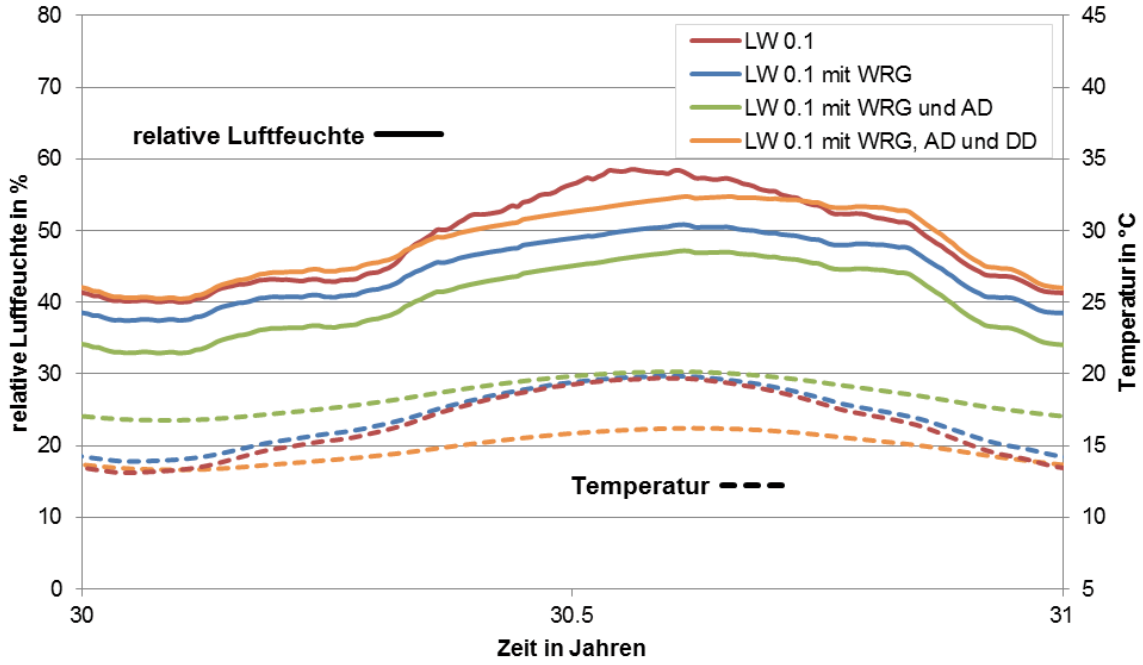


Abb. 84: Temperatur und relative Luftfeuchte bei geringer Durchfeuchtung und einem Luftwechsel von 0,1/Stunde mit/ohne Wärmerückgewinnung

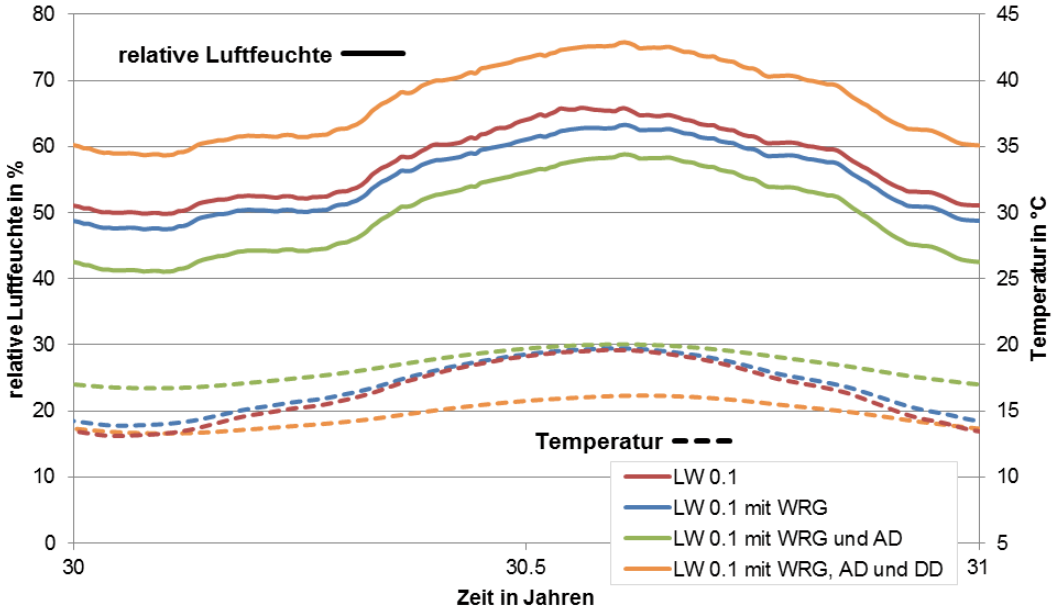


Abb. 85: Temperatur und relative Luftfeuchte bei erhöhter Durchfeuchtung und einem Luftwechsel von 0,1/Stunde mit/ohne Wärmerückgewinnung

3.3.7 Erdberührter Boden

3.3.7.1 Modellbeschreibung und Darstellung des Bestands

Das Ausgangsmodell für die folgenden Simulationen stellt ein zweidimensionaler Schnitt durch einen erdanliegenden Fußboden eines Wohnraums dar. Die Breite des Modells ist auf die halbe Trakttiefe von 4,50 m eines typischen Gründerzeithauses beschränkt. Die Randbedingungen werden von den Modellen der Kellersimulationen übernommen.

Das Bestandsmodell ist in der folgenden Abb. 86 dargestellt und zeigt einen vereinfacht angenommenen zweischichtigen Fußbodenaufbau aus 30 cm Beschüttung mit einem darüber liegenden hölzernen Blindboden sowie einem Holzparkettboden. Alle Materialparameter werden gemäß Anhang angesetzt und fließen in die folgenden Simulationen ein.

In den Simulationsvarianten der erdberührten Bauteile werden die Verteilungen von Wassergehalt, relativer Luftfeuchte und Temperatur im jeweiligen Bauteil dargestellt. Diese Momentaufnahme erfolgt bei allen Modellen am 1.1. und beschreibt somit den Zustand während der kalten Jahreszeit. Dieser Zeitpunkt und die damit verbundenen Feuchtezustände in der Konstruktion erweisen sich als maßgeblich und sind in den weiteren Kapiteln gegenübergestellt. Weiters werden ein gering und ein erhöht durchfeuchteter Boden angenommen und für jedes Modell als Randbedingung herangezogen.

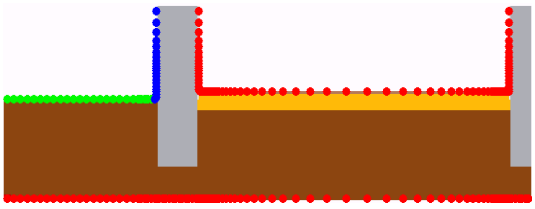


Abb. 86: Simulationsmodell für erdberührte Wohnräume

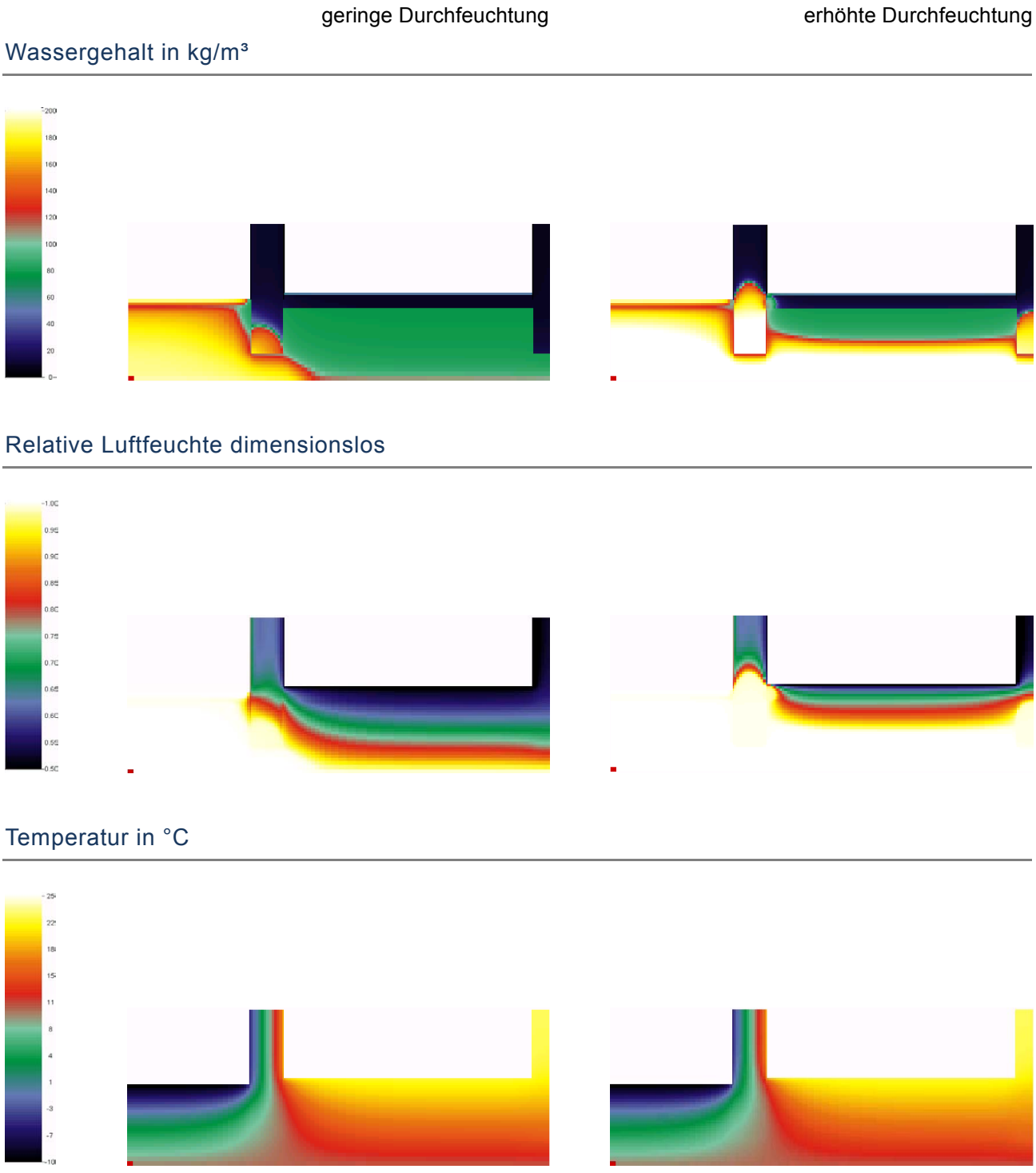


Abb. 87: Wassergehalt, relative Luftfeuchte und Temperatur der Bestandskonstruktion im Winter bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung des Bodens

Um den Einfluss der jahreszeitlichen Klimaschwankungen abzubilden, werden die Jahresverläufe von Temperatur und relativer Luftfeuchte an zwei markanten Punkten ausgegeben. Diese werden im Anschlussbereich des Fußbodens an die Außen- bzw. die Mittelwand gewählt. An der Wärmebrücke im Anschlussbereich von Außenwand und Fußboden ist im Winter sowohl die geringste Oberflächentemperatur als auch die höchste relative Luftfeuchte zu erwarten. Die an der Innenwand liegende Schnittkante soll als Referenzwert

dienen. Das folgende Diagramm in Abb. 88 verdeutlicht, dass an der außenliegenden Wärmebrücke abhängig vom Durchfeuchtungsgrad des Bodens kritische relative Luftfeuchten auftreten können. Am Vergleich der Wassergehalte der gering und der erhöht durchfeuchteten Konstruktion in Abb. 87 sind die unterschiedlich hohen Kapillarhorizonte erkennbar. Bei erhöhter Durchfeuchtung des Bodens steigt die Feuchtigkeit im Mauerwerk über die Höhe der Fußbodenkonstruktion hinauf. Dies führt auch zu einer Durchfeuchtung des Fußbodenaufbaus und zu einer stark erhöhten relativen Luftfeuchte im Eckbereich des Fußbodenanschlusses. Schimmelpilzwachstum und Schäden an der Fußbodenkonstruktion sind bei diesem Detail vorprogrammiert und können nur durch den Einbau einer kapillarbrechenden Schicht im Mauerwerk unterbunden werden.

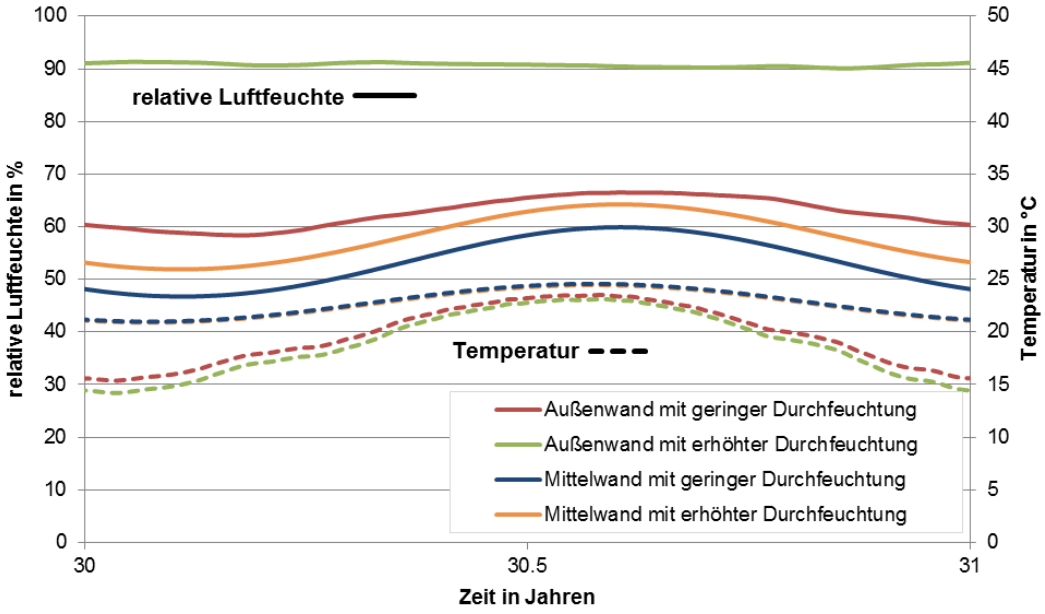


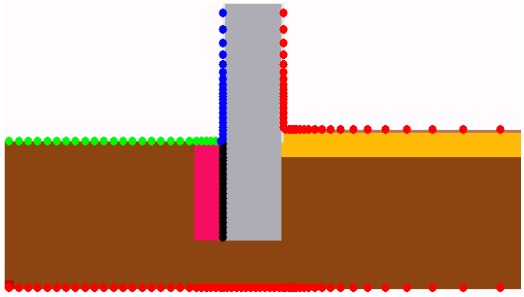
Abb. 88: Jahresverlauf von relativer Luftfeuchte und Temperatur in der Schnittkante von Boden und Außen- bzw. Mittelwand

In den weiteren Simulationen werden kleinere halbierte Modelle verwendet. Da die Innenrandbedingung ohne Lüftungsanlage betrieben wird, kann näherungsweise von einer Symmetrieachse in der Mitte der halben Trakttiefe ausgegangen werden.

3.3.7.2 Dämmung der Außenwand

Frostschürze – Sockeldämmung

Bei dieser Sanierungsmaßnahme erfolgt eine 30 cm starke Dämmung des Fundamentbereichs bis zur Geländeoberkante. Die Fassade sowie der Fußboden im Gebäude werden nicht gedämmt. Damit sollen die Transmissionswärmeverluste über das Erdreich minimiert werden, ohne den Wohnbereich des Gebäudes anzutasten. Das nachfolgende Modell zeigt die Außenwand, die 100 cm tief in den Boden eingebunden und in diesem Bereich an der Außenseite gedämmt ist. Zwischen Dämmung und Außenputz wird eine bituminöse Abdichtung mit berücksichtigt, um einen Diffusionsstrom in diesem Bereich gänzlich zu vermeiden.

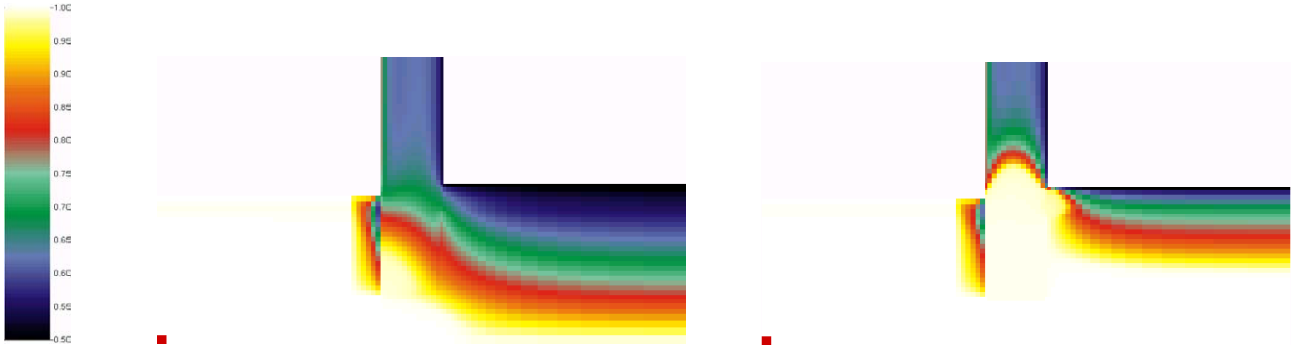


geringe Durchfeuchtung erhöhte Durchfeuchtung

Wassergehalt in kg/m³



Relative Luftfeuchte dimensionslos



Temperatur in °C

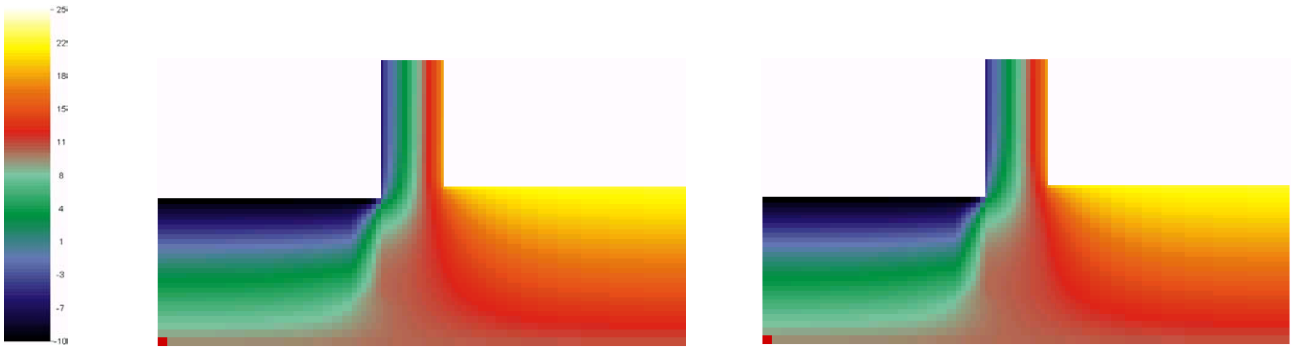


Abb. 89: Wassergehalt, relative Luftfeuchte und Temperatur im Winter bei Sockeldämmung sowie geringer und erhöhter Durchfeuchtung des Bodens

Anhand der Darstellung des Wassergehalts in der Konstruktion ist vor allem bei erhöhter Bodendurchfeuchtung die Problematik der aufsteigenden Feuchte erkennbar. Der Feuchtehorizont überschreitet in diesem

Fall ähnlich wie bei der Bestandsvariante die Fußboden- bzw. die Geländeoberkante. Verglichen mit dem Bestand bringt die Dämmmaßnahme im Fundamentbereich hier jedoch keine wesentlichen Verschlechterungen mit sich. Die relative Luftfeuchte an der Oberfläche der Bodenanschlussfuge liegt auch bei diesem Detail im gesamten Jahresverlauf konstant bei 90 %. Dies resultiert einerseits aus dem stetigen Flüssigwassertransport im Mauerwerk aus dem Boden andererseits aus der begrenzten Möglichkeit des Abtrocknens der Oberfläche, da in allen Simulationsvarianten mit einem Innenklima ohne Lüftungsanlage gerechnet wurde.

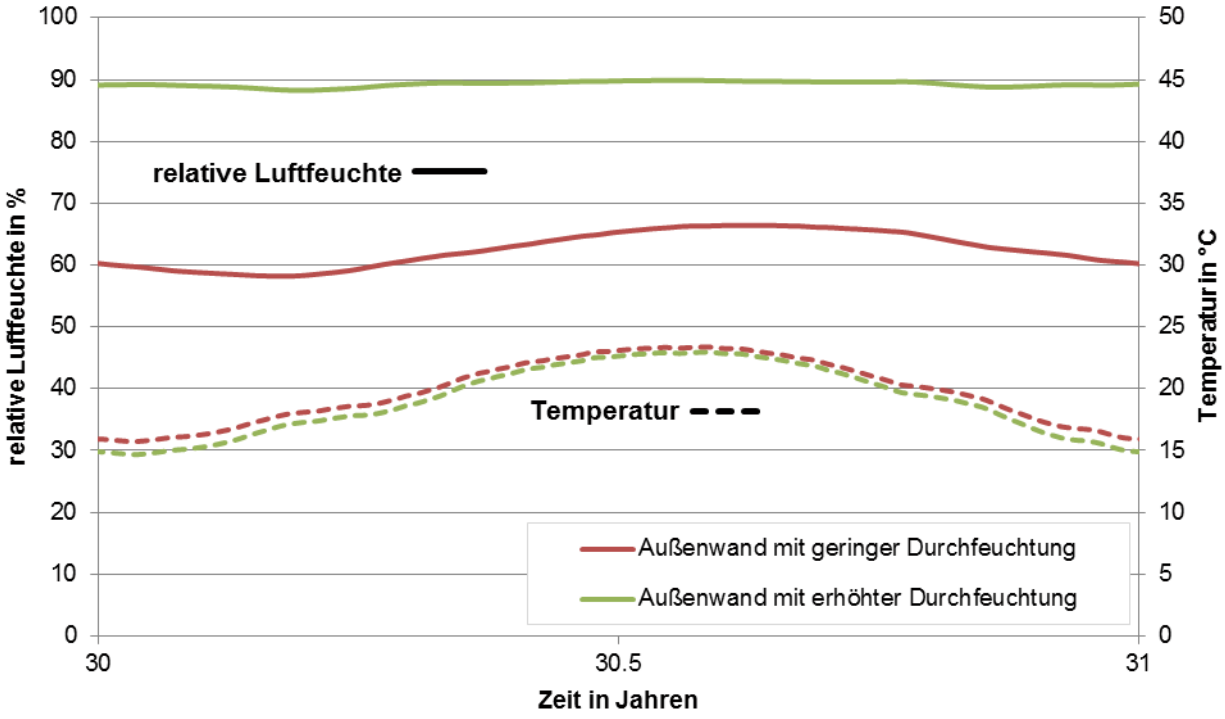
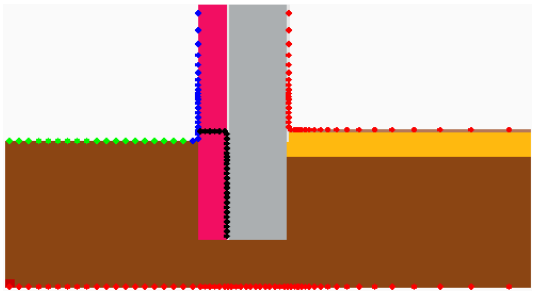


Abb. 90: Jahresverlauf von relativer Luftfeuchte und Temperatur in der Schnittkante von Boden und Außenwand bei Sockeldämmung

Fassaden- und Sockeldämmung

Bei dieser Sanierungsvariante wird eine 30 cm dicke Sockeldämmung wie im vorigen Beispiel mit einer ebenso starken Außendämmung über die gesamte Fassade kombiniert.



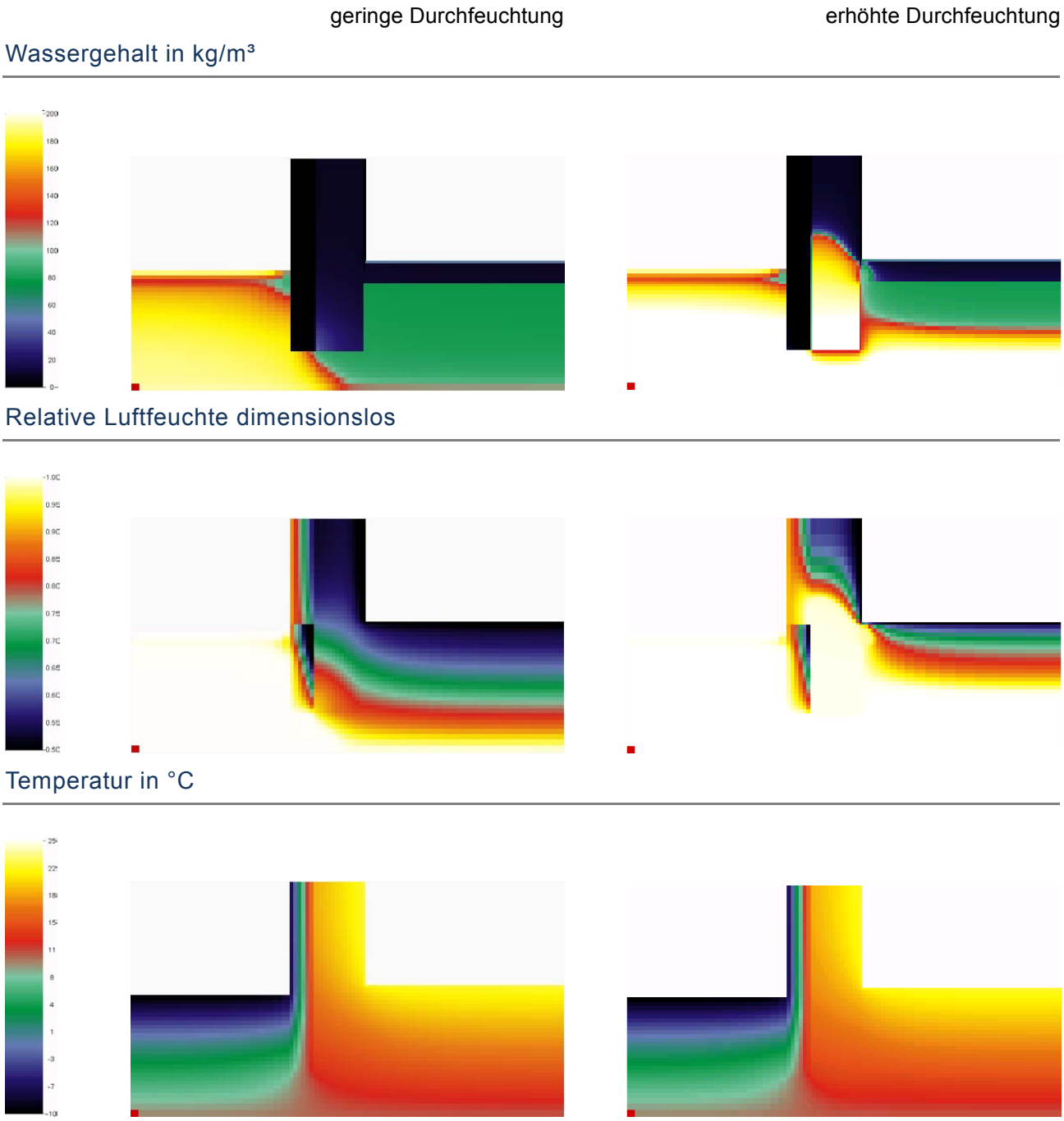


Abb. 91: Wassergehalt, relative Luftfeuchte und Temperatur im Winter bei Sockel- und Außendämmung sowie bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung des Bodens

Wie schon die Momentaufnahmen des Feuchtegehalts im Winter zeigen, bildet sich bei der Variante mit erhöhter Durchfeuchtung des Bodens ein ähnlich hoher Feuchtehorizont im Mauerwerk aus. In diesem Fall wirkt sich zusätzlich zum stetigen Feuchtenachschub aus dem Fundament auch die Applikation der Außendämmung negativ auf den Durchfeuchtungsgrad des Mauerwerks aus. Dadurch wird die Verdunstung von kapillar aufsteigendem Wasser an der Außenoberfläche der Wand unterbunden.
Dennoch ist bei der Analyse der Jahresverläufe der relativen Luftfeuchten eine geringfügige Verbesserung gegenüber dem Bestand erkennbar. Dies liegt vor allem daran, dass aufgrund der Dämmmaßnahme das Temperaturniveau in der gesamten Wandkonstruktion angehoben wird. Dadurch verringert sich auch die re-

lative Luftfeuchte in dem als weiterhin kritisch zu bewertenden Anschlussbereich. Die Jahresverläufe von relativer Luftfeuchte und Temperatur im Bodenanschlussbereich zur Außenwand sind in Abb. 92 dargestellt. Dabei wird der Einfluss der unterschiedlichen Bodendurchfeuchtung deutlich sichtbar.

Die Entwicklung des Feuchtegehalts an der Innenoberfläche infolge unterschiedlicher Dämmmaßnahmen ist auch anhand des Vergleichs mit den Ergebnissen der Bestandskonstruktion in Abb. 95 ersichtlich.

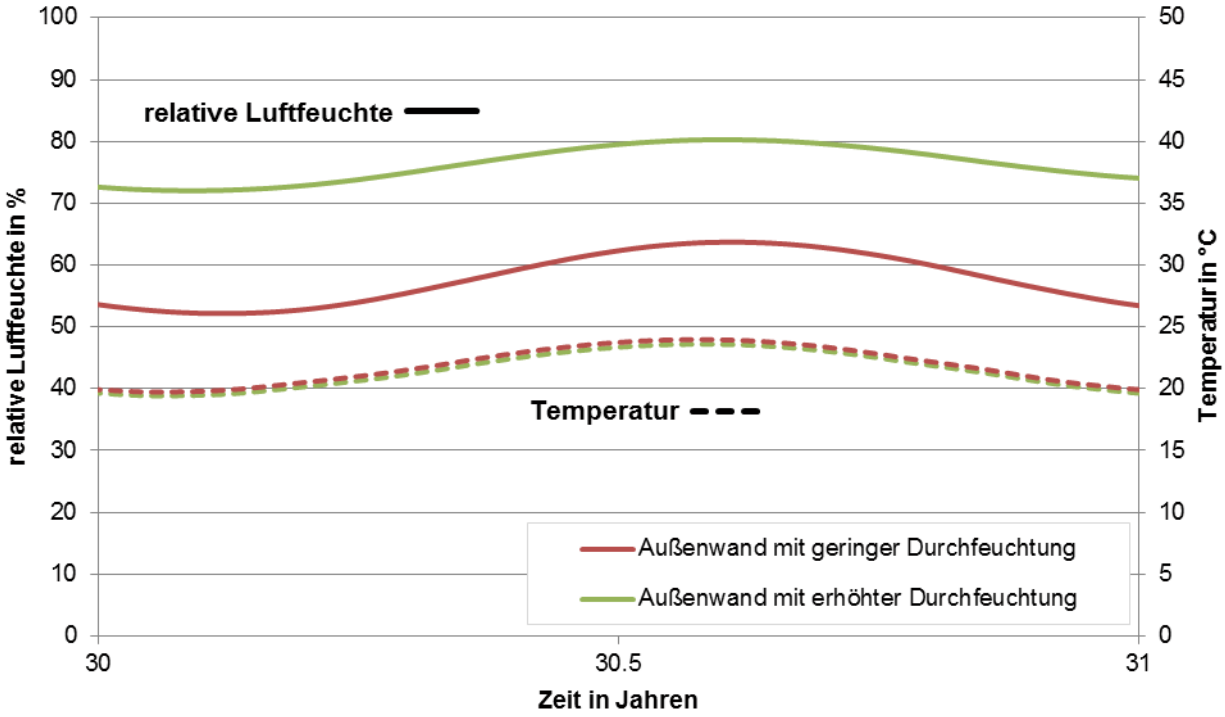
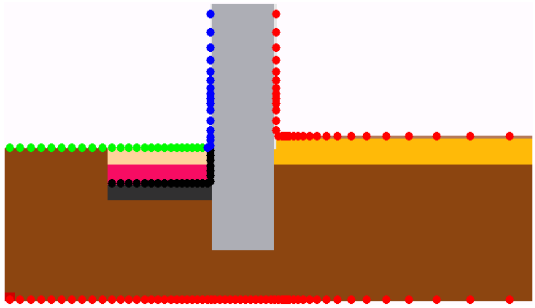


Abb. 92: Jahresverlauf von relativer Luftfeuchte und Temperatur in der Schnittkante von Boden und Außenwand bei Sockel- und Außendämmung

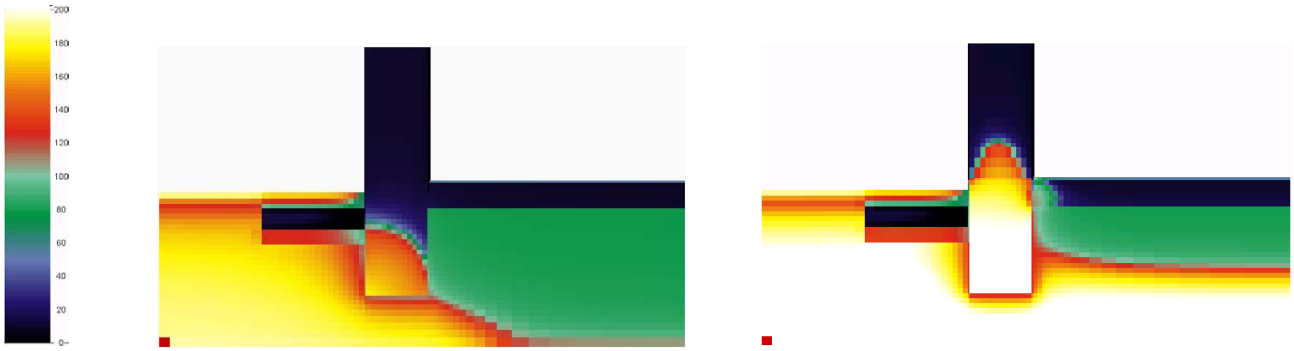
Horizontale Schirmdämmung

Bei dieser Sanierungsvariante wird die Bestandskonstruktion mit einer 1 m breiten horizontalen Schirmdämmung versehen. Dadurch sollen die Wärmeverluste über das Erdreich minimiert werden.
Die Ergebnisse können in diesem Fall mit jenen der Sockeldämmung verglichen werden. Anhand der Zustände im Winter zeigt sich, dass der aus dem Boden aufsteigende Feuchtehorizont bis über die Fußbodenoberkante reicht und somit zu ähnlichen Ergebnissen wie bei einer Sockeldämmung führt. Die Darstellung des Jahresverlaufs der relativen Luftfeuchte in Abb. 94 bestätigt die Schaubilder von absoluter und relativer Luftfeuchte, da in diesem Fall die relative Luftfeuchte über das gesamte Jahr hinweg über 90 % liegt.
Eine ausführliche Analyse und Gegenüberstellung der Ergebnisse wird im folgenden Abschnitt durchgeführt.

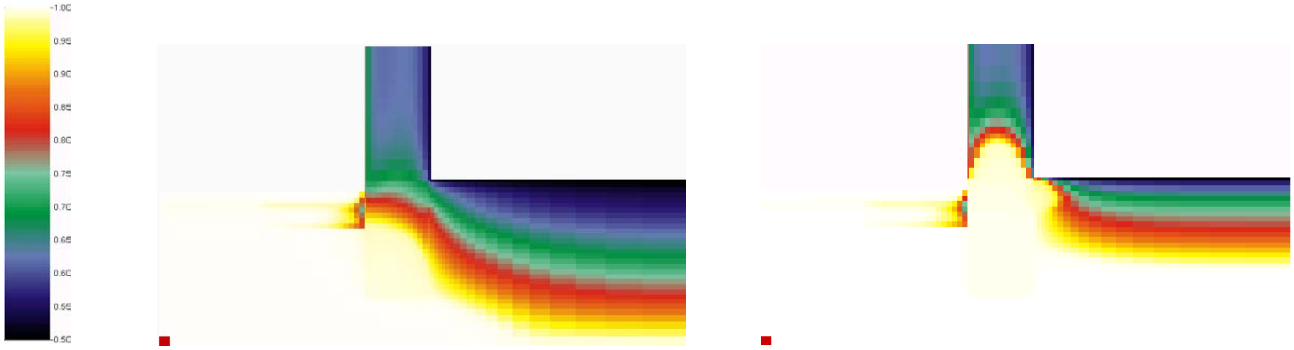


geringe Durchfeuchtung erhöhte Durchfeuchtung

Wassergehalt in kg/m³



Relative Luftfeuchte dimensionslos



Temperatur in °C

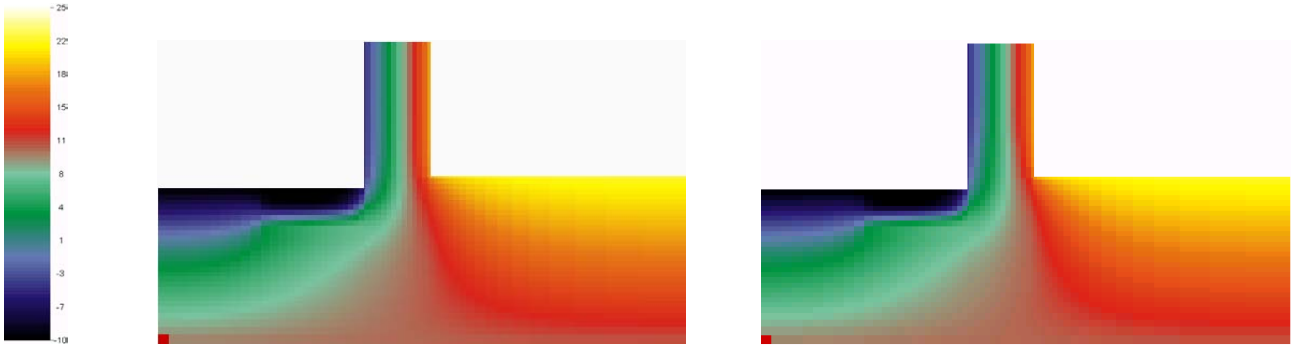


Abb. 93: Wassergehalt, relative Luftfeuchte und Temperatur im Winter bei einer Schirmdämmung sowie bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung des Bodens

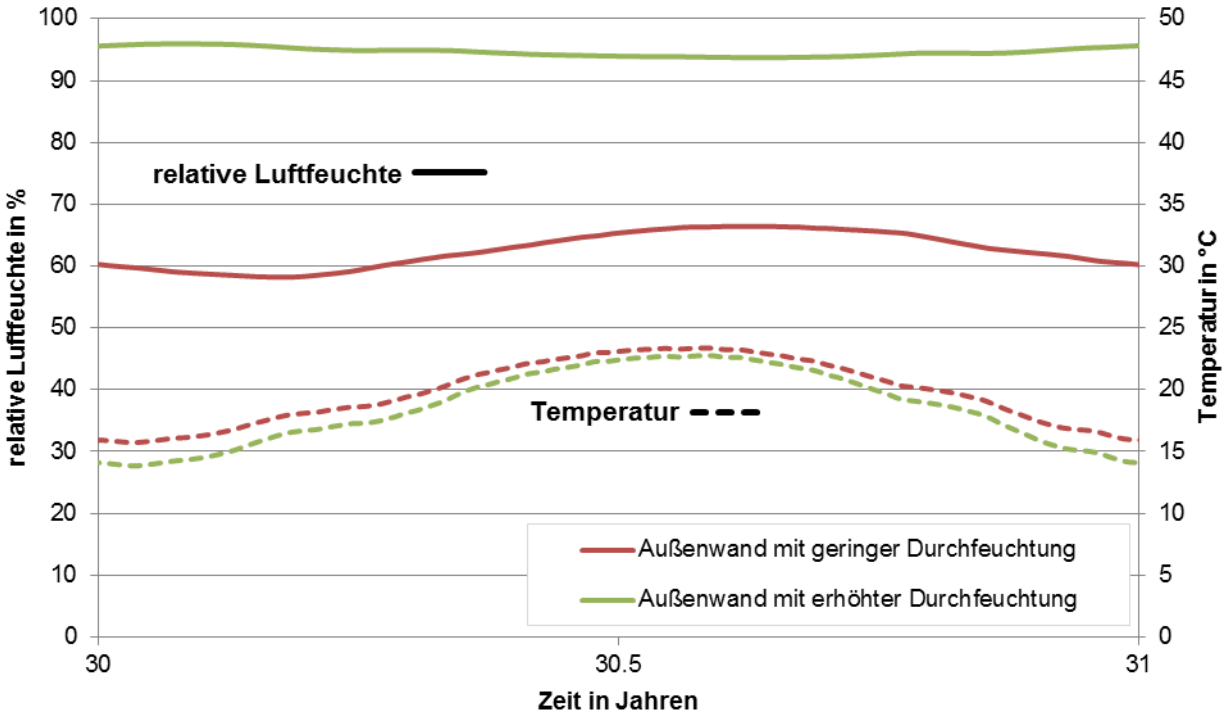


Abb. 94: Jahresverlauf von relativer Luftfeuchte und Temperatur in der Schnittkante von Boden und Außenwand bei einer horizontalen Schirmdämmung

Vergleich der Varianten mit Außendämmung und Schlussfolgerungen

Bei den angenommenen Verhältnissen mit erhöhter Bodendurchfeuchtung hat das Anbringen einer Außendämmung kaum negative Auswirkungen auf die Feuchtezustände in der Wandkonstruktion. Während die Wärmebrücke im Bodenanschlussbereich sowohl bei reiner Sockeldämmung als auch bei einer gesamten Fassadendämmung entschärft wird, muss aufgrund der verminderten Abtrocknungsmöglichkeit an der Außenwandoberfläche mit einer leicht erhöhten Durchfeuchtung infolge aufsteigender Grundfeuchte gerechnet werden. Gleichzeitig wird jedoch die relative Luftfeuchte im kritischen Bereich des Fußbodenanschlusses vermindert, da jegliche Dämmmaßnahmen in diesem Bereich zu einer Anhebung des Temperaturniveaus führen.

Betrachtet man die Jahresverläufe der relativen Luftfeuchte bei erhöhter Bodendurchfeuchtung, ist zu erkennen, dass die kritischen Werte entweder das ganze Jahr über auftreten – wie dies bei der Bestandsvariante und den sockel- und schirmgedämmten Varianten der Fall ist – oder dass die maximalen relativen Luftfeuchten im Sommer auftreten – wie es bei der außengedämmten Variante der Fall ist. Diese Tatsache bestätigt, dass es sich hierbei nicht um ein Wärmebrückenproblem handelt, sondern dass die aufsteigende Feuchte aus dem Boden zu kritischen relativen Feuchten an der Innenoberfläche des Bauteils führt. Dies kann nur durch eine kapillarbrechende Sperre im Mauerwerk oder durch eine vermehrte Ablüftung der Feuchtigkeit aus der Raumluft behoben werden. Die Jahresverläufe der relativen Luftfeuchte an der Oberfläche der Bodenanschlussfuge sind in Abb. 95 beispielhaft für einen erhöht durchfeuchteten Boden dargestellt.

In Abb. 96 sind die Jahresverläufe der Wärmeströme über die Innenrandbedingung für die drei Sanierungsvarianten und die nicht gedämmte Bestandskonstruktion ersichtlich. Dabei ist erkennbar, dass die Frost-

schürze und die Schirmdämmung eine ähnlich gute Verminderung der Transmissionswärmeverluste über den Boden bewirken. Eine deutliche Verbesserung der thermischen Eigenschaften der Konstruktion kann aber nur durch eine Außendämmung erreicht werden.

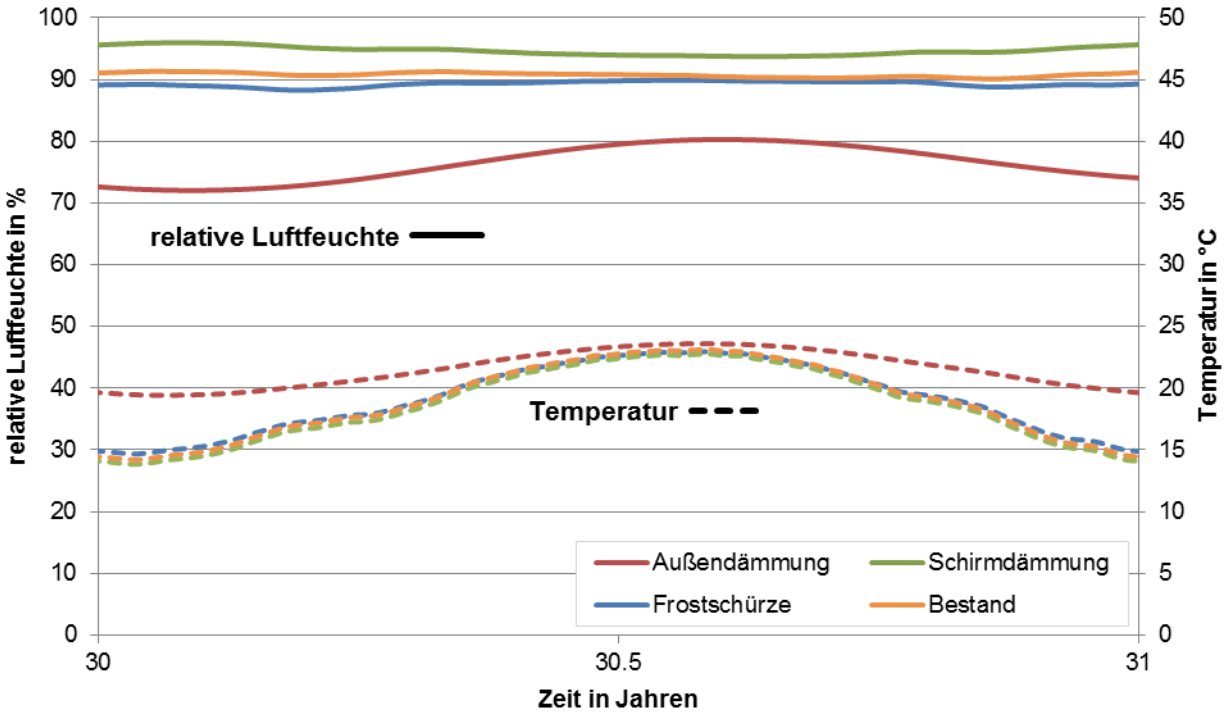


Abb. 95: Jahresverlauf von relativer Luftfeuchte und Temperatur in der Bodenanschlussfuge im Vergleich bei außenliegenden Dämmmaßnahmen

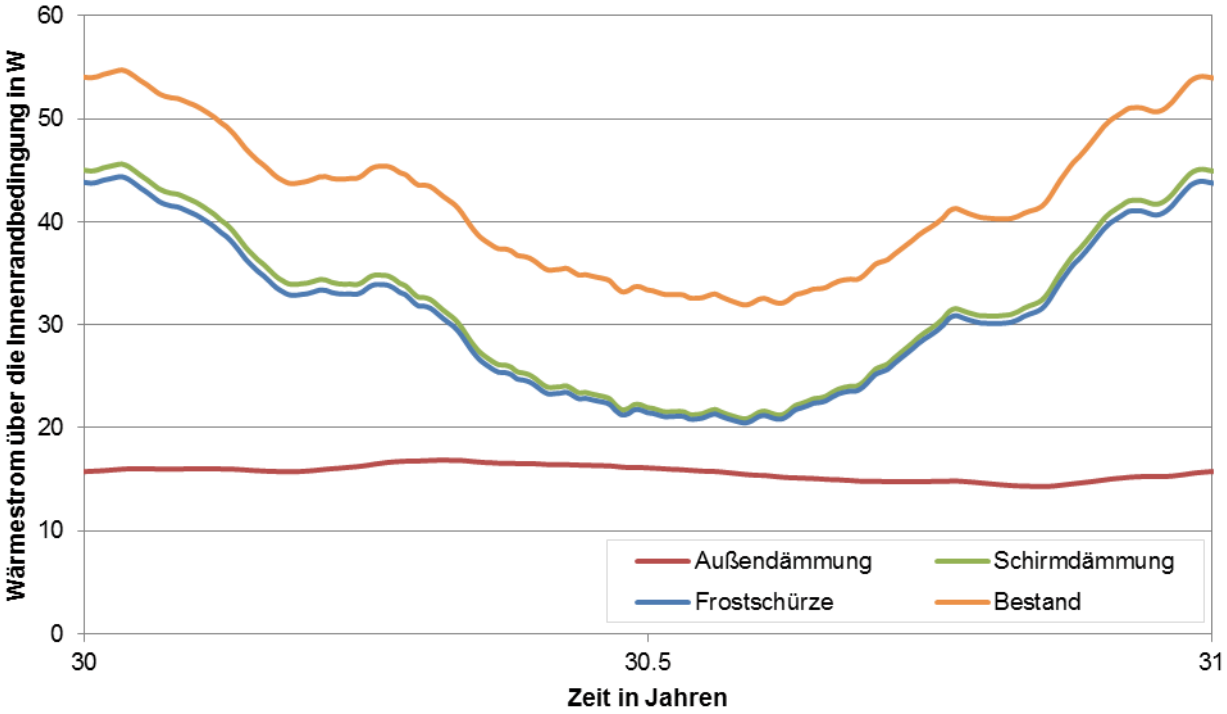


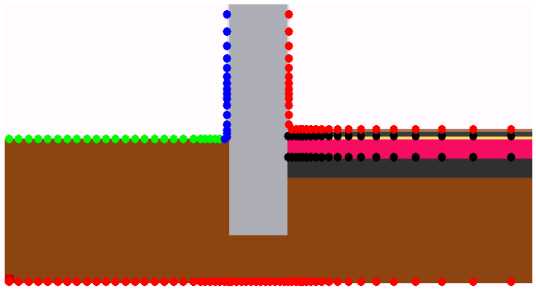
Abb. 96: Jahresverlauf der Wärmeverluste über die Innenrandbedingung

3.3.7.3 Dämmung des Fußbodens

Die Dämmung des erdberührten Fußbodens ist auf zwei verschiedene Arten möglich: Die Dämmschicht kann entweder an der Oberseite oder an der Unterseite der Bodenplatte verlegt werden.

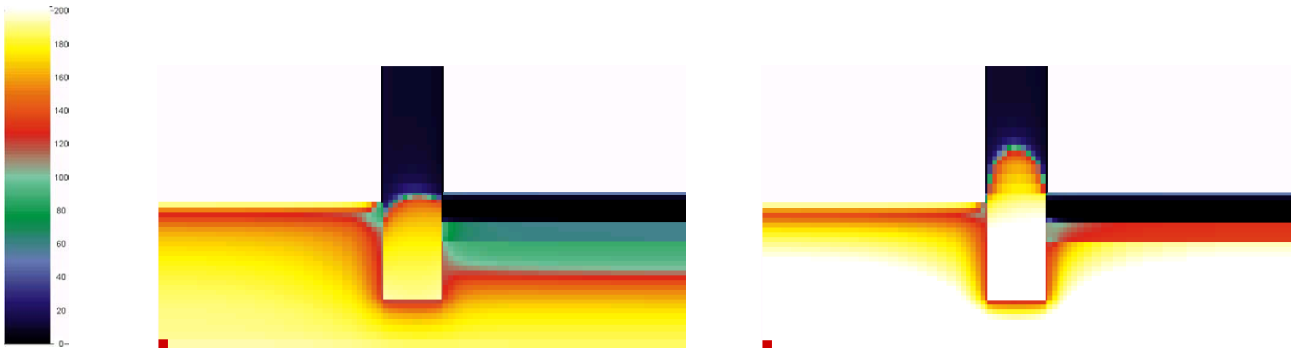
Dämmschicht an der Oberseite der Bodenplatte

Bei dieser Sanierungsvariante wird auf eine bestehende Bodenplatte eine innenliegende Wärmedämmung aufgebracht. Im vorliegenden Fall besteht die Bodenplatte aus 20 cm Stahlbeton und die Dämmschicht aus 30 cm EPS. Diese Konstruktion entspricht einer typischen Sanierung mit Auskofferung des Bestandsbodens und anschließender Überdämmung der geschaffenen Platte. Im Simulationsmodell wird an der Oberseite der Betonplatte eine Bitumenabdichtung mit einem s_d-Wert von 100 m eingeplant. Zwischen der Dämmebene und dem Fußbodenaufbau wird eine weitere Dampfbremse mit einem s_d-Wert von 10 m verlegt.
In den folgenden Schaubildern (Abb. 97) ist anhand der Verteilungen des Wassergehalts und der relativen Luftfeuchte erkennbar, dass der Flüssigwassertransport infolge aufsteigender Feuchte zu einer Feuchtekumulation zwischen der Dämmschicht und der Betonplatte führt. Vor allem im Anschlussbereich zum Mauerwerk treten kritische relative Luftfeuchten auf, da dort im Gegensatz zum ungestörten Bereich unter der Bodenplatte sehr niedrige Temperaturen vorherrschen.



geringe Durchfeuchtung erhöhte Durchfeuchtung

Wassergehalt in kg/m³



Relative Luftfeuchte dimensionslos



Temperatur in °C

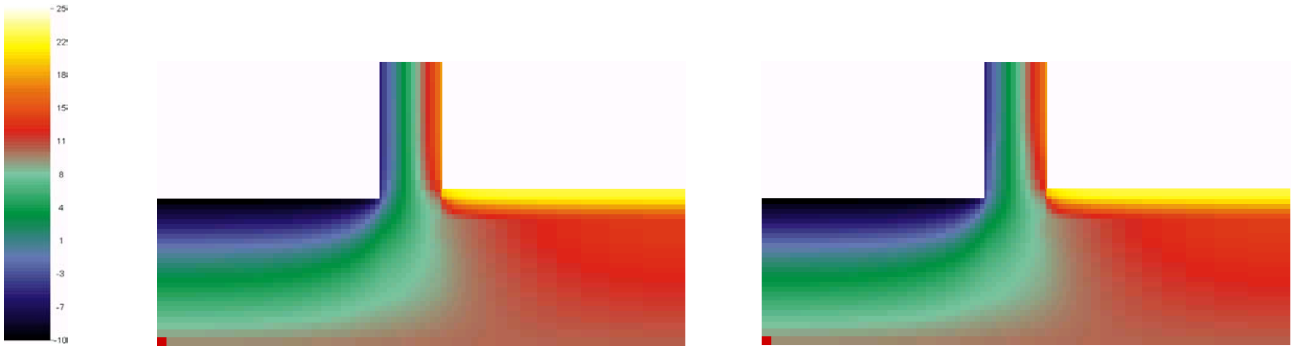


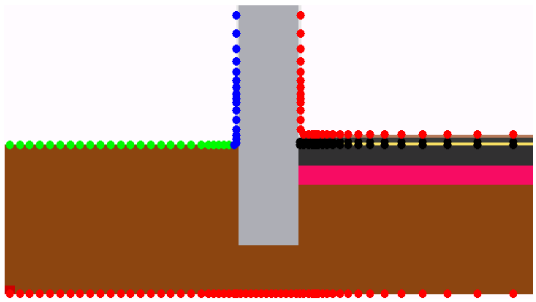
Abb. 97: Wassergehalt, relative Luftfeuchte und Temperatur im Winter bei einer Dämmung an der Oberseite der Bodenplatte sowie bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung des Bodens

Im Vergleich zu außen gedämmten oder zumindest im Sockelbereich gedämmten Varianten kann das Mauerwerk – wie bereits eingangs erwähnt – beim vorliegenden Modell im Bereich des Bodenanschlusses stärker abkühlen. Die Oberflächentemperatur an der Innenseite der Wärmebrücke bleibt jedoch annähernd gleich, wie der Vergleich der Jahresverläufe der Temperaturen in Abb. 99 verdeutlicht. Die hierbei angenommene Wandstärke von 60 cm verringert das Schadensrisiko in diesem Anschlussbereich. Bei einer geringeren Wandstärke ist demnach mit noch niedrigeren Oberflächentemperaturen und somit mit höheren relativen Luftfeuchten bei gleichen Randbedingungen zu rechnen.

Dämmschicht an der Unterseite der Bodenplatte

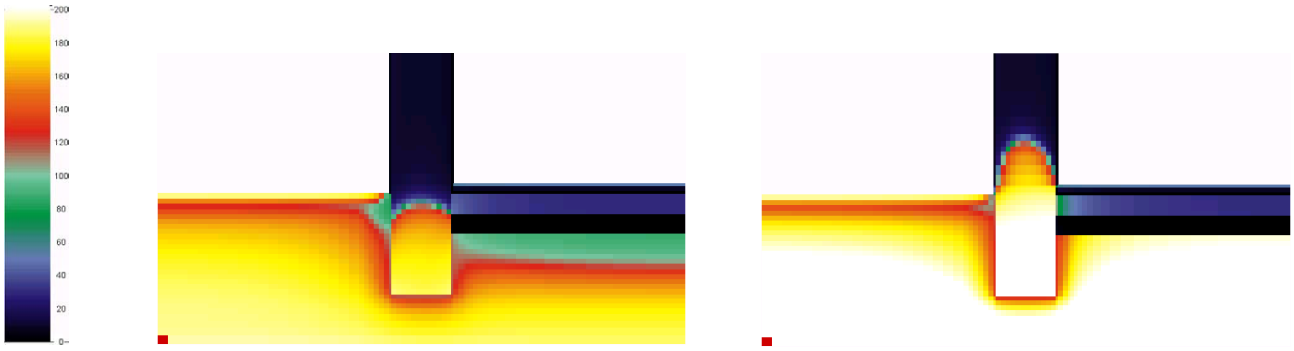
Die Sanierungsvariante mit einer unter der Bodenplatte liegenden Dämmschicht gestaltet sich ausführungstechnisch komplizierter, bauphysikalisch betrachtet kann hier aber von einem geringeren Schadenspotential in Bezug auf Feuchteschäden ausgegangen werden. Das vorliegende stark vereinfachte Simulationsmodell zeigt eine direkt an das Erdreich anliegende 30 cm dicke Schicht aus XPS und eine darüber liegende 20 cm dicke Betonplatte, die an der Oberseite mit einer Bitumenbahn abgedichtet ist.

Wie bei allen anderen Varianten mit erhöhter Durchfeuchtung des Bodens steigt auch hier die Bodenfeuchte im Mauerwerk bis über die Fußbodenoberkante auf. Anhand der Temperaturverteilung ist jedoch erkennbar, dass das Mauerwerk im Fußbodenanschlussbereich geringfügig erwärmt und somit die relative Luftfeuchte in diesem Bereich vermindert wird.



geringe Durchfeuchtung erhöhte Durchfeuchtung

Wassergehalt in kg/m³



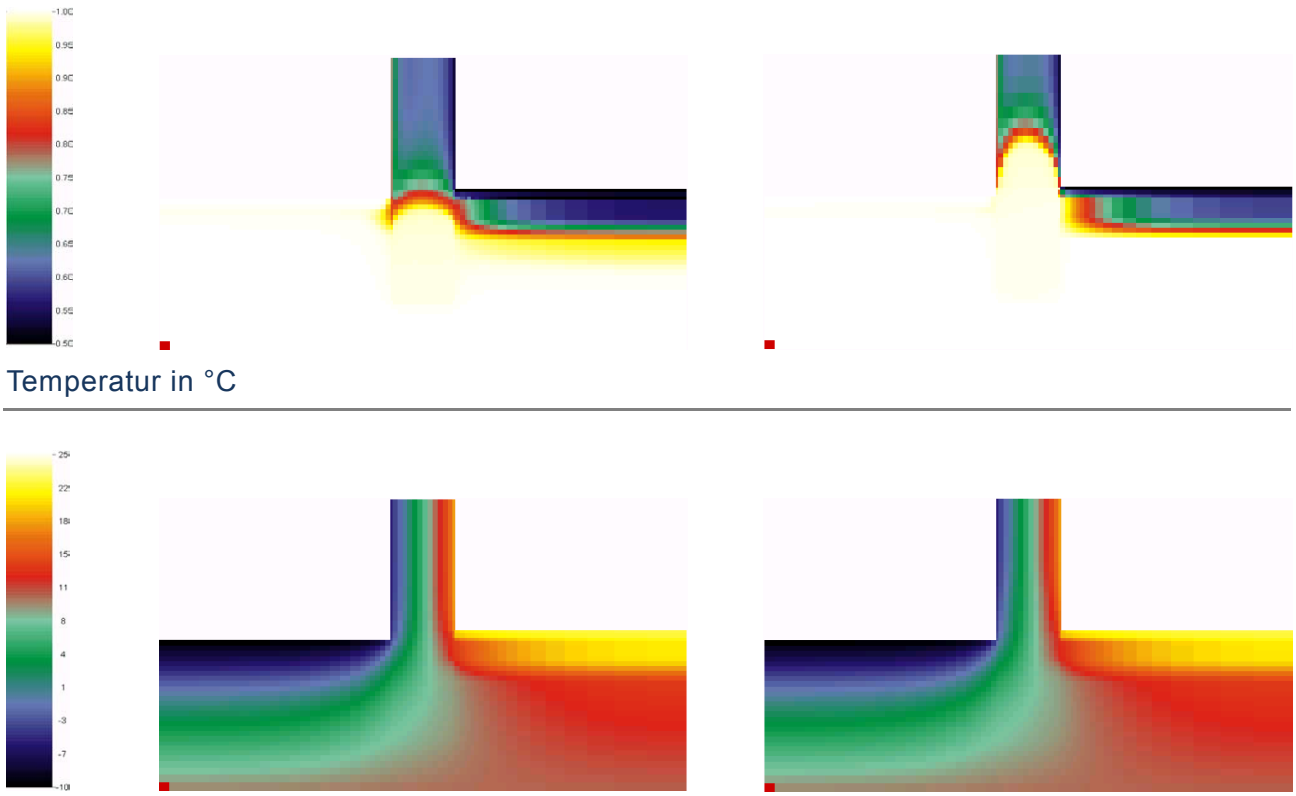
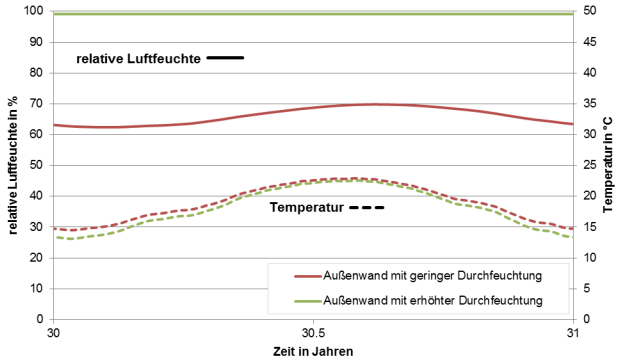


Abb. 98: Wassergehalt, relative Luftfeuchte und Temperatur im Winter bei einer Dämmung an der Unterseite der Bodenplatte sowie bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung des Bodens

Vergleich der Ergebnisse der Simulationen mit Bodendämmung

Vergleicht man an der Ober- und an der Unterseite gedämmte Fußbodenkonstruktionen miteinander, so zeigt sich, dass sich die Jahresverläufe von Temperatur und relativer Luftfeuchte kaum unterscheiden. In Abb. 99 werden die Werte von der Oberfläche der Anschlusskante des Fußbodens an die Außenwand angegeben. Dabei ist feststellbar, dass die relative Luftfeuchte und somit das Risiko für Schimmelpilzwachstum sehr stark vom Durchfeuchtungsgrad des darunter liegenden Erdreichs abhängt. Selbst bei trockenem Boden stellen sich an der Bauteiloberfläche in diesem Bereich relative Luftfeuchten von bis zu 70 % ein. Um für diesen Bauteilbereich eine detaillierte Aussage über das Schadensrisiko treffen zu können, müssen der Durchfeuchtungsgrad des Bodens und das Aufsaugvermögen des Mauerwerks variiert werden. Außerdem sollte der Einfluss des Innenklimas, das im vorliegenden Fall als sinusförmiger Jahresverlauf angenommen wurde, nicht außer Acht gelassen werden und ebenfalls mit verschiedenen Feuchtelasten berücksichtigt werden.

Dämmung an der Oberseite der Bodenplatte



Dämmung an der Unterseite der Bodenplatte

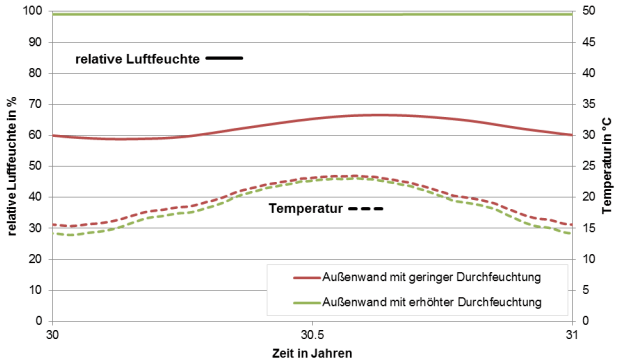
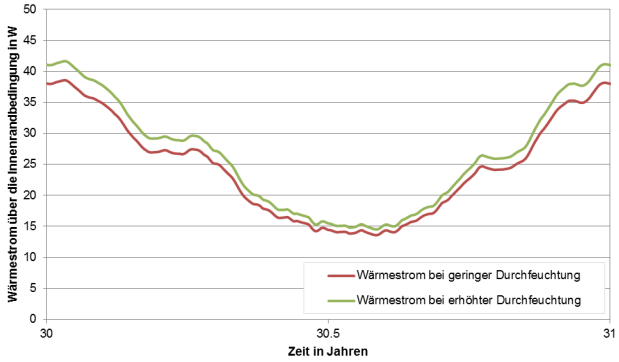


Abb. 99: Jahresverlauf von relativer Luftfeuchte und Temperatur in der Bodenanschlussfuge bei einer Dämmung an der Oberseite (links) und an der Unterseite (rechts) der Bodenplatte

Die Aufbauten der beiden Konstruktionen unterscheiden sich nur durch die Lage der Dämmschicht. Der U-Wert beider Konstruktionen ist demnach gleich, lediglich die Wärmebrücke im Anschlussbereich des Fußbodens an die Außenwand ist anders ausgebildet. Der Vergleich der Wärmeströme über die Innenrandbedingung zeigt geringfügig höhere Wärmeverluste bei der Variante der Dämmung an der Unterseite der Bodenplatte.

Dämmung an der Oberseite der Bodenplatte



Dämmung an der Unterseite der Bodenplatte

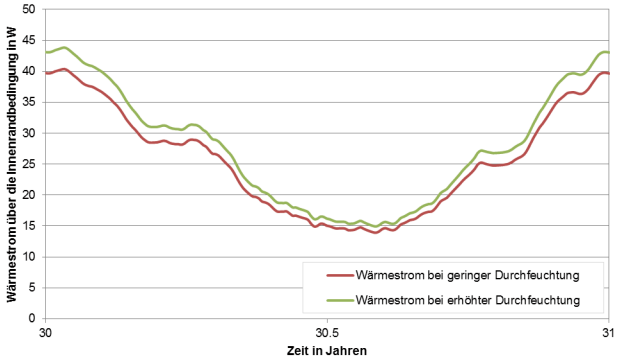
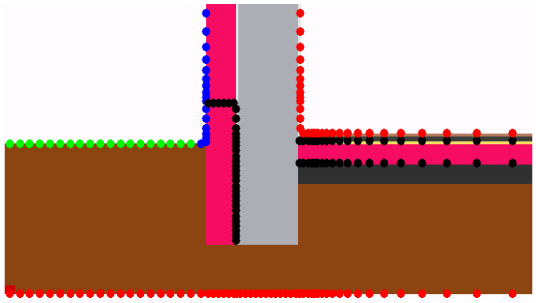


Abb. 100: Jahresverlauf des Wärmestroms über die Innenrandbedingung bei unterschiedlicher Lage der Dämmschicht

3.3.7.4 Außendämmung und Bodendämmung

Außendämmung und Dämmschicht an der Oberseite der Bodenplatte



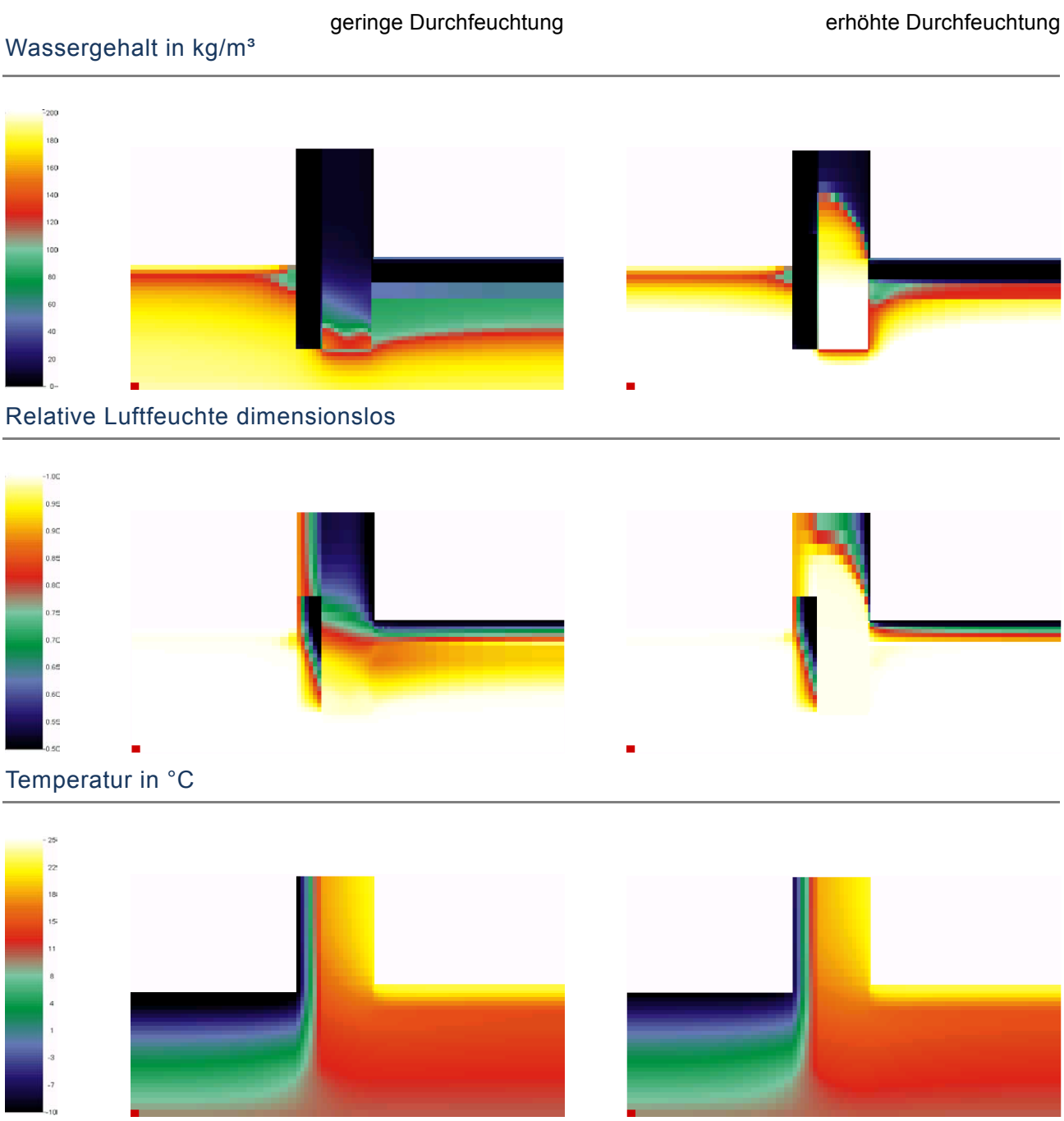
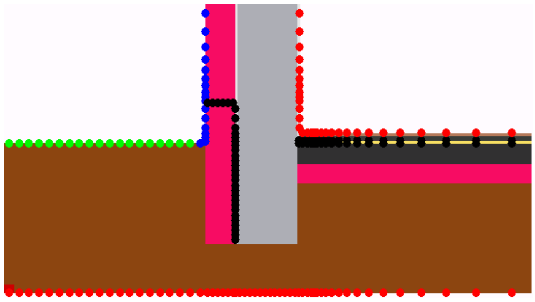


Abb. 101: Wassergehalt, relative Luftfeuchte und Temperatur im Winter mit Außendämmung bei einer Dämmung an der Oberseite der Bodenplatte sowie bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung des Bodens

Außendämmung und Dämmschicht an der Unterseite der Bodenplatte



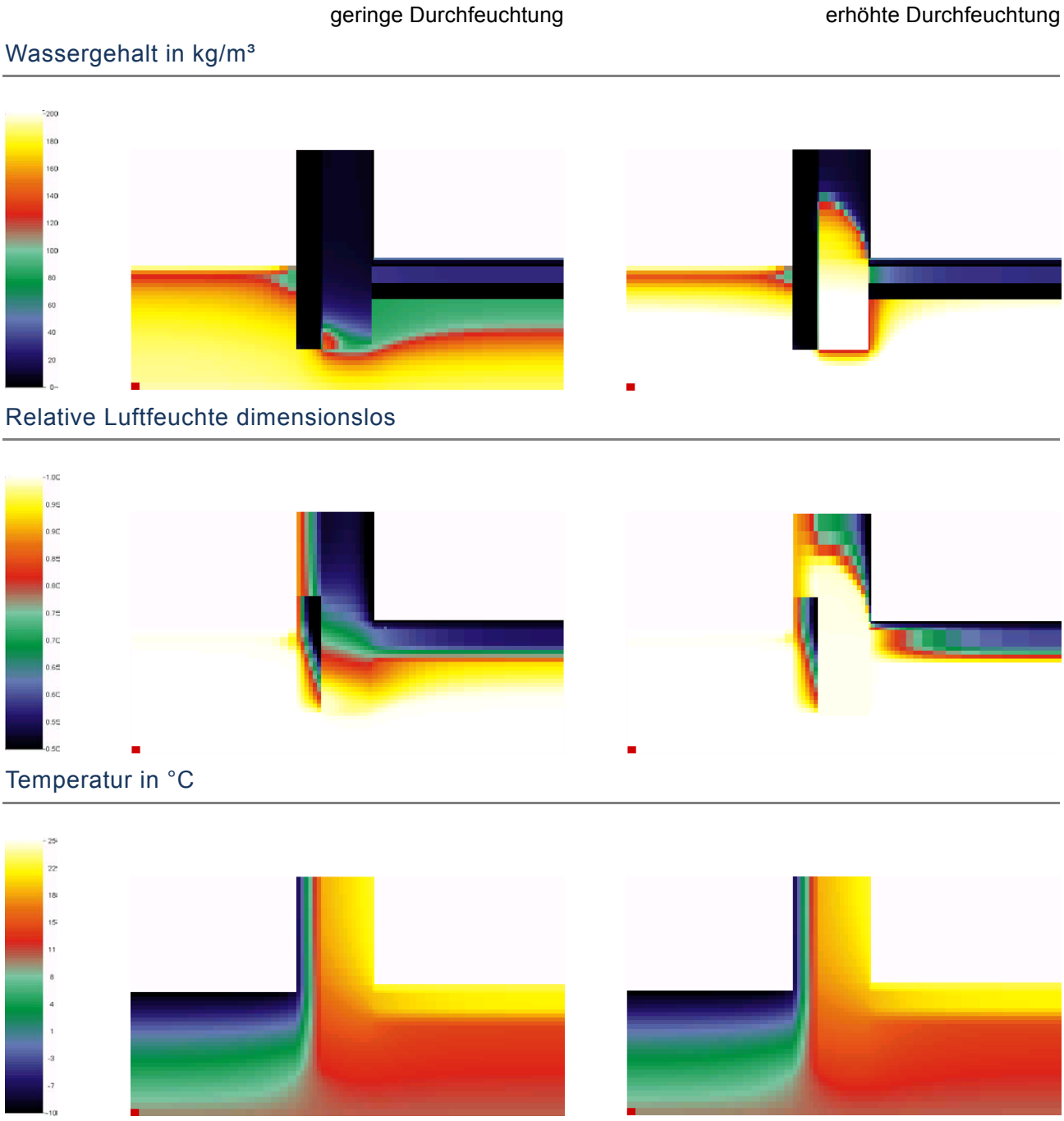


Abb. 102: Wassergehalt, relative Luftfeuchte und Temperatur im Winter mit Außendämmung bei einer Dämmung an der Unterseite der Bodenplatte sowie bei geringer und erhöhter Durchfeuchtung des Bodens

Vergleich der Ergebnisse der Simulationen mit Außen- und Bodendämmung

Die Modelle in Abschnitt 3.3.7.4 sind um eine Außendämmung ergänzt. Die Ergebnisse gleichen jenen aus Abschnitt 3.3.1 lediglich das Temperaturniveau an der Bauteiloberfläche wird infolge der Außendämmung angehoben. Dadurch wird die relative Luftfeuchte in diesem Bereich geringfügig gesenkt. Auch in diesem Fall ist eine eingehende Untersuchung mit Variation von Parametern erforderlich, um detailliertere Aussagen treffen zu können.

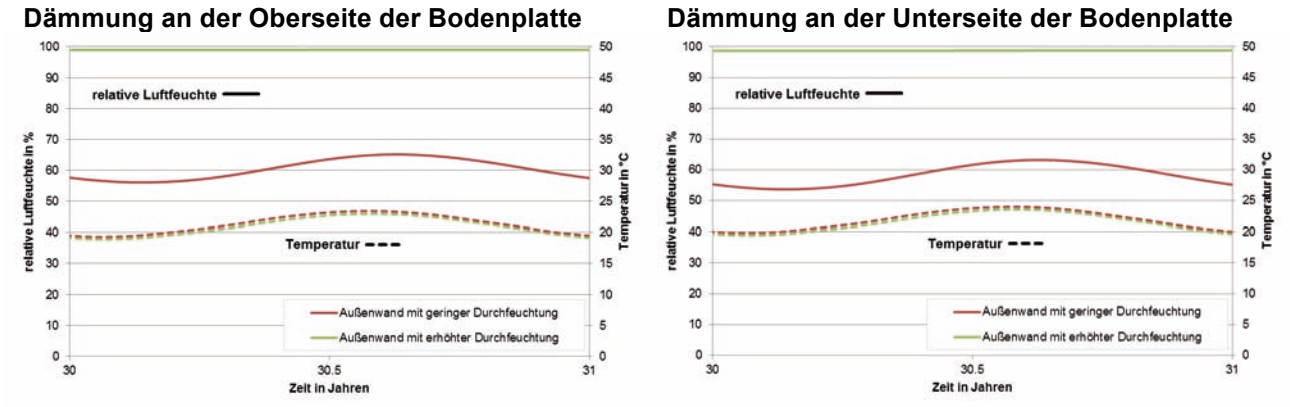


Abb. 103: Jahresverläufe von relativer Lufttfeuchte und Temperatur bei unterschiedlicher Lage der Bodendämmschicht

Da die Wärmeströme über die gesamte Innenrandbedingung dargestellt werden, ist in den folgenden Diagrammen der Einfluss der Außendämmung deutlich erkennbar. Der Einfluss der Wärmebrücke und der geringfügig höhere Wärmeverlust bei der Anordnung der Bodendämmung unter der Bodenplatte bleiben jedoch erhalten.

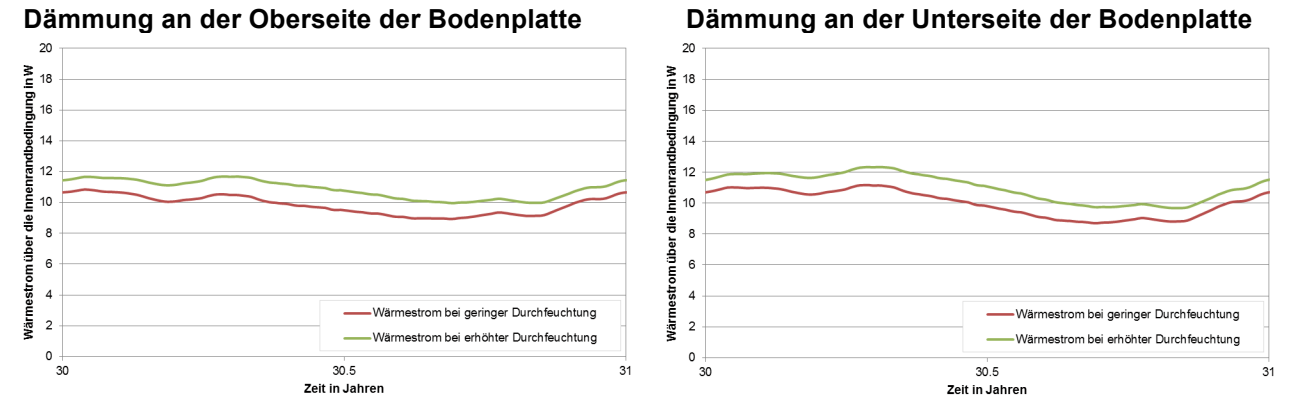


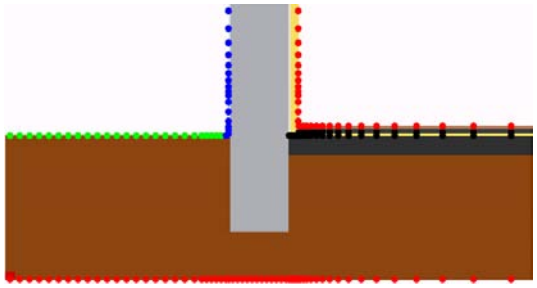
Abb. 104: Jahresverläufe des Wärmestroms bei unterschiedlicher Lage der Bodendämmschicht

3.3.7.5 Innendämmung

Eine Innendämmung sollte immer nur dann ausgeführt werden, wenn eine andere Dämmmaßnahme aus Denkmalschutzgründen oder anderen baulichen Gründen ausscheidet. Außerdem erfordert die Ausführung einer Innendämmmaßnahme eine detaillierte und sorgfältige Planung, da bei derartigen Konstruktionen das Schadensrisiko beträchtlich höher ist als bei außen gedämmten Bauteilen. In der Planung müssen verschiedene Randbedingungen und Einflussgrößen berücksichtigt werden, um das optimale Innendämmsystem auszuwählen und eine dauerhafte sowie funktionstüchtige Konstruktion schaffen zu können. Dies sollte mit einer entsprechenden Nachweisführung abgesichert werden. Eine detaillierte Beschreibung der Planungsgrundlagen und der Nachweisführung findet sich in [Wegerer 2010].
Unter den zahlreichen Einflussgrößen, die als Randbedingungen in die Planung einfließen müssen, gibt es einige K.-o.-Kriterien, die bei bestimmten Bestandskonstruktionen die Anbringung einer Innendämmung unmöglich machen oder zumindest unumgängliche Begleitmaßnahmen erfordern. Dazu gehören unter anderem die Schlagregenbelastung der Fassade, aufsteigende Feuchtigkeit aus dem Boden oder eine Raumnutzung mit starkem Feuchteeintrag in die Raumluft. Bei den vorliegenden Simulationen wird ein wasserabweisender Putz angenommen. Damit wird die Schlagregenbelastung der Konstruktion minimiert und hat keine Auswirkungen auf die Funktionstüchtigkeit der Innendämmung. Außerdem wird ein gemäßigtes Innenklima mit geringem Feuchteeintrag im Winter, wie in Abschnitt 2.3.3.4 beschrieben, vorausgesetzt.
Da die Feuchtebelastung des Bodens und der Bestandskonstruktion einen wesentlichen Einfluss auf die Funktionstüchtigkeit des Innendämmsystems hat, werden im Folgenden zwei Varianten, beispielhaft eine mit geringer und eine mit erhöhter Durchfeuchtung des Erdreichs, dargestellt. Im abschließenden Vergleich der Varianten wird die erhöht durchfeuchtete Konstruktion als funktionsuntüchtiges Referenzbeispiel angegeben. Generell muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die Applikation einer Innendämmung eine individuelle Planung für jedes einzelne Objekt erfordert. Das vorgestellte Modell gilt demnach ausschließlich für die hier beschriebenen Randbedingungen und ist nicht pauschal auf andere Objekte anwendbar.
Bei den folgenden beiden Modellen wird eine 8 cm dicke Innendämmung aus Kalziumsilikat angenommen.

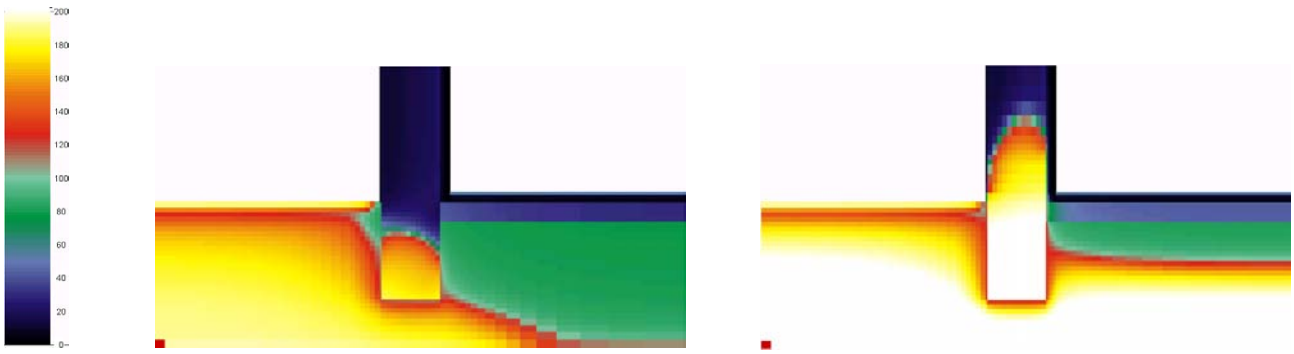
Innendämmung bei nicht gedämmter Bodenplatte

In diesem Modell wird der Fußboden der Bestandskonstruktion durch eine Betonplatte ersetzt und an der Oberseite mit einer Bitumenbahn abgedichtet. Darauf liegt ein konventioneller Fußbodenaufbau mit schwimmendem Estrich. Die Innendämmung wird auf den Putz der bestehenden Außenwand aufgeklebt und direkt auf die Betonplatte aufgesetzt.
Die Simulationen liefern für die angenommenen Randbedingungen und bei einer Dämmstärke von 8 cm durchwegs als kritisch einzustufende Ergebnisse. Das eingangs erwähnte KO-Kriterium aufsteigender Feuchtigkeit aus dem Boden wird hier anhand der Ergebnisse des erhöht durchfeuchteten Bodens bestätigt. Auch das Modell mit dem gering durchfeuchteten Boden zeigt hohe relative Luftfeuchten zwischen Innendämmung und Bestandskonstruktion.

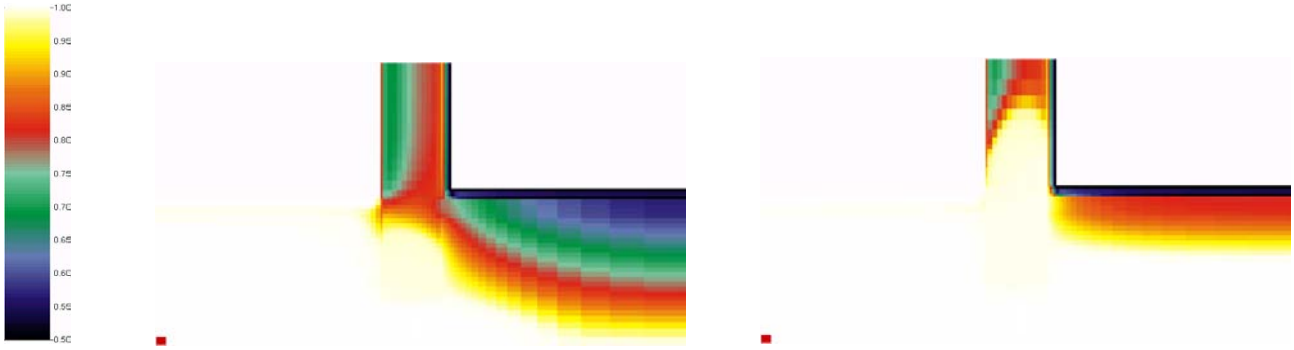


geringe Durchfeuchtung erhöhte Durchfeuchtung

Wassergehalt in kg/m³



Relative Luftfeuchte dimensionslos



Temperatur in °C

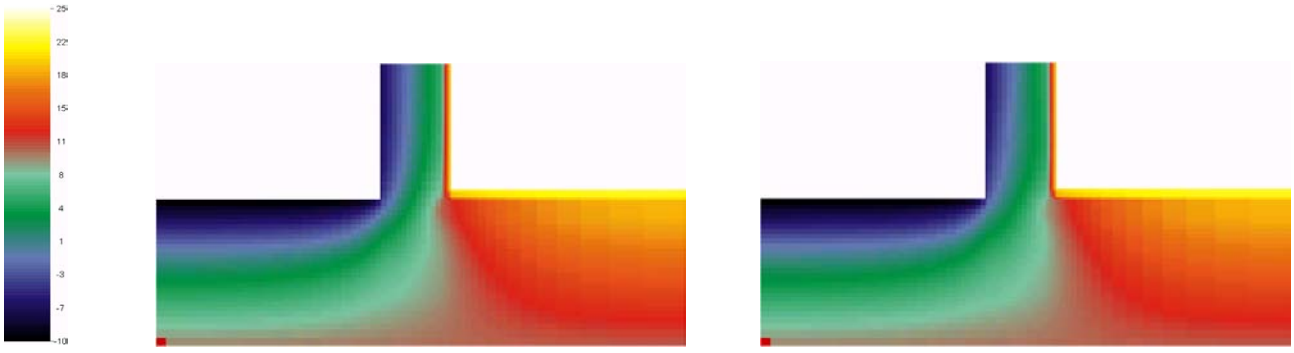


Abb. 105: Wassergehalt, relative Luftfeuchte und Temperatur im Winter bei einer Innendämmung sowie geringer und erhöhter Durchfeuchtung des Bodens

Innendämmung mit Dämmung an der Oberseite der Bodenplatte

Im Folgenden wird ein Modell mit Innendämmung und Bodendämmung gegen das Erdreich vorgestellt, bei dem die Wärmeverluste über die Außenhülle minimiert werden können. Auf die Bodenplatte aus Stahlbeton wird eine 30 cm dicke Dämmschicht und darüber ein konventioneller Fußbodenaufbau aufgebracht. Die Innendämmung schließt in diesem Fall direkt an die Fußbodendämmung an. Dadurch wird die Wärmebrücke im Anschlussbereich von Bodenplatte und Außenwand verringert.

Wie im vorigen Abschnitt gezeigt, können die Vorgaben für die dauerhafte Funktionstüchtigkeit einer Innendämmung bei einer erhöhten Durchfeuchtung des Erdreichs nicht erfüllt werden. Daher werden die Ergebnisse zu dem vorliegenden Modell ausschließlich für einen gering durchfeuchteten Boden angegeben.

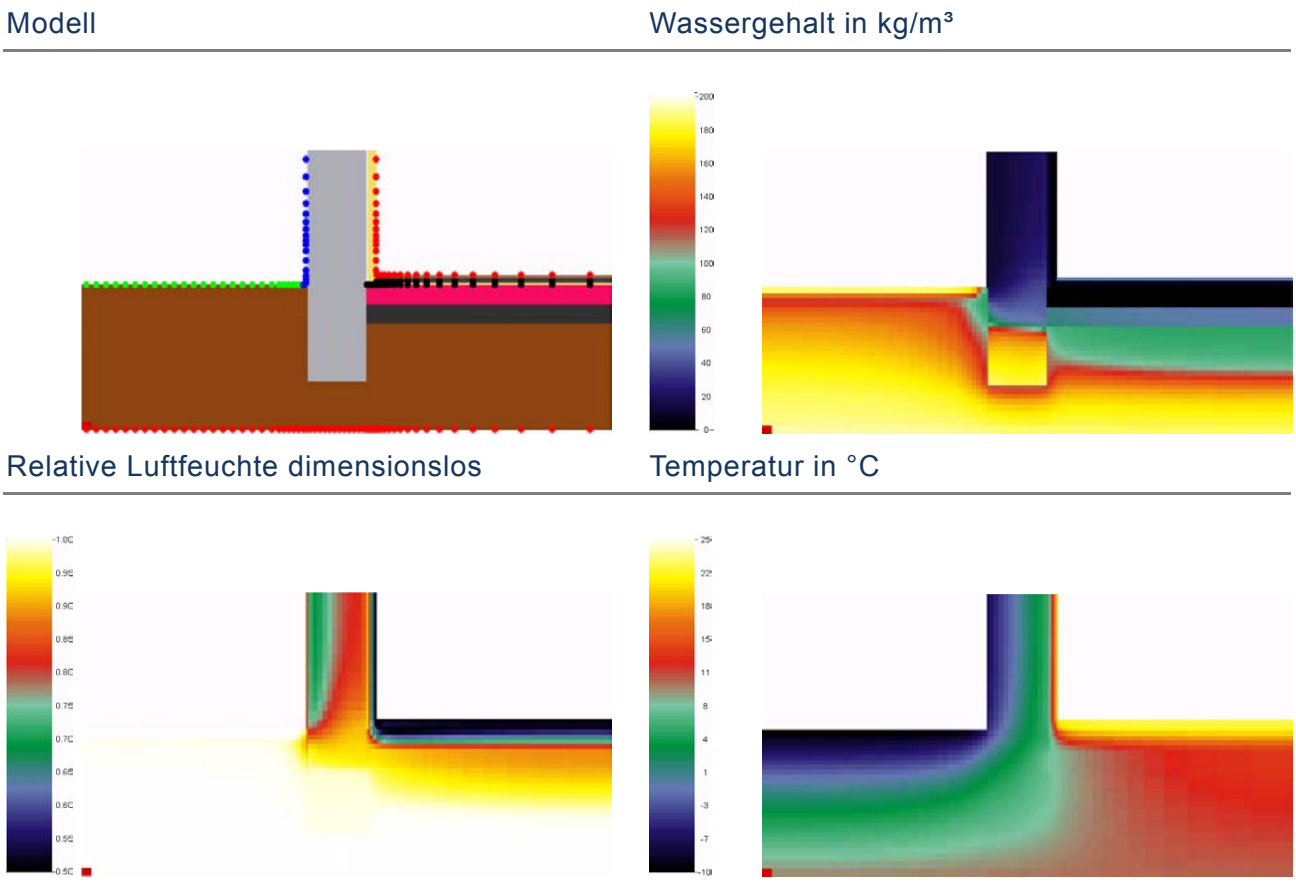


Abb. 106: Wassergehalt, relative Luftfeuchte und Temperatur im Winter bei einer Innendämmung und Bodendämmung sowie geringer Durchfeuchtung des Bodens

Durch die zusätzliche Dämmung des Fußbodens wird die Feuchteproblematik im Fußbodenanschlussbereich verstärkt. Gleichzeitig werden jedoch die Wärmeverluste über die Innenrandbedingung verringert, wie in Abb. 108 dargestellt.

Vergleich der Ergebnisse der Simulationsmodelle mit Innendämmung

Die Jahresverläufe der relativen Luftfeuchte verdeutlichen das Schadensrisiko für eine Innendämmkonstruktion im Falle von aufsteigender Feuchte im Mauerwerk. Keine der vorliegenden Konstruktionen kann als funktionstüchtig eingestuft werden. Es muss eher das Gegenteil festgestellt werden: Bei den hier angenommenen Randbedingungen und Dämmstärken ist von einem hohen Schadenspotential auszugehen.

Die folgenden Diagramme zeigen die Jahresverläufe von relativer Luftfeuchte und Temperatur sowie des Wärmestroms für die jeweiligen Modelle in der Putzschicht der Bestandskonstruktion direkt hinter der Innendämmung im Anschlussbereich von Fußboden und Außenwand.

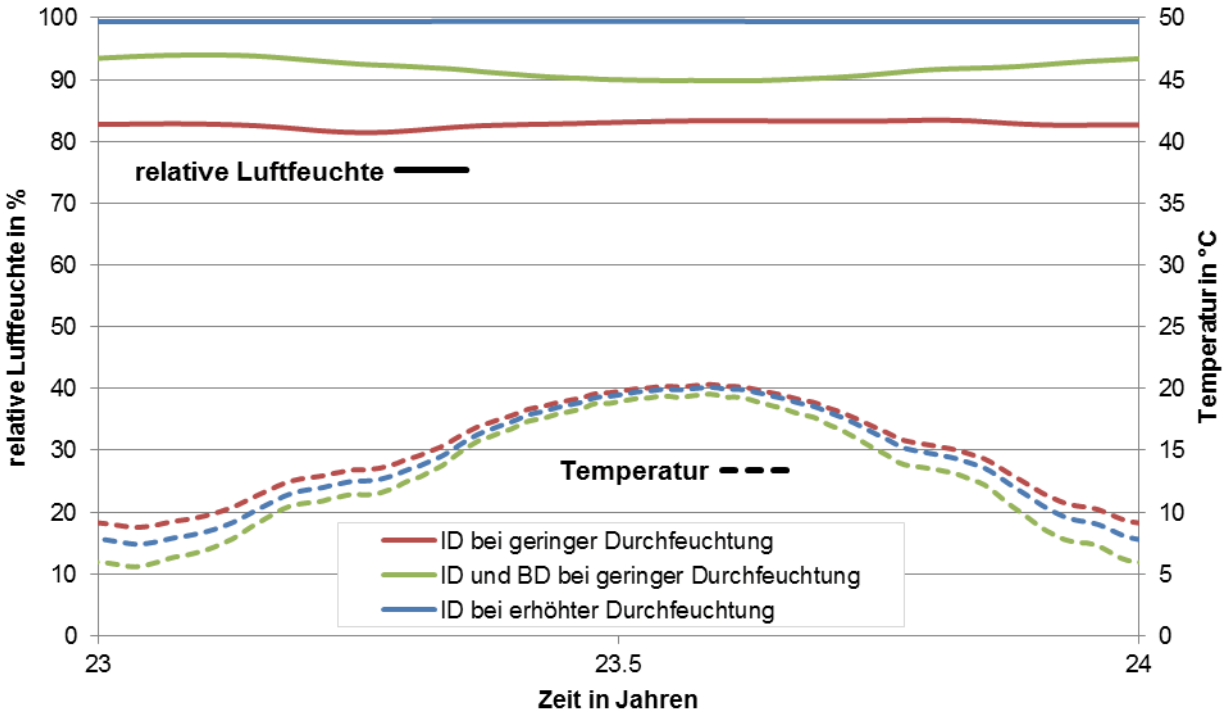


Abb. 107: Jahresverläufe von relativer Luftfeuchte und Temperatur bei einer Innendämmung mit/ohne Bodendämmung

Es wird deutlich, dass für solche Konstruktionen eine hygrothermische Simulation unumgänglich ist, da das Schadenspotential im Vorfeld der Planung nicht abgeschätzt werden kann. In vielen Fällen ist es erforderlich, eine Variation der Dämmstärke sowie der Klimarandbedingungen durchzuführen, um zu einem annehmbaren Ergebnis zu kommen. Die richtige Wahl des Dämmmaterials ist letztlich für das Funktionieren der Innendämmung ausschlaggebend.
Eine Hilfestellung auf diesem Gebiet kann das WTA-Merkblatt 6-4 liefern, das den Planungsprozess und die wesentlichen Einflussparameter für Innendämmsysteme beschreibt.

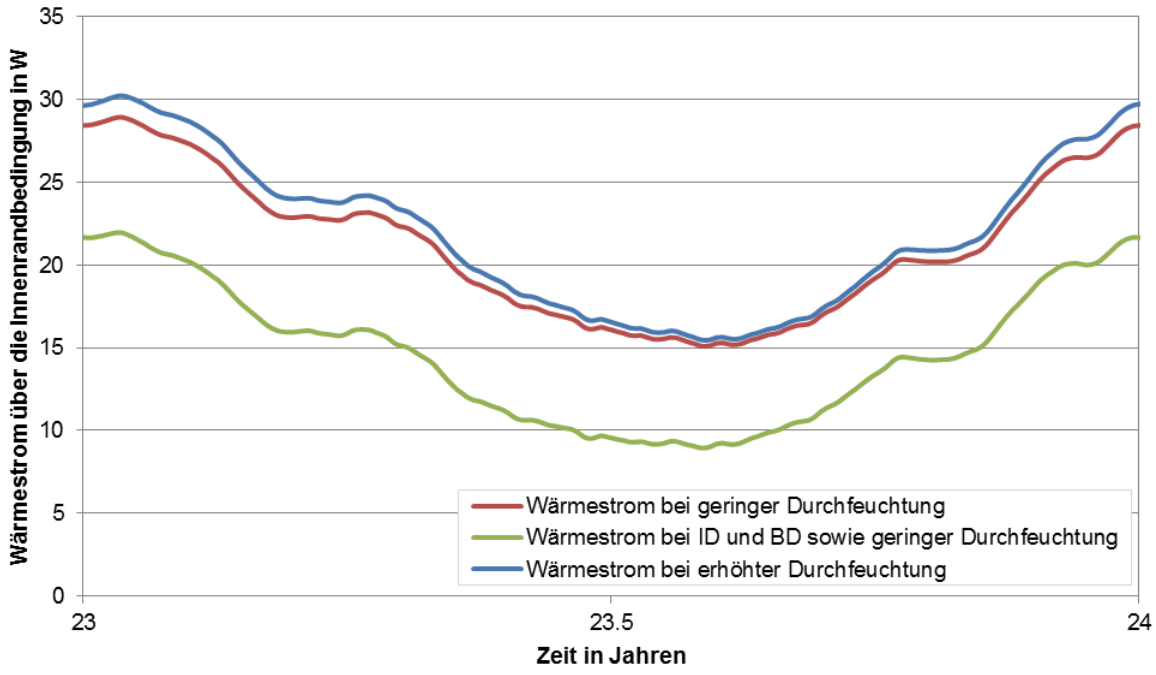


Abb. 108: Jahresverläufe des Wärmestroms über die Innenrandbedingung bei einer Innendämmung mit/ohne Bodendämmung

3.4 Innendämmung in der Sanierung unter besonderer Berücksichtigung von einbindenden Holzbalkendecken

3.4.1 Einleitung

3.4.1.1 Wann ist eine Innendämmung sinnvoll oder notwendig

Die thermische Sanierung von Außenwänden ist für eine deutliche Reduzierung des, des Heizenergiebedarfs und der damit verbundenen Umweltbelastungen unumgänglich. In den meisten Fällen werden die erforderlichen Dämmschichten an der Außenseite der bestehenden Konstruktionen aufgebracht, da so die konstuktiven Außenbauteile an das warme Innenraumklima angekoppelt und von hohen Außentemperatur- und Feuchteschwankungen geschützt werden können. Zudem geht keine Nutzfläche verloren und während der Sanierungsarbeiten können die Räumlichkeiten fast unbeschränkt genutzt werden.
Es gibt allerdings Fälle, in denen eine Außendämmung nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand möglich ist:

- Die Außenfassade soll im Orginalzustand erhalten bleiben (stark gegliederte Fassaden, insbesondere, wenn sie unter Denkmalschutz stehen)
- Kellerräume sollen für Wohn- oder Arbeitszwecke adaptiert werden
- Einzelnen Wohnungen oder Büros in einem mehrgeschoßigen Gebäude sollen modernisiert werden
- Wandheizungen sind vorgesehen
- Unregelmäßig genutzte Gebäude oder Wohnungen sollen rasch aufheizbar sein
- Probleme mit konstruktiven Wärmebrücken und dem daraus folgenden Risiko der Schimmelpilzbildung sollen vermieden werden

Durch eine gut geplante und ausgeführte Wärmedämmung an der Innenseite können

- die Wärmeverluste je nach Bestandsvariante auf 50 % und weniger der ursprünglichen Verluste reduziert werden
- Tauwasser- und Schimmelbildung an den Innenecken oder Fensteranschlüssen können vermieden und damit die bauphysikalische Sicherheit deutlich erhöht, sowie
- die thermische Behaglichkeit durch höhere Innenoberflächentemperaturen deutlich verbessert werden

3.4.1.2 Ausführung von Innendämmungen

Die Innendämmung von Außenbauteilen hat den Nachteil, dass die Bestandskonstruktion deutlich stärker an das Außenklima angekoppelt wird. Folgende Probleme müssen und können durch eine gediegene Planung und Ausführung gelöst werden:

- Entstehung von Kondensat an der kalten Seite der Innendämmung. Dadurch kann es zu Schimmelpilzbildung, Materialzerstörung und Frostabsprengungen kommen.
- Frostsicherheit von wasserführenden Bauteilen in der Außenwand

Für die Planung und Ausführung von dauerhaft schadensfreien Innendämmungen müssen folgende Faktoren bedacht werden:

- Bauphysikalische Eigenschaften des Bestand-Bauteils: Wärmeleitfähigkeit und insbesondere das Potential zum kapillaren Feuchtetransport. Sind Baustoffe vorhanden deren Konsistenz bei erhöhten Feuchtegehalten gefährdet sind etc. (z.B. Ziegelmauerwerk oder Fachwerken)
- Dämmsystem: Dämmstärke, Wärmeleitfähigkeit und Feuchteverhalten (Diffusion, Kapillarleitfähigkeit, u.ä.)
- Klima am Standort (Schlagregenbeanspruchung, Orientierung, Beschichtung, u.ä.)
- Absorption Sonnenstrahlung (Farbe Mauerwerk, kann zu beschleunigter Austrocknung führen
- Innenraumluftkonditionen (Komfortlüftung oder nicht, Nutzungen mit andauernd hoher Raumluftfeuchte z.B. Waschküchen)
- Kritische Anschlussstellen (z.B. Einbindung Innenwände und Decken (Balkenköpfe), Gebäudeecken u.ä.)

In den vielen Fällen ist eine Prüfung durch den Bauphysiker unbedingt anzuraten, gegebenfalls ist eine Feuchtesimulation durchzuführen!!

Für Innendämmung stehen vor allem folgenden technischen Lösungen zur Verfügung:

Dämmstoff diffusionsoffen, nicht kapillarleitfähig:

z.B. Vorsatzschale Mineralwolle, Dampfsperre, Gipskartonplatte

Dämmstoff dampfbremsend, nicht kapillarleitfähig:

z.B. EPS oder Kork verputzt

Dämmstoff diffusionsoffen, kapillarleitfähig:

z.B. CaSi – Platten verspachtelt oder Zellulose aufgespritzt mit Gipsfaserplatte auf Ständerkonstruktion

Dämmstoff dampfdicht, nicht kapillarleitfähig:

z.B. Schaumglas verspachtelt, Vakuumdämmung

3.4.1.3 Die besondere Herausforderung bei Innendämmung und einbindenden Holzbalkenköpfen

Bei der Planung einer Innendämmung für ein Gebäude mit bestehenden Holztramdecken (Dippelbaum u.a.) müssen spezielle Details berücksichtigt werden. Dabei ist die punktuelle Wärmebrücke an der Stelle, an der der Holzbalken die Innendämmung durchstößt und in das Mauerwerk einmündet, das maßgebliche kritische Detail.

Je nach Ausbildung des Balkenauflagers kühlt das Holz an der Balkenstirnfläche oder der Auflagerfläche am stärksten ab. Bei luftumspülten Balkenköpfen wird beispielsweise die Kontaktfläche zwischen Holz und Mauerwerk am kältesten. Gleichzeitig kann durch den umgebenden Luftraum feuchtwarme Raumluft an den Mauerwerksflächen der Auflagernische auskondensieren. Die Durchströmung des Auflagerbereichs mit Raumluft ist somit eine wesentliche Randbedingung und muss bei der Dimensionierung einer Innendämmung immer berücksichtigt werden.

Gegenwärtig wird bei Innendämmungen gegenwärtig mit dem Glaserverfahren Tauwasserfreiheit nachgewiesen oder bestenfalls mit einem hygrothermischen Simulationsprogramm eindimensional berechnet. Das Schadensrisiko kann damit nicht ausreichend eingeschätzt werden da beim Galserverfahren nur die Dampfdiffusion eine Rolle spielt, aber unberücksichtigt bleiben dynamische Feuchte. Es gibt jedoch zur Zeit keinen genormten Nachweis, der die Planung von Anschlussdetails – speziell jene des Holzbalkenkopfes – absichern könnte. In der Literatur [AkP32 2005], [Feist 2012], [Loga 2003], [Müller 2011], [Ruisinger 2011], [Wegerer 2010] werden zahlreiche Versuchsgebäude und Demonstrationsobjekte mit funktionierenden, aber auch schadhaften Innendämmungen, auch in Kombination mit Holzbalkendecken, vorgestellt. Die Gefahr eines konvektiven Feuchteeintrags an die kalte Seite der Innendämmung wird in der Literatur oftmals diskutiert. Publikationen oder Modelle für die Durchströmung von Deckenhohlräumen und dem Luftraum im Bereich der Holzbalkenauflager gibt es zur Zeit nur wenige. In [Wegerer 2012] wird gezeigt, dass die Berücksichtigung von Luftströmungen und die Durchführung einer dreidimensionalen hygrothermischen Simulation gerade bei diesem kritischen Detail unumgänglich sind.

Programme für derartige Berechnungen sind derzeit noch in der Entwicklungsphase und nicht am Markt verfügbar. Daher können die im Folgenden vorgestellten Beispiele ausschließlich als aktuelle Erkenntnisse im Forschungsbereich bezeichnet werden. Sie stellen ein Modell für die Berücksichtigung von Luftströmungen bei der Berechnung von Deckenanschlüssen bei Innendämmungen dar und zeigen die Möglichkeit eines Nachweises auf. Aus der Variation der unterschiedlichen Eingangsparameter resultiert eine Vielfalt an Ergebnissen. Die behandelten und dargestellten Details sind daher als Orientierungshilfe zu verstehen. Die Berechnungsergebnisse gelten nur für die hier angenommenen idealisierten Randbedingungen und dienen als Grundlage für weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Sie sollen die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen – speziell die dreidimensionale hygrothermische Simulation und die Berücksichtigung des konvektiven Feuchteeintrags –, die für die Planung von Innendämmmaßnahmen notwendig sind, unterstreichen. Entgegen vielfacher Meinungen in der angeführten Literatur zeigt sich bei den folgenden Ausarbeitungen der Simulationsergebnisse, dass die Planung einer Innendämmung bei einem Gebäude mit Holzbalkendecken mit umfassenden Sachverstand zu erfolgen hat und bei der Ausführung auf die Qualität besonders zu achten ist.Aufgrund der Komplexität von Bauteilanschlüssen bei innen gedämmten Außenwänden ist eine sorgfältige Planung dieser Details die Grundlage für eine dauerhafte Funktionstüchtigkeit. Mit den im Folgenden angeführten Berechnungen wird gezeigt, dass bei der Nachweisführung eines Holzbalkenan-

schlusses bestimmte Randbedingungen berücksichtigt werden müssen, die im Planungsprozess zu erheben sind. Dies ist bei jedem einzelnen Objekt erforderlich, da es bei jedem Gebäude eine Vielzahl an individuellen, projektbezogenen Randbedingungen gibt.
Um einen allgemein gültigen Nachweis über die Dauerhaftigkeit eines Holzbalkenanschlusses führen zu können, müssen sämtliche Eingangsgrößen z.T. auch statistisch aufbereitet werden. Alle Eingaben für eine hygrothermische Simulation werden mit Verteilungsfunktionen ausgedrückt. Auf Basis dieser Daten lässt sich eine Versagenswahrscheinlichkeit der Konstruktion berechnen, die einem probabilistischen Sicherheitskonzept entspricht. Dabei sollten ähnliche Sicherheiten wie beim Tragsicherheitsnachweis in der Statik angenommen werden.

3.4.2 Eine Auswahl von kommentierter Fachliteratur zu Innendämmung mit besonderer Berücksichtigung von einbindenden Holzbalkendecken

Die nachfolgende Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es werden relevante Aussagen zu Messungen/Simulationen und baupraktischen Hinweisen zusammengestellt.

3.4.2.1 Innendämmung nach WTA 6-4 2009 – Planungsleitfaden [WTA 2009/D]

Diese gibt qualitativ alle wesentlichen physikalischen Prozesse wieder, die bei der Planung von Innendämmungen zu berücksichtigen sind.

Innendämmung in der Fläche:
Es wird u.a. ein vereinfachtes Schema zur Dimensionierung von Innendämmungen vorgestellt, das angewandt werden kann, wenn

- normale Feuchtelasten im Innenraum vorherrschen
- Feuchtequellen in der Wand ausgeschlossen
- und eine Hinterströmung der Innendämmung vermieden wird.

Für den vereinfachten Nachweis der Schlagregenbeanspruchung wird auf die DIN 4108 verwiesen, wo in Abhängigkeit der Schlagregenbeanspruchung eine Begrenzung der Wasseraufnahme definiert wird. Für Schlagregenbeansprungsgruppe III wird ein w-Wert von <= 0,1 kg/m²$h^{0,5}$ genannt.
Für den vereinfachten Nachweis der Tauwasserbildung wird für Innendämmung mit R < = 1 m²K/W und einem sdi > 0,5 m kein Nachweis gefordert. Für höhere Wärmewiderstände wird das nachfolgende Diagramm vorgeschlagen.

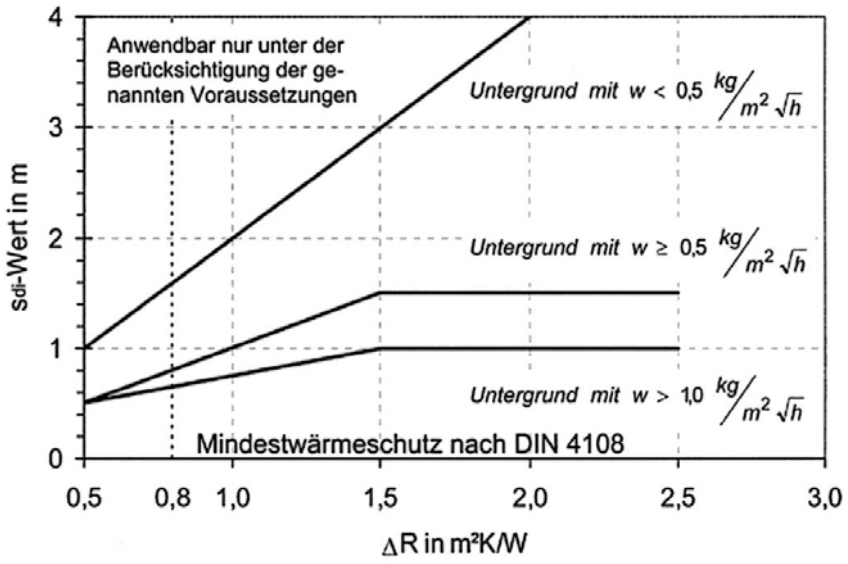


Abb. 109: Minimaler erforderlicher s_{di}- Wert des neuen inneren Aufbaus (Dämmung plus Dampfbremse) in Zusammenhang zur wärmeschutztechnischen Verbesserung ΔR für verschiedene kapillarleitfähige Untergründe. Quelle: [WTA 2009/D]

Voraussetzungen für die Anwendbarkeit des Diagramms sind:

- kein Feuchteeintrag aus Schlagregen (konstruktiver Schlagregenschutz, wasserabweisender Putz)
- das bisherige Mauerwerk erfüllt einen Mindestwärmeschutz von R-Wert > 0,39 m²K/W
- Innenklima bei normaler Feuchtelast gemäß WTA-Merkblatt 6–2
- mittlere Jahrestemperatur des Außenklimas >= 7°C
- maximale Verbesserung des Wärmedurchlasswiderstands ΔR <= 2,5 m²K/W (kapillaraleitfähiger Untergrund), bzw. ΔR <= 2,0 m²K/W (nicht saugende Untergründe)

Kommentar:
Für Gebäude aus der Gründerzeit hängen die Wandstärken vor allem von statischen Erfordernissen ab (siehe Kapitel Gründerzeit), das vereinfachte Verfahren kann für Vollziegelmauerwerk ab Mauerstärken von ca. 25 cm angewandt werden, je nach angesetzter Wärmeleitfähigkeit. Die maximale Dämmstärke ist dementsprechend je nach Untergrund auf maximal 10 cm, bzw. 8 cm beschränkt (Wärmeleitfähigkeit Dämmstoff 0,04 W/mK
Für klassische Lösungen mit kapillarleitfähigen Dämmstoffen (Calciumsilikatplatten, Zellulose, Holzfaser) kann der vereinfachte Nachweis wegen des zu geringen inneren Wasserdampfwiderstandes von ca. 0,3 < sdi bis < 0,8 m nicht angesetzt werden. Hier ist der Nachweis mit hygrothermischer Simulation zu führen.
Für den vereinfachten Nachweis kommen bei einer Dämmstärke von 8 bis 10 cm (Wärmeleitfähigkeit 0,04 W/mK) die folgenden Systeme in Frage:

- Faserdämmstoff mit moderater Dampfbremse gemäß Vorgabe Diagramm WTA 6-4

- Dämmstoffe mit einem μ-Wert höher 12 wie bestimmte Korkplatten, Polystyrol
- Dampfdichte Dämmstoffe wie Schaumglas

Vor allem die langfristige Nachhaltigkeit des Schlagregenschutzes ist in Abhängigkeit vom Außenklima gemeinsam mit den Herstellern von Außenputzen und –farben einzuschätzen. Zu bedenken ist, dass gerade stark strukturierte Fassaden an historischen Gebäuden zusätzliche Schwachstellen wie Balkone, Erker, weitausladenden Stuck oder Verblechungen aufweisen, die durch Spannungen im Mauerwerk nicht mehr ihre Funktion als konstruktiver Schlagregenschutz erfüllen können.
Die Innenbedingungen des Raumklimas, für die das vereinfachte Verfahren gilt, werden mit dem mittleren Raumklima gemäß WTA 6-2 angegeben:

- Innenlufttemperatur ist ein Sinus mit minmal 20 bis maximal 22 °C, Spitze im Juni (WTA 6-2)
- Die relative Feuchte ist ebenfalls ein Sinus, der zwischen 40 % im Winter und 60 % im Sommer schwankt.

Die Randbedingung zum Außenklima (mittlere Außenlufttemperatur >= 7 °C) führt in etwa zu mittleren Jännerklimata von -3 bis -5 °C (kontinentales Klima vorausgesetzt), wie sie beispielsweise beim österreichischen Referenzklima in 650 m Höhe in der „Region Beckenlandschaften im Süden (SB)“ herrscht, dem Klima mit den bei gleicher Seehöhe niedrigsten Außenlufttemperaturen. Klagenfurt, das für die dynamischen hygrothermischen 3Dim-Simulationen und die stationären 3Dim-Abschätzungen herangezogen wurde, weist eine mittlere jährliche Temperatur von 8 °C auf (Jänner -3,78 °C), d.h., dort könnte das vereinfachte Nachweisverfahren problemlos angewandt werden.

Es wird ein einfach handhabbares Verfahren vorgeschlagen, das sicherlich auch von Baumeistern verhältnismäßig einfach umgesetzt werden kann. Anmerkungen:

- Die Validität mit kühleren Klimata von bis zu 7 °C mittlerer Außenlufttemperatur wird angesichts der weiter unten durchgeführten Berechnungen stark in Zweifel gezogen, auch bei den „vorgeschriebenen“ Innenraumluftbedingungen.
- Wie kann „praktisch“ das angegebene Raumklima garantiert werden, bzw. was sind die Toleranzniveaus? Insbesondere die sommerlichen Konditionen erscheinen für Mitteleuropa eher realitätsfern (22 °C, 60 %). Der Dampfdruck ist unrealistisch niedrig, das Austrocknungspotential nach innen daher positiv angenommen. Mit für Passivhäuser obligatorischen Komfortlüftungen (ohne Feuchterückgewinnung) lässt sich ein bedarfsgerechter Luftwechsel verhältnismäßig einfach erzielen. Auch bei hohen Feuchtelasten mit Wohnnutzung (Wäschetrocknen, offenes Kochen, hohe Belegung, Pflanzen) kann mit bedarfsgerechter Komfortlüftung die relative Feuchte bei hygienischen Luftwechsel gemäß Passivhausanforderung (Mindestluftwechsel 0,3/h unabhängig von Belegung) auf ca. 40 % gehalten werden. Nicht anwendbar ist das Verfahren bei aktiver Befeuchtung (z.B. Museen) oder bei Einsatz von Komfortlüftungen mit Feuchterückgewinnung, soferne diese nicht eine Wohnungsfeuchteabhängige Regelung aufweisen.

Holzbalkenköpfe

Es wird die Problematik von Wärmebrücken qualitativ angesprochen. Zitat: „Ungedämmte Fenster- und Außentürlaibungen sowie komplexe Anschlußbereiche (z.B. Balkenköpfe) sind durch die Temperaturabsenkung gefährdet, da hier durch die Einbausituation der Wärmeschutz ohnehin vermindert ist. Daher sind diese Bereich auf jeden Fall näher zu betrachten.“

Kommentar:
Konkrete Angaben sollen in späteren Publikationen bearbeitet werden. An dieser Stelle sei auf das als Entwurf vorliegende WTA-Merkblatt 6–5: „Innendämmung nach WTA II: Nachweis von Innendämmsystemen mittels numerischer Berechnungsverfahren“ verwiesen.

3.4.2.2 Lösungen für den Feuchteschutz, Pfluger R. in [AkP32 2005]

Innendämmung in der Fläche:
Auf der Grundlage einer Parameteranlyse von knapp 300 Berechnungsfällen an Wänden mit Innendämmungen wird deren Einfluss auf das Feuchteverhalten untersucht.
Außenklima TRY (Testreferenzjahr) München, die Schlagregenbeanspruchung wird entsprechend angepasst gemäß DIN 4108-3.
Innenklima im Winter wird im Mittel mit 50 % relative Feuchte, Innentemperaturen sind nicht explizit angegeben, sie werden aus einer dynamischer Gebäudesimulation entnommen.
Untersuchte Ausgangs-Konstruktion: 30 cm Vollziegelmauerwerk beidseitig verputzt, innen 8cm Innendämmung, Dampfbremse (sd = 10 m, besser 40 bis 50 m) und Gipswerkstoffplatte 12 mm. Außen Silikonharzfarbe.
Bewertung:

- aw-Wert an der Oberfläche des Bestandsinnenputzes (kritisch werden Feuchten über 85 % eingeschätzt
- Zunahme der Feuchte? Kann die im Winter aufgenommene Feuchte im Sommer wieder austrocknen oder kommt es zur einer Auffeuchtung?

Wesentliche Ergebnisse der Parametervariation:

- Außenwandstärke von 12 cm Fachwerk über 24 bis 51 cm Vollziegelmauerwerk variiert, die aw-Werte variieren von ca. 60/82 % bis 66/75 %
- Dämmstärke: 3 cm (57/64%) bis 8 cm (66/70 %). EPS als Dämmstoff
- Dampfbremse: Ohne und mit Dampfsperre: Ohne Dampfsperre und Mineralwolledämmung liegen aw-Werte bei ca. 100 % über fast den gesamten Querschnitt und über das Jahr, trotz wasserabweisender Beschichtung
- Einfluss Raumluftfeuchte (EPS ohne Dampfbremse): Feuchtevariation Winter bei 40 % Innenraumluftffeuchte 72–80 %, 50 % führt zu 77/87 %, 60 % zu 82/92 %.
- Variation sd-Wert Dampfbremse: Mineralwolledämmstoff, je höher desto besser, von 1 m bis 1000 m variiiert, ab 8 m akzeptabel, ab 15 m wird empfohlen.
- Feuchteadaptive Dampfbremse: Wird kritisch betrachtet, da zum Berichtszeitpunkt noch keine variablen Dampfbremsen mit den gewünschten 15 m verfügbar waren. Variable Dampfbremsen können Schlagregenschutz jedenfalls nicht ersetzen. Nachteil ist zudem das nicht erwünschte Abnehmen des Wasserdampfwiderstandes bei hohen Baufeuchten z.B. durch Estricharbeiten.
- Kapillarleitfähige Dämmstoffe: Diese erreichen noch akzeptable Feuchten auch ohne wirksamen Schlagregenschutz (CaSi und Zellulosefaser)

In übersichtlichen Darstellungen des aw-Wertes und Gesamtwassergehaltes werden

- 4 Dämmstoffe: EPS, Mineralwolle, Calciumsilikat und Zellulose
- Variable Dampfbremsen und Dampfbremsen mit unterschiedlichen sd-Werten
- keine und effiziente wasserabweisende Fassadenbeschichtung
- Schlagregenbeanspruchungsgruppen I-III

miteinander verglichen. Schlussfolgerung:

- Innendämmungen mit Zellulose gleichen im aw-Wert der Bestandswand, ähnlich günstig verhält sich die CaSi-Lösung
- Ohne wirksamen Schlagregenschutz (z.B. wasserabweisende Fassadenbeschichtung) funktionieren nur Zellulosedämmung und mit Einschränkung die CaSi-Platten. EPS-Dämmungen ohne Dampfbremse können nur in Beanspruchungsklasse I noch ausreichen.
- Mineralwolledämmungen müssen mit einer hochwertigen Dampfsperre (ab 15m) ausgeführt sein, variable Dampbremsen sind noch grenzwertig.

Zusätzlich werden Ergebnisse und Empfehlungen zu speziellen baupraktischen Fragestellungen angegeben:

- Fugendiffusion an Plattenstößen: Fugen sind insbesondere bei Mineralwolle problematisch. Bei EPS als selbst dampfbremsendem Material weniger kritisch, Stöße sollten ausgespritzt werden.
- Einbindende Innenwände: Für aw-Wert Innenoberfläche ist der Bestandsputz unproblematisch
- Konvektiver Feuchteeintrag: Abschätzung mit 8 cm EPS-Dämmung: aw-Wert bleibt bei Durchströmung in 5 Jahren immer über 90 % (1 mm Eintrittsfuge, 4mm Spaltweite), mit luftdichter Ebene rasches Absinken auf 70 %. Wesentlich ist die Sicherung der luftdichten Ebene, es hilft auch eine solide Verklebung der Platten (Rand/Wulstmethode), auf verbleibende „Kanäle“ wird hingewiesen.

Kommentar:

- Es handelt sich um die bis dato umfassendste quantitative Untersuchung über unterschiedliche Ausführungsvarianten von Innendämmungen im Sanierungsfall. Die Simulationen sind gut dokumentiert, nachvollziehbar und plausibel

Balkenkopf:

„Insbesondere der Anschluss von Holzbalkendecken sollte zukünftig noch näher untersucht und möglichst einfache baupraktische Lösungsmöglichkeiten erarbeitet werden.“

Empfohlen wird die in [Fingerling 1995] dargestellte und in Kassel realisierte Innendämmungssanierung, die kurz zusammengefasst lautet:

- Prüfung der Regendichtigkeit der Fassaden, gegebenfalls Hydrophobierung und Trocknung bei Durchnässung
- eine durchgehende Führung der Innendämmung über die Holzdecke mit dampfdichten Material (Schaumglas, XPS, EPS, PU)
- Anstrich der Balkenköpfe auf 20 bis 50cm Länge mit dampfbremsendem Material (z.B. Bitumen oder Dispersionsanstriche). Dämmplatten müssen satt in die dampfbremsende Klebemasse verlegt werden.

Kommentar:

- Aufwändige Sanierung

- Keine Reserven für auch nur geringe Feuchten in der Wand aus nicht mehr voll funktionsfähiger Außenhydrophobierung
- Durch Verklebung und unterschiedliche Materialgruppen ökologisch ungünstig
- Schallschutz zwischen den Geschoßen gegenüber Bestand reduziert
- Kassel hat langfristige mittlere Temperaturenim Jänner von -0,2 °C (1961–1990), bzw. 1,4 °C (2000–2009), d.h. im Mittel ein sehr moderates Klima

3.4.2.3 Gründerzeitgebäude mit Holzbalkendecken in Wiesbaden. Tobias Loga, [Loga 2003] und ergänzt [Loga 2005] in [Feist 2005], [AkP32 2005]

Sanierung einer denkmalgeschützten Fassade eines Gründerzeitgebäudes in Wiesbaden mit einer Innendämmung und anschließende Messung der auftretenden Holzfeuchten im Balkenkopf.

Bestandswand Vollziegelwand 38 cm beidseitig verputzt. Wohnnutzung.
Sanierung: Innenseitig EPS-Platte 55 mm (035) mit 5 mm HWL kaschiert, verputzt.
Auf Geschoßdecke wird Linoleumbelag verlegt, unterseitig ist sie verputzt. Die Fassade wurde saniert und mit einer hydrophoben Beschichtung beaufschlagt.
„Eine wichtige Voraussetzung ist auch hier sicherlich die raumseitige dauerhafte Abdichtung, sodass warme feuchte Raum Luft in diesen Bereich nicht eindringen kann."
Messergebnis 32AkP 2005]
2 Varianten der Ausführung:

- Dämmung im Innenraum wird ausgespart, 12 bis 17 %
- In einem Fall wird diese durchgezogen, nur die Holzbalken durchstoßen sie. Eine schalltechnisch motivierte Fuge von 1 cm wurde mit Mineralwolle ausgestopft. Die Konstruktion wird als sehr aufwändig bezeichnet. Holzfeuchten zwischen 15 und 20 % stellen sich ein, im ersten Jahr sind diese durch die Baufeuchte leicht höher.

Die Ergebnisse zeigen Holzfeuchten, die über die 3 dargestellten Jahre leicht absinken.

Kommentar:
Es werden die günstigen Voraussetzungen hervorgestrichen.

- Zur Luftdichtigkeit werden baupraktische Angaben aufgeführt, nähere Angaben sind nicht vorhanden. Sie wird als sehr gut bezeichnet.
- Angaben zu Temperaturen fehlen leider (obwohl es Temperatursensoren gibt).
- Klima Wiesbaden ist moderat (2,2 °C mittlere Außenlufttemperatur Jänner in Periode 2000–2009).
- Angaben zum Raumklima fehlen (Wohnnutzung).

3.4.2.4 „Das hygrothermische Verhalten von Holzbalkenköpfen im innengedämmten Außenmauerwerk" [Strangfeld 2012]

Teil 1 des Artikels beleuchtet Problemstellung und dynamische Simulationsergebnisse, Teil 2 bringt auf Messergebnisse.

Eine dauerhaft luftdichte innere Schicht wird als nicht praxistauglich bezeichnet. Aufgabenstellung ist es, bei einer Innendämmung das Temperaturniveau am Balkenkopf vor der Sanierung durch gezielte Wärmezufuhr herzustellen:

- Nutzung einer bestehenden Heizungsanlage bzw. der Vor- und Rücklaufleitungen, ergänzende Maßnahmen für Streichbalken
- Gezielte Nutzung bei Erneuerung der Heizungsanlage, Planung einer Fußboden- und Wandflächenheizung für Holzbalkenheizung
- Nutzung des Temperaturgradienten zwischen Raumluft und Balkenkopf mittels Metallen, Wärmerohren (heatpipe) oder thermoelektrischen Elementen
- „Künstlich geschaffene Wärmebrücken“

Auf eine dauerhaft luftdichte Einbindung der Holzbalken wird kein großes Vertrauen gesetzt.
Rechnerisch untersuchte Varianten (zylindersymmetrisches 2-D-Modell, Delfin; 40 cm Mauerwerk mit 5 cm CaSi-Wärmedämmung λ = 0,045 W/mK, außen gemäß Ergebnissen nicht schlagregengeschützt), Klima TRY Essen/West (DWD kalt Jänner mittlere Temperatur -1 °C):

- Innendämmung ohne Maßnahmen: Auf Dauer werden hohe Holzfeuchten erreicht, nach 3 Berechnungsjahren ist noch keine Einschwingung erkennbar
- 10mm starker Aluminiumstab mit 90 mm Teller, vom Raum in den Balkenkopf eingelassen: bei kleineren Balkendurchmessern (15 cm rotationssymmetrisch) mit guter Wirkung, bei größeren Durchmessern nicht
- Heatpipe (Kupferrohr mit Wasser gefüllt, evakuiert, dass im Bereich 0 bis 20 °C gut wärmetransportierend): 1 bis 10 W/Balken, je nach Anzahl Rohren. Temperaturverhältnisse des Bestandsbalkenkopfs annähernd wieder herstellbar, nach 3 Berechnungsjahren eingeschwungener Zustand noch nicht erreicht.
- Wärmebrückenkranz mit Kalksandstein 8 cm breit, λ = 0,8 W/mK. Nicht ausreichend in Wirkung

In einem 2. Beispiel wird eine Wand mit 8 cm Innendämmung ohne genauerer Angabe des Typus dargestellt. Auch in diesem Fall ergeben sich verhältnismäßig hohe Holzfeuchten am Balkenkopf nach schon 3 Jahren.

Teil 2, Messungen: Es werden 3 Objekte detailliert beschrieben und Messergebnisse dargestellt.
Für das Objekt Nürnberg mit gedämmten Balkenkopfzwischenraum aus XPS sind noch keine Messwerte dargestellt.
Interessante Messwerte stammen aus dem Objekt Senftenberg:

- Sanierung 1999/2000 mit unterschiedlichen nicht näher definierten Innendämmungen
- Nutzung als Büro, 2 Räume
- Klima Senftenberg Niederlausitz, keine Angaben zum Außen- und Innenklima
- Im Sockelbereich wird ein ca. 100 mm hoher Bereich für Vor- und Rücklauf der Heizkörper freigelassen, die bewusst als Temperierung dienen
- Ein Bereich der Heizungsleitung wurde mit einem Bypass ausgestattet, um die Wirkung der Temperierung zu prüfen

Die Messwerte sind für unterschiedliche Balkenköpfe dargestellt, interessant ist vor allem die Dynamik von „temperierten“ und mit Bypass betriebenem Balkenkopf:

- Die Holzfeuchten sind abgesehen vom Zeitraum direkt nach Sanierung niedrig und liegen ca. zwischen 12 und 16 %
- Wenn die Wärmezufuhr zu einem Set von Holzbalken unterbunden wird, steigt dessen Holzfeuchte um ca. 2 bis 4 % über die anderen an
- Bemerkenswert ist auch das Ansteigen der Holzfeuchte von warmer zu kalter Seite des Holzbalkens im Winter um ca. 3 bis 4 % Holzfeuchte.
- Im Sommer ist eine Austrocknung durchwegs feststellbar, die Amplituden Sommer/Winter liegen im äußeren Bereich bei 1 bis 4 %, ohne Wärmezufuhr deutlich im unteren Bereich.

Die 3. und rezenteste Messstelle wurde in einem sanierten Schulgebäude in Drebkau eingericht, Messergebnisse sind für 1 Jahr angegeben.

Es wurden die folgenden Sanierungsmaßnahmen ergriffen:

- Sanierung innenseitig mit 8 cm Perliteplatte, darauf Rotkalk und diffusionsoffener Anstrich
- Teilweise Sprung der Außenwand nach außen (Verjüngung)
- Schulnutzung, teilweise Klasse, teilweise Flur
- Hocheffiziente Komfortlüftung
- 2 Orientierungen der Balkenköpfe: einmal nach Nordwest und nach Südost

Für die Holzbalken wurden die folgenden Sanierungsmaßnahmen ergriffen:

- Verfüllen des Balkenkopfzwischenraums mit rieselfähiger Perliteschüttung
- Fußbodenheizung mit angepasster (?) mäanderförmiger Heizrohrverlegung
- „klassische Heizung“ (Vermutung Radiatorenheizung) mit paralleler Vor- und Rücklaufleitung im Sockel
- seitlich der Balkenköpfe befestigte Wärmerohre (Durchmesser 8 mm, Länge 80 cm)
- „künstliche Wärmebrücke“ als gemauerter Kranz aus Kalksandstein anstelle der Innendämmung
- zusätzlich kann die Zuführung von Heizenergie gezielt unterbrochen werden
- Für die Messungen werden Porenluftfeuchte, die Holzfeuchte und die Feuchte im Luftraum vor dem Balken gemessen, zusätzlich wird die „Falschluftrate“ mit Anemometer gemessen.

Die Messungen aus dem ersten Jahr (Feb. 2011 bis 2012) zeigen folgende Ergebnisse:

- Die Raumluftfeuchten in den Klassen schwanken zwischen 20 % in einer sehr kalten Periode und 65% im Hochsommer. Raumlufttemperaturen sind leider nicht dargestellt.
- Die Porenluftfeuchten am Balkenkopf schwanken von 60 bis 80 % im Hochwinter bis 70 bis 88 % im Sommerhalbjahr an der gut beschienenen Südseite.
- Im Nordwesten liegen trotz guter „Schlagregenbeschattung“ die Kennwerte sommers wie winter relativ hoch zwischen 75 und fast 90 %.

- Die direkte Messung der Holzfeuchte und die Berechnung aus Porenluftfeuchte und gemessener Holz-Isotherme unterscheiden sich um 2–3 %

Kommentar:
Sehr aufschlussreiche Untersuchungsreiche, wo nach einem Jahr wohl noch keine abschließende Bewertung möglich ist. Aussagen der Autoren zu Falschluftrate, detaillierte Interpretationen der Ergebnisse sind noch nicht vorhanden.
Allerdings: Das erste systematische Messprojekt zu Holzbalkenköpfen, das auch verhältnismäßig detailliert veröffentlicht wurde.
Das Klima ist in den dokumentierten Messstandorten verhältnismäßig mild:

- Senftenberg: Außenklima gemäß Meteonorm für Periode 2000–2009 Jahresmittel 9,8 °C, Mittel Jänner 0,5°C. Innenklima Büro mit Innennutzung, keine Kennwerte.
- Drebkau Außenklima gemäß Meteonorm für Periode 2000–2009 Jahresmittel 9,8 °C, Mittel Jänner 0,4 °C.

3.4.2.5 Holzbalkenköpfe in historischem Mauerwerk [Müller 2011]

Hinweise zu verschiedenen Holzschädlingen, primär zum gewöhnlichen Nagekäfer. Hinweise zur besonderen Anfälligkeit von Kellerdecken die als Holzbalkendecken ausgeführt sind, bezüglich Insektenbefall. Holzbalkenköpfe werden dann beschädigt, wenn von außen Wasser eindringt, verursacht durch fehlende Instandhaltungsarbeiten der Fassade (Ziegel liegen frei, vor allem im Osten Deutschlands) oder defekte Dacheindichtungen, Dachfenster etc.. Durch Wasserdampfeintrag sind dem Autor, der auch als Gutachter tätig ist, keine Schäden bekannt.
Der Autor hält die positive Wirkung der „Luftumspülung“ der Holzbalken auf welche in der Literatur hingewiesen wird für zu überbewertet. Der Luftspalt ist allerdings als kapillarleitungsbrechende Schicht wichtig und sinnvoll, im Auflagerbereich wird durch einen Hartholzkeil oder Dachpappe das kapillare Eindringen von Wasser vermieden.
Vorrang für konstruktiven Holzschutz, chemischer Holzschutz ohne Notwendigkeit „ist ein Mangel“. Diskussion der einschlägigen deutschen Normen, in denen das Schutzziel sehr allgemein mit der Verhinderung von „unzulässiger Tauwasserbildung“ beschrieben wird.
Die WTA-Merkblatt 6-4 wird kommentiert, auf fehlende Aussagen zu den Balkenköpfen hingewiesen.
Auf die allgemein diskutierte Frage, inwieweit die Innendämmung durch den Deckenhohlraum geführt werden soll oder nicht, spricht sich der Autor auf Grundlage einer 2dimensionalen Wärmebrückenberechnung klar für ein Durchdämmen aus, da die Temperaturverhältnisse „im Deckenhohlraum mit etwa 18 °C so stabil sind, dass sich eine Holzfeuchte unter 12 % einstellt.“

Kommentar:
Es wird vor allem auf die Lücken in Norm und WTA-Richtlinien für eine verlässliche Planung von Innendämmungen bei Vorhandensein von einbindenden Holzbalkendecken hingewiesen. Die Argumentation für die durchgehende Innendämmung erscheint nicht konsequent, da diese zwar die Temperaturen im Decken-

hohlraum erhöht, aber den Balkenkopf besonders abkühlt. Das starke Abkühlen im Deckenhohlraum scheint unrealistisch, da durch Konvektion ein starker Austausch von warmen zu kalten Oberflächen stattfindet.

3.4.2.6 „Risikofaktor Balkenkopf? Holzbalkendecken und die Innendämmung [Ruisinger 2011]

Interessanter Übersichtsartikel mit eigenen Simulations- und Messergebnissen. Es wird die Problematik in ihrer Vielfältigkeit dargestellt. Auf das hohe Risiko von stark sperrenden Dampfbremsen wird explizit hingewiesen: Das Austrocknungspotential wird nach innen deutlich reduziert, von außen eindringende Feuchte bleibt länger im Bauteil.
Das Thema Luftumspülung wird ausführlich kommentiert: Eine Umspülung mit Raumluft aus einer älteren Untersuchung [Gnoth 2007] mittels 2D-Simulation wird referiert: Sehr hohe und sehr niedrige Luftgeschwindigkeiten erweisen sich als tendeziell unproblematisch, da im ersteren neben (Raumluft)-Feuchte auch größere Mengen an Wärmen transportieren und damit den Balkenkopf erwärmen (u >= 0,1 m/s) während bei letzteren der Feuchteeintrag minimiert ist (u = 0,005 m/s). Da erstere Lösung nicht realistisch erscheint, wird die zweite angestrebt: Konvektionshemmender Anschluss des durchgehenden Dämmstoffs an den Holzbalken mittels Kompribändern oder Mörtelverstrich.
Simulationsergebnisse von aero-hygrothermischen 2D-Simulationen mit einem zylindrischen Koordinatensystem werden präsentiert: Es handelt sich um eine 25 cm starke Sandsteinmauer (w = 1 kg/m²h^{0,5}) mit innen 12 cm Ziegelmauerwerk, in die ein „runder“ Holzbalken einmündet. Die Modellierung der restlichen Decke (Deckenhohlraum) ist nicht dargestellt und erscheint mit rotationssymmetrischen Koordinaten auch nicht trivial. Bei durchgehender Innendämmung erscheint der Einfluss allerdings auch nicht so relevant.

Es wird eine Sanierungsvariante mit Mineraldämmplatte (Mineralschaumplatte?) und alternativ mit Holzfaserplatte 8 cm mit Wärmeleitfühigkeit jeweils 0,045 W/mK vorgestellt. Die Anisotropie von Holz wird nicht berücksichtigt, ein Luftwechsel von (Frage Autoren bezogen auf welches Volumen? Seitlich nach Skizze kein Luftraum zu Ziegel) n=0,05/h wird angegeben (Bezogen auf welches Volumen?), die Außenwand ist nach Westen orientiert. Das Klima außen wird mit Passau, kalter Winter angegeben (Konkrete Angabe fehlen, langfristiger Durchschnitt 1961-1990 Jännerdurchschnitt Ta = -1,7°C), innen 20°C/50% (Sommer nicht dokumentiert). Die Holzfeuchte liegt um 4 M% über der ungedämmte Konstruktion (Spitzen 14/10 M% unsaniert, 17,5/11 M% Holzfaserplatte, 18/10 % Mineraldämmplatte), aber noch deutlich unter dem Grenzwert von 20 M% gemäß DIN 68800-3.
Inwieweit eine Dämmung im Deckenhohlraum sinnvoll ist, wird nicht klar entschieden, in der präsentierten Simulation wurde durchgedämmt. Auf die Messungen von [Loga 2005] an Holzbalkenköpfen wird explizit hingewiesen, in welcher bei nicht durchgedämmten Hohlräumen leicht geringere Holzfeuchten als bei durchgedämmten auftreten. Auf eine mögliche Schimmelbildung an Wandoberflächen im Deckenhohlraum wird explizit hingewiesen.
Als besonders kritisch werden Fassaden mit Sichtmauerwerk eingestuft. Es kann auf diffusionsoffene, hydrophobe Imprägnierungen oder chemischen Holzschutz zurückgegriffen werden.
Weiters wird die in [Stopp 2010] vorgeschlagene Temperierung aufgegriffen (Heizungsbypass, elektrische Begleitheizung). Bedenken werden wegen der hohen Anforderungen an die Handerwerker und der zusätzlichen Wärmeenergieverluste geäußert.

Die Messergebnisse in einem Testhaus in Dresden werden dargestellt: Eine 56 cm starke verputzte Außenwand (Material?) wird mit einem 5 cm starker Innendämmung aus organisch/mineralischer Dämmung (λ=0,031 W/mK, R ca. 1,75 m²K/W, s_d ca. 1,6 m) gedämmt. Im 2.ten Jahr wurde eine relative Feuchte von max. 95% am Luftraum vor dem Balkenkopf bei Temperaturen von um die 0 °C gemessen, im Sommer sinken die relativen Feuchte auf 60 bis 80% bei Temperaturen zwischen 15 und 25°C.

Kommentar:
Eine an sich interessante Arbeit, die fehlende Angabe wichtiger Randbedingungen erschwert Interpretation und damit eine mögliche Übertragbarkeit.
Die gemessenen Mindesttemperaturen weisen auf einen kalten Winter hin, somit auf entsprechend strenge Randbedingungen.

3.4.3 Analyse von Beispielfällen

Die nachstehend dokumentierten 3-dimensionalen hygrothermischen Simulationen inkl. Luftströmung werden unter Zugriff auf HAM4D durchgeführt [Bednar 2012].

3.4.3.1 Kritische hygrothermische Zustände

Kritische hygrothermische Zustände beziehen sich auf verschiedene Schadensmechanismen:

Hygrothermische Längenänderungen und die damit verbundenen inneren Spannungen
Aufgrund von Temperatur- und/oder Feuchtezustandsänderungen und -unterschieden ergeben sich im Inneren von Materialen Spannungen, die zu einer Zerstörung des Gefüges führen können.
In der folgenden Analyse wird dieses Risiko der Zerstörung von Baustoffen nicht behandelt.

Eisbildung in Hohlräumen oder in porösen Baustoffen
Aufgrund der mit der Eisbildung verbundenen Vergrößerung des Volumens von Wasser ergeben sich im Inneren von Materialen Spannungen, die zu einer Zerstörung des Gefüges führen können.
In der folgenden Analyse wird dieses Risiko der Zerstörung von Baustoffen nicht behandelt.
Algenbildung an der Außenfassade
Eine der Auswirkungen geringer Oberflächentemperaturen an Außenoberflächen ist die Ermöglichung hygrothermischer Verhältnisse die die Bildung von Algen begünstigen. Insbesondere an Oberflächen von Wärmedämmverbundsystemen wird dieser Effekt vermehrt beobachtet. Die Intensität des Wachstums hängt dabei von der chemischen Zusammensetzung der Außenluft und der Chemie der Oberfläche ab. Bei verputzen Wänden ist zu vermuten, dass die hohe Speicherkapazität der Außenoberfläche bewirkt, dass es nur in besonders exponierten Bereichen (Sockelbereich) zu einem Wachstum kommten lässt.
In der folgenden Analyse wird das Risiko des Algenwachstums nicht behandelt.

Schimmelpilzbildung
Bei Vorhandensein geeigneter Wachstumsbedingungen bilden sich an Oberflächen oder im Inneren von Baukonstruktionen Schimmelpilze. Luftströmungen von Bereichen mit Schimmelpilzwachstum in den Innen-

raum führen zu einer massiven Verschlechterung der Innenluftqualität. In der folgenden Tabelle sind die wesentlichen Einflussfaktoren auf das Schimmelpilzwachstum zusammengestellt.

Einflussgröße	Parameter	Einheit	Wachstumsbereich		Bemerkungen
			minimal	Maximal	
Temperatur	Temperatur an der Bauteiloberfläche	°C	-8	60	hängt von der Pilzart und dem Lebensstadium (Sporenkeimung oder Myzelwachstum) ab
Feuchte	relative Luftfeuchte an der Bauteiloberfläche	%	70	100	
Substrat	Nährstoffe und Salzgehalt	-	-	-	auch in Staubablagerungen können Nährstoffe gefunden werden
Milieu	pH-Wert der Oberfläche	-	2	11	
Zeit	z.B. Stunden pro Tag	h/d	1	–	je nach Temperatur und Feuchte
Atmosphäre	Sauerstoffgehalt	%	0,25		immer vorhanden

Tab. 3: Wesentliche Einflussfaktoren für das Auskeimen und das Wachstum von Schimmelpilzen mit Angaben des minimalen und maximalen Wachstumsbereichs [Sedlbauer 2003]

In der folgenden Analyse wird das Risiko der Schimmelpilzbildung in der Baukonstruktion nur aufgrund der zeitabhängigen Temperatur- und Feuchtezustände analysiert. Dazu wird der Algorithmus von [THE09] verwendet, um die Anzahl an Tagen mit Wachstumsbedingungen zu bestimmen.

Holzverrottung

Bei entsprechenden Zeitverläufen von Temperatur und Feuchte können holzzerstörende Pilze wachsen und zu einem Masseverlust an Holz und in weiterer Folge zu einem Festigkeitsverlust führen. Eine mathematische Modellierung dieses Prozesses wurde in [Viitanen 196] durchgeführt.
In der folgenden Analyse wird dieser Algorithmus verwendet, um die berechneten zeitabhängigen Temperatur- und Feuchtezustände in Bezug auf das Risiko der Holzverrottung zu bewerten.

Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit aufgrund Durchfeuchtung

Der Einfluss des Feuchtegehaltes auf die Wärmeleitfähigkeit der Baustoffe ist in der folgenden Analyse enthalten.

Aus den obigen Punkten ist erkennbar, dass die zeitabhängige Durchfeuchtung der Baustoffe und die dabei auftretenden Temperaturen eine wesentliche Rolle in Bezug auf die Dauerhaftigkeit eines Bauteils spielen. Die Durchfeuchtung kann durch verschiedene Vorgänge ausgelöst werden.

- Eintrag von Regenwasser in der Bauphase bzw. Schlagregenbelastung der Fassade
- Aufsteigende Bodenfeuchte
- Schäden an wasserführenden Leitungen
- Innenklima

- Eintrag von Regenwasser in der Bauphase bzw. Schlagregenbelastung der Fassade

Die äußere Überdeckung des Holzbalkens mit Mauerwerk hat auch Auswirkungen auf die Feuchtebelastung infolge Schlagregens. Besteht das Mauerwerk in diesem Bereich aus mehreren Ziegelscharen, sind im Mauerwerksverband Stoßfugen vorhanden und es ist von einer geringeren Feuchtebelastung auszugehen als bei durchgehenden Ziegeln, die einen ungehinderten Feuchtetransport von der Fassadenoberfläche an das Balkenlager ermöglichen. Außerdem kann flüssiges Wasser durch Risse in Lagerfugen in die Konstruktion eindringen.

Eine Feuchtebelastung durch Regen bzw. eine Durchfeuchtung der Bestandskonstruktion in der Bauphase werden in den folgenden Kapiteln nicht betrachtet. Die Ergebnisse sind daher nur dann anwendbar, wenn sichergestellt ist, dass durch einen praktisch wasserabweisenden Außenputz bzw. Oberfläche kein Regenwasser aufgenommen wird und eine eventuell vorhandene Durchfeuchtung des Mauerwerks aus der Bauphase bereits ausgetrocknet ist.

Aufsteigende Bodenfeuchte und Schäden an wasserführenden Leitungen

Je nach Grundwassersituation, Regenwasserversickerung, Bodenbeschaffenheit und Vorhandensein von Abdichtungen kann es zur Aufnahme von Wasser durch Mauerwerk kommen.

In der folgenden Analyse wird dieser mögliche Weg zu kritischen Feuchtezuständen nicht betrachtet.

Innenklima

Aufgrund der Nutzung von Räumen ist in der Regel der Feuchtegehalt der Innenluft wesentlich höher als der Feuchtegehalt der Außenluft. Diffusion und besonders Luftströmungen führen dazu, dass Luft mit einem sehr hohen Taupunkt in Bereiche der Konstruktion vordringt, in denen die Temperaturen niedriger sind. Abhängig von der Dicke des Mauerwerks und somit der äußeren Überdeckung des Balkenkopfes stellt sich eine bestimmte Temperatur am Balkenkopfende ein. In direktem Zusammenhang damit steht der Taupunkt an dieser Stelle, was in den folgenden Abschnitten genauer analysiert wird. Detaillierte Ausführungen werden in [Stopp 2010] und [Gnoth 2005] angegeben.

Neben einer Mindesttemperatur zur Vermeidung von Tauwasser am Ende des Balkenkopfes ist vor allem die Durchströmung der Innendämmkonstruktion mit feuchter Innenraumluft in den Berechnungen zu berücksichtigen. Diese beiden Schadensmechanismen – Taupunktunterschreitung am Balkenkopf und Durchströmung der Konstruktion – werden in der folgenden Analyse verwendet, um das Risiko kritischer Feuchtezustände in Bezug auf Holzverrottung und Schimmelpilzbildung zu analysieren.

3.4.3.2 Bautechnische Ausführungsvarianten

Deckenbalkenanschluss – Lage der luftdichten Schicht

Die Fülle an Ausführungsvarianten einer Innendämmung kann bei der Planung eines Holzbalkenanschlussdetails auf zwei wesentliche Modelle reduziert werden: eine raumweise nicht durchgehende Innendämmung, die zwischen zwei Geschoßdecken an die Außenwand montiert wird und somit keine durchge-

hende luftdichte Schicht aufweist und eine über den gesamten Deckenanschlussbereich durchgehende Innendämmung mit der Ausbildung einer ebenfalls durchlaufenden luftdichten Schicht an der Innenseite der Dämmung. In beiden Fällen bleibt die Deckenkonstruktion in ihrer ursprünglichen Form erhalten. Die Deckenbeschüttung und der Fußbodenaufbau sowie die Deckenuntersicht, die Sturzschalung und der Verputz bleiben unangetastet. Bei der Montage der Innendämmung muss die Decke somit nur im Anschlussbereich zur Wand geöffnet werden.

Die beiden Varianten sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

Variante 1 – Offen
ein Luftraum im Deckenhohlraum

Variante 2 – Luftdicht
zwei getrennte Hohlräume (Balkenkopf, Gefach)

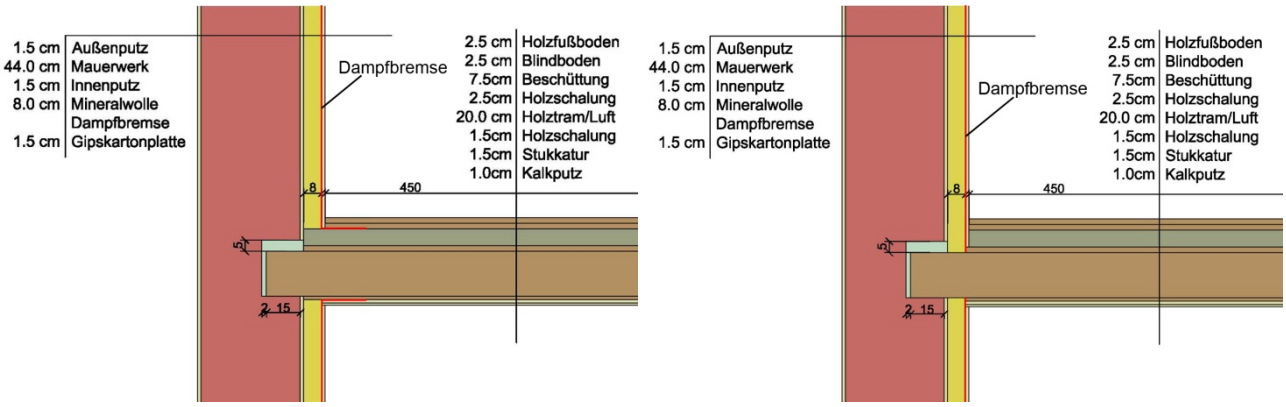


Abb. 110: Deckenanschlussdetail mit raumweiser (links) und durchgehender (rechts) Innendämmung

Die Unterschiede der beiden beschriebenen Modelle bestehen in der Ausführung der Dämmebene und in der Lage der luftdichten Schicht. Wie die Querschnitte in Abbildung 2 zeigen, wird bei Variante 1 (offen) die Dämmung im Deckenanschlussbereich ausgespart und die luftdichte Schicht im Deckenbereich unterbrochen. Dadurch bildet sich eine Verbindung des Deckenbalkenhohlraums und des Luftraumes am Balkenkopfende aus. Bei Variante 2 (luftdicht) werden die Dämmebene und die innenseitig liegende Dampfbremse über die gesamte Deckenkonstruktion durchgezogen. Dadurch entstehen zwei voneinander getrennte Lufträume, die jeder für sich der thermischen Konvektion unterliegen.

Auf Basis dieser beiden Sanierungsansätze können zwei mögliche Strömungspfade unterschieden werden. Feuchtigkeit aus der Raumluft kann durch die Deckenuntersicht und den Fußbodenaufbau in den Deckenhohlraum gelangen. Aufgrund der Temperaturunterschiede zwischen Deckenuntersicht und Fußbodenaufbau bildet sich im Deckenhohlraum eine Luftwalze aus. Bei der Variante 1 besteht ein zusammenhängender Luftraum bis ans Balkenkopfende. Dadurch wird die Feuchtigkeit aus dem Balkenzwischenraum bis an das Balkenkopfende bzw. bis an das kalte Mauerwerk geführt. Bei Variante 2 ist der Luftraum durch eine luftdichte Schicht im Bereich der Innendämmung getrennt. Somit bilden sich zwei getrennte Luftwalzen aus, wobei kein Austausch von Feuchtigkeit über thermisch induzierte Konvektion stattfinden kann. Die luftdichte Schicht in Form einer Dampfbremse wird dicht an den Holzbalken angeschlossen. Mögliche Undichtheiten in diesem Bereich führen zu einer Durchströmung des Bauteils und zu einem punktuellen Feuchteeintrag. Die Auswirkungen von Leckagen werden in den weiteren Kapiteln untersucht.

Als **Leckage** werden kleine Fehlstellen in der Luftdichtheit einer Konstruktion bezeichnet. Diese kleinen Fehlstellen treten auf, wenn sich beim Verkleben von Folien kleine Falten bilden oder Befestigungsmittel

Schichten durchdringen. Über die Veränderung der lokalen Luftdichtheit durch windinduzierte Gebäudebewegungen, Quellen und Schwinden von Holzbauteilen oder die Alterung von Klebeverbindungen gibt es keine gesicherten Erkenntnisse.
Leckagen können mit folgender Gleichung durch einen Koeffizienten C und eine Hochzahl n charakterisiert werden:

$$\dot{m} = C \cdot \Delta P^n$$

$\dot{m}$ Massenstrom in kg/s
C Massenstromkoeffizient in kg/sPa^n
ΔP Druckdifferenz in Pa
n Massenstromexponent

Da auf der Innen- und Außenseite der Innendämmschicht zahlreiche kleine Leckagen existieren, kann die Luftdichtheit einer Konstruktion durch eine analoge Gleichung angeben werden.

$$\dot{m} = C \cdot \Delta P^n$$

In den folgenden Berechnungen wurden folgende Annahmen getroffen:

OHNE Leckage $\dot{m} = 0\,kg/s$
MIT LECKAGE $\dot{m} = 1 \cdot 10^{-5}\ \Delta P^{0.66}\,kg/s$

Der Fall mit Leckage entspricht einer Situation in der z.B. innen ein Loch mit 5 mm und außen ein Loch mit 5 mm vorhanden ist.

Geometrie, Materialeigenschaften und Randbedingungen

Geometrie

Eine Innendämmung wird kritischer:

- je geringer die Wanddicke
- je höher die Wärmeleitfähigkeit der Wand
- je dicker die Wärmedämmung
- je geringer die Wärmeleitfähigkeit der Innendämmung

sind.

Material- und Oberflächeneigenschaften

An der Außenoberfläche ist die Wandfarbe aufgrund der Absorption von Solarstrahlung und Emission von Infrarotstrahlung wichtig. Außerdem haben das Wasseraufnahmeverhalten und die aufgrund der Struktur der Fassade abrinnende Wassermenge großen Einfluss auf die Funktionstüchtigkeit der Konstruktion.

Für die folgenden Berechnungen wurde die Außenoberfläche als westorientiert, der solare Absorptionsgrad mit 0,5 und der Emissionsgrad mit 0,9 angenommen.

Die Wärmedämmung an der Außenwand wurde mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,07 W/mK und einer Dicke von 4 cm angenommen. Das bedeutet, dass die Berechnungen für folgende Dämmsysteme gelten:

Wärmeleitfähigkeit der Dämmung	Dämmstärke
0,04 W/mK	2,3 cm
0,05 W/mK	2,9 cm
0,06 W/mK	3,4 cm
0,07 W/mK	4,0 cm

Für den Bereich des Balkenkopfes und einen möglichen Eintrag an Feuchte durch Luftströmungen ist ein dampfbremsendes Innensystem im Bereich der Wandflächen von Vorteil. Die Berechnungen wurden daher für ein Dämmsystem mit einem sd-Wert von 100 m durchgeführt. Generell kann aber nicht festgestellt werden, dass Dämmsysteme mit einem hohen sd-Wert von Vorteil sind.
Die Anisotropie der Wärmeleitung in Holz wurde bei den Berechnungen nicht berücksichtigt.

Klimarandbedingungen der instationären Berechnung:

Ein Innendämmsystem wird bei niedrigeren Temperaturen im Winter kritischer.
Um besser einordnen zu können, warum bei zahlreichen Freilandversuchen unkritische Feuchtezustände gemessen werden, sind in der folgenden Abbildung die Monatsmitteltemperaturen verschiedener Standorte in Deutschland und Österreich dargestellt.

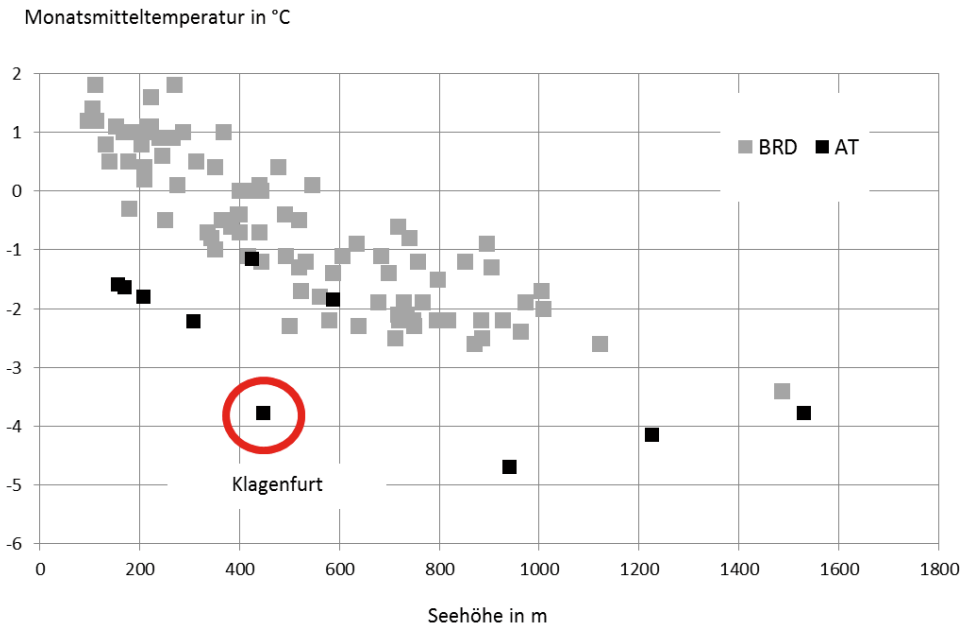


Abb. 111: Langjähriger Monatsmittelwert der Außentemperatur im Jänner für Standorte in Deutschland und Österreich. Quelle: BRD: http://www.klimadiagramme.de/ttnn.html
AT: http://www.bmwfj.gv.at/hp/klimadatenbank/Seiten/klimadaten.aspx

Es ist erkennbar, dass Klagenfurt ein Ort mit sehr niedrigen Temperaturen im Winter ist und somit den maßgeblichen Fall für Österreich darstellt. Traditionell werden in Österreich Konstruktionen, wenn sie nicht für einen bestimmten Standort konzipiert werden, mit dem Klima von Klagenfurt auf ihre Dauerhaftigkeit geprüft. In der folgenden Abbildung sind die langjährigen Monatsmittelwerte für den Standort Klagenfurt dargestellt.

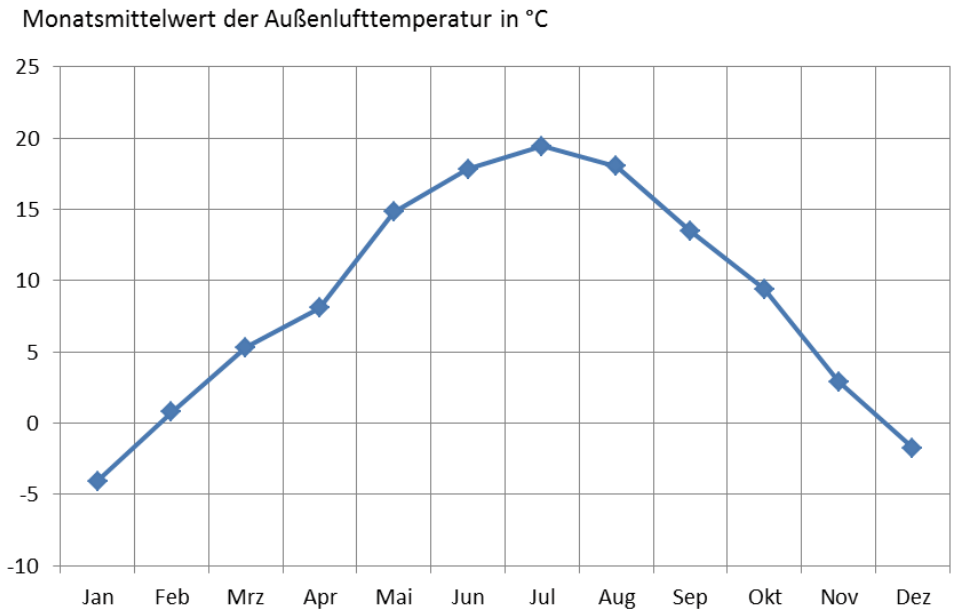


Abb. 112: Monatsmittelwert der Außenlufttemperatur für den Standort Klagenfurt (TRY aus der Periode 1991 bis 2005) Quelle: [Haas 2012]

Für eine Beurteilung der Dauerhaftigkeit von Konstruktionen ist ein Klima, das den langjährigen Mittelwerten entspricht, nicht ausreichend kritisch. In der folgenden Abbildung sind die Zehnjahresmittelwerte für die Monatsmitteltemperaturen von Jänner bzw. Juli als Abweichung zum 50-Jahres-Mittelwert für den Standort Wien – Hohe Warte zusammengestellt. Es ist erkennbar, dass gegenüber dem langjährigen Mittelwert der Zehnjahresmittelwert im Jänner um bis zu 2,2 K und im Juli um bis zu 1 K geringer sein kann.

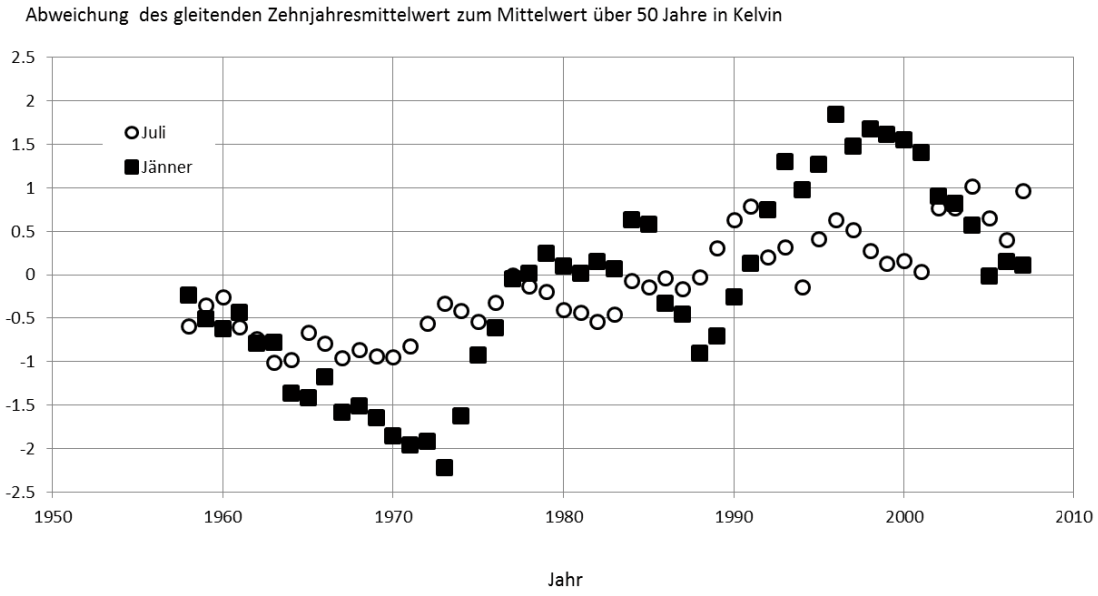
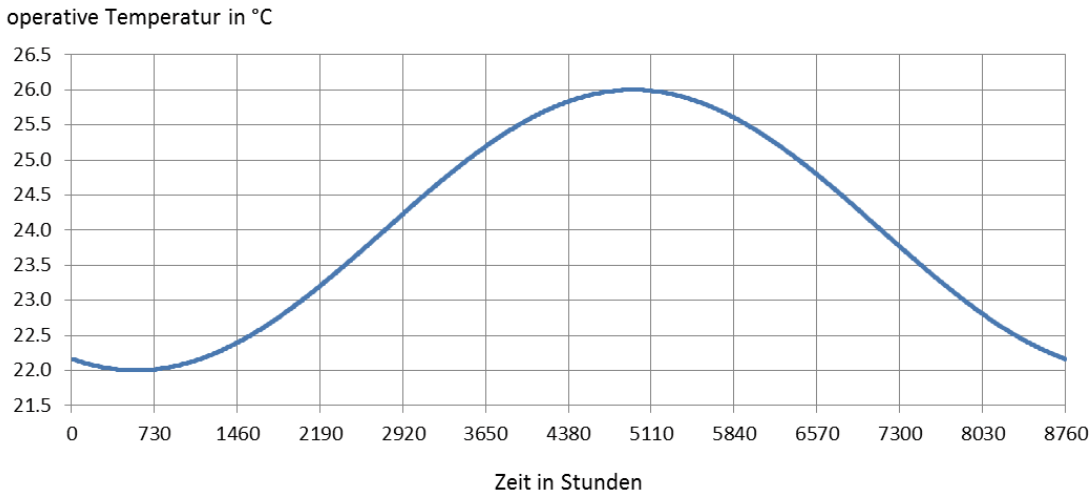


Abb. 113: Zeitlicher Verlauf des gleitenden Zehnjahresmittelwertes im Jänner bzw. im Juli für Wien – Hohe Warte

Um eine bessere Beurteilung auf der sicheren Seite zu erlangen, wird daher für die instationären Berechnungen der Klimadatensatz des Testreferenzjahres von Klagenfurt (Periode 1991-2005) verwendet und die Außentemperatur um 2 K verringert.

Als Innenklima werden für die instationäre Berechnung folgende vereinfachten Klimata verwendet:



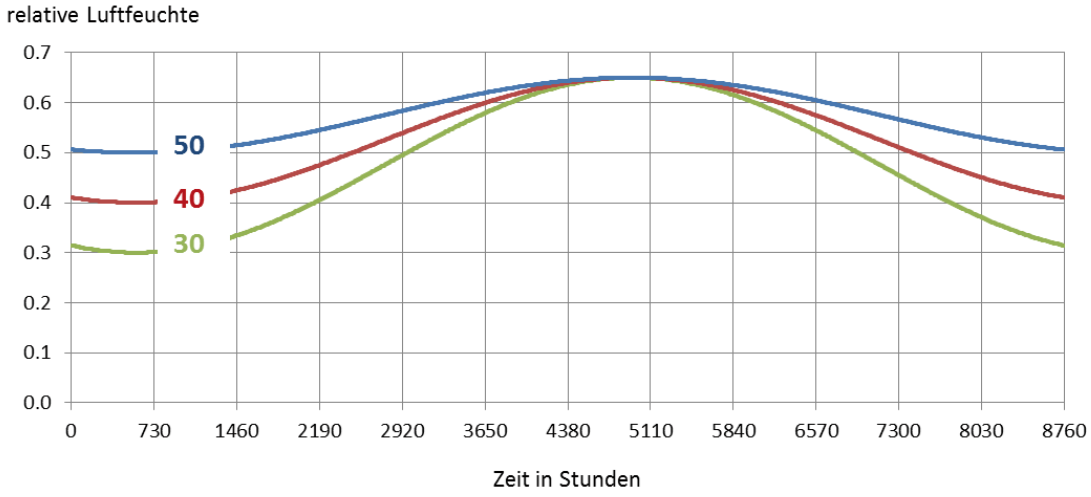


Abb. 114: Zeitlicher Verlauf der Innenlufttemperatur und der inneren Strahlungstemperatur (oben) sowie zeitlicher Verlauf der relativen Luftfeuchte der Innenluft (unten)

Aufgrund der vorhandenen Leckagen in Konstruktionen ist die Druckdifferenz zwischen Innenluft und Außenluft und auch zwischen den verschiedenen Stockwerken in einem Gebäude für die Durchströmung wesentlich.

Für die folgenden Berechnungen wurde mit einem Überdruck von 2 Pa von innen im Winter und von 0 Pa im Sommer durchgeführt.

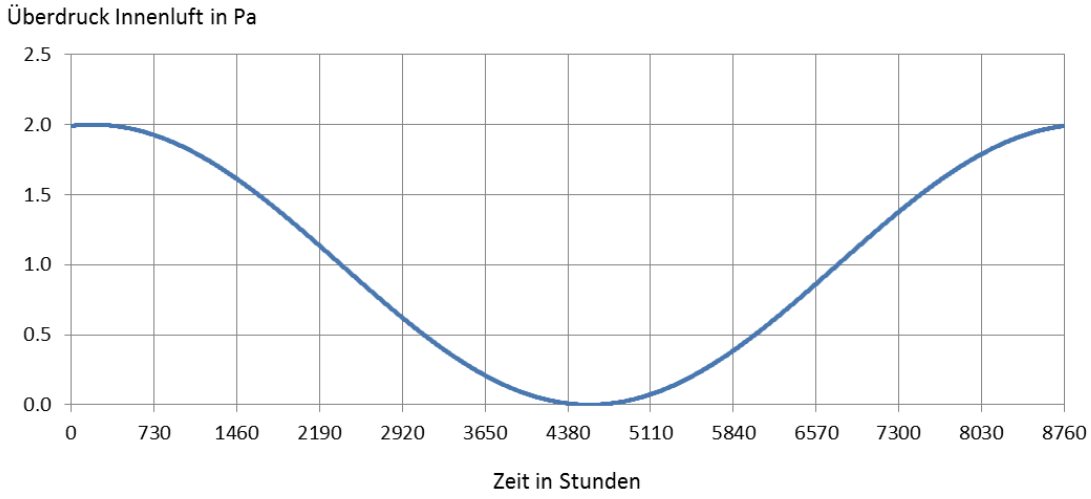


Abb. 115: Angenommener Überdruck zwischen Innen- und Außenluft

Der geringe Druckunterschied ergibt sich aus der Annahme, dass jedenfalls Leckagen mit einem Höhenunterschied von einem Stockwerk (4–5 m bei Gründerzeitgebäuden) auftreten und jedenfalls 20 Kelvin Temperaturunterschied im Jänner auftreten.

Wenn es innerhalb eines Gebäudes große verbundene Lufträume gibt (Atrien, Stiegenhäuser, etc.) können noch wesentlich größere Druckdifferenzen auftreten und wesentlich höhere Durchströmungen auftreten.

3.4.3.3 Beschreibung des Simulationsmodells

Für die instationären Berechnungen wird die Bestandskonstruktion und die innengedämmte Variante etwas vereinfacht. Im Folgenden sind nur die Ergebnisse der luftdichten Ausführung dargestellt.

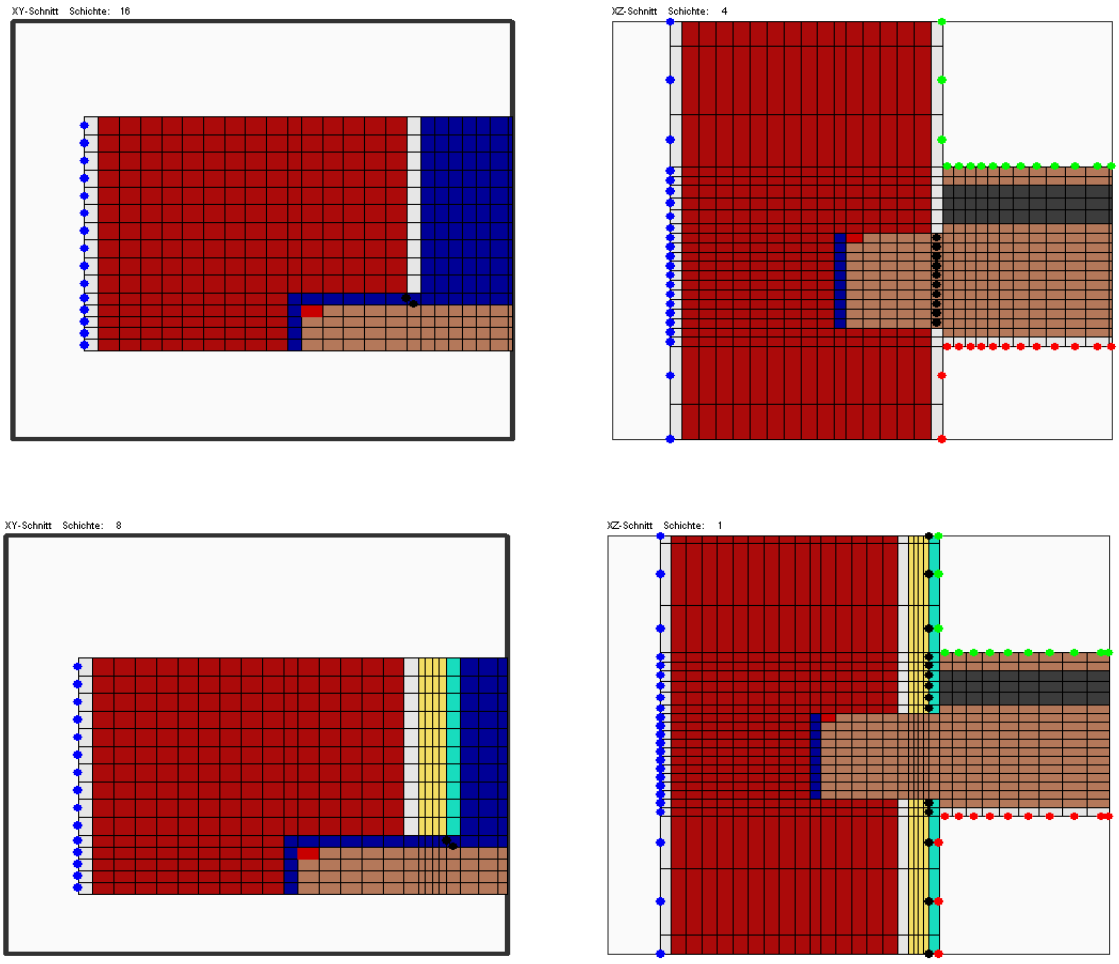


Abb. 116: Darstellung der Modelle für Bestand (oben) und mit Innendämmung mit R = 0,6 m²K/W (unten)

3.4.3.4 Ergebnisse der instationären Berechnung

Bestandskonstruktion – Exemplarisches Ergebnis „Worst-Case“

In den folgenden Abbildungen ist im oberen Diagramm die Temperatur zusammen mit der relativen Luftfeuchte am Balkenkopfende dargestellt. Im unteren Diagramm sind die Temperatur und der berechnete Massenverlust an Holz gemäß dem Modell zur Holzverrottung nach [Viitanen 1996] für die maßgebliche Zelle am Balkenkopfende dargestellt. Die Berechnungen erfolgten für den Standort Klagenfurt mit einer um 2 Kelvin verminderten Außentemperatur.

Erkennbar ist, dass bei einer Innenluftfeuchte von 50 % im Jänner und dem „Worst-Case“-Außenklima die Bestandskonstruktion ein hohes Versagensrisiko hat. Sobald die Luftfeuchte im Jänner kleiner ist, ergeben sich keine kritischen Zustände für das Kriterium „Holzverrottung“.

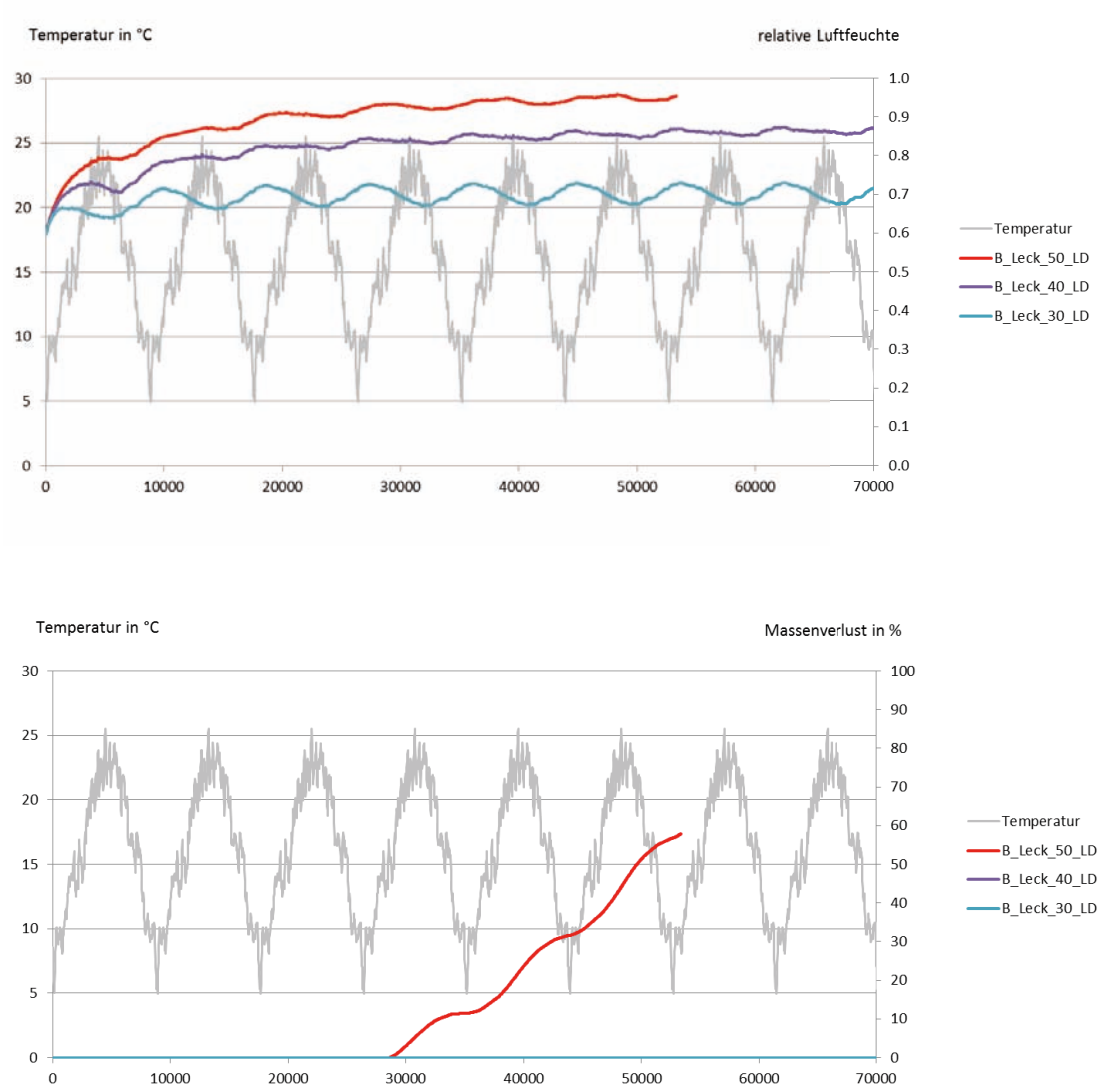


Abb. 117: Temperatur und relative Luftfeuchte am Balkenkopf (oben) und Temperatur und Massenverlust Holz in der betrachteten kritischen Zelle (unten) für die Bestandskonstruktion

Konstruktion mit Innendämmung und Dampfbremse –
Exemplarisches Ergebnis „Worst-Case“

In den folgenden Abbildungen ist im oberen Diagramm die Temperatur zusammen mit der relativen Luftfeuchte am Balkenkopfende dargestellt. Im unteren Diagramm sind die Temperatur und der berechnete Massenverlust an Holz gemäß dem Modell zur Holzverrottung nach [Viitanen 1996] für die maßgebliche Zelle am Balkenkopfende dargestellt. Die Berechnungen erfolgten für den Standort Klagenfurt mit einer um 2 Kelvin verminderten Außentemperatur.

Erkennbar ist, dass bei einer Innenluftfeuchte von 40 % und 50 % im Jänner und dem „Worst-Case“- Außenklima die Konstruktion mit einer Innendämmung ein hohes Versagensrisiko hat. Sobald die Luftfeuchte im Jänner im Bereich 30 % liegt, ergeben sich erst nach 9 Jahren kritische Zustände für das Kriterium „Holzverrottung“.

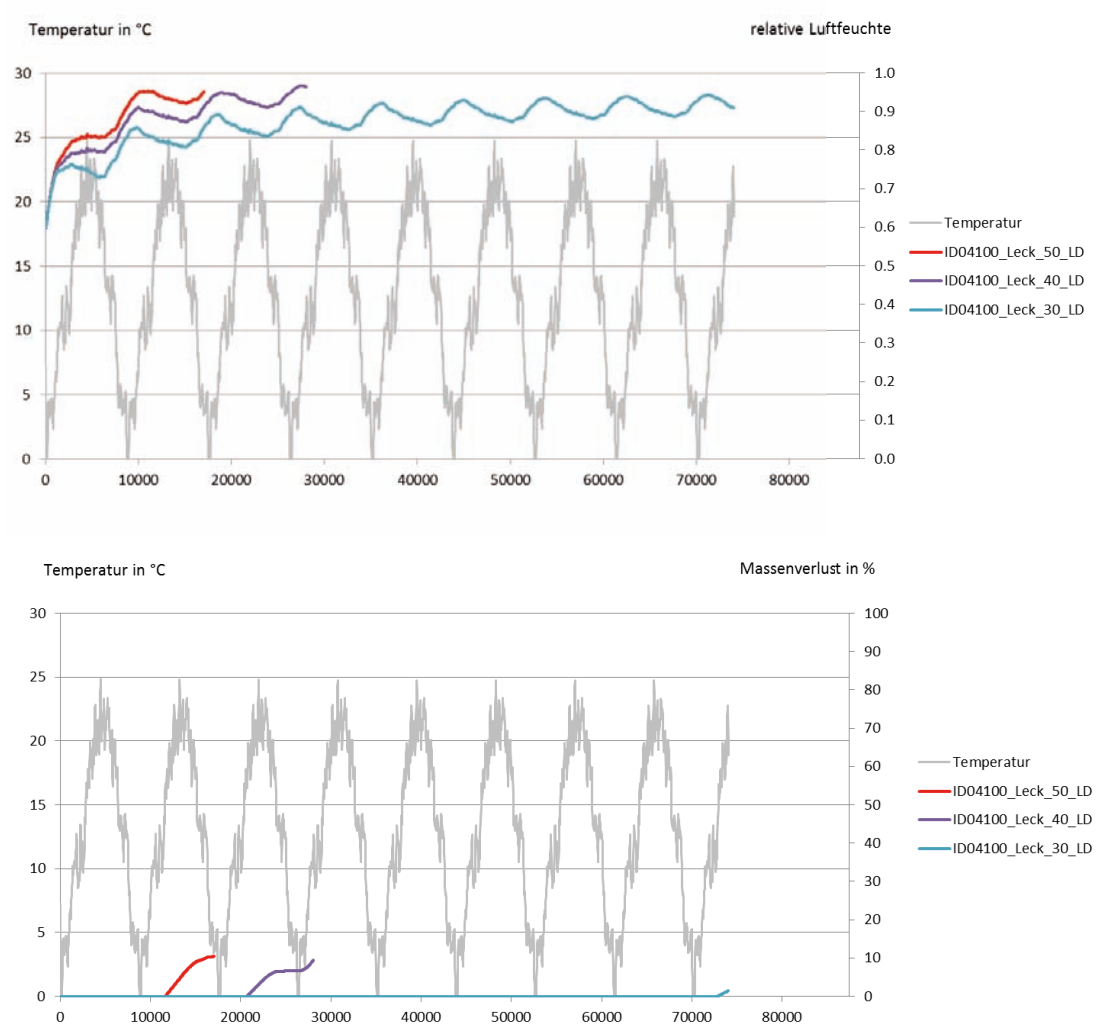
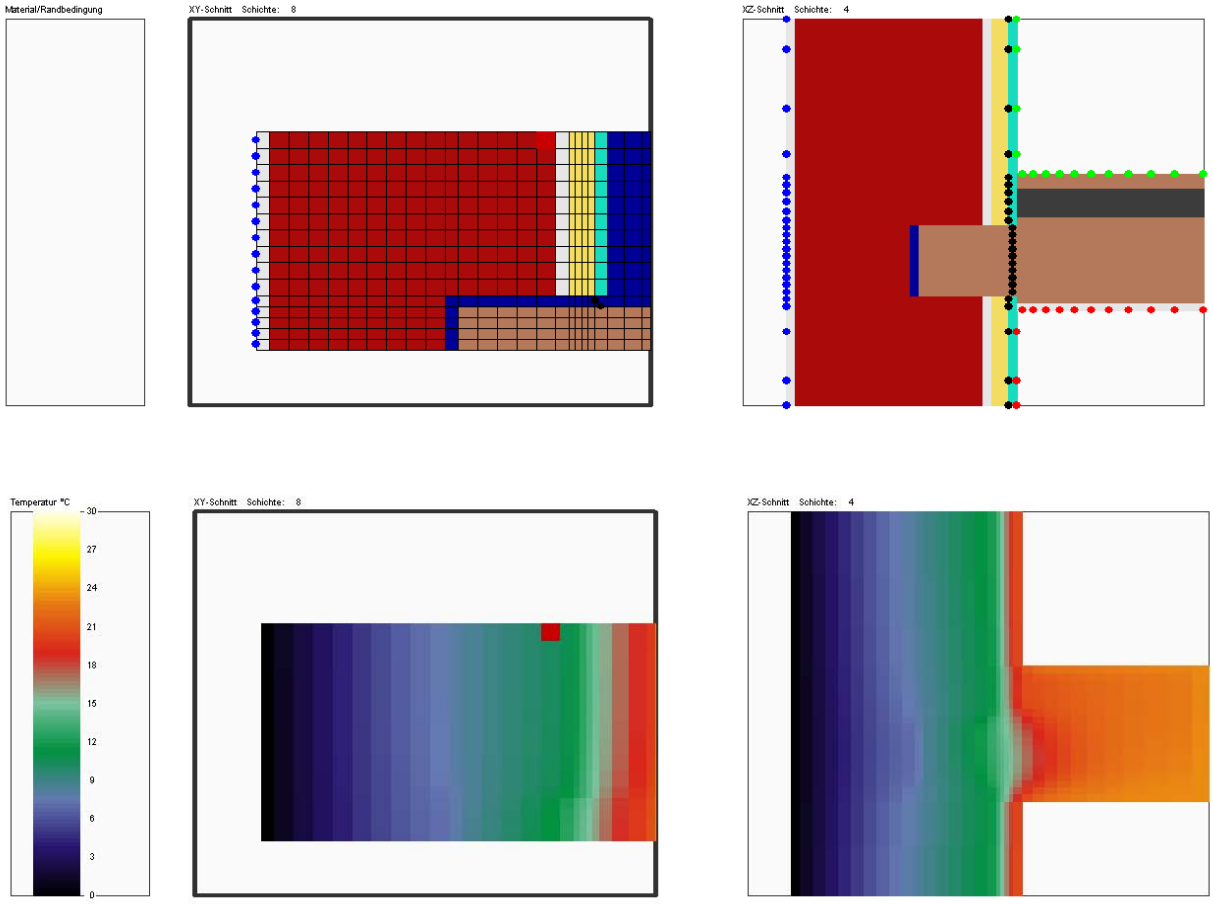


Abb. 118: Temperatur und relative Luftfeuchte am Balkenkopf (oben) und Temperatur und Massenverlust Holz in der betrachteten kritischen Zelle(unten)

Konstruktion mit Innendämmung und Dampfbremse mit Leckage –

Exemplarisches Ergebnis für Standort mit einem Mittelwert der Außentemperatur im Jänner von 0°C

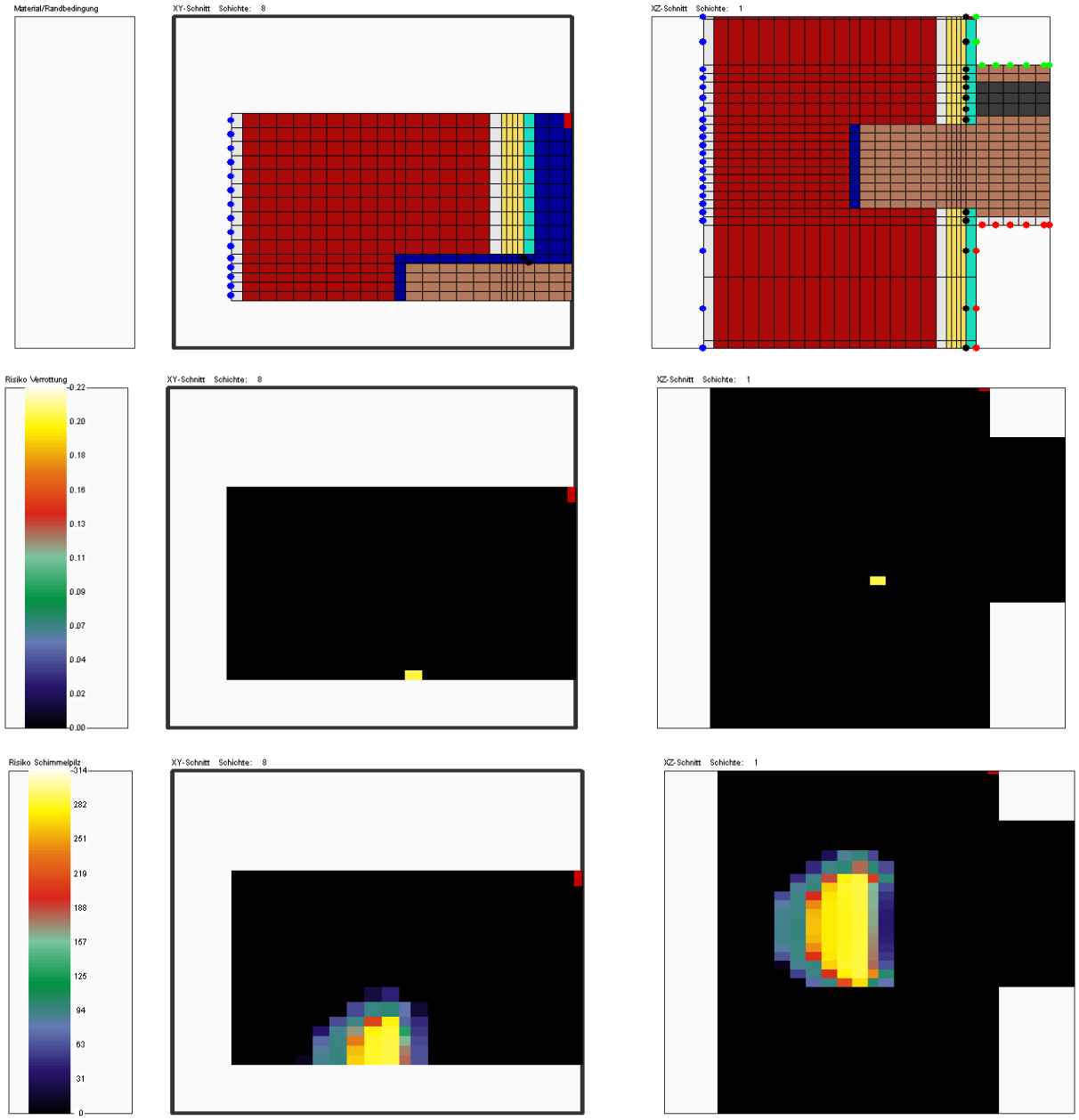
Für das Innenklima mit 30 % relativer Luftfeuchte im Jänner und einem Außenklima, das dem Standort Klagenfurt plus 2 Kelvin entspricht ergeben sich auch nach 10 Jahren keine Zustände die ein Wachstum von Schimmelpilzen bzw. eine Holzverrottung als Risiko ergeben.



Zeitpunkt: Jänner nach 10 Jahren
Konstruktion mit Leckage
Kein Risiko Schimmelpilzwachstum / Kein Risiko Holzverrottung

Abb. 119: Konstruktiver Aufbau (oben) und Temperaturfeld im Jänner nach 10 Jahren (unten) mit einem Innenklima mit 30 % relativer Luftfeuchte im Jänner und einem Außenklima, das dem Standort Klagenfurt plus 2 Kelvin entspricht.

Bei einem Innenklima mit 40 % bzw. 50 % relativer Luftfeuchte im Jänner sind die hygrothermischen Wachstumsbedingungen für Schimmelpilzbildung in einem größeren Bereich um den Balkenkopf erfüllt. Das Risiko der Holzverrottung wird nach wenigen Jahren im Bereich des Balkenkopfes angezeigt.



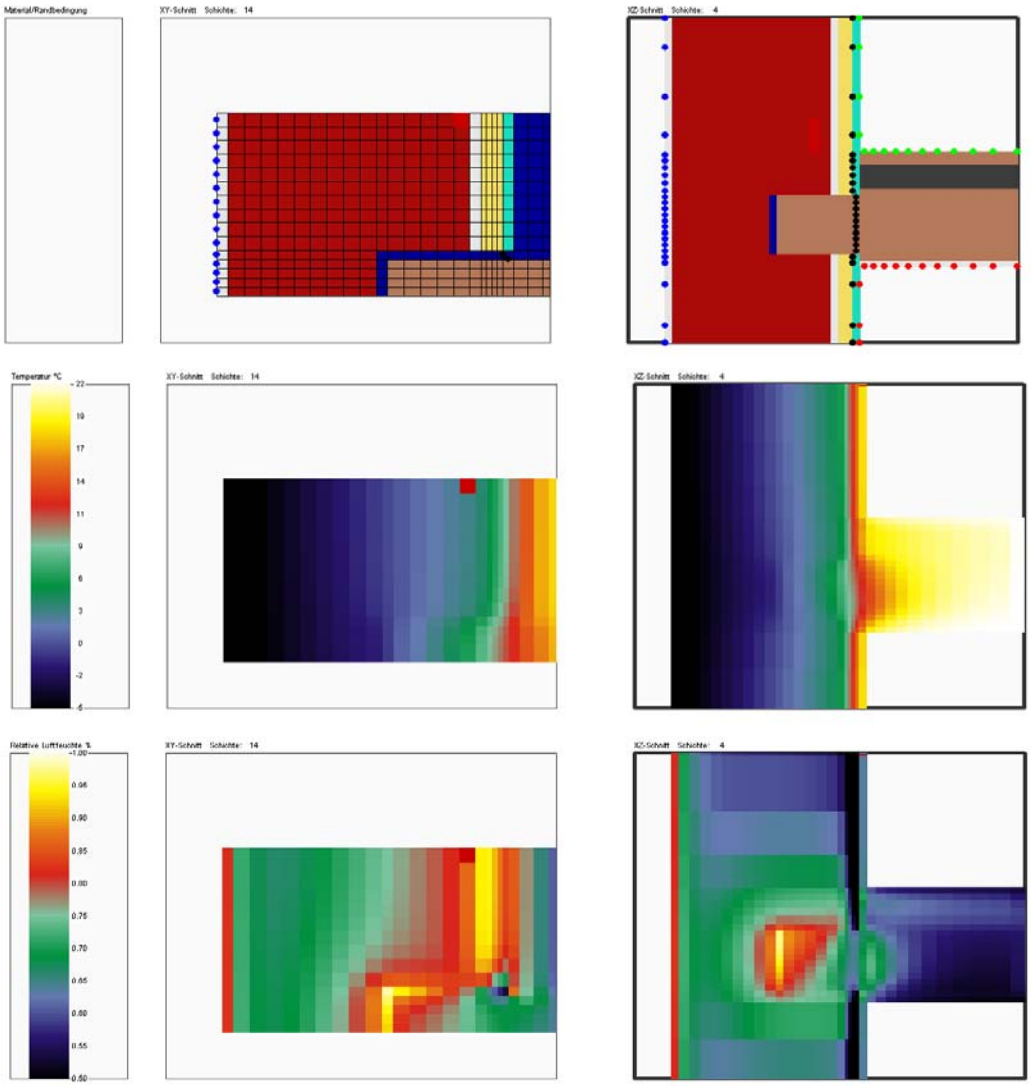
Zeitpunkt: Jänner nach 1 Jahr bei 50 % Innenluftfeuchte im Jänner, Bei 40 % relativer Luftfeuchte dauert es etwas länger bis kritische hygrothermische Zustände erreicht werden
Konstruktion mit Leckage
Kein Risiko Schimmelpilzwachstum / Kein Risiko Holzverrottung

Abb. 120: Konstruktiver Aufbau (oben) und Temperaturfeld im Jänner nach 10 Jahren (unten) mit einem Innenklima mit 50 % relativer Luftfeuchte im Jänner und einem Außenklima, das dem Standort Klagenfurt plus 2 Kelvin entspricht.

Konstruktion mit Innendämmung und luftdichter Ausführung

Exemplarisches Ergebnis für Standort mit einem Mittelwert der Außentemperatur im Jänner von -4°C

Für das Innenklima mit 30 % relativer Luftfeuchte im Jänner und einem Außenklima, das dem Standort Klagenfurt plus 2 Kelvin entspricht, ergeben sich auch nach 10 Jahren keine Zustände, die ein Wachstum von Schimmelpilzen bzw. eine Holzverrottung als Risiko ergeben.



Zeitpunkt: Jänner nach 1 Jahr bei 50 % Innenluftfeuchte im Jänner, Bei 40 % relativer Luftfeuchte dauert es etwas länger bis kritische hygrothermische Zustände erreicht werden
Konstruktion mit Leckage
Kein Risiko Schimmelpilzwachstum / Kein Risiko Holzverrottung

Abb. 121: Konstruktiver Aufbau (oben) und Temperaturfeld im Jänner nach 10 Jahren (unten) mit einem Innenklima mit 50 % relativer Luftfeuchte im Jänner und einem Außenklima, das dem Standort Klagenfurt plus 2 Kelvin entspricht.

3.4.4 Zusammenstellung der Ergebnisse für Planung und Ausführung von Innendämmungen

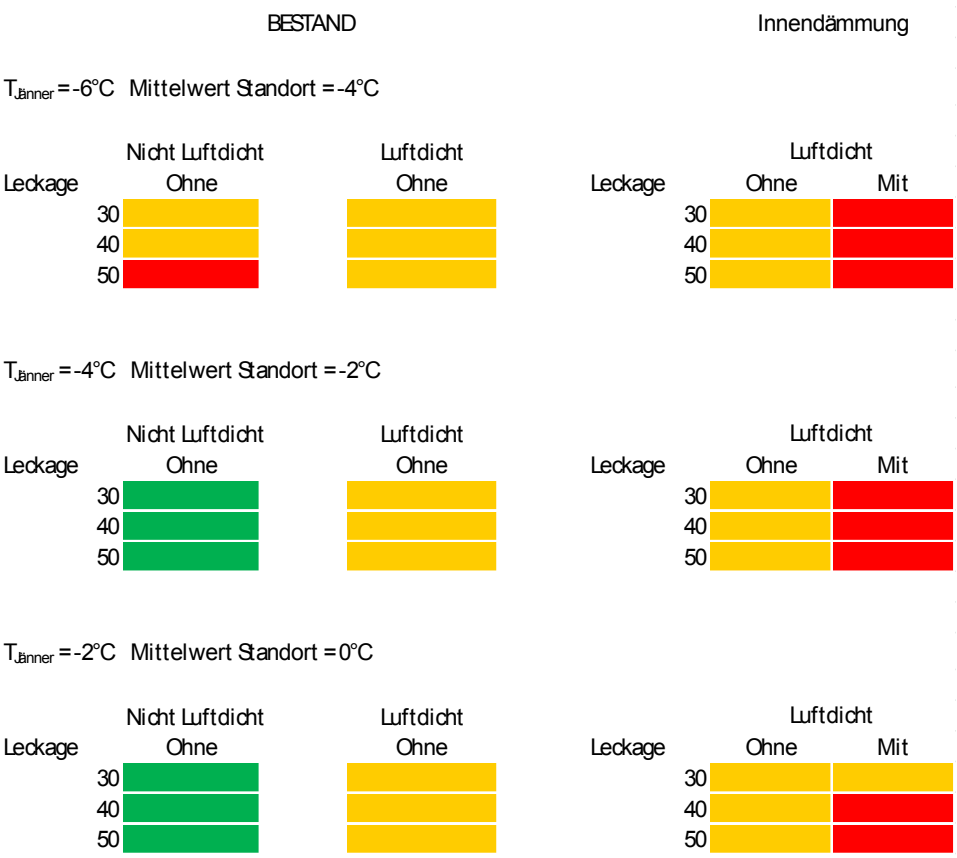
In der folgenden Tabelle wird eine Einschätzung des notwendigen Planungs- und Ausführungsgrads für die verschiedenen konstruktiven Situationen und Außenklimata angegeben.

Dabei bedeuten die verschiedenen Farben

Grün = geringes Versagensrisiko

Gelb = detaillierte Planung/Ausführung/Qualitätssicherung/Information erforderlich siehe Kapitel 4

Rot = sehr hohes Versagensrisiko



Tab. 4: Planungs-/Qualitätssicherungsaufwand für verschiedene Konstruktionsvarianten und Außenklimata

Im Falle der Bestandskonstruktion bedeutet „gelb“, dass selbst bei Änderungen der Luftdichtheit oder der Nutzung des Gebäudes eine sorgfältige Überlegung und Beratung notwendig ist. Falls durch Änderungen der Nutzung (erhöhte Feuchteabgabe an die Innenluft, verringerte Lüftung, erhöhte Luftdichtheit der Konstruktion) die Luftfeuchte über einen langen Zeitraum auf über 50 % ansteigt, ist mit einem hohen Versagensrisiko zu rechnen. Auch mit einer Änderung der Durchfeuchtung durch Schlagregen ist ein Ansteigen des Versagensrisikos verbunden.

3.4.5 Abschätzung des zusätzlichen energetischen Aufwandes für eine Temperierung der Holzbalkenköpfe

Die aktive oder passive Temperierung stellt eine Möglichkeit dar, vor allem für sehr kalte Klimata mit relativen Innenraumluftfeuchten von 50 % und mehr, im Hochwinter trotzdem eine Innendämmung zu realisieren. Längerfristig ist eine 3-dimensionale hygrothermische Simulation auch zur Auslegung wünschenswert, derzeit sind die Rechenzeiten noch nicht ganz praktikabel.
Um trotzdem zu einer Abschätzung der Temperaturverteilung und einer ersten Abschätzung des zusätzlichen Energieaufwandes zu kommen, wurde eine stationäre 3-dimensionale Wärme- und Wasserdampfdiffusionsberechnung (in Anlehnung an das Glaserverfahren) aufgesetzt. Dieses besitzt einige gravierende Nachteile:

- Der kapillare Wassertransport wird nicht berücksichtigt
- Das Feuchtespeichervermögen von Baustoffen wird nicht berücksichtigt
- Konvektive Effekte in den Lufträumen können nicht (oder nur stark näherungsweise durch die Formulierung von äquivalenten Wärmeleitfähigkeiten und Wasserdampfdiffusionskennzahlen) abgebildet werden
- Latente Effekte werden nicht berücksichtigt

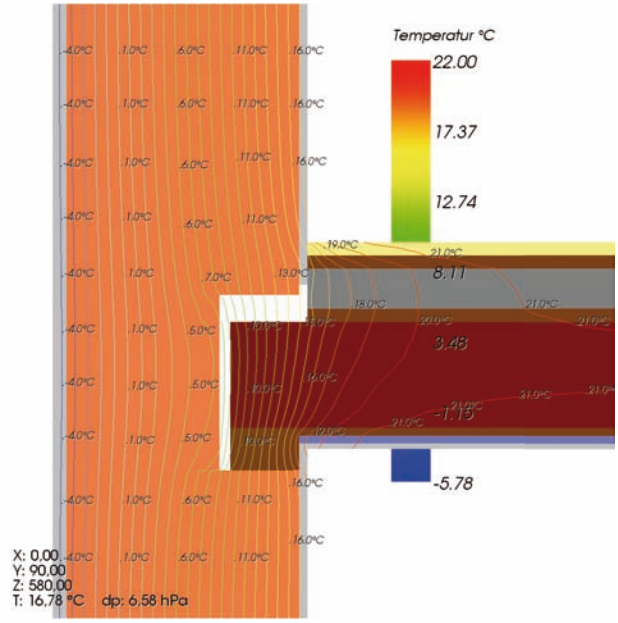
Der große Vorteil ist allerdings, dass 3-dimensional relativ rasch Temperaturverteilungen oder ein Kondensatrisiko abgeschätzt werden können. Dies geschieht für das Kondensatrisiko auf der „sicheren“ Seite. Da konvektive Prozesse und Leckagen nicht berücksichtigt sind, kann allerdings nicht mit Sicherheit von einer Berechnung „mit Reserven“ ausgegangen werden.
Daher werden nur einige wesentliche Randbedingungen variiert und auf dieser Grundlage ein Vergleich zwischen Bestand und einer innengedämmten Konstruktion mit aktiver Temperierung dargestellt. Die Motivation ist die Folgende: Wenn das Temperaturfeld und die relative Feuchte der sanierten Variante (in unserem Fall wird diese grafisch als Dampfdruckdifferenz zwischen Sättigungsdampfdruck und herrschendem Dampfdruck dargestellt) dem Bestand sehr ähnlich ist, sollte die sanierte Variante ähnliche Sicherheiten aufweisen wie die Bestandskonstruktion. Nachzuweisen ist im baupraktischen Fall, dass sich auch die relevanten Randbedingungen (Innenraumluftbedingungen, prinzipielle Transportprozesse, Außenklima) nicht in relevantem Ausmaß ändern. Die Sanierung gleicht der in [Loga 2003] in Wiesbaden beschriebenen:

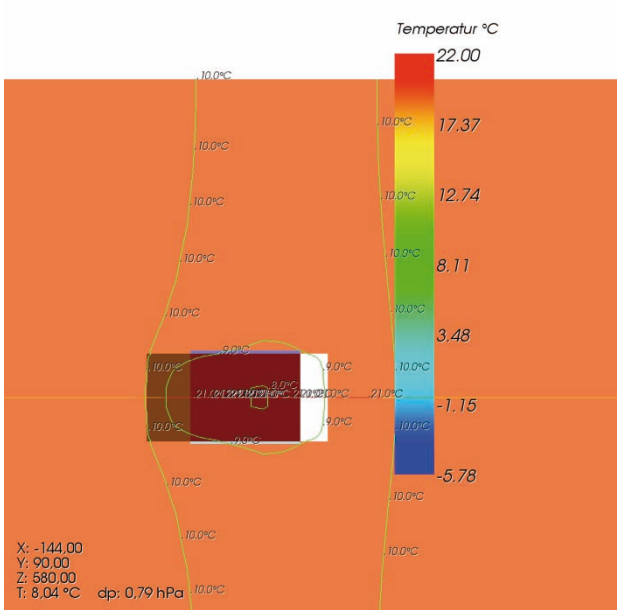
- Es wird ein kapillarleitfähiger Dämmstoff aus CaSi eingesetzt.
- Dieser wird luftdicht an die Bestands-Holzbalkendecke angeschlossen (Putz unterseitig, Holzboden oberseitig), bestehende Undichtigkeiten in der Decke werden nicht beseitigt.
- Zwischen dem Deckenhohlraum wird nicht gedämmt
- Außenseitig wird ein hydrophobierender Anstrich oder Putz angebracht, damit Regenwasser von außen nicht eindringen kann
- Wassereintrag durch aufsteigende Feuchte oder Baufeuchte wird ausgeschlossen.

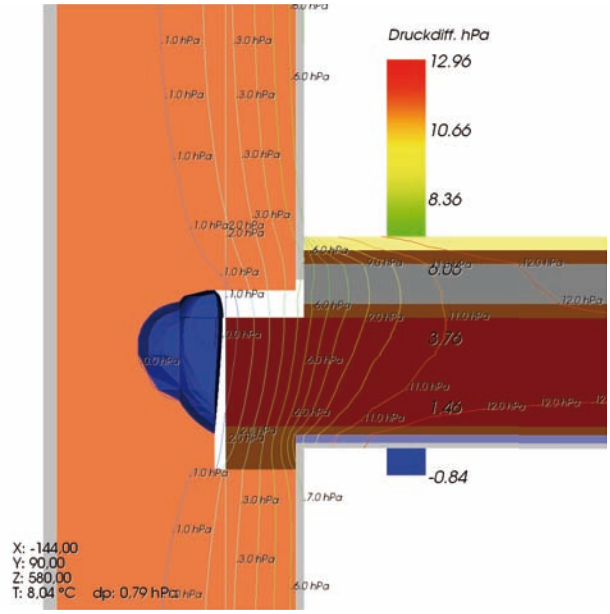
Zusätzlich zur Dämmung werden im Sockel- und Sturzbereich Heizleitungen verlegt, die den Raum auch beheizen und aus der Denkmalschutzsanierung schon bekannt sind. Der Vorteil dieser relativ einfach durchführbaren Sanierung mit komfortablen Wärmeabgabesystem wird mit zusätzlichen Verlusten durch die

Wärmebrücke im Deckenanschluss und Verluste der Temperierung nach außen erkauft. Die nachfolgende Berechnung soll eine obere Abschätzung dieser Verluste geben.

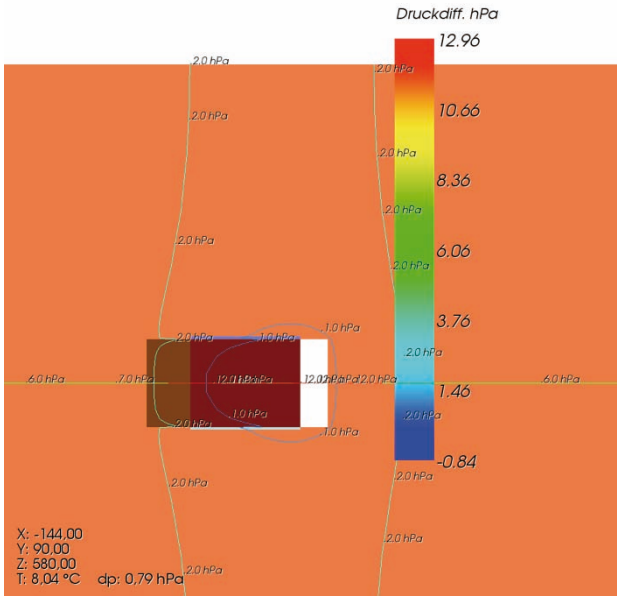
Die Anpassung der stationären 3-dimensionalen Wärme- und Feuchtebrückenberechnung erfolgt für den Standort Klagenfurt für den Bestand.
Nachstehend sind die Ergebnisse im Vertikal- und im Horizontalschnitt für die Basisvariante (Außentemperatur -5,78 °C, Außenluftfeuchte 90 %, Innentemperatur 22 °C, Innenluftfeuchte 50 %)angegeben.







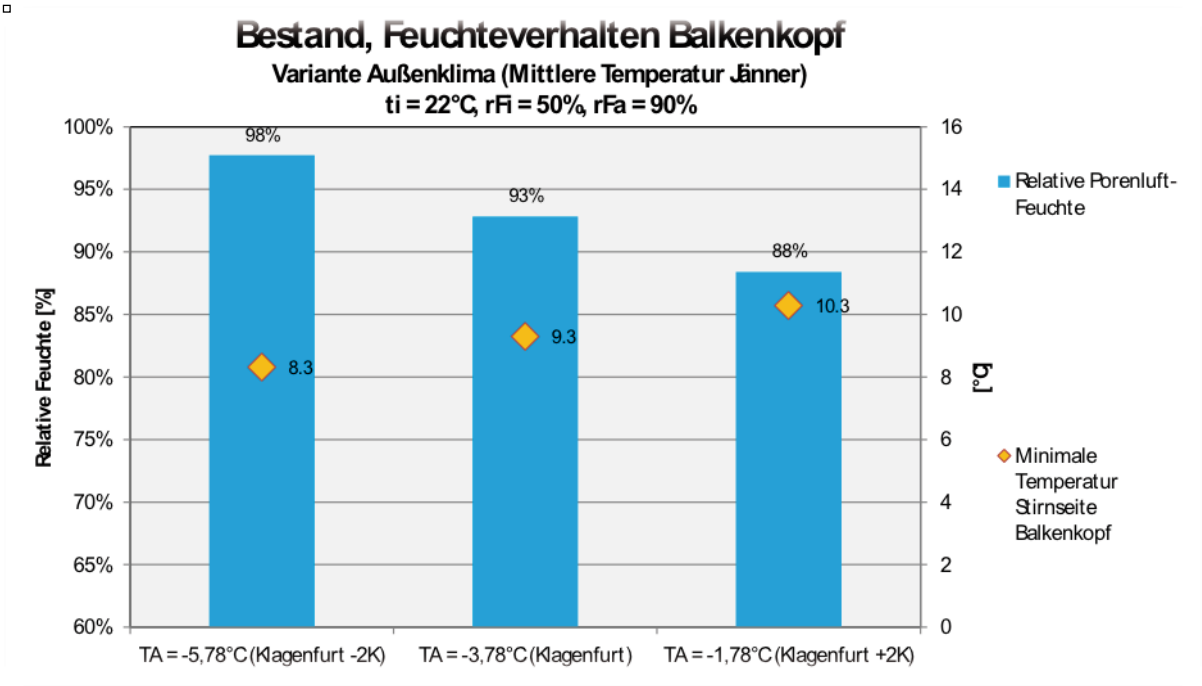
Vertikaler Schnitt durch Balken



Vertikaler Schnitt durch Balkenkopf, parallel zur Außenwand

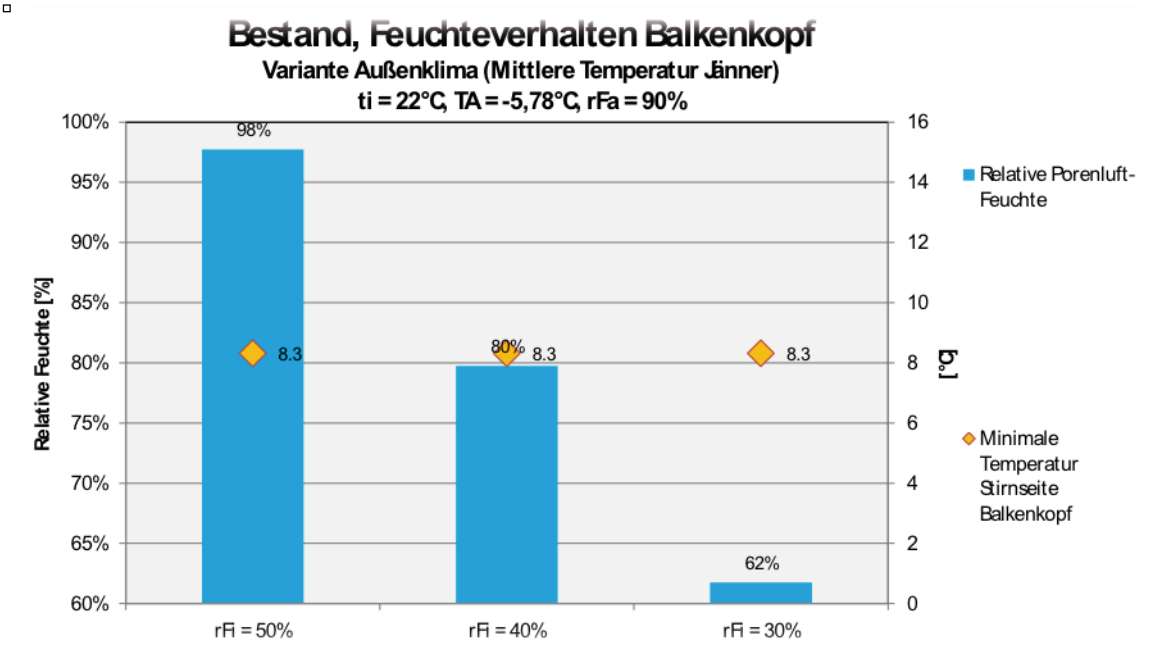
Kommentar: Kondensat entsteht an der Grenzschicht zwischen Luftraum am Balkenkopf und angrenzender Ziegelwand. Der Balkenkopf selbst bleibt knapp kondensatfrei.

Für den kritischsten Punkt an der Stirnseite des Balkenkopfes ergeben sich die folgenden Kennwerte, in Abhängigkeit vom Außenklima:



In der im vorigen Kapitel dargestellten dynamischen 3-D-Simulation versagt die Konstruktion bei einer Außenlufttemperatur im Jänner von -5,78 °C, während sie bei -3,78 °C schadenfrei bleibt.

Die Variation der Innenbedingungen ergibt die folgenden Kennwerte für den Bestand:



Die Unterschiede sind verhältnismäßig größer als in der 3-dimensionalen dynamischen Simulation mit Luftströmung und Leckage: So schwankt die relative Feuchte bei 40 % Innenraumluftfeuchte um ca. 85 %, bei 30 % um 70 %. Dies überrascht nicht, da in unserem Fall keine Leckage angenommen ist. Die minimalen Temperaturen liegen ähnlich, allerdings deutlich höher als die dynamische Mindesttemperatur von 5 °C.

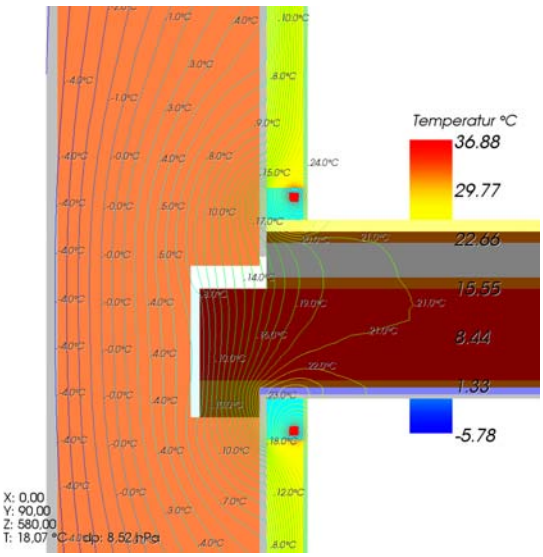
Als kritische Grenze kann in der stationären Dampfdiffusionsberechnung eine relative Feuchte zwischen 98 % und 93 % angenommen werden. Diese Grenze wird vorab zur Abschätzung der Varianten mit Innendämmung und Temperierung herangezogen.

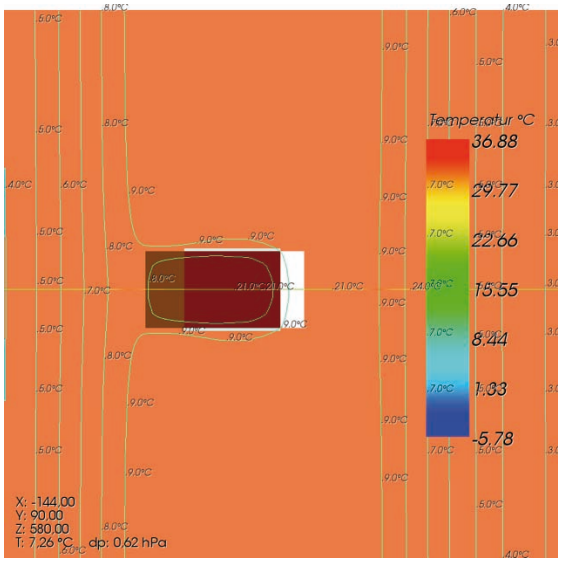
Vorab werden die 4 untersuchten Dämmvarianten mit 3, 5, 8 und 12 cm Wärmedämmung ohne Temperierung dargestellt, jeweils im Vertikalschnitt. In allen Varianten tritt sowohl im Regelquerschnitt als auch am Balkenkopf Kondensat auf. Ersteres ist nicht verwunderlich, da das Glaserverfahren kapillaren Wassertransport nicht berücksichtigt. Auch am Balkenkopf tritt Kondensat auf, auch hier grenzen kapillarleitfähige Materialien wie Ziegel und Holz an die Zonen mit Dampfdruck über Sättigungsdampfdruck an. Es wird daher durch die rein diffusionsmäßige Berechnung das Risiko deutlich überschätzt. Andererseits ist der konvektive Feuchtefluss von innen oder von außen nicht berücksichtigt.

Gemäß dynamischer Simulation wird in diesem Fall erst im Fall von 30 % relativer Innenraumluftfeuchte annähernd Tauglichkeit erreicht.

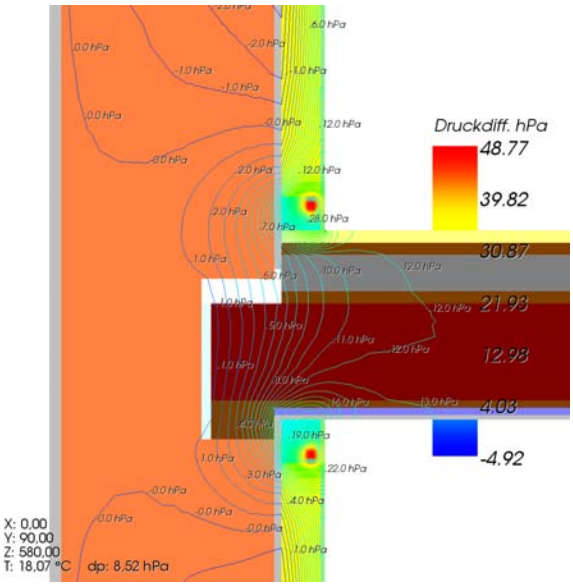
Installiert man im Sockelbereich eine Temperierung, die mit Innendämmung am Balkenkopf ähnliche Temperaturverhältnisse herstellt wie im Bestand ohne Dämmung, ergeben sich die folgenden Temperaturfelder und Dampfdruckdifferenzen zum Sättigungsdampfdruck. Hinweis: Die Eigenschaften der Lufträume bleiben wie im Bestand, obwohl thermisch ein besserer Austausch durch die verhältnismäßig ungleichmäßigen Temperaturen wahrscheinlich ist.

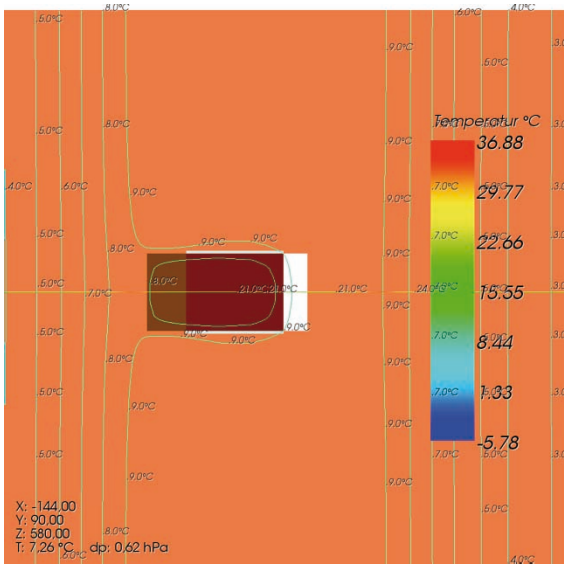
Nachstehend sind die Ergebnisse im Vertikal- und im Horizontalschnitt für die Basisvariante (Außentemperatur -5,78°C, Außenluftfeuchte 90 %, Innentemperatur 22 °C, Innenluftfeuchte 50 %)angegeben.





Vertikaler Schnitt durch Balken

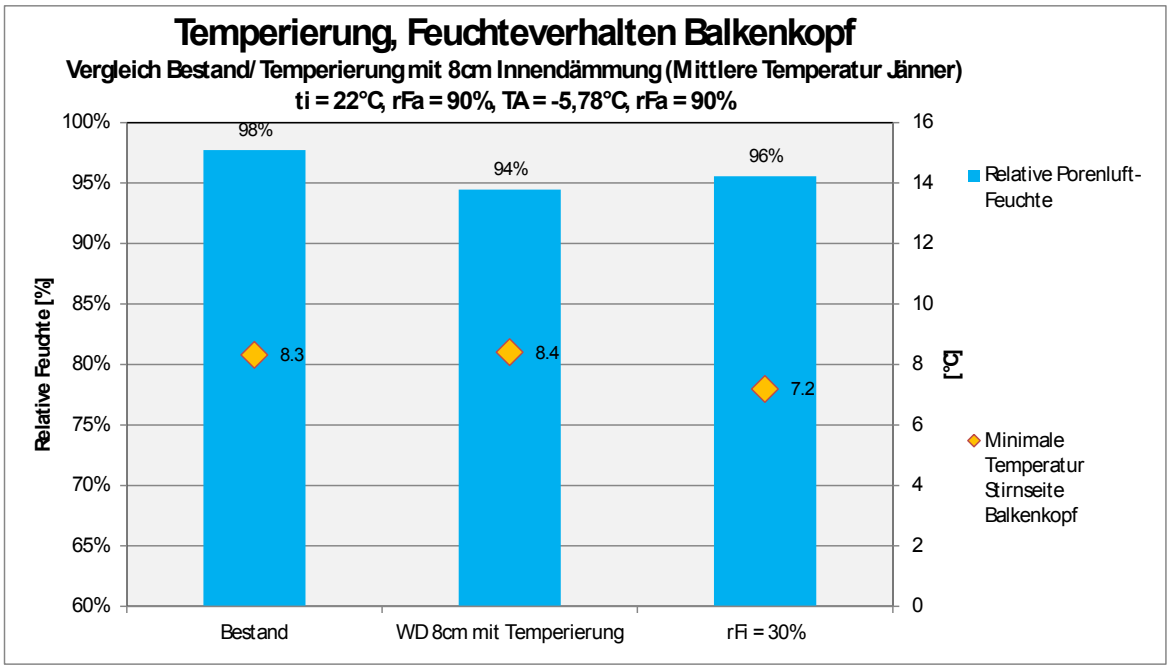




Vertikaler Schnitt durch Balkenkopf, parallel zur Außenwand

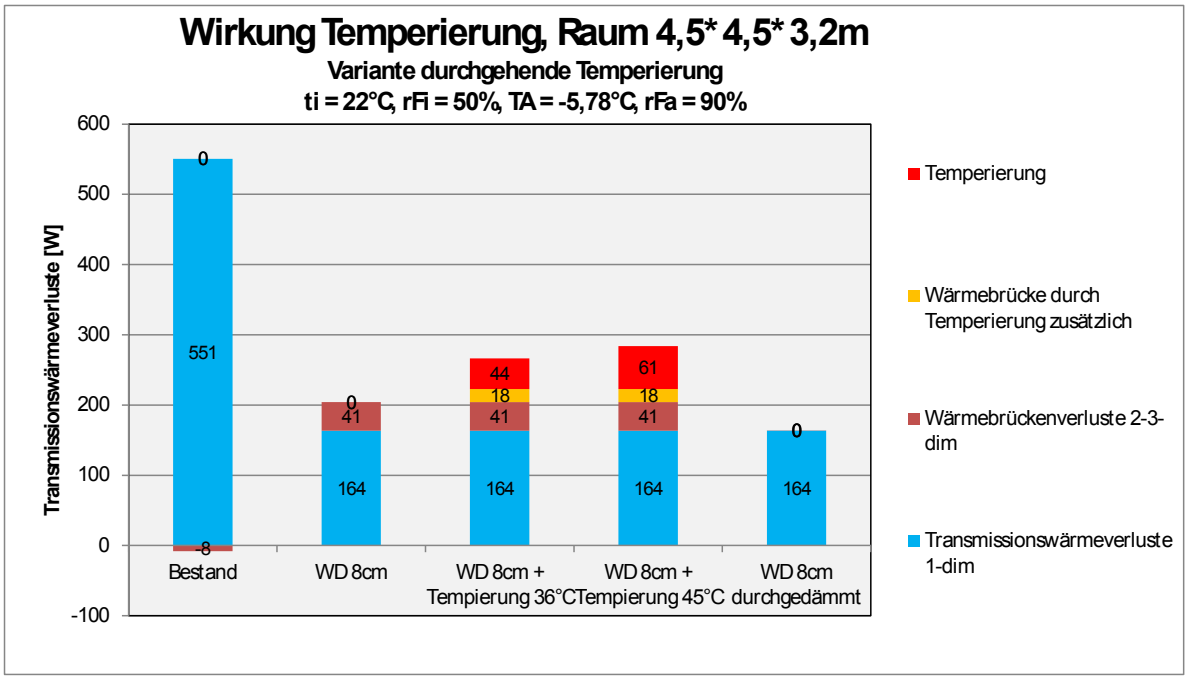
Kommentar: Es entsteht im Balkenkopfbereich kein Kondensat.

Ein Vergleich der Temperaturen und relativen Feuchten an den kritischsten Stellen ergibt die folgende Grafik.



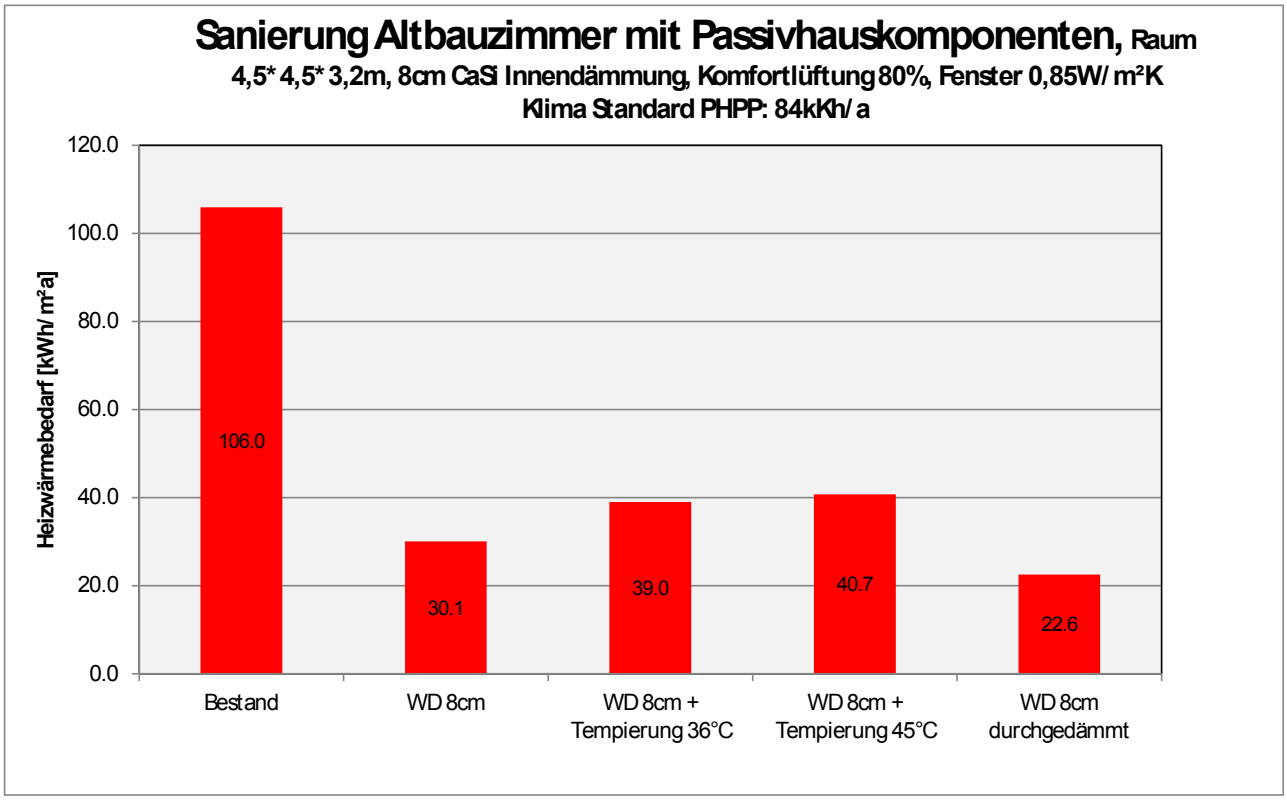
Eine konservative Abschätzung ergibt die folgenden Leistungen aufgrund Transmission und den zusätzlichen Verlust durch die Temperierung. Als Bezug wurde die Außenwand eines typischen Zimmers mit 4,5 * 4,5 * 3,2 m Nettoabmessungen, wobei die Fenster vernachlässigt wurden.

Hinweis: Die Oberflächenkoeffizienten wurden nicht verändert, obwohl diese durch die höheren Temperaturdifferenzen und den aufströmenden Luftstrom ansteigen. Dies bestimmt vor allem die in den Raum übertragbare Leistung.



Die Einsparung beträgt je nach Varianten zwischen ca. 50 und 70 %. Der Mehrbedarf durch die Temperierung beträgt bezogen auf die Wand inkl. (im Hohlraum ungedämmter) Holzbalkendecke ca. 20 %, die zusätzliche Wärmebrücke 10 %. Bezogen auf den Bestand sind dies „nur“ 10 %.

Eine Berechnung des Altbauraumes auf durchschnittliches Klima (Standard PHPP) ergibt sich der folgende Heizwärmebedarf:



- Die Einsparung an Heizwärme durch Innendämmung und Komfortlüftung bewegt sich zwischen ca. 60 und 80 %
- Zu beachten sind die unterschiedlichen Eigenschaften der angegebenen Lösungen

Insgesamt ist der Aufwand für die Temperierung im ungünstigsten Fall nicht unwesentlich, da ca. 20 % Einsparpotential für den geringeren Aufwand zur Sanierung (keine Öffnung der Bestandsdecke, höchstens punktuell zur Bestandsaufnahme) und die Temperierung aufgewendet werden müssen. Durch Optimierung der bewusst ausgeführten Wärmebrücke im Bereich der Heizungsrohre können ca. 40 % noch eingespart werden. Damit liegt das nicht realisierte Einsparpotential bei ca. 15 % des Bestandswertes und ist vor allem durch die Wärmebrücke der nicht durchgedämmten Holzdecke bestimmt.

Eine zielgerichtetere Erwärmung der Balken ist mit den lokalen, passiven Temperierungen erwartbar, wie sie in [Patent 2012] mit gezielter Wärmeeinleitung oder in [Strangfeld 2012]mit Heat Pipes angedacht sind.

3.4.6 Empfehlungen für die Planung, Ausführung und die Kommunikation mit den Nutzer/innen bei Innendämmungen und Holzbalkendecken

Eine erfolgreiche Sanierung mit einer Innendämmung umfasst folgende Schritte:

Erhebung des IST-Zustandes

- Geometrie, Materialien, Durchfeuchtung, Nutzung, Außenklima

Analyse möglicher Varianten der Ausführung in Bezug auf Energieverbrauch und Versagensrisiko

- Keine Wärmedämmung im Bereich Balkenanschluss
- Temperierung des Balkenkopfes mit Betriebsüberwachung
  z.B. mit gezielter Wärmeeinleitung [Patent 2012]
  oder mit Heat Pipes [Strangfeld 2012]

Die Analyse sollte mit dem Worst-Case beginnen

- Innenklima im Jänner z.B. 22 °C, 50 % relative Luftfeuchte
- Monatsmittelwert der Außentemperatur im Jänner um 2 K verringert

Für Systeme, die erst auf der Baustelle durch Verbinden von Platten und/oder Folien luftdicht ausgeführt werden, sollte eine Analyse unter Berücksichtigung einer Leckage in dieser Schichte vorgenommen werden. Generell sollte bei der Planung einer Innendämmung zur Abschätzung des Versagensrisikos eine Einordnung in einen der drei folgenden Fälle erfolgen:

Fall 1:

Das Versagensrisiko ist MIT LECKAGE und HOHER FEUCHTEBELASTUNG durch das Innenklima tolerierbar klein:

- Während der Ausführung ist eine Eigen- bzw. Fremdüberwachung mit Leckagesuche erforderlich.
- Kurze, einfache und verständliche Hinweise für die Nutzer/innen werden formuliert.

Fall 2:

Das Versagensrisiko ist OHNE LECKAGE und HOHER FEUCHTEBELASTUNG durch das Innenklima tolerierbar klein:

- Es erfolgt eine Bestimmung der notwendigen Luftdichtheit.
- Ein Sicherheitsniveau muss festgelegt werden.
- Nach Ausführung der Konstruktion vor Ort muss die tatsächlich erreichte Luftdichtheit durch eine Messung bestimmt werden.
- Ein Training der Ausführungsteams und eine Kontrolle der Ausführung sind unabdingbar.

Fall 3:

Das Versagensrisiko kann nur bei GERINGER FEUCHTEBELASTUNG durch das Innenklima tolerierbar klein gehalten werden:

- Es muss analysiert werden, wie durch die raumlufttechnische Anlage ein Unterdruck in den Räumen gewährleistet werden kann.
    - Dabei sind die Steuerung der Anlage (Kompensation der Verschmutzung von Filtern) und das Teillastverhalten von besonderer Bedeutung.
    - Wie hoch ist der auftretende Unterdruck?
    - Ist eine Befeuchtung/Feuchterückgewinnung vorgesehen, muss dies in der Planung berücksichtigt werden.
- Es muss darauf hingewiesen werden, dass der Betrieb der Lüftungsanlage für die Dauerhaftigkeit des Gebäudes notwendig ist.
- Bei solchen Fällen ist ein Monitoring der Konstruktion zu empfehlen.

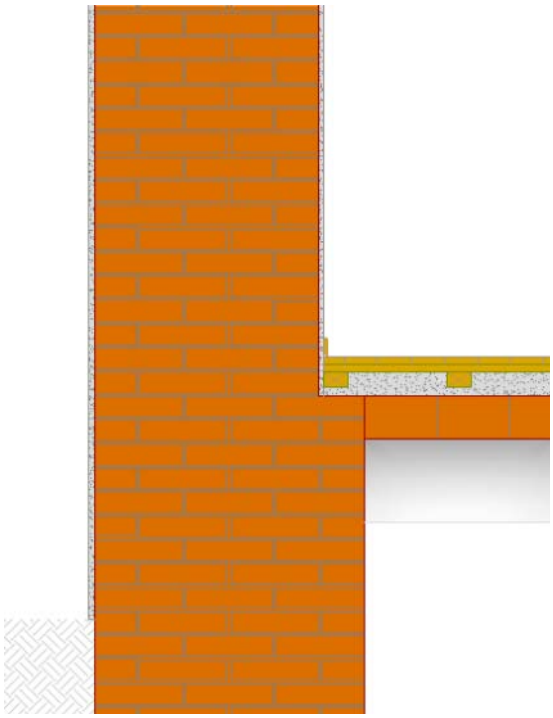
3.4.7 Beispielhafte Anschlüsse mit Innendämmung anhand von Bestandskonstruktionen der Gründerzeitgebäude

Für die folgenden Konstruktionen ist je nach klimatischen und baulichen Randbedingungen für die Sanierung vorzugehen.

Empfehlungen zu Sanierung siehe vorhergehendes Kapitel.

3.4.7.1 Außenwand mit Innendämmung, Kellerdecke oberseitig mit Schüttung gedämmt

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – Keller-Gewölbedecke



Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*74*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,78	[W/m²K]	Σ	78,0	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*3*	*cm*
Ziegelgewölbe, schmalste Stelle				*14*	*cm*
U-Wert	0,99	[W/m²K]	Σ	27,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,085*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*-0,633*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,70*	*-*

Charakterisierung Bestand:

- Aufsteigende Feuchtigkeit, aufsteigende Salze?
- Nutzung des Kellers: Lagerraum, ungenutzt?
- Art Oberfläche Erdreich: Gras, Kies, Gehsteig dicht; geneigt nach außen?

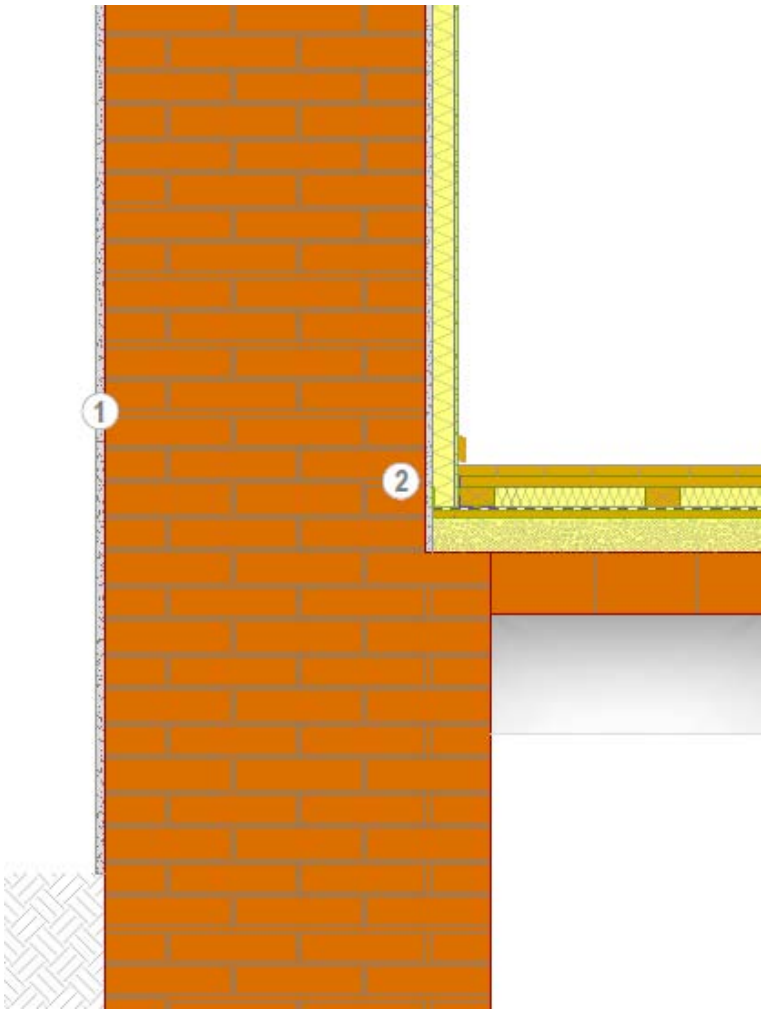
Sanierung Außenwand mit Innendämmung, Kellerdecke oberseitig mit Schüttung gedämmt

Beschreibung:

Die thermische Sanierung erfolgt durch eine Innendämmung, sowohl im Außenwand- als auch im Kellerdeckenbereich.

- Von Vorteil ist der wärmebrückenfreie Anschluss der vertikalen mit der horizontalen Dämmebene
- Durch die Innendämmung werden die Temperaturen der Tragstruktur im Winterhalbjahr deutlich abgesenkt, dem Feuchteverhalten von Außenwand und Kellerdecke ist daher hohe Aufmerksamkeit zu schenken.
- Durch die Wärmedämmung der Kellerdecke wird die Temperatur im Keller abgesenkt und ohne begleitende Maßnahmen die relative Feuchte im Keller erhöht.

Sanierung: Außenwand mit Innendämmung, Kellerdecke oberseitig mit Schüttung gedämmt



Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*74*	*cm*
Kalkputz				*1,5*	*cm*
Klebespachtel				*0,02*	*cm*
Calciumsilikat-Dämmplatte				*5*	*cm*
Kalkputz				*1*	*cm*
U-Wert	0,39	[W/m²K]	Σ	84,0	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schafwolle, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Holzfaser-Dämmplatte				*2*	*cm*
Perlite expandiert, verdichtet				*8*	*cm*
Ziegelgewölbe, schmalste Stelle				*14*	*cm*
U-Wert	0,26	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

① *Außenputz hydrophobiert*
② *Strömungsdicht verklebt*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,117*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*-0,138*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,84*	-

Eignung:

- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit und Schadsalze geeignet
- Wenn eindringende Feuchte von außen (Schlagregen) sicher ausgeschlossen werden kann (Hydrophobierung)
- Wenn außenseitige Sanierung nicht möglich ist (Denkmalschutz etc.).

Ausführungshinweise:

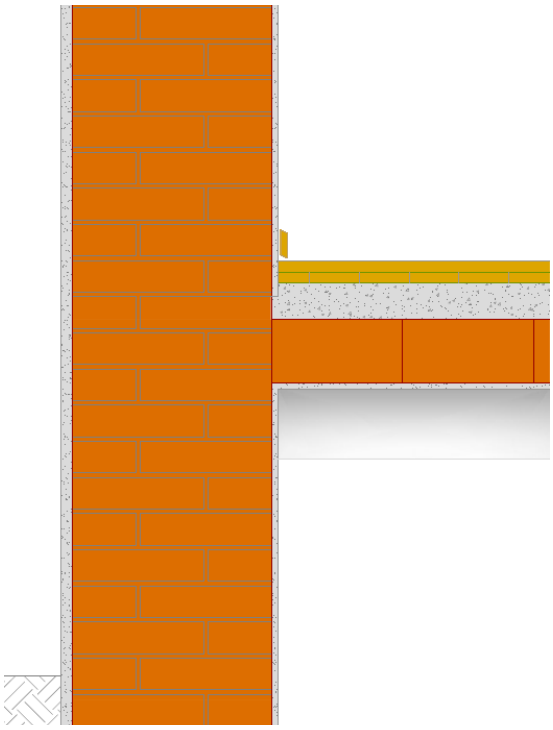
- Bestehenden Fußbodenaufbau und Schüttung entfernen
- Den Innenputz des Bestandes als luftdichte Ebene bis Rohdecke führen, wenn nur in Teilen vorhanden
- Perliteschüttung einbringen, verdichten, Holzfaserplatte auflegen
- Dampfbremse verlegen, mit Innenputz strömungsdicht verbinden
- Einsatz einer intelligenten Lüftung, insbesondere bei hohen Anforderungen an die Lagerqualität des Kellers prüfen (siehe Kapitel Kellerklima, Haustechnik)

Diskussion:

Innendämmungen vor allem im Außenwandbereich nur bei nachgewiesener Eignung realisieren (siehe Kapitel Innendämmung von Außenwänden). Vor allem für „trockene“ Keller mit Feuchtereserven geeignet, an deren Feuchteverhalten keine hohen Anforderungen gestellt werden.

3.4.7.2 Außenwand Vollziegel Innendämmung, Kappendecke, unterseitig gedämmt

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – Kellerdecke



Außenwandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*6*	*cm*
Ziegelgewölbe, schmalste Stelle				*14*	*cm*
Kalkputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,93	[W/m²K]	Σ	31,5	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,239*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*-0,385*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,64*	*-*

Charakterisierung Bestand:

- Aufsteigende Feuchtigkeit, Salze?
- Nutzung des Kellers: Lagerraum, ungenutzt?
- Art Oberfläche Erdreich: Gras, Kies, Gehsteig dicht; geneigt nach außen?

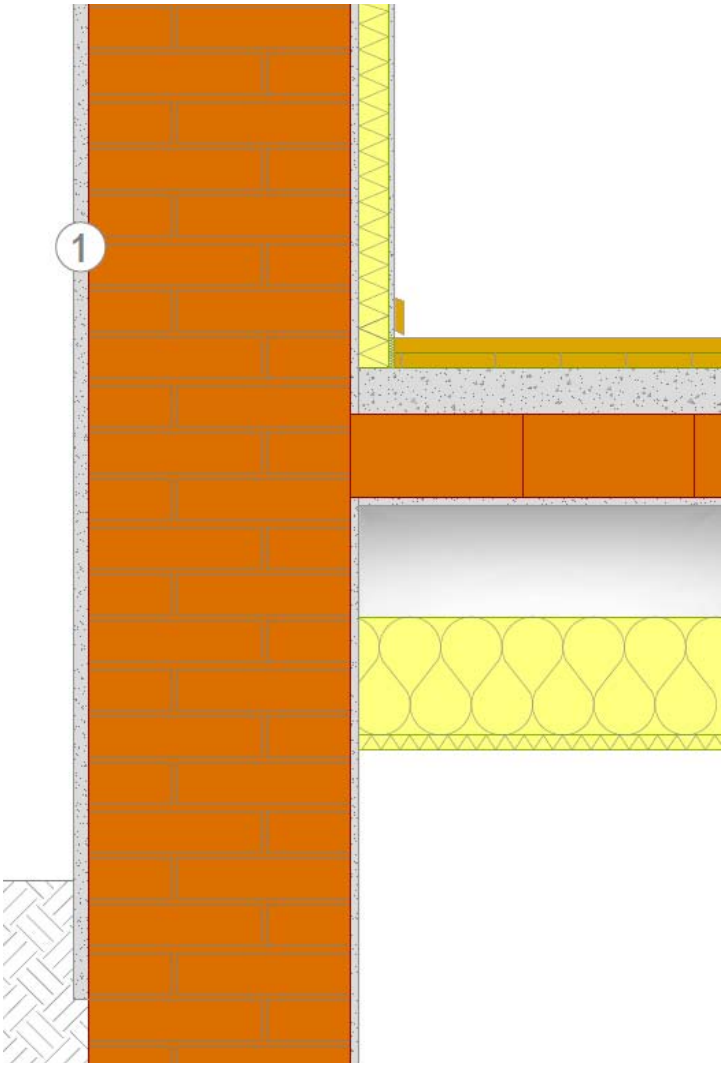
Sanierung Außenwand Vollziegel Innendämmung, Kellerdecke unterseitig gedämmt

Beschreibung:

Die thermische Sanierung erfolgt durch eine Innendämmung an der Außenwand und eine unterseitige Dämmung der Kellerdecke. Durchgängige luftdichte Ebene ist der Außenputz und der unterseitige Putz der Kellerdecke, ein direkter strömungsdichter Anschluss ist nicht möglich.

- Von Vorteil ist die Erhaltung des bestehenden Fußbodens.
- Durch die Wärmedämmung der Kellerdecke wird die Temperatur im Keller abgesenkt und, ohne begleitende Maßnahmen, die relative Feuchte im Keller erhöht.
- Die Wärmebrückenwirkung im Sockelbereich ist hoch.

Sanierung: Außenwand Vollziegel Innendämmung, Kellerdecke unterseitig gedämmt



Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz				*1,5*	*cm*
Klebespachtel				*0,02*	*cm*
Calciumsilikat-Dämmplatte				*5*	*cm*
Kalkputz				*1*	*cm*
U-Wert	0,47	[W/m²K]	Σ	54,0	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*6*	*cm*
Ziegelgewölbe, schmalster Stelle				*14*	*cm*
Kalkputz				*1,5*	*cm*
Teilweise Hohlraum zwischen Kappen					
Glaswolle MW-W Dämmfilz				*20*	*cm*
Holzwolleleichtbauplatte				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,15	[W/m²K]	Σ	54,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,021*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*-0,066*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,76*	*-*

Eignung:

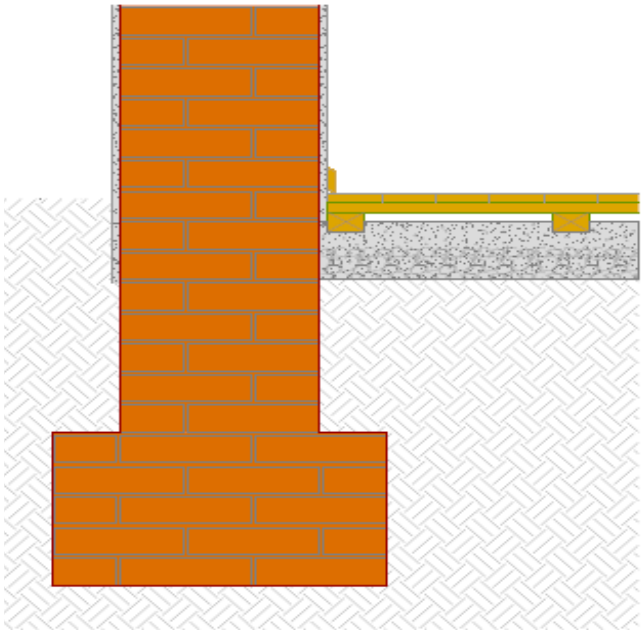
- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit und Schadsalze geeignet
- Wenn eindringende Feuchte von außen (Schlagregen) sicher ausgeschlossen werden kann (Hydrophobierung)
- Wenn außenseitige Sanierung nicht möglich (Denkmalschutz etc.).

Ausführungshinweise:

- Bestehenden Außenputz gegen eindringende Feuchtigkeit (Schlagregen) schützen, Risse etc. schließen
- Innenputz ausbessern, wenn erforderlich, Dämmstoff vollflächig aufkleben und spachteln/verputzen
- Risse und Fehlstellen in unterseitigem Kellerdeckenputz schließen
- Einsatz einer intelligenten Lüftung, insbesondere bei hohen Anforderungen an die Lagerqualität des Kellers prüfen (siehe Kapitel Kellerklima, Haustechnik)

3.4.7.3 Außenwand mit Innendämmung, erdberührter Fußboden, oberseitig gedämmt

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – erdberührter Fußboden



Außenwandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

Bodenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*10*	*cm*
Erdreich					*cm*
U-Wert	1,35	[W/m²K]	Σ	20,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,310*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,66*	-

Charakterisierung Bestand:

- Aufsteigende Feuchtigkeit, aufsteigende Salze?
- Art Oberfläche Erdreich: Gras, Kies, Gehsteig dicht; geneigt nach außen?

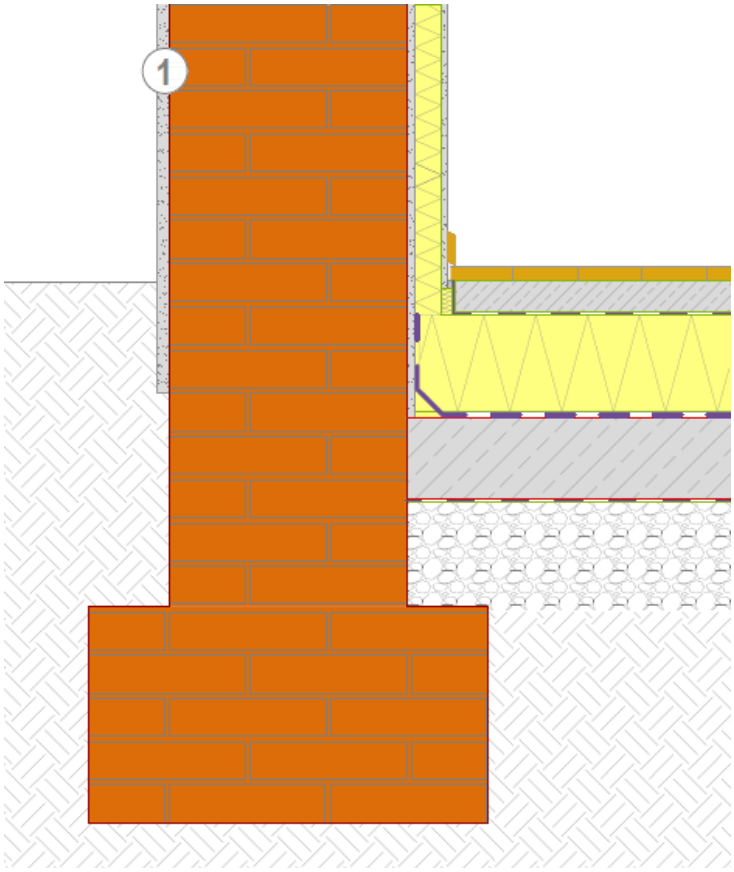
Sanierung Außenwand mit Innendämmung, erdberührter Fußboden oberseitig gedämmt

Beschreibung:

Die thermische Sanierung erfolgt durch eine Innendämmung sowohl im Außenwand- als auch im Fußbodenbereich.

- Von Vorteil ist der wärmebrückenfreie Anschluss der vertikalen mit der horizontalen Dämmebene
- Durch die Innendämmung werden die Temperaturen der Tragstruktur im Winterhalbjahr deutlich abgesenkt, dem Feuchteverhalten von Außenwand und Kellerdecke ist daher hohe Aufmerksamkeit zu schenken.

Sanierung: Außenwand mit Innendämmung, erdberührter Fußboden oberseitig gedämmt



Wandaufbau				
Kalkputz, außen			*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk			*44*	*cm*
Kalkputz			*1,5*	*cm*
Klebespachtel			*0,02*	*cm*
Calciumsilikat-Dämmplatte			*5*	*cm*
Kalkputz			*1*	*cm*
U-Wert	0,47	[W/m²K]	Σ 54,0	cm

Bodenaufbau				
Bodenbelag			*2,5*	*cm*
Estrichbeton			*6*	*cm*
PE-Weichschaum, Stöße abgeklebt			*0,5*	*cm*
EPS-W25			*18*	*cm*
Polymerbitumen-Abdichtung			*0,02*	*cm*
Betonplatte			*15*	*cm*
Trennlage			*0,02*	*cm*
Rollierung			*20*	*cm*
U-Wert	0,20	[W/m²K]	Σ 62,0	cm

① *Außenputz hydrophobiert*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,025*	*W/mK*
f_{RSi} - 1m	*0,86*	*-*

Eignung:

- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit und Schadsalze
- Wenn Erdgeschoßwohnung für Sanierung geräumt werden kann
- Wenn eindringende Feuchte von außen (Schlagregen) sicher ausgeschlossen werden kann (Hydrophobierung)
- Wenn außenseitige Sanierung nicht möglich ist (Denkmalschutz etc.).

Ausführungshinweise:

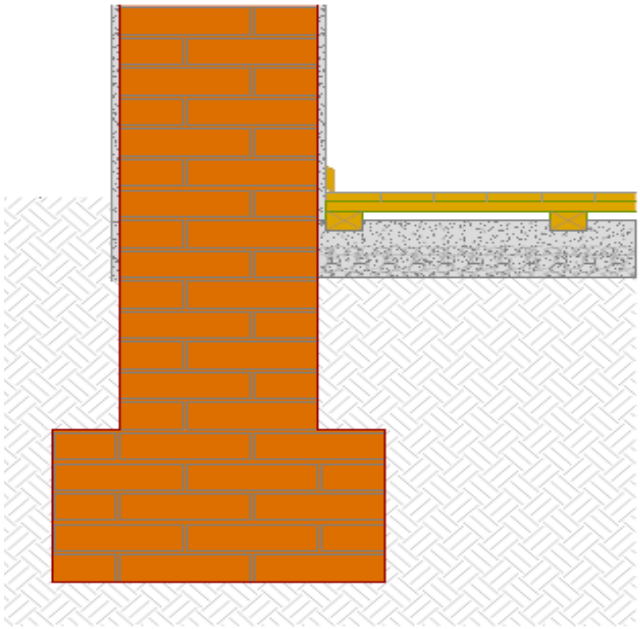
- Entfernung des Bestandsbodens, bis zu gewünschter Tiefe auskoffern
- Rollierung einbringen, U-Beton auf Trennlage ausführen
- Den Innenputz des Bestandes als luftdichte Ebene bis Rohdecke führen, wenn nur in Teilen vorhanden
- Abdichtung vollflächig aufbringen, an Innenputz luftdicht anschließen
- Innendämmung vollflächig auf Bestand verkleben

Diskussion:

Wenn versiegelte Oberfläche (z.B. Gehsteig) im Außenbereich direkt (ohne Drainageschicht) an Außenwand anschließt: Fläche mit Gefälle vom Haus weg ausbilden

3.4.7.4 Außenwand mit Innendämmung, erdberührter Fußboden unterseitig gedämmt

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – erdberührter Fußboden



Außenwandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

Bodenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*10*	*cm*
Erdreich					*cm*
U-Wert	1,35	[W/m²K]	Σ	20,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,310*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,66*	*-*

Charakterisierung Bestand:

- Aufsteigende Feuchtigkeit, aufsteigende Salze?
- Art Oberfläche Erdreich: Gras, Kies, Gehsteig dicht; geneigt nach außen?

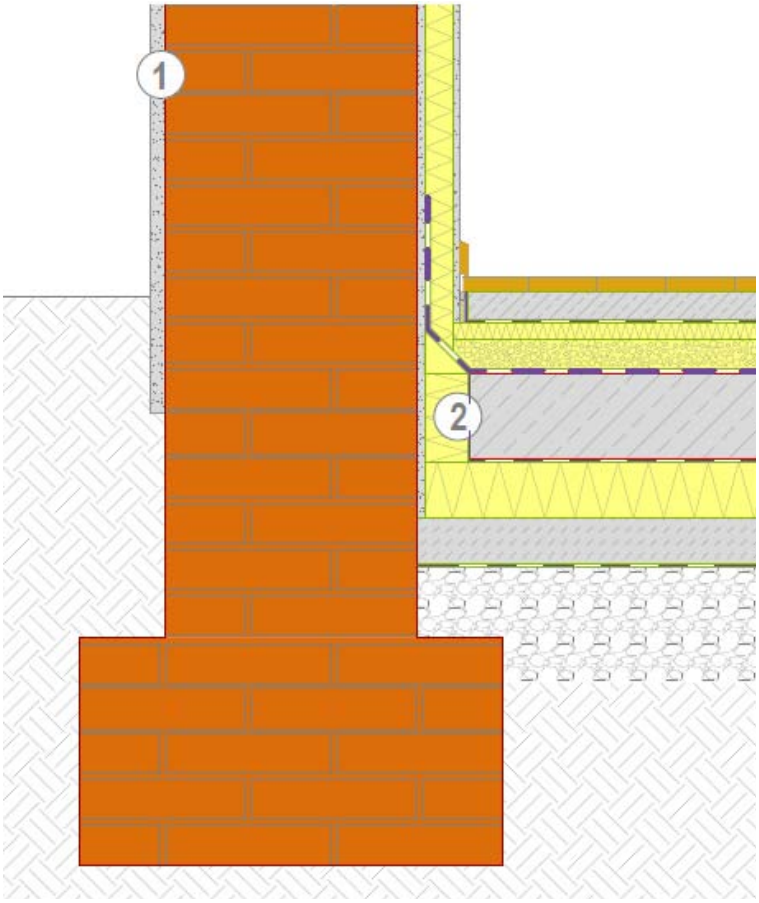
Sanierung Außenwand mit Innendämmung, erdberührter Fußboden unterseitig gedämmt

Beschreibung:

Die thermische Sanierung erfolgt durch eine Innendämmung der Außenwand und eine unterseitige Dämmung des erdberührten Fußbodens

- Von Vorteil ist das Feuchteverhalten der Fußbodenkonstruktion: Die Installationen können warmseitig verlegt werden, die Abdichtung liegt im warmen Bereich
- Der Anschluss ist durch den direkten Anschluss der vertikalen mit der horizontalen Dämmebene annähernd wärmebrückenfrei
- Durch die Innendämmung werden die Temperaturen der Tragstruktur im Winterhalbjahr deutlich abgesenkt, dem Feuchteverhalten von Außenwand und Kellerdecke ist daher hohe Aufmerksamkeit zu schenken.

Sanierung: Außenwand mit Innendämmung, erdberührter Fußboden unterseitig gedämmt



Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz				*1,5*	*cm*
Klebespachtel				*0,02*	*cm*
Calciumsilikat-Dämmplatte				*5*	*cm*
Kalkputz				*1*	*cm*
U-Wert	0,48	[W/m²K]	Σ	54,0	cm

Bodenaufbau					
Bodenbelag				*2,5*	*cm*
Zementestrich				*5*	*cm*
PE-Folie				*0,02*	*cm*
EPS-Trittschalldämmplatte				*3*	*cm*
EPS-Schüttung, zementgebunden				*5*	*cm*
Abdichtung				*0,02*	*cm*
Betonplatte				*15*	*cm*
Trennlage				*0,02*	*cm*
XPS mit Stufenfalz				*10*	*cm*
Magerbeton/ Sauberkeitsschicht				*8*	*Cm*
Trennlage				*0,02*	*cm*
U-Wert	0,22	[W/m²K]	Σ	48,6	cm

① *Außenputz hydrophobiert*
② *XPS*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,200*	*W/mK*
f_{RSi} - 1m	*0,82*	*-*

Eignung:

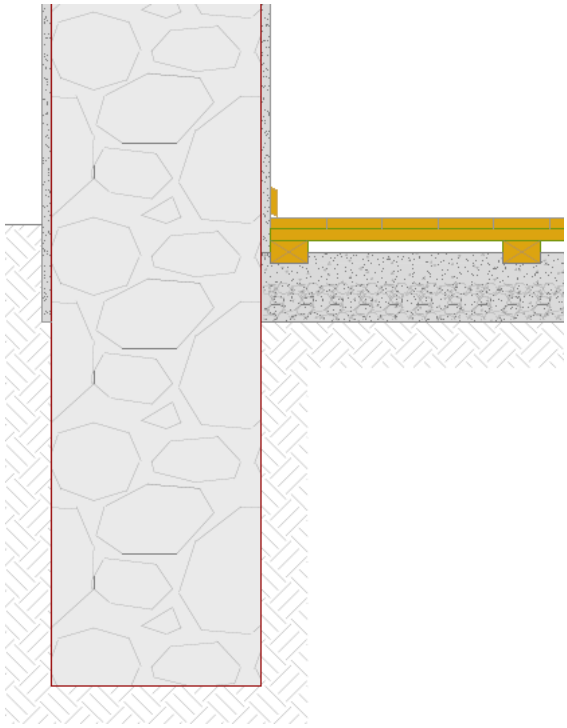
- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit und Schadsalze
- Wenn Erdgeschoßwohnung für Sanierung geräumt werden kann
- Wenn eindringende Feuchte von außen (Schlagregen) sicher ausgeschlossen werden kann (Hydrophobierung)
- Wenn außenseitige Sanierung nicht möglich ist (Denkmalschutz etc.).

Ausführungshinweise:

- Entfernung des Bestandsbodens, bis zu gewünschter Tiefe auskoffern
- Rollierung einbringen, Sauberkeitsschicht auf Trennlage ausführen
- Den Innenputz des Bestandes als luftdichte Ebene bis Sauberkeitsschicht führen, druckfeste und feuchteunempfindliche Wärmedämmung auflegen, Betonplatte gießen
- Abdichtung vollflächig aufbringen, an Innenputz luftdicht anschließen
- Innendämmung vollflächig auf Bestand verkleben

3.4.7.5 Außenwand Kalkstein mit Innendämmung, erdberührter Fußboden, unterseitig gedämmt

Bestand: Außenwand Kalkstein verputzt – erdberührter Fußboden



Außenwandaufbau					
Kalkputz, außen				*2*	*cm*
Kalksteinmauerwerk				*45*	*cm*
Kalkputz, innen				*2*	*cm*
U-Wert	2,23	[W/m²K]	Σ	49,0	cm

Bodenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*10*	*cm*
Erdreich					*cm*
U-Wert	1,35	[W/m²K]	Σ	20,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,440*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,51*	*-*

Charakterisierung Bestand:

- Aufsteigende Feuchtigkeit, Salze?
- Art Oberfläche Erdreich: Gras, Kies, Gehsteig dicht; geneigt nach außen?

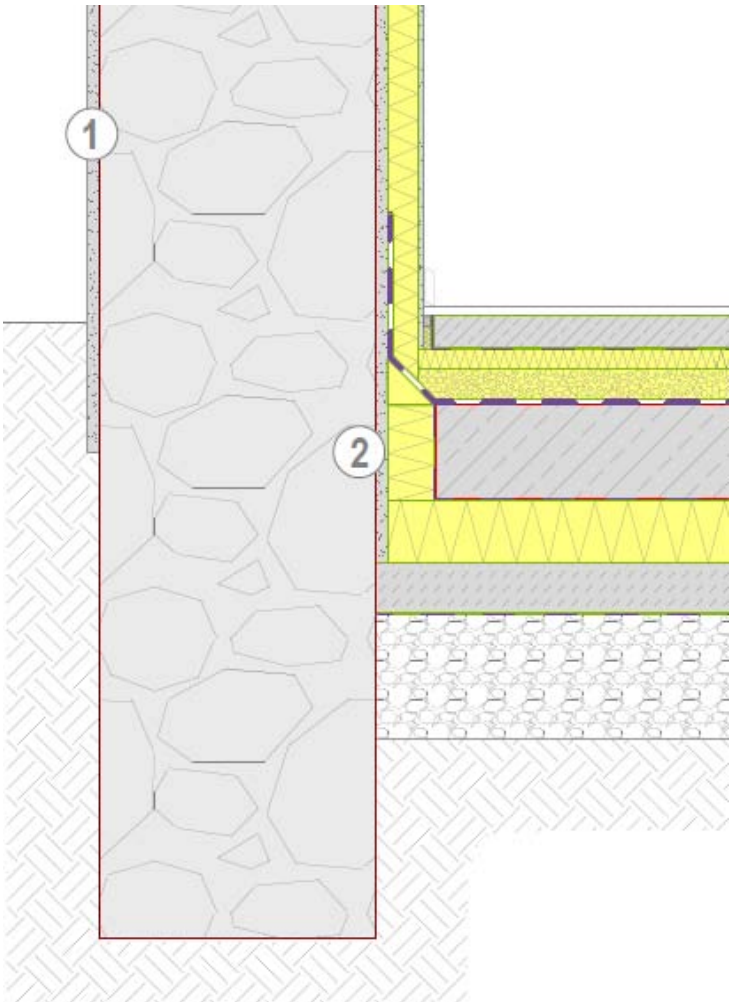
Sanierung Außenwand mit Innendämmung, erdberührter Fußboden, unterseitig gedämmt

Beschreibung:

Die thermische Sanierung erfolgt durch eine Innendämmung der Außenwand und eine unterseitige Dämmung des erdberührten Fußbodens

- Von Vorteil ist das Feuchteverhalten der Fußbodenkonstruktion: Die Installationen können warmseitig verlegt werden, die Abdichtung liegt im warmen Bereich
- Der Anschluss ist durch den direkten Anschluss der vertikalen mit der horizontalen Dämmebene annähernd wärmebrückenfrei
- Durch die Innendämmung werden die Temperaturen der Tragstruktur im Winterhalbjahr deutlich abgesenkt, dem Feuchteverhalten von Außenwand und Kellerdecke ist daher hohe Aufmerksamkeit zu schenken. Dies gilt vor allem wegen der hohen Wärmeleitfähigkeit des Kalksteinmauerwerks.

Sanierung: Außenwand Kalkstein mit Innendämmung, erdberührter Fußboden unterseitig gedämmt



Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2*	*cm*
Kalksteinmauerwerk				*45*	*cm*
Kalkputz				*2*	*cm*
Klebespachtel				*0,02*	*cm*
Calciumsilikat-Dämmplatte				*5*	*cm*
Kalkputz				*1*	*cm*
U-Wert	0,51	[W/m²K]	Σ	55,0	cm

Bodenaufbau					
Fliesen				*1,5*	*cm*
Zementestrich				*5*	*cm*
PE-Folie				*0,02*	*cm*
EPS-Trittschalldämmplatte				*3*	*cm*
EPS-Schüttung, zementgebunden				*5*	*cm*
Abdichtung				*0,3*	*cm*
Betonplatte				*15*	*cm*
Trennlage				*0,02*	*cm*
XPS mit Stufenfalz				*10*	*cm*
Magerbeton/ Sauberkeitsschicht				*8*	*Cm*
Trennlage				*0,02*	*cm*
U-Wert	0,23	[W/m²K]	Σ	47,9	cm

① *Außenputz hydrophobiert*
② *XPS*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,092*	*W/mK*
f_{RSi} - 1m	*0,82*	*-*

Eignung:

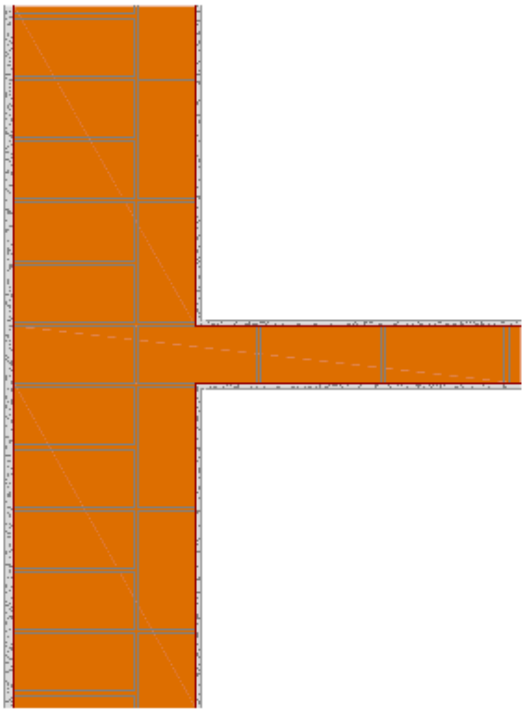
- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit und Schadsalze
- Wenn Erdgeschoßwohnung für Sanierung geräumt werden kann
- Wenn eindringende Feuchte von außen (Schlagregen) sicher ausgeschlossen werden kann (Hydrophobierung)
- Wenn außenseitige Sanierung nicht möglich ist (Denkmalschutz etc.).

Ausführungshinweise:

- Entfernung des Bestandsbodens, bis zu gewünschter Tiefe auskoffern
- Rollierung einbringen, Sauberkeitsschicht auf Trennlage ausführen
- den Innenputz des Bestandes als luftdichte Ebene bis Sauberkeitsschicht führen, druckfeste und feuchteunempfindliche Wärmedämmung auflegen, Betonplatte gießen
- Abdichtung vollflächig aufbringen, an Innenputz luftdicht anschließen
- Innendämmung vollflächig auf Bestand verkleben

3.4.7.6 Außenwand mit Innendämmung, Innenwand Halsdämmung 0,5 m

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – Innenwand Vollziegel verputzt



Außenwandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

Innenwandaufbau					
Kalkputz				*1,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*14*	*cm*
Kalkputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,99	[W/m²K]	Σ	17,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,002*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,74*	-

Charakterisierung Bestand:

- Aufsteigende Feuchtigkeit, Salze im Erdgeschoß
- Wohnungstrennwand?

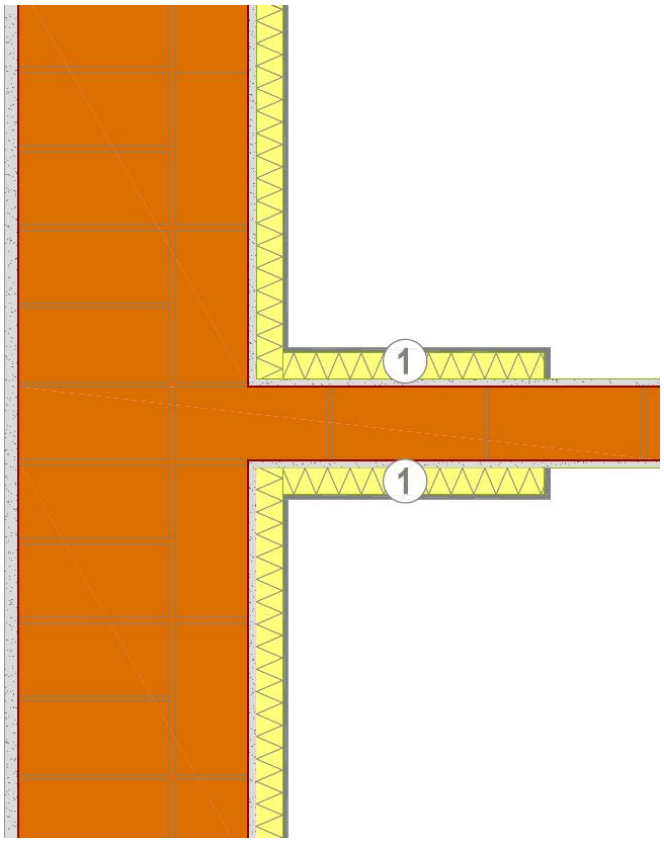
Sanierung Außenwand mit Innendämmung, Innenwand Halsdämmung 0,5 m

Beschreibung:

Die thermische Sanierung erfolgt durch eine Innendämmung und eine Halsdämmung der Innenwand.

- Durch die Innendämmung werden die Temperaturen der Tragstruktur im Winterhalbjahr deutlich abgesenkt, dem Feuchteverhalten von Außenwand und Kellerdecke ist daher hohe Aufmerksamkeit zu schenken
- Durch die Halsdämmung kann das Schimmelpilzrisiko und der Wärmebrückenverlust deutlich reduziert werden

Sanierung: Außenwand mit Innendämmung, Innenwand Halsdämmung 0,5 m



Außenwandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz				*1,5*	*cm*
Klebespachtel				*0,2*	*cm*
Calciumsilikat-Dämmplatte				*5*	*cm*
Kalkputz				*1*	*cm*
U-Wert	0,35	[W/m²K]	Σ	54,2	cm

Innenwandaufbau					
Kalkputz				*1,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*14*	*cm*
Kalkputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,99	[W/m²K]	Σ	17,0	cm

① *Halsdämmung Calciumsilikat-Dämmplatte 5 cm stark und 50 cm breit*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen – 0,5 m Halsdämmung	*0,035*	*W/mK*
f_{RSi} – 0,5 m Halsdämmung	*0,93*	*-*
Ψ-Wert innen / außen – 1,0 m Halsdämmung	*0,028*	*W/mK*
f_{RSi} – 1,0 m Halsdämmung	*0,88*	*-*

Eignung:

- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit und Schadsalze (Erdgeschoß)
- Wenn eindringende Feuchte von außen (Schlagregen) sicher ausgeschlossen werden kann (Hydrophobierung)
- Wenn außenseitige Sanierung nicht möglich ist (Denkmalschutz etc.).

Ausführungshinweise:

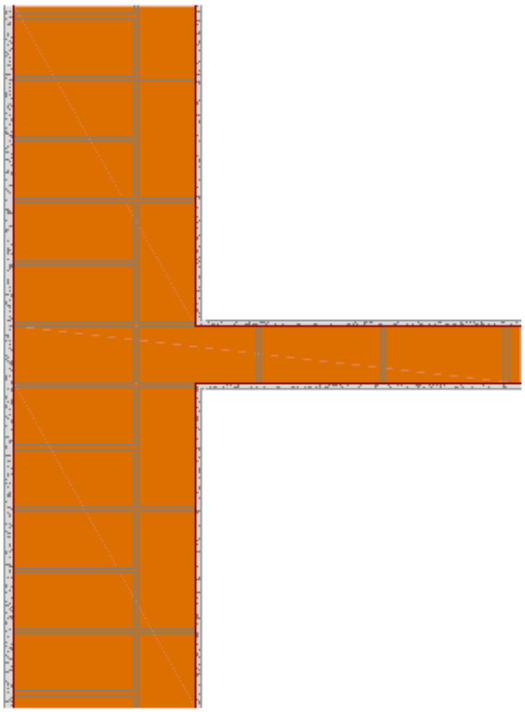
- Innenputz gegebenenfalls ausbessern und Unebenheiten ausgleichen
- Dämmplatten vollflächig verkleben, Innenputz neu an Innenputz alt dauerhaft strömungsdicht anschließen
- Einsatz einer Komfortlüftung mit Abluftüberschuss prüfen (siehe Kapitel Haustechnik)

Diskussion:

Innendämmungen vor allem im Außenwandbereich nur bei nachgewiesener Eignung realisieren (siehe Kapitel Innendämmung von Außenwänden). Die Tiefe der Halsdämmung ist mit 0,5 m ausreichend. Eine Integration der entstehenden Kante in das Möblierungskonzept hilft mechanische Schäden an der Kante zu vermeiden.

3.4.7.7 Außenwand mit Innendämmung, Innenwand Halsdämmung 0,5 m, abgeschrägt

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – Innenwand Vollziegel verputzt



Außenwandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

Innenwandaufbau					
Kalkputz				*1,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*14*	*cm*
Kalkputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,99	[W/m²K]	Σ	17,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,002*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,74*	-

Charakterisierung Bestand:

- Aufsteigende Feuchtigkeit, Salze im Erdgeschoß
- Wohnungstrennwand

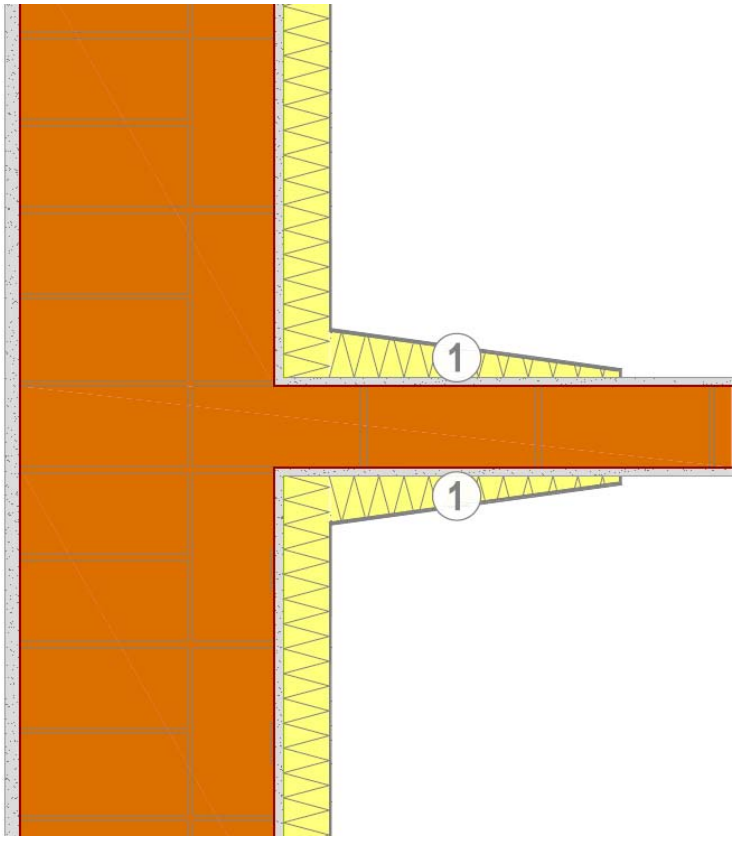
Sanierung Außenwand mit Innendämmung, Innenwand Halsdämmung 0,5 m, abgeschrägt

Beschreibung:

Die thermische Sanierung erfolgt durch eine Innendämmung und eine Halsdämmung der Innenwand.

- Durch die Innendämmung werden die Temperaturen der Tragstruktur im Winterhalbjahr deutlich abgesenkt, dem Feuchteverhalten von Außenwand und Kellerdecke ist daher hohe Aufmerksamkeit zu schenken
- Durch die Halsdämmung können das Schimmelpilzrisiko und die Wärmebrückenwirkung deutlich reduziert werden

Sanierung: Außenwand mit Innendämmung, Innenwand Halsdämmung 0,5 m, abgeschrägt



Außenwandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz				*1,5*	*cm*
Klebespachtel				*0,2*	*cm*
Calciumsilikat-Dämmplatte				*5*	*cm*
Kalkputz				*1*	*cm*
U-Wert	0,48	[W/m²K]	Σ	54,2	cm

Innenwandaufbau					
Kalkputz				*1,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*14*	*cm*
Kalkputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,99	[W/m²K]	Σ	17,0	cm

① *Halsdämmung Calciumsilikat-Dämmplatte 50 cm breit*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,078*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,93*	-

Eignung:

- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit und Schadsalze (Erdgeschoß)
- Wenn eindringende Feuchte von außen (Schlagregen) sicher ausgeschlossen werden kann (Hydrophobierung)
- Wenn außenseitige Sanierung nicht möglich ist (Denkmalschutz etc.)

Ausführungshinweise:

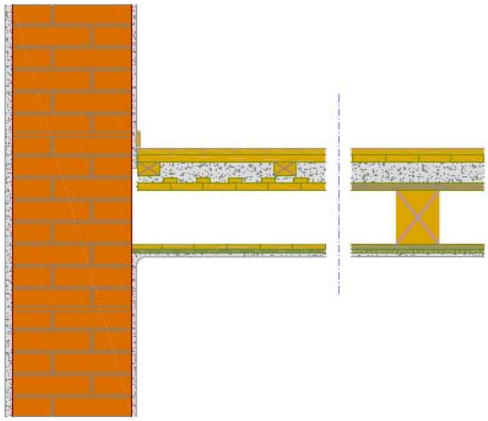
- Innenputz gegebenenfalls ausbessern und Unebenheiten ausgleichen
- Dämmplatten vollflächig verkleben, Innenputz neu an Innenputz alt dauerhaft strömungsdicht anschließen.
- Einsatz einer Komfortlüftung mit Abluftüberschuss prüfen (siehe Kapitel Haustechnik)

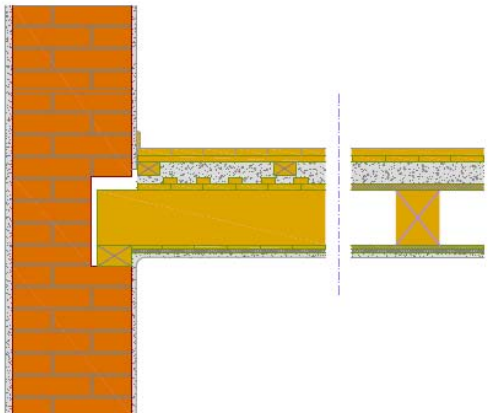
Diskussion:

Innendämmungen vor allem im Außenwandbereich nur bei nachgewiesener Eignung realisieren (siehe Kapitel Innendämmung von Außenwänden). Durch die Abschrägung werden mechanische Schäden an der Kante vermieden.

3.4.7.8 Außenwand Vollziegel mit kapillarleitfähiger Innendämmung – Geschoßdecke Holzträme

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – Geschoßdecke Holzträme





Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*2,5*	*cm*
Holzschalung				*2,5*	*cm*
Luftraum, Holzträme				*20*	*cm*
Holzschalung				*1,5*	*cm*
Stukkatur				*1,5*	*cm*
Kalkputz, innen				*1*	*cm*
U-Wert	0,82	[W/m²K]	Σ	39,0	cm

2-dimensionaler Kennwert		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,054*	*W/mK*
3-dimensionale Kennwerte		
χ-Wert innen / außen	*-0,020*	*W/K*
f_{RSi}	*0,71*	*-*

Charakterisierung Bestand:

- Wasserhemmendes Putzsystem außen?
- Risse vorhanden?

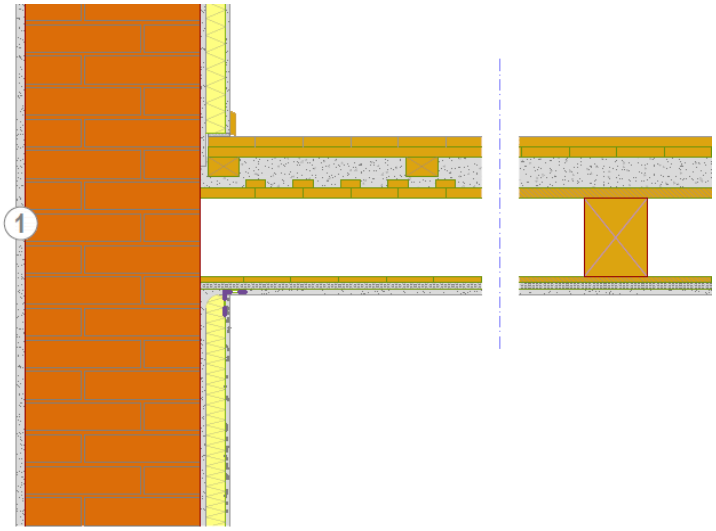
Sanierung Außenwand Vollziegel mit kapillarleitfähiger Innendämmung – Geschoßdecke Holzträme

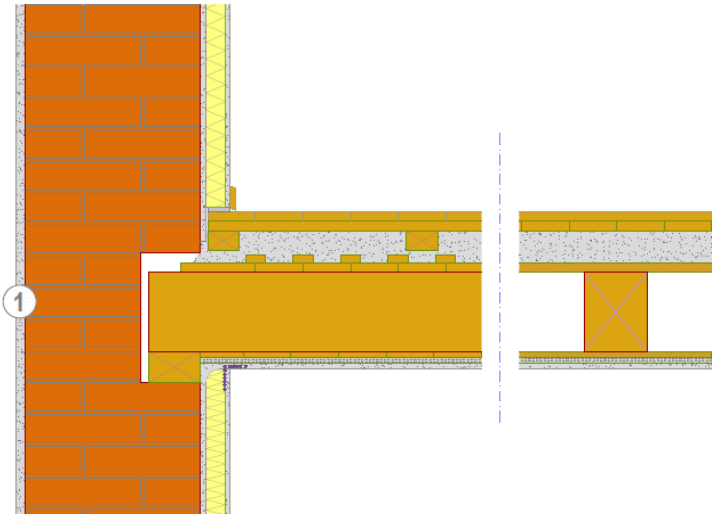
Beschreibung:

Die thermische Sanierung erfolgt durch eine Innendämmung an der Außenwand.

- Die Decken- und Fußbodenkonstruktion bleibt gemäß Bestand bestehen. Eine lückenlose Verbindung der luftdichten Ebenen ist nicht möglich.
- Daher ist eine Komfortlüftung, die im Unterdruck betrieben wird, jedenfalls erforderlich (siehe Kapitel Haustechnik)
- Durch das Belassen des Anschlusses im Deckenbereich ist der Wärmeschutz in diesem Bereich reduziert, daher erhöht sich die Temperatur am Balkenkopf im Vergleich zu einer durchgängigen Dämmung
- Für die Planung ist jedenfalls eine dynamische Feuchtesimulation durch eine erfahrene Bauphysikerin erforderlich, die die vorhandenen Rahmenbedingungen berücksichtigt!

Sanierung: Außenwand Vollziegel mit kapillarleitfähiger Innendämmung – Geschoßdecke Holzträme





Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz				*1,5*	*cm*
Klebespachtel				*0,2*	*cm*
Calciumsilikat-Dämmplatte				*5*	*cm*
Kalkputz				*1*	*cm*
U-Wert	0,48	[W/m²K]	Σ	54,2	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*2,5*	*cm*
Holzschalung				*2,5*	*cm*
Luftraum, Holzträme				*20*	*cm*
Holzschalung				*1,5*	*cm*
Stukkatur				*1,5*	*cm*
Kalkputz, innen				*1*	*cm*
U-Wert	0,82	[W/m²K]	Σ	39,0	cm

① *Außenputz hydrophobiert*

2-dimensionaler Kennwert		
Ψ-Wert innen / außen	*0,235*	*W/mK*
3-dimensionale Kennwerte		
χ-Wert innen / außen	*-0,028*	*W/K*
f_{RSi}	*0,75*	*-*

Eignung:

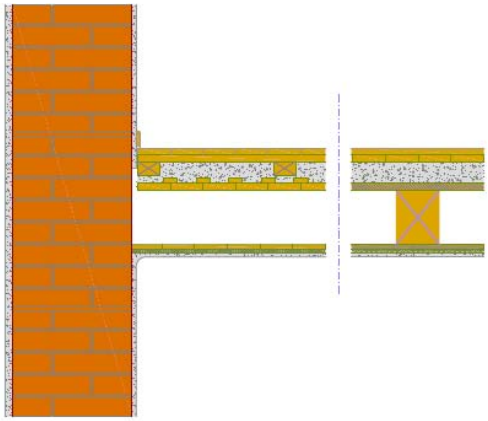
- Wenn eindringende Feuchte von außen (Schlagregen) sicher ausgeschlossen werden kann (Hydrophobierung diffusionsoffen, Schließen aller Risse)
- Wenn außenseitige Sanierung nicht möglich ist (Denkmalschutz etc.).
- Für wohnungsweise Sanierung
- Wenn Planungs- und Ausführungsempfehlungen aus dem vorigen Kapitel beherzigt werden

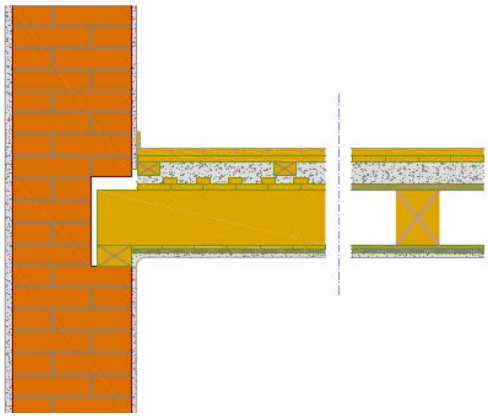
Ausführungshinweise:

- Außenputz ausbessern, mit diffusionsoffener, wasserhemmender Beschichtung versehen
- Risse am Innenputz schließen, im Fußbereich an Parkettboden mit diffusionsoffenem Band strömungsdicht anschließen. Ebenheit herstellen, wenn erforderlich.
- Kapillar leitfähige Platten vollflächig verkleben, verputzen oder verspachteln. Kompriband oder weichen Dämmstreifen im Aufstandbereich einlegen und luftdicht an Parkettboden verkleben.

3.4.7.9 Außenwand Vollziegel mit Innendämmung durch Vorsatzschale – Geschoßdecke Holzträme

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – Geschoßdecke Holzträme





Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*2,5*	*cm*
Holzschalung				*2,5*	*cm*
Luftraum, Holzträme				*20*	*cm*
Holzschalung				*1,5*	*cm*
Stukkatur				*1,5*	*cm*
Kalkputz, innen				*1*	*cm*
U-Wert	0,82	[W/m²K]	Σ	39,0	cm

2-dimensionaler Kennwert		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,054*	*W/mK*
3-dimensionale Kennwerte		
χ-Wert innen / außen	*-0,020*	*W/K*
f_{RSi}	*0,71*	*-*

Charakterisierung Bestand:

- Wasserhemmendes Putzsystem außen?
- Risse vorhanden?
- Außenwände „trocken“?

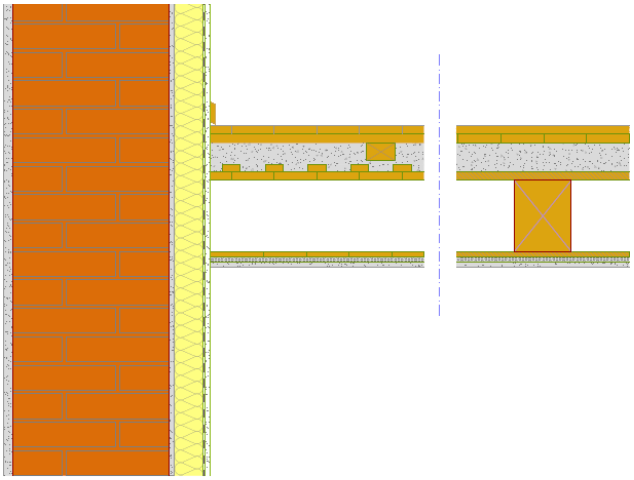
Sanierung Außenwand Vollziegel mit Innendämmung durch Vorsatzschale – Geschoßdecke Holzträme

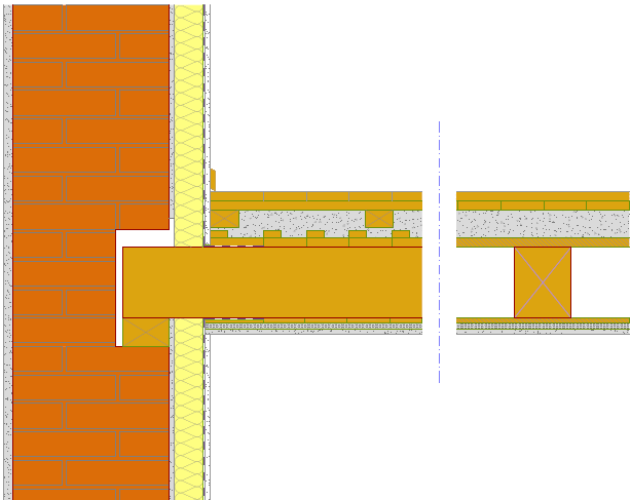
Beschreibung:

Die thermische Sanierung erfolgt durch eine Innendämmung an der Außenwand.

- Eindringende Feuchtigkeit von außen muss sicher ausgeschlossen werden.
- Die Decke wird im Randbereich geöffnet, die Wärmedämmung durchgezogen, die Dampfbremse wird strömungsdicht an die Holzbalken angeschlossen
- Eine Komfortlüftung, die im Unterdruck betrieben wird, ist von Vorteil, auf eine Feuchterückgewinnung muss verzichtet werden (siehe Kapitel Haustechnik)
- Innendämmungen vor allem im Außenwandbereich nur bei nachgewiesener Eignung realisieren (siehe Kapitel Innendämmung von Außenwänden). Für die Planung wird das Beiziehen einer erfahrenen Bauphysikerin dringend empfohlen!

Sanierung: Außenwand Vollziegel mit Innendämmung durch Vorsatzschale – Geschoßdecke Holzträme





Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz				*1,5*	*cm*
Ausgleichsschicht				*0,2*	*cm*
Zellulose				*8*	*cm*
Gipsfaserplatte				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,40	[W/m²K]	Σ	57,7	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*2,5*	*cm*
Holzschalung				*2,5*	*cm*
Luftraum, Holzträme				*20*	*cm*
Holzschalung				*1,5*	*cm*
Stukkatur				*1,5*	*cm*
Kalkputz, innen				*1*	*cm*
U-Wert	0,82	[W/m²K]	Σ	39,0	cm

2-dimensionaler Kennwert		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,006*	*W/mK*
3-dimensionale Kennwerte		
χ-Wert innen / außen	*0,003*	*W/K*
f_{RSi}	*0,90*	*-*

Eignung:

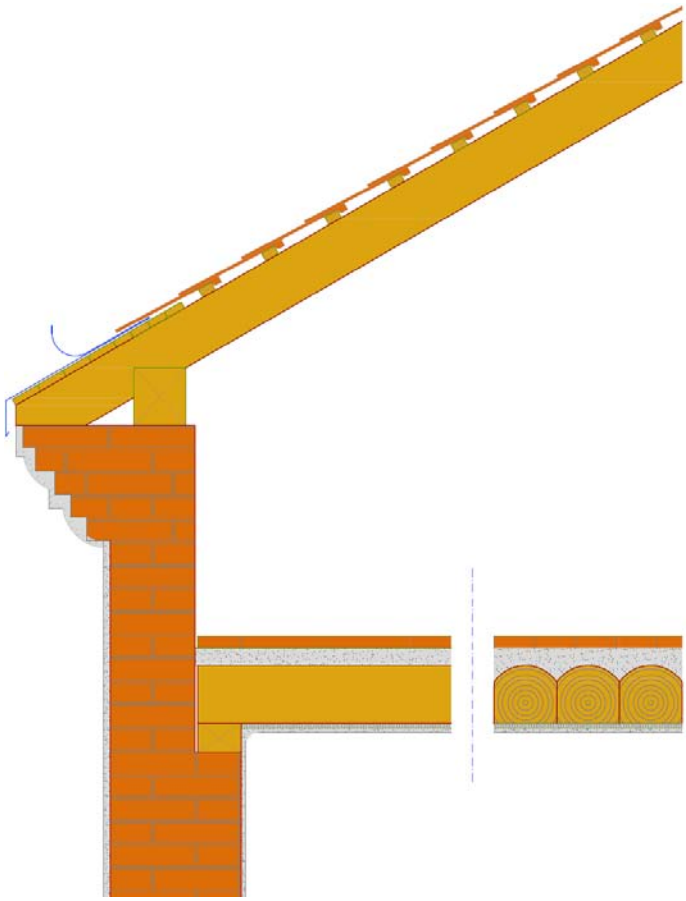
- Wenn eindringende Feuchte von außen (Schlagregen) sicher ausgeschlossen werden kann (Hydrophobierung diffusionsoffen, Schließen aller Risse)
- Wenn außenseitige Sanierung nicht möglich ist (Denkmalschutz etc.)
- Für wohnungsweise Sanierung nicht geeignet
- Wenn Planungs- und Ausführungsempfehlungen aus dem vorigen Kapitel beherzigt werden

Ausführungshinweise:

- Außenputz ausbessern, mit diffusionsoffener, wasserhemmender Beschichtung versehen
- Risse am Innenputz schließen, im Fußbereich an Parkettboden mit diffusionsoffenem Band strömungsdicht anschließen. Ebenheit herstellen, wenn erforderlich.
- Kapillarleitfähige Platten vollflächig verkleben, verputzen oder verspachteln. Kompriband oder weichen Dämmstreifen im Aufstandbereich einlegen und luftdicht an Parkettboden verkleben.

3.4.7.10 Außenwand mit kapillarleitfähiger Innendämmung, oberste Geschoßdecke Perlite

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – Dippelbaumdecke – Ziegeldach



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung 3/5				*3*	*cm*
Sparren				*18*	*cm*
U-Wert	-	[W/m²K]	Σ	23,0	cm

Deckenaufbau					
Klinkerziegel				*4*	*cm*
Schüttung				*6*	*cm*
Dippelbaumdecke				*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,59	[W/m²K]	Σ	32,5	cm

Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,682*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,72*	-

Charakterisierung Bestand:

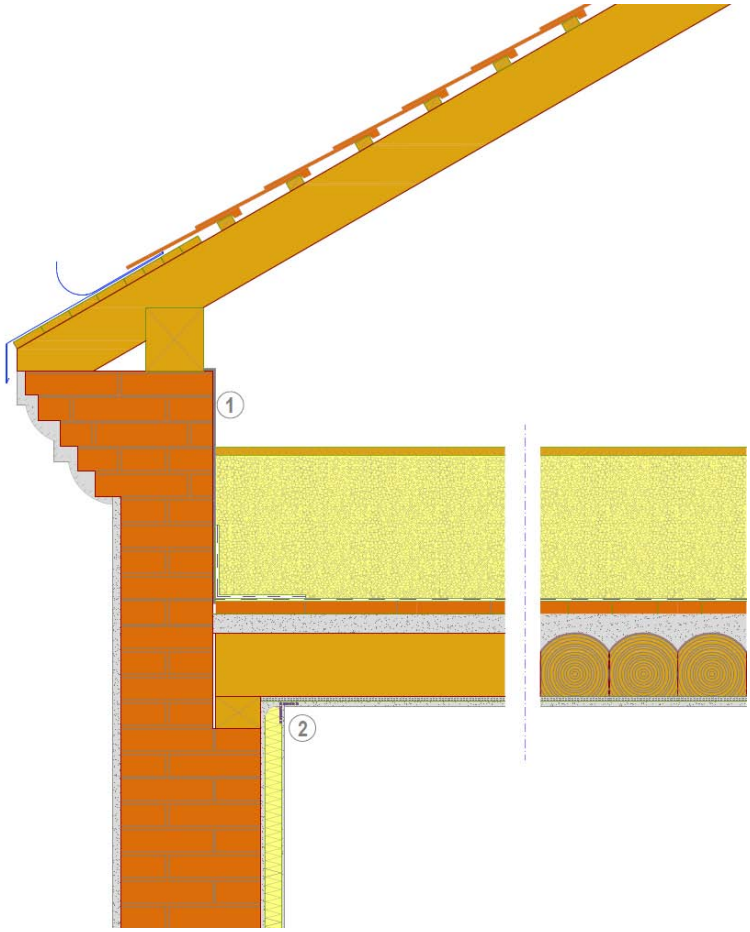
- Dacheindeckung dicht?
- Nutzung des Dachraums: Lagerraum, Wäschetrocknung, ungenutzt?

Sanierung Außenwand mit kapillarleitfähiger Innendämmung, oberste Geschoßdecke Perlite

Beschreibung:

- Die kapillarleitfähigen Dämmplatten werden vollflächig an der Innenwand verklebt
- Die oberste Geschoßdecke wird mit einer Perliteschüttung gedämmt, eine lastverteilende Platte erlaubt die Begehung auch des sanierten Dachgeschoßes
- Luftdichte Ebene ist die neu verlegte Dampfbremse an der Decke, diese wird auf der verspachtelten Drempelwand verklebt. Vertikal ist der neue Innenputz die luftdichte Ebene, der mit dem Deckenputz strömungsdicht verbunden wird. Eine lückenlose Verbindung der luftdichten Ebenen ist nicht möglich.
- Durch die Dämmung werden die Temperaturen im Dachgeschoß im Winterhalbjahr deutlich abgesenkt. Dies ist bei der zukünftigen Nutzung und der Belüftung des Dachraumes (Lüfterziegel etc.) zu beachten.

Sanierung: Außenwand mit kapillarleitfähiger Innendämmung, oberste Geschoßdecke Perlite



Deckenaufbau					
HWL-Porenverschlussplatte				*2,5*	*cm*
Perlite expandiert				*45*	*cm*
Dampfbremse				*0,02*	*cm*
Klinkerziegel				*4*	*cm*
Schüttung				*6*	*cm*
Dippelbaumdecke				*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,09	[W/m²K]	Σ	80,0	cm

Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz				*1,5*	*cm*
Klebespachtel				*0,2*	*cm*
Calciumsilikat-Dämmplatte				*5*	*cm*
Kalkputz				*1*	*cm*
U-Wert	0,48	[W/m²K]	Σ	54,2	cm

① *Glattstrich bzw. Putz*
② *Luftdicht verspachtelt*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,275*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,79*	*-*

Eignung:

- Für begehbare Dachböden
- Wenn eindringende Feuchte von außen (Schlagregen) ausgeschlossen werden kann (Hydrophobierung diffusionsoffen, Schließen aller Risse)
- Für wohnungsweise Sanierung nicht geeignet
- Wenn Planungs- und Ausführungsempfehlungen aus dem vorigen Kapitel beherzigt werden

Ausführungshinweise:

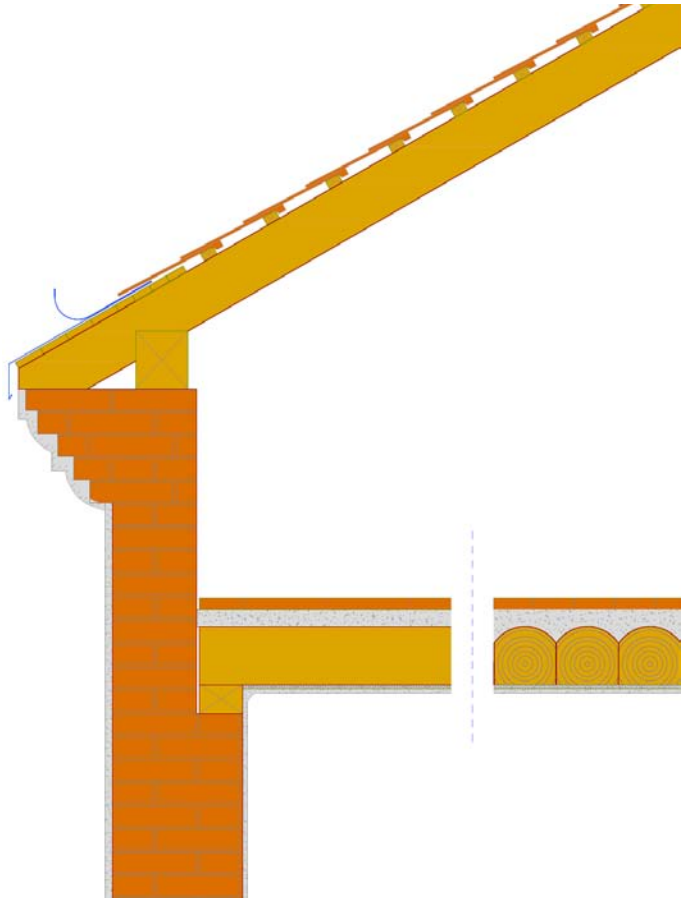
- Drempelmauer verspachteln/verputzen, Dampfbremse verlegen, Bestandsaußenputz ausbessern, mit der Dampfbremse im Dachbereich verbinden
- Perliteschüttung einbringen, verdichten, Porenverschlussplatte auflegen, mit Drempelmauerputz winddicht verbinden
- Außenputz ausbessern, mit diffusionsoffener, wasserhemmender Beschichtung versehen
- Risse am Innenputz schließen, Ebenheit herstellen, wenn erforderlich
- Kapillarleitfähige Platten vollflächig verkleben, verputzen oder verspachteln. Kompriband oder weichen Dämmstreifen im Anschlussbereich an Decke einlegen und luftdicht mit Deckenputz verspachteln.

Diskussion:

Wenn statisch erforderlich, kann die Perlitedämmung auch direkt auf die Dippelbäume verlegt werden.

3.4.7.11 Außenwand mit Innendämmung kapillarleitfähig, Dachausbau mit Sparrenaufdopplung

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – Dippelbaumdecke – Ziegeldach



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung 3/5				*3*	*cm*
Sparren				*18*	*cm*
U-Wert	-	[W/m²K]	Σ	23,0	cm

Deckenaufbau					
Klinkerziegel				*4*	*cm*
Schüttung				*6*	*cm*
Dippelbaumdecke				*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,59	[W/m²K]	Σ	32,5	cm

Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,682*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,72*	*-*

Charakterisierung Bestand:

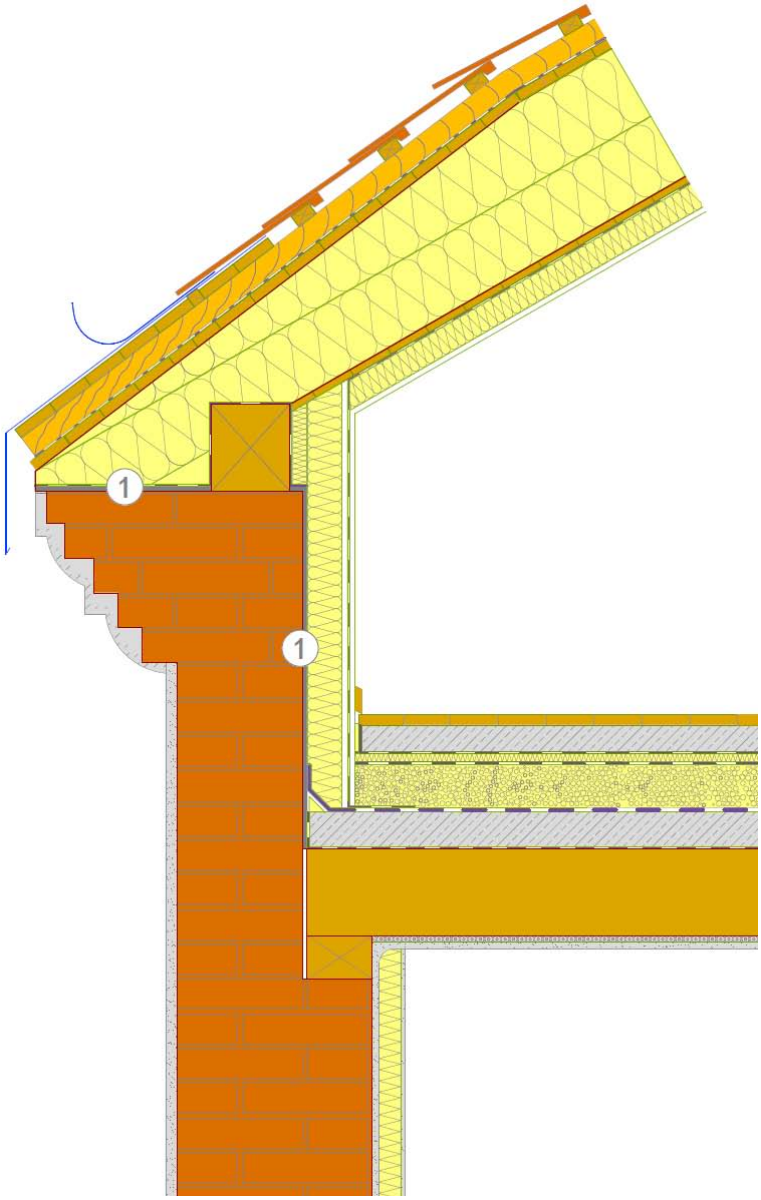
- Dachsparren statisch weiterverwendbar?

Sanierung Außenwand mit Innendämmung kapillarleitfähig, Dachausbau mit Sparrenaufdopplung

Beschreibung:

- Die Zellulosedämmung wird in die Holzkonstruktion eingeblasen, die Zierelemente werden aus EPS ausgeführt
- Die Dachsparren werden weiterverwendet, aufgedoppelt und mit Faserdämmstoff gedämmt
- Die Dippelbaumdecke, ehemals oberste Geschoßdecke, wird mit Verbundbeton ausgeführt, um das Gesperre zu ersetzen und einen akzeptablen Trittschallschutz zu erreichen
- Die luftdichte Ebene ist die neu verlegte Dampfbremse im Dach, die über die verputzte Drempelwand an den Bestands-Außenputz strömungsdicht angeschlossen wird. Im Auflagerbereich der Sparren wäre eine sauber geführte dichte Ebene nicht möglich.
- Innendämmungen vor allem im Außenwandbereich nur bei nachgewiesener Eignung realisieren (siehe Kapitel Innendämmung von Außenwänden). Eine Komfortlüftung im Unterdruckbetrieb wird dringend empfohlen.

Sanierung: Außenwand mit Innendämmung kapillarleitfähig, Dachausbau mit Sparrenaufdopplung



Dachaufbau		
Dachziegel	2	cm
Lattung 3/5	3	cm
Konterlattung, Hinterlüftung	5	cm
PE-Dachauflegebahn diffusionsoffen	0,02	cm
Holzschalung	2,4	cm
Glaswolle, Aufdopplung Sparren	18	cm
Glaswolle, Sparren Bestand	16	cm
Holzschalung	1,6	cm
Dampfbremse	0,02	cm
Glaswolle zwischen Federbügeln	6	cm
Gipskartonfeuerschutzplatte	1,5	cm
U-Wert 0,11 [W/m²K]	Σ 55,5	cm

Deckenaufbau		
Bodenbelag	2,5	cm
Estrich	6	cm
PE-Folie	0,02	cm
EPS-Trittschalldämmplatte	3	cm
PE-Folie	0,02	cm
EPS-Schüttung, zementgebunden	10,5	cm
Dampfbremse	0,02	cm
Betondecke	8	cm
Dippelbaumdecke	20	cm
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur	2,5	cm
U-Wert 0,24 [W/m²K]	Σ 52,6	cm

Wandaufbau		
Kalkputz, außen	2,5	cm
Vollziegelmauerwerk	44	cm
Kalkputz	1,5	cm
Klebespachtel	0,2	cm
Calciumsilikat-Dämmplatte	5	cm
Kalkputz	1	cm
U-Wert 0,48 [W/m²K]	Σ 54,2	cm

① *Glattstrich, bzw. Putz strömungsdicht*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	-0,080	W/mK
f_{RSi}	0,80	-

Eignung:

- Wenn eindringende Feuchte von außen (Schlagregen) sicher ausgeschlossen werden kann (Hydrophobierung diffusionsoffen, Schließen aller Risse)
- Für wohnungsweise Sanierung geeignet
- Wenn Planungs- und Ausführungsempfehlungen aus dem vorigen Kapitel beherzigt werden

Ausführungshinweise:

- Außenputz ausbessern, mit diffusionsoffener, wasserhemmender Beschichtung verse

3.4.8 Schlussfolgerung Innendämmung in mit Passivhauskomponenten sanierten Gebäuden

Der Kenntnisstand zur Innendämmung in Gebäuden mit einbindenden Holzbalkendecken ist noch unzureichend. Eine Innendämmung ist im Vergleich zur außenseitigen Dämmung von Gebäuden durch

- Verschärfung der Feuchteproblematik,
- durch Verringerung der Nutzfläche und
- nicht vermeidbare Wärmebrücken durch einbindende Innenbauteile

immer nur 2.Wahl. In allerdings nicht wenigen Fällen wie

- denkmalgeschützten Gebäuden
- angrenzenden Grundstücke ohne baurechtliche Möglichkeiten, außenseitig (i.e. auf Nachbargrund) eine Wärmedämmung aufzubringen
- wohnungsweiser Sanierung

ist eine Innendämmung die einzige Möglichkeit,

- den Heizenergieverbrauch nachhaltig bei hochwertigem Komfort zu senken,
- Bauschäden durch Oberflächenkondensat oder Schimmelbildung zu vermeiden.

Eine umfassebnde Sammlung an soliden Varianten zur Innendämmung für eine Sanierung mit Passivhauskomponenten kann bis dato noch nicht dargestellt werden, es muß bei einzelnen Ansätzen bleiben.
Derzeit sollten bei Maßnahmen zur Innendämmung im Speziellen in Zusammenhang mit einbindenden Holzbalken grundsätzlich erfahrene BauphysikerInnen herangezogen werden, die auf Grundlage von dynamischen hygrothermischen Planungswerkzeugen und den tatsächlichen Klima- und Nutzungsrandbedingungen Lösungen mit geringem Schadenspotential vorschlagen können.
Allerdings bieten Sanierungen auf Passivhausniveau bzw. auf EnerPhit-Standard gegenüber konventionellen Sanierungen bereits eine Reihe von Vorteilen:

- Der Einbau einer hocheffizienten Komfortlüftungsanlage (im Falle von Innendämmungen jedenfalls ohne Feuchterückgewinnung). Ein bedarfsgerechter Luftwechsel sollte jedenfalls eingestellt werden, um zu niedrige Luftfeuchten zu vermeiden. Damit sind bei üblicher Raumnutzung relative Feuchten im Hochwinter unter 40 und doch über 30 % möglich.
- Durch die erhöhte Luftdichtigkeit der Gebäudehülle (Passivhauskriterium n_{50} <= 0,6 /h, bzw. EnerPhit n_{50} <= 1,0 /h kann deutlich besser ein Unterdruck der Lüftungsanlage eingestellt werden, der vermeiden hilft, dass feuchtwarme Raumluft in die Konstruktion gelangt. Größere Anlagen können das bei guter Einregulierung und regelmäßiger Wartung der Filter vergleichsweise einfach gewährleisten. Kleinere Anlagen (Geräte wohnungsweise und raumweise) sind meist firmenmäßig mit Massenbalancierung ausgerüstet. Hier ist ein Anbot der Herstellung dringend nötig. Die erforderlichen Unterdrücke sind gering, die Minderung des Wärmebereitstellungsgrades ebenso.
- Durch die hohe Effizienz aller Komponenten ist eine Temperierung, so sie in einer der beschriebenen Formen zum Einsatz kommt, und der dafür entstehende Aufwand energetisch leichter verkraftbar. Deren Einsatz hängt stark nicht zuletzt vom Außenklima und der Art der Führung der Innendämmung ab.

Mit den damit erreichbaren Qualitäten kann einerseits vermieden werden, dass feuchtwarme Luft kontinuierlich in kritische Bereiche z.B. des Balkenkopfes gelangt. Zudem sind mäßige Innenraumluftfeuchten äußerst

hilfreich für Raumluftffeuchten im Hochwinter unter 40 %. Dies zeigen Messungen nicht nur in Österreich deutlich, auch in anderen mitteleuropäischen Ländern wurde dies nachgewiesen (als Folge einer Komfortlüftung).

D.h. eine Sanierung mit Passivhauskomponenten bietet optimale Begleitmaßnahmen für eine Applikation einer Innendämmung. Trotzdem ist selbstverständlich eine solide Planung und Ausführung erforderlich.

Konstruktiv können im Falle von Mauerwerk vor 1945 2 häufige Varianten unterschieden werden:

- Durchgehende Wärmedämmung auch im Holzbalkendeckenbereich. Damit kann die Wärmebrücke im Deckenbereich annähernd vermieden werden. Es werden dampfbremsende Dämmstoffe verwendet, die Holzbalken (-trame) werden mit dampfbremsenden Beschichtungen mit eingebunden. Alternativ können auch diffusionsoffene Dämmstoffe wie Glas- und Steinwolle mit Dampfbremse (variabel oder nicht) angewandt werden. Das Konzept möchte jedenfalls möglichst wenig Feuchte in die Konstruktion einbringen, um damit trotz Temperaturabsenkung an der Innenoberfläche des Bestandsmauerwerks keine erhöhte Feuchtekonzentrationen zuzulassen, die durch über Diffusion oder Konvektion aus der Raumluft eindringender Feuchte entstehen kann.
- Die kapillarleitfähige Wärmedämmung wird stumpf, aber luftdicht an die Bestands-Holzbalkendecke angeschlossen. Die Innendämmung fügt sich bezüglich Feuchtetransporteigenschaften (Kapillarität) dem Bestandsmauerwerk an: verhältnismäßig niedrige Diffusionswiderstände unter sd = 0,5 m bei gutem Feuchtesaugverhalten durch kapillare Feuchtetransporte sind den Eigenschaften der Bestandswand ähnlich. D.h. gebenüber Variante 1 ist also ein höherer Feuchteeintrag, aber ein höheres Austrocknungspotential nach innen gegeben.

Passivhauslüftung mit leichtem Unterdruck entspannt die Lage zwar, trotzdem ist höchste Sorgfalt in Planung und Ausführung gefordert, Planungsrichtlinien wurden vorgeschlagen.

Ein Reihe von Forschungsprojekten laufen derzeit in Österreich und Deutschland. Valide Ergebnisse sind für die Zukunft zu erwarten

Vorab wird vorgeschlagen:

Fehlertolerante System sind gegenüber riskanteren Systemen vorzuziehen. Kapillarleitfähige Dämmstoffe mit Temperierungsunterstützung (in kritische Bereichen), wenn von Standort und inneren Feuchtelasten erforderlich, sollte gegenüber sperrenden Systemen der Vorzug gegeben werden. Eine Komfortlüftung ohne Feuchterückgewinnung, in leichtem Unterdruck betrieben, ist eine „passivhaus“ affine Leistung, die zusätzliche Sicherheit gibt. Grundsätzlich sollten bei Innendämmungen jedenfalls erfahrene Fachleucte beigezogen werden.

3.5 Bildung von Mikroorganismen auf Fassadenoberflächen[1]

Es ist häufig zu beobachten, dass sich bei ausreichendem Nährstoff- und Feuchtigkeitsangebot auf hochwärmegedämmten Fassaden Mikroorganismen ansiedeln. Stand der Technik, die der Bildung von Mikroorganismen entgegen wirken soll, ist der Einsatz biozidhaltiger Anstriche und Deckputze (Burkhardt, et al., 2008). In Entwicklung und Erprobung sind Beschichtungssysteme mit verkapselten Bioziden, Nanopartikeln, Phasenwechselmaterialien (phase-change-material, kurz PCM) und reflektierenden Partikeln (IR- oder low-E- Beschichtung).

[1] Gekürzte Fassung des Kapitels „Bildung von Mikroorganismen auf Fassadenoberflächen“ aus: Ökopotenziale der monolithischen Bauweise mit ungefüllten hochwärmedämmenden Hochlochziegeln, Masterthesis im Fernstudiengang Architektur und Umwelt an der Hochschule Wismar - Fakultät Gestaltung, von Astrid Scharnhorst, voraussichtliches Erscheinungsdatum September 2012

3.5.1 Biozide in Fassadenbeschichtungen

In Fassadenbeschichtungen werden Biozide als Filmkonservierungsmittel eingesetzt. Sie werden, wenn Oberflächenfeuchte vorliegt, aus den Beschichtungsmaterialien gelöst und diffundieren an die Fassadenoberfläche. Dort werden sie mit dem Oberflächenwasser von den Mikroorganismen aufgenommen. Die Wirksamkeit von antimikrobiellen Fassadenbeschichtungen ist begrenzt, denn die Wirkstoffe waschen sich entsprechend der stofflichen Eigenschaften kurz- bis mittelfristig aus der Oberflächenbeschichtung aus. (Burkhardt, M., et al. 2005)

Burkhardt und Vonbank (2011) nennen folgende Wirkstoffe

3-(3,4-dichlorophenyl)-1,1-dimethylurea (DCMU) Handelsname Diuron

Isoproturon (3-(4-Isopropylphenyl)-1,1-dimethylharnstoff)

Terbutryn

Cybutryn (Handelsname Irgarol)

Octylisothiazolinon (OIT)

Dichloroctylisothiazolinon (DCOIT)

Carbendazim

3-Iod-2-propinylbutylcarbamat (IPBC)

Zinkpyrithion

Die o.g. Biozide sind wenig bis praktisch unlöslich in Wasser und durchweg giftig für Wasserorganismen (H400). DMCU und Isoproturon stehen auf der Liste prioritärer Stoffe der EU-Wasserrahmenrichtlinie und können vermutlich Krebs erzeugen (Karzinogenität Kategorie 2, H351). Für Carbendazim wird Keimzellmutagenität (Kategorie 1B, H340) und Reproduktionstoxizität (Kategorie 1B, H360FD) angenommen. Mit den einzelnen Stoffen sind weitere spezifische human- und ökotoxische Wirkungen verbunden. Burkhardt et al. (2008) untersuchte Auswaschungen von Bioziden aus Fassadenbeschichtungen (Putz und doppelter Deckanstrich) unter Laborbedingungen und traf Abschätzungen anhand von Fassadenabflüssen repräsentativer Siedlungsstrukturen. Das Auswaschverhalten der untersuchten Wirkstoffe, exemplarisch Isoproturon, Terbutryn und Dichloroctylisothiazolon (DCOIT), ist demnach von der Temperatur, der Beregnungsintensität, der Wasserlöslichkeit des Wirkstoffs und der baulichen Struktur (Fassaden- und Besiedlungsfläche) abhängig. Unter Laborbedingungen war feststellbar, dass Wirkstoffe anfänglich in höheren Konzentrationen ausgewaschen wurden und dann in exponentiell abnehmenden Konzentrationen gegen Null verliefen. Mit Abwasserbelastungen durch Biozidauswaschungen sei daher wahrscheinlich in den ersten 3-5 Jahren nach Auftragen der Beschichtung zu rechnen. (Burkhardt et al. 2008)

„smart release“ oder „controlled release“ beschreibt eine technische Innovation, bei der der Auswaschung von Bioziden durch deren Verkapselung entgegen gewirkt wird. Dabei werden die antimikrobiellen Wirkstoffe in Polymerkugeln von 10-20 µm eingebettet. Analysen von Burkhardt und Vonbank (2011) ergaben, dass sich die Konzentrationen der verkapselten Biozide gegenüber frei in der Beschichtung vorliegenden Wirkstoffen im Fassadenabfluss um ca. 30 % senken lassen. Vor allem die anfänglichen Auswaschungen der verkapselten Biozide waren deutlich geringer. Welche langfristigen Wirkungen in der Umwelt verkapselte Biozide im Vergleich zu frei vorliegenden Wirkstoffen haben, wurde nicht untersucht. Es liegt die Vermutung nahe, dass zeitverzögert mit ähnlichen Umweltwirkungen zu rechnen ist, sich jedoch die Wirkstoffmengen reduzieren lassen. Derzeit sind nur wenige Beschichtungen mit verkapselten Bioziden am Markt verfügbar. (Burkhardt und Vonbank 2011)

3.5.2 Regenschutz von Fassaden

Den Regenschutz von Wandkonstruktionen regelt DIN 4108-3 in Abhängigkeit von der Beanspruchungsgruppe, die durch die regionalen klimatischen Bedingungen, die örtliche Lage und die Gebäudeart definiert wird. Wird Gebäuden oder Bauteilen eine mittlere Schlagregenbeanspruchung zugeordnet, ist z.B. auf Außenwänden aus Mauerwerk ein wasserhemmender Außenputz zu verwenden, bei starker Schlagregenbeanspruchung ein wasserabweisender Außenputz. Die erforderlichen technischen Kennwerte wasserhemmender und wasserabweisender Putze zeigt nachfolgende Tabelle. Der Außenputz ist dementsprechend auszuwählen.

	Wasseraufnahmekoeffizient w [kg/(m² $h^{0,5}$)]	Wasserdampfdiffusionsäquiv. Luftschichtdicke s_d [m]	Produkt w * s_d [kg/(m $h^{0,5}$)]
wasserhemmend	0,5 < w < 2,0	Keine Festlegung	Keine Festlegung
wasserabweisend	w ≤ 0,5	≤ 2,0	≤ 0,2

Tab. 5: Kriterien für den Regenschutz von Putzen und Beschichtungen entsprechend DIN 4108-3, (aus Mauerwerk-Kalender 2009)

Die Regenschutzanforderungen sollen verhindern, dass die Wärmedämmwirkung beeinträchtigt wird oder Frostschäden auftreten. Für die Beurteilung des mikrobiologischen Wachstumsrisikos ist jedoch weniger der Wassergehalt sondern die Oberflächenfeuchte der Wand von Bedeutung (Künzel und Fitz, 2006).

3.5.3 Bauphysikalische Maßnahmen zur Vermeidung von Oberflächenfeuchte

Neben dem Mikro- und Makroklima am Standort sehen Sedlbauer et al. (2004) in diesem Zusammenhang vor allem die übermäßige Bildung von Tauwasser als Ursache für die Erhöhung der Oberflächenfeuchte. Sedlbauer et al. (2004) untersuchten die Tauwasserbildung auf monolithischen Außenwandkonstruktionen und auf Wärmedämmverbundsystemen (WDVS). Insgesamt zeigte sich, dass Außenwandkonstruktionen mit WDVS deutlich anfälliger für die Bildung von Oberflächentauwasser waren, da ihnen die nötige Wärmespeicherkapazität in den oberflächennahen Bauteilschichten fehlt. Diese Systeme neigen somit eher zur Bildung von Mikroorganismen als monolithische Konstruktionen (wobei auch für diese Tauwasserfreiheit nicht garantiert werden kann). (Sedlbauer et al. 2004) (Krus et al. 2008)Künzel und Fitz (2006) und Krus et al. (2008) analysierten die hygrothermischen Eigenschaften von Anstrichen und Putzen auf WDVS-Fassaden im Labor und im Freiland. Sie stellten fest, dass Oberflächenwasser vor allem auf hydrophoben Anstrichen wie der untersuchten Silikonharzfarbe, welche die Anforderungen an den Schlagregenschutz problemlos erfüllte, in größeren Mengen auftritt als auf diffusionsoffenerer Dispersionssilikat- oder Mikrostrukturfarbe. Dem standardmäßigen Dünnputzsystem stellten sie außerdem eine Dickputzbeschichtung sowie Beschichtungssysteme mit Phasenwechselmaterialien (PCM) und IR-reflektierenden Partikeln gegenüber:
Bereits das Auftragen eines Dickputzes oder ein Anstrich mit einer IR-reflektierenden Farbe reduzierte rechnerisch die Dauer der Taupunktunterschreitung um 20 % bzw. 30 %. Noch wirksamer waren PCM, z.B. auf Paraffinbasis, die die Wärmekapazität sehr stark erhöhen und die Dauer der Taupunktunterschreitung um 70 % senken können, vorausgesetzt, der Schmelzpunkt wurde hinsichtlich der lokalen Klimabedingungen optimiert. Für die Kombination von PCM mit einem IR-wirksamen Anstrich wurden die kürzesten Phasen der Taupunktunterschreitung ermittelt. Die Laborergebnisse konnten durch die Freilandversuche weitestgehend

bestätigt werden. Jedoch zeigte sich, dass die IR-Beschichtung nicht genügend witterungsstabil war und Abplatzungen zu einer deutlichen Funktionsminderung führten. (Krus et al. 2008)
Künzel und Fitz (2006) und Krus et al. (2008) kommen zu dem Ergebnis, dass mit PCM und IR-Anstrichen vielversprechende, aber noch nicht anwendungsreife Ansätze zur Reduktion der Tauwasserbildung auf WDVS vorliegen.

3.5.4 Nanosilber in Fassadenbeschichtungen

Burkhardt und Vonbank (2009) haben das Auswaschverhalten von Nanosilberpartikeln aus Fassadenbeschichtungen unter standardisierten Versuchsbedingungen und im Feld untersucht. Die höchsten Silberkonzentrationen wurden im Labor während der ersten Abflussereignisse nachgewiesen. Bei der Feldanalyse waren im Fassadenabfluss 30 % der in der Beschichtung eingesetzten Gesamtmenge Nanosilber nachweisbar. Im Unterschied zu organischen Bioziden, die durch Diffusion aus der Beschichtungsmatrix an die Oberfläche transportiert werden, werden die Nanosilberpartikel aus der Oberfläche abgelöst, was zu Fehlstellen in der Oberfläche führen kann. Zudem wurde bei der Beschichtung mit Nanosilber ein stark verzögertes Austrocknungsverhalten beobachtet, was wiederum auf ein erhöhtes Risiko der Bildung von Mikroorganismen hindeutet.
Zu Ökotoxizität, Bioakkumulationspotenzial und Biopersistenz von Nanosilber liegen bisher nur wenige Informationen vor. Fries et al. (2009) fasst die bisherigen Ergebnisse verschiedener Studien zusammen. Demnach besteht u.a. der begründete Verdacht, dass Nanosilberpartikel

- im Abwasser in Kläranlagen auf stickstoffabbauende Bakterien wirken und
- über den Klärschlamm in die Landwirtschaft gelangen können
- bzw. ist experimentell nachgewiesen, dass Nanosilberpartikel
- toxisch auf aquatische Organismen wirken
- die menschliche Haut durchdringen können
- in Zellen eindringen, dort abgelagert und langfristig in Form von toxischen Silberionen an den Organismus abgegeben werden können.

Es besteht daher laut Fries et al. (2009) und Wefers et al. (2009) großer Bedarf an gesicherten Erkenntnissen über das Umweltverhalten und die humantoxikologische Wirkung. Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) empfiehlt aus eben diesen Gründen auf die Verwendung von nanoskaligem Silber in verbrauchernahen Produkten bis zum Vorliegen einer abschließenden Sicherheitsbewertung ganz zu verzichten (BfR (2010).
Die Verwendung von Nanosilber als Ersatz von organischen Bioziden in Beschichtungen ist derzeit auf wenige Einzelprodukte beschränkt, d.h. die Bedeutung am Markt ist noch äußerst gering (Wefers et al. 2009).

3.5.5 Zusammenfassende ökologische Bewertung

Die oben beschriebenen Beschichtungssysteme sind aus ökologischer Sicht wie folgt zu bewerten:
Biozide werden aus Fassadenbeschichtungen kurz- bis mittelfristig ausgewaschen und stellen aufgrund ihres ungünstigen Abbauverhaltens in der Umwelt ein öko- und humantoxikologisches Risiko dar
Nanosilberpartikel werden kurz- bis mittelfristig physikalisch aus der Fassadenbeschichtung gelöst. Für sie liegen bisher keine ausreichenden Erkenntnisse zur human- und ökotoxikologischen Wirkung vor

Beschichtungssysteme mit Phasenwechselmaterialien (PCM) müssen an die lokalen Klimabedingungen angepasst werden und IR-Beschichtungen erwiesen sich als nicht ausreichend witterungsstabil. Die Zugabe von organischen (PCM) und metallischen (IR) Bestandteilen zu ansonsten mineralischen Beschichtungssystemen führt zu einer verminderten Recyclingfähigkeit

Tauwasserbildung und die damit verbundene Neigung zur Bildung von Mikroorganismen treten bevorzugt auf Fassaden mit Wärmedämmverbundsystemen, hydrophoben und dünnschichtigen Fassadenbeschichtungen auf. Auf Wärmedämmverbundsystemen stellen daher (unter Berücksichtigung der klimatischen Randbedingungen und der daraus resultierenden bauphysikalischen Eigenschaften der Konstruktion) diffusionsoffene, hydrophile Beschichtungssysteme, bestehend aus Dickputzen zur Erhöhung der Wärmespeicherkapazität der Fassadenoberfläche, und Fassadenfarben auf Silikatbasis die öko- und humantoxikologisch sinnvolle Alternative dar, mit der Oberflächentauwasser auf WDVS-Fassaden reduziert und der Bildung von Mikroorganismen entgegengewirkt werden kann.

3.6 Rekonstruktion des ursprünglichen Aussehens oder neue gestalterische Akzente

Die formale Lösung von Sanierungen im Allgemeinen und der thermischen Sanierung mit Passivhauskomponenten im Besonderen wirft immer wieder heftige Kontroversen hervor. Folgende architektonische wie auch historische Anmerkungen sind für den Umgang darum hilfreich:

Architektur im zeitlichen Ablauf: Von ca. 1900–1945 herrscht die späte Gründerzeit- und Heimatschutzarchitektur, parallel dazu Jugendstil, Art déco und Expressionismus mit jeweils eigenen Gestaltungsprinzipien, großem Einsatz von Ornamenten und vielen Applikationen an der Fassade. Sie wurden von der *Klassischen Moderne* abgelöst – ab ca.1920 zieht die *Neue Sachlichkeit* ein, der *Internationale Stil* mit seinen schlichten weißen Kuben. Nach dem Krieg diktiert der ökonomische Druck und führt zu oftmals ambitionsloser Wiederaufbauarchitektur, erst in der *Postmodernen Architektur* ab ca. 1970 werden wieder erste deutliche Gestaltungsabsichten erkennbar.

Proportionen: Mit der *Klassischen Moderne* wurden die Proportionen der Gebäude neu geordnet, der einfache Kubus und neue Proportionsverhältnisse zwischen Körper, Fläche und Öffnungen sind das Ergebnis. Ohne Verzierungen und ornamentale Applikationen gewinnt die Ausbildung der Kanten und Fugen neue zentrale Bedeutung.

Fensterebene vorne/hinten, außen bündig – Die Fenster werden entsprechend den sich verringernden Raumhöhen zunächst kleiner (1900 bis ca. 1955), mit neuen Ansprüchen und Techniken wie Verbundfenster und dem Einfachfenster vergrößern sich die Fensterflächen wieder. Ab Mitte der 1980er Jahre dominieren eindeutig Isolierglasfenster – Einfachfenster mit einer 2-Scheiben-Isolierverglasung und einem Drehkippbeschlag, erste Kunststofffenster werden verwendet. Die neuen Fenster haben selten Sprossen und Oberlichten und oftmals ein liegendes Format. Im Betonbau und beim raschen Wiederaufbau ist der Verlust des Leibungsanschlages zu erkennen, die Lage der Fenster ist meist in der Mitte der Mauer. Erst mit den neuen Ziegelformaten und den Fenster-Anschlagsteinen wird die Lage im Mauerwerk bewusster formuliert und rückt tendenziell wieder nach außen.

Die Rekonstruktion des ursprünglichen Aussehens als Absicht der Sanierung ist bei jedem Gebäude separat zu überprüfen. Balkonplatten, Geländer, Verzierungen und Farben sind wichtige sekundäre Gestaltgeber, welche die Hauptproportionen von Körper, Fläche und Öffnungen unterstützen. Daher ist bei einer Sanierung nahe am Original deren Detailgestaltung für das beabsichtigte Ergebnis wesentlich. Auch bei der Auswahl der Materialien sollte die ursprüngliche Absicht und Materialwahl berücksichtigt werden. Aus wirtschaftlichen Gründen wird auf viele Detaillösungen oftmals verzichtet. Bei vielen Gebäuden der 50er- bis 70er-Jahre kann durch neue Proportionsverhältnisse und Farb- und Materialwahl eine architektonische Auffrischung erreicht werden.

4 Bauaufgaben

Behandelt werden Bestandsgebäude vor allem aus dem mitteleuropäischen Raum mit Schwerpunkt Deutschland und vor allem Österreich. Historisch gesehen umfassen wir das 19. Jahrhundert bis in die 80er Jahre des 20. Jahrhunderts hinein.

4.1 Gebäude errichtet bis 1918

Der Schwerpunkt liegt bei Gebäuden, die in der Gründerzeit mit stark anziehender Industrialisierung gebaut worden sind. Im Fokus liegen mehrgeschoßige Gründerzeitgebäude. Daneben werden auch typische Anschlüsse von meist ein- bis zweigeschoßigen, teil- oder nicht unterkellerten Gebäude aus dieser Zeit betrachtet.
In der Bauweise unterscheiden sich Gebäude allerdings nicht in starkem Maße. Um eine von der klassischen Gründerzeitbauweise abweichende Konstruktion in die Betrachtung miteinzubeziehen, wurde ein Gebäude in Natursteinmauerwerk in einigen Anschlüssen genauer betrachtet.

4.1.1 Charakterisierung des Bestandes:

- Außenwände Vollziegelmauerwerk 25 bis über 100 cm, teilweise Mischmauerwerk oder Natursteinmauerwerk
- Fachwerkbau ursprünglich oft verkleidet
- straßenseitig meist Stuckornamentik oder Klinkerfassade
- Kellerdecke Gewölbe oder Kappendecken (Platzldecken)
- Holzbalken- oder Dippelbaumdecken
- Kastenfenster oder Fenster mit Einfachglas je nach Region
- große Geschoßhöhen
- in größeren Städten in gekoppelter Bauweise, bzw. in Blockrandbebauung

Der Bestand an Gebäuden aus der Zeit vor 1918 ist noch verhältnismäßig groß. In der österreichischen Statistik finden sind insgesamt 353.379 Gebäude von insgesamt 2.046.712. Das heißt ca. 17 % aller Gebäude wurden vor 1918 errichtet [Statistik Austria 2004].
Die Zeitperiode vor 1918 ist sehr lang, es existieren in Mitteleuropa noch Gebäude (Kirchen, aber nicht nur), die vor deutlich über 1000 Jahren errichtet wurden. Der Großteil der Gebäude wurde allerdings in der Zeit der Industrialisierung ab ca. 1860 errichtet, die als Gründerzeit bezeichnet wird. Der Fokus wird auf diese Periode gelegt. Die Bauweise ist von den vorangegangenen Perioden nicht allzu unterschiedlich (z.B. Barock), eine Tendenz zur Rationalisierung ist allerdings unverkennbar.
Im Wohnbau wurden vor allem in den großen Städten eine Vielzahl von mehrgeschoßigen Gebäuden errichtet, die für die vom Land in die Stadt gezogenen Menschen errichtet wurden. Diese wurden meist in gekoppelter und meist sehr dichter Weise ausgeführt (Blockrandbebauung). Die Straßenfassaden waren mit mehr oder weniger Ornamentik (Gesimse, Figuren, kleine Balkone) ausgeführt, die Hofseiten waren einfach verputzt oder gar in Rohbau-Sicht belassen.
Neben diesen für die „Masse“ errichteten Gebäude wurden in der Vorstadt und am Land Villen und Bürgerhäuser für die zu Wohlstand gekommenen Bürger und Unternehmer errichtet. Die nobleren davon sind al-

leinstehend, andere in gekoppelter Bauweise errichtet. Viele dieser Gebäude weisen mehr als 1 Geschoß auf.
Einfachere Bürger und Handwerker konnten sich „nur“ eingeschoßige Gebäude leisten, die häufig in gekoppelter Bauweise errichtet wurden und in Form und Kubatur der Bauweise in Dörfern („Straßendörfer“) glichen. In nicht wenigen Fällen wurden im hinteren Gebäudebereich (ähnlich wie bei Bauernhöfen) gewerbliche Tätigkeiten entfaltet.
Gewohnt wird fast ausschließlich in den oberirdischen Geschoßen, der Keller (oder Teilkeller) bleiben der Lagerung sowie der „Entfeuchtung“ des Erdgeschoßes vorbehalten. Das Dachgeschoß wird ebensowenig bewohnt und ist meist als Steildach ausgeführt.
In der Bauweise handelt es sich meist um eine Mischbauweise, die aus massiven Außen- und Innenwänden sowie Kellerwänden und -decke und leichten Geschoßdecken und Dach besteht.

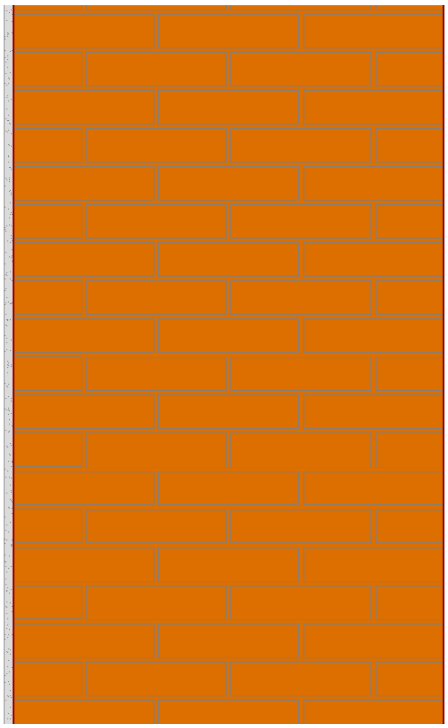
4.1.2 Außenwände und erdberührte Außenwände

Die Außenwände wurden in der Gründerzeit in den meisten Fällen mit Vollziegeln errichtet, wobei die Verbände je nach Region sich unterscheiden. Die Vermauerung erfolgte meist mit Kalkmörteln. Laut [Atlas 2008] wurden dafür vor allem Luftkalk eingesetzt, der in Verbindung mit Luft aushärtet. Der Mörtel im Inneren der Mauern härtete daher erst deutlich verzögert aus.
Je nach Region wurden vor allem auch im Kellerbereich Natursteine eingesetzt (Feuchteschutz), wobei teilweise auch innenseitig mit Ziegeln aufgemauert wurde. In geringerem Maße war vor allem bei Kellerwänden auch eine zweischalige Ausführung üblich, bei der zwischen 2 Ziegelverbänden außen und innen Bruchsteine und Schutt eingefüllt wurde.
Vor allem im ländlichen Bereich war auch eine Mischbauweise (Abbruchsteine etc. mit Vollziegel gemischt) üblich, um gebrannte Ziegel zu sparen.
Die Wände wurden mit Kalkputz innen und meist auch außen in mehreren Lagen verputzt. Die Putzstärken waren hoch (innen zwischen 2 und 3 cm, außen zwischen 2 und 5 cm).

In dieser Arbeit wird der Mauerwerksverband im altösterreichischen Format dargestellt: 29*14*6,5 cm. Die Mauerwerkstärken werden allerdings in den Tabellen meist näherungweise in den üblichen Stärken angegeben (z.B. Mauerwerk 30 und nicht 29 cm)
Die Stärke der tragenden Außenmauern, die meist parallel zur Straßen errichtet waren, wurde von unten nach oben verjüngt, um Material zu sparen. Waren die Kellerwände bei mehrgeschoßigen Gebäuden zwischen 60 und 80 cm stark, so waren im obersten bewohnten Geschoß Stärken von 44 cm üblich, im Dachgeschoß von 30 cm. Die Feuermauern sind in den meisten Fällen ca. 25–30 cm stark (je nach Format). Das Gebäude steht auf verbreiterten Fundamenten.

Beispiele für Außenwände:

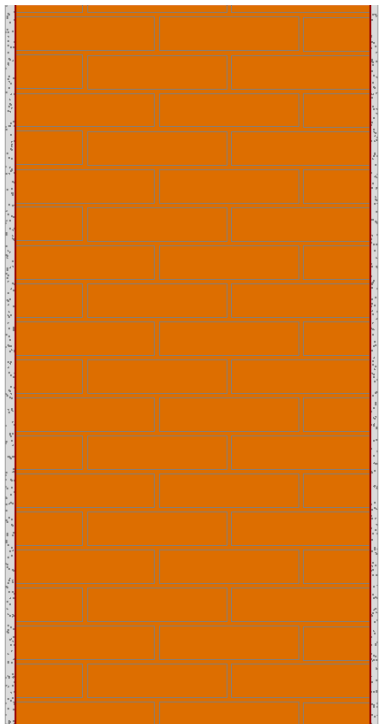
Keller - Vollziegelmauerwerk, im außenluftberührten Bereich außenseitig verputzt



Wandaufbau					
Kalkputz, gegen Außenluft				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*89*	*cm*
U-Wert	0,68	[W/m²K]	Σ	91,5	cm

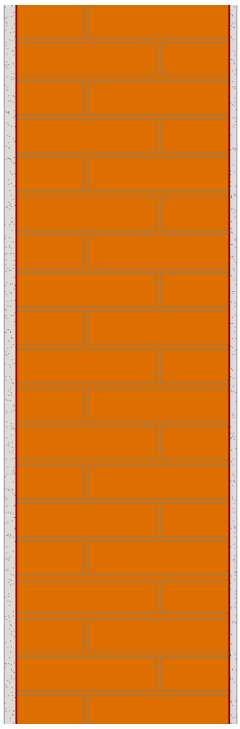
- Kellerseitig sind die Ziegel oft in Sicht belassen

Vollziegelmauerwerk, beidseitig verputzt



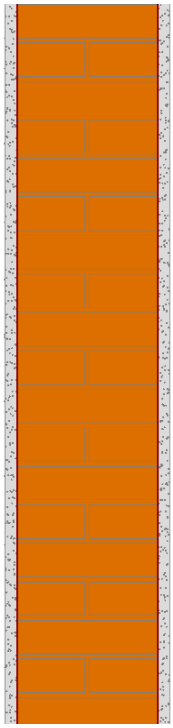
Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*74*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,78	[W/m²K]	Σ	78,0	cm

- Die Putzstärken können stark variieren



Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

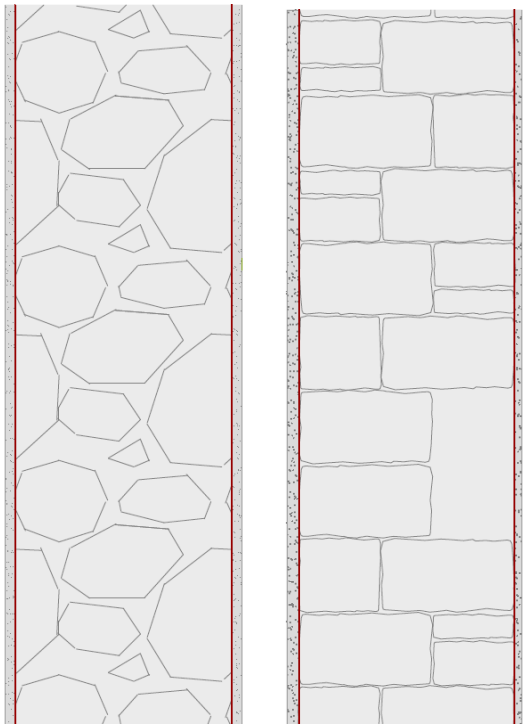
- Die Putzstärken können stark variieren



Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*29*	*cm*
Kalkputz, innen				*2,5*	*cm*
U-Wert	1,54	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

- Die Ausführung in 30 cm ist für Feuermauern und im Dachgeschoß (Drempelwand) üblich

Kalksteinmauerwerk verputzt



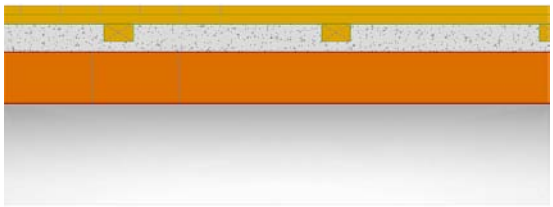
Außenwandaufbau					
Kalkputz, außen				*2*	*cm*
Kalksteinmauerwerk				*45*	*cm*
Kalkputz, innen				*2*	*cm*
U-Wert	2,23	[W/m²K]	Σ	49,0	cm

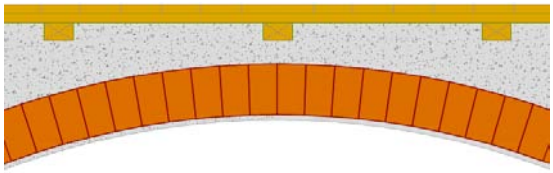
- Die Mauerstärke ist den statischen Erfordernissen angepasst
- Je nach Standort sind auch eine Reihe anderer Gesteine üblich. Teilweise werden diese regionsspezifisch außen auch in Sicht ausgeführt.

4.1.2.1 Kellerdecken

Kellerdecken wurden aus Gründen des Feuchteschutzes meist massiv ausgeführt. Konstruktiv waren dies meist Gewölbedecken, ab der Jahrhundertwende häufig nur mehr in einem Teilgewölbe ausgeführt (Kappendecke, bzw. Platzldecke).

Gewölbedecke

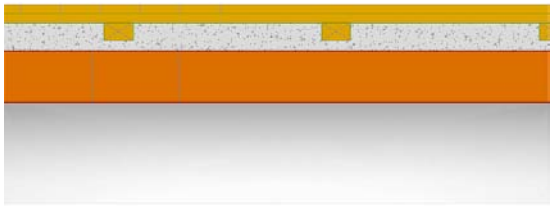


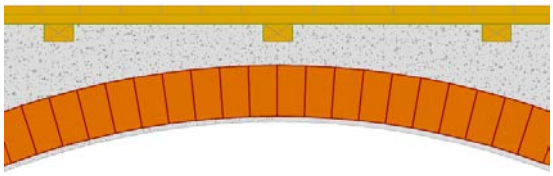


Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*3*	*cm*
Ziegelgewölbe, schmalste Stelle				*14*	*cm*
U-Wert	0,99	[W/m²K]	Σ	27,0	cm

- Die konkrete Ausführung der Gewölbe variiert über die Jahrhunderte. Je nach Ausführung entstehen relevante Horizontalschübe, die im Kellermauerwerk zum Teil über zusätzliche Stützen etc. abgefangen werden müssen.
- Für die Schüttung findet man Sand, Schlacke, aber auch Bauschutt

Kappendecke („Platzldecke“)





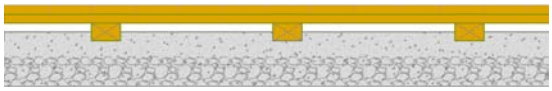
Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*3*	*cm*
Ziegelgewölbe, schmalste Stelle				*14*	*cm*
U-Wert	0,99	[W/m²K]	Σ	27,0	cm

- Um die Höhe der Decke zwischen Auflager und Stich niedrig zu halten, wurden die Gewölbe unterteilt. Als Auflager dienen Gurtbögen und Stahlträger.
- Die Abstände der Stahlträger gehen von gut 1 bis 2,5 m
- Die Decken sind meist unterseitig verputzt

4.1.2.2 Erdberührter Fußboden

Erdberührte Fußböden von Kellern waren meist gestampfte Lehmböden oder sie waren mit Ziegelpflaster belegt. Bei Problemen mit der Standfestigkeit des Untergrundes wurde auch Stampfbeton verwendet, teilweise auch auf in das Erdreich getriebenen Holzpfählen.
Nicht oder nur teilweise unterkellerte Gebäude hatten meist auch einen gestampften Lehmboden als Rohdecke, darauf wurde eine Schüttung aufgebracht (Kies, Schlacken, Bauschutt), in den die Polsterhölzer getrieben waren. Darauf waren Holzdielen direkt verlegt. Je nach Nutzung des Raumes darüber wurden auch Parkettböden auf Blindboden verlegt. In Gängen etc. wurden auch Steinplatten oder Pflasterziegel ausgeführt.

Fußboden erdberührt



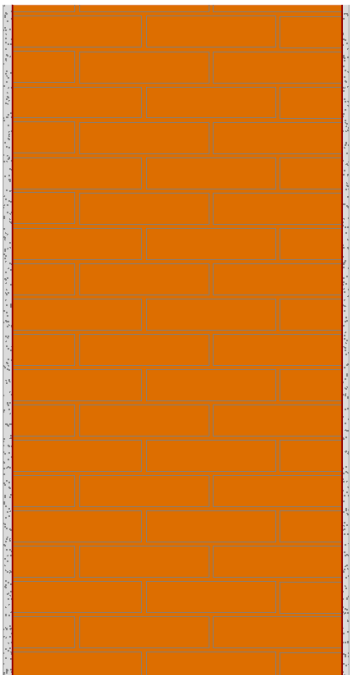
Bodenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*10*	*cm*
Erdreich					*cm*
U-Wert	1,35	[W/m²K]	Σ	20,0	cm

- Teilweise sind die alten Böden nachträglich mit PVC-Bahnen belegt worden (Küchen, Vorräume), was häufig zum Abfaulen der Holzunterkonstruktion führte

4.1.2.3 Innenwände

Tragende Innenwände sind meist wie die Außenwände ausgeführt, es ergeben sich meist leicht höhere Wandstärken. In vielen Fällen sind auch die Kamine integriert. Vermauert wurde meist mit Kalkmörtel, z.T. mit leichten Zusätzen an Zement.
Für die nicht tragenden Wände wurden entweder ebenfalls Vollziegel oder Steine verwendet. Ab der Jahrhundertwende wurden zunehmend leichtere Steine eingesetzt (z.B. Schlackensteine), aber auch Holzkonstruktionen, die mit Strohlehm oder Lehm ausgefacht waren. Aufgenagelte Putzträger wurden mit Kalkmörtel verputzt

Vollziegelinnenwand tragend



Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*74*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,78	[W/m²K]	Σ	78,0	cm

- Die Mauerwerkstärken können stark variieren
- Die tragenden Kellerinnenwände sind meist nicht verputzt

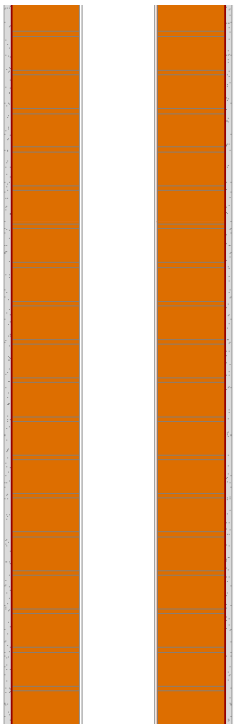
Nicht tragende Vollziegelwand



Innenwandaufbau					
Kalkputz				*1,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*14*	*cm*
Kalkputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,99	[W/m²K]	Σ	17,0	cm

- Alternativ wurden auch Schlackensteine anstatt der Vollziegel etc. verwendet

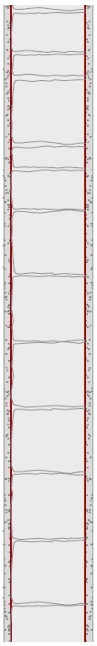
Vollziegelmauerwerk verputzt, Rauchfang



Innenwandaufbau					
Kalkputz				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*14*	*cm*
Luftraum				*16*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*14*	*cm*
Kalkputz				*2,5*	*cm*
U-Wert	1,01	[W/m²K]	Σ	49,0	cm

- Die Kamine wurden meist in der tragenden Mittelwand geführt, die ebenfalls nach oben hin verjüngt wurde

Nicht tragende Kalksteininnenwand verputzt



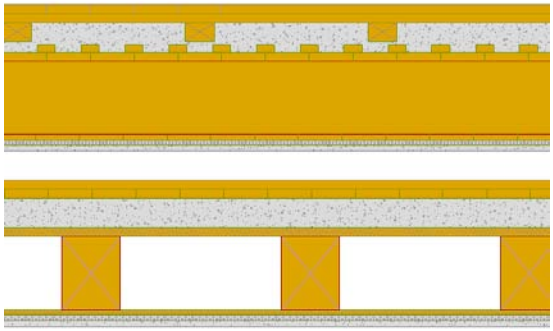
Innenwandaufbau					
Kalkputz, innen				*2*	*cm*
Kalksteinmauerwerk				*15*	*cm*
Kalkputz, innen				*2*	*cm*
U-Wert	2,55	[W/m²K]	Σ	19,0	cm

- Alternativ wurden auch Steine aus Schlacke, Bimsbeton, Lehm etc. anstatt der Vollziegel verwendet

4.1.2.4 Geschoßdecke

Geschoßdecken in Gründerzeithäusern waren meist als Tramdecken (Holzbalkendecke) ausgeführt, die sich in der Detailausbildung unterscheiden können. In seltenen Fällen wurde die Decke über dem Erdgeschoß noch als Kappendecke ausgeführt.
Erst ab Ende des 19. Jahrhundert treten massive Decken gelegentlich auch in den oberen Geschoßen auf (Eisenbetondecken).

Tramdecke (Holzbalkendecke)



Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*2,5*	*cm*
Holzschalung				*2,5*	*cm*
Luftraum, Holzträme				*20*	*cm*
Holzschalung				*1,5*	*cm*
Stukkatur				*1,5*	*cm*
Kalkputz, innen				*1*	*cm*
U-Wert	0,82	[W/m²K]	Σ	39,0	cm

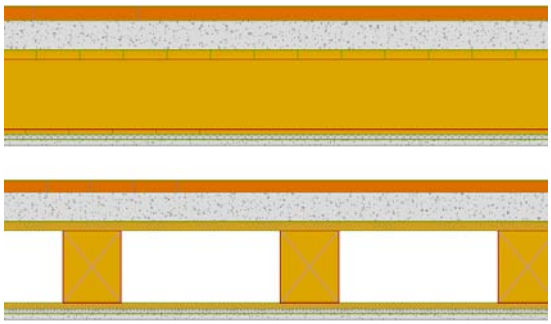
Die Holzbalken sind je nach Spannweite und Standort mit Abständen zwischen 60 und 100 cm verlegt.

- Oberseitig wurde eine Holzschalung verlegt. Um das Austreten von Schüttmaterial nach unten zu vermeiden, wurden Leisten aufgenagelt oder auch Schalungen mit Federn verbunden.
- Als Schüttung wurde Sand, Schlacke, aber auch Bauschutt verwendet. Dieser hatte neben dem Ausgleich auch eine Funktion für den Brand- und Schallschutz.
- In diese wurden Polsterhölzer eingerieben, auf die Holzdielen oder Blindboden mit Parketten verlegt wurde
- Unterseitig wurde meist auch eine Holzschalung aufgenagelt, darauf Schilfstukkatur als Putzträger, der mit Kalkmörtel verputzt wurde. Zum Teil wurde die Holzschalung auch weggelassen.
- Endoberfläche konnte auch eine Holztäfelung sein

4.1.2.5 Oberste Geschoßdecken

Die oberste Geschoßdecke führt meist in einen ungenutzten Dachraum, der als „Kaltdach“ ausgeführt war und mehr oder weniger mit Außenluft hinterlüftet war.
In weiten Teilen Mitteleuropas wurden auch für die obersten Decken Tramdecken ausgeführt. Im ostösterreichischen Raum wurden in der Gründerzeit häufig Dippelbaumdecken realisiert.

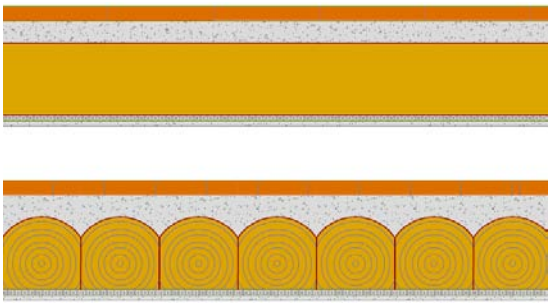
Tramdecke



Deckenaufbau					
Klinkerziegel				*4*	*cm*
Schüttung				*8*	*cm*
Holzschalung				*2,5*	*cm*
Luftraum/Holztrame				*20*	*cm*
Holzschalung				*2*	*cm*
Stukkatur				*1*	*cm*
Kalkputz				*0,5*	*cm*
U-Wert	1,02	[W/m²K]	Σ	38,0	cm

Der Aufbau ist einer Geschoßdecke ähnlich. Oberseitig wird aus Brandschutzgründen Pflasterziegel auf der Schüttung verlegt.

Dippelbaumdecke



Deckenaufbau					
Klinkerziegel				*4*	*cm*
Schüttung				*6*	*cm*
Dippelbaumdecke				*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,59	[W/m²K]	Σ	32,5	cm

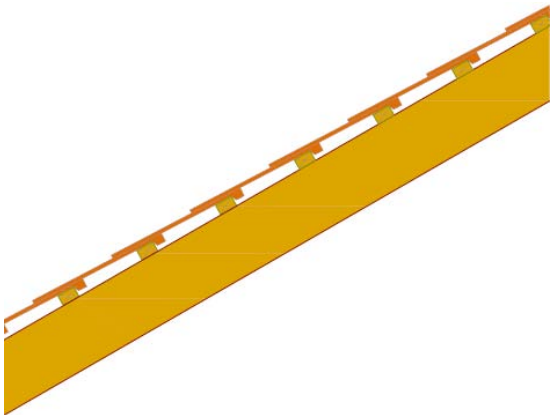
- Die für die Dippelbaumdecke verwendeten Holzstämme sind nur 2seitig besäumt und miteinander verdübelt
- Oberseitig ist eine Sand- oder Schlackenschüttung aufgebracht, die mit Ziegelpflastersteinen belegt ist
- Unterseitig wird auf einem Schilf-Putzträger der Kalkputz aufgebracht. In einigen Fällen wird auf die Rohdecke zusätzlich eine Holzschalung aufgebracht.

4.1.2.6 Dach

Dächer von Gebäuden vor 1918 wurden fast durchgehend als Zimmermannskonstruktion errichtet. Der gesamte Dachstuhl bildet ein fixes System, das auf den tragenden Wänden aufliegt, Bundtrame verbinden die unterschiedlichen Aufstandsbereiche.

Für die Eindeckung wurden meist Dachziegel in unterschiedlicher Form verwendet, die auf Dachlatten befestigt sind. Daneben werden auch Blechdächer ausgeführt, wie auch, vor allem im ländlichen Raum, Eindeckungen mit Holzschindeln, Stroh oder Steinplatten.

Ziegeldach



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung 3/5				*3*	*cm*
Sparren				*18*	*cm*
U-Wert	-	[W/m²K]	Σ	23,0	cm

- Die Sparrenstärke kann von 12 bis 20 cm reichen, die Dachlatten können auch mit 5/8 Latten ausgeführt sein, wenn die Sparrenabstände verhältnismäßig groß sind

4.1.2.7 Fenster

Fenster sind je nach Standort als Kastenfenster oder als Fenster mit Einfachflügel ausgeführt. Als Rahmen dienen meist ca. 4, teilweise 6 cm starke, profilierte Holzrahmen.

Formal wurden die Fenster häufig 2, 3 oder 4 teilig ausgeführt:

- der untere Teil wurde mit 2-flügeligen Fenstern realisiert
- der obere Teil ist ein- oder ebenfalls zweiflügelig. Dazwischen ist ein Kämpfer angeordnet.

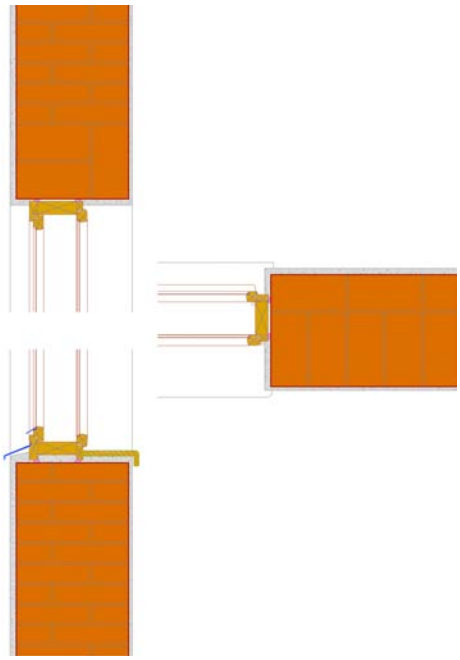
Vor allem in älteren Gebäuden (Barockzeit), aber auch in bestimmten Regionen öffnet der äußere Flügel des Kastenfensters nach außen. Der Stock ist außenbündig versetzt, im Sturzbereich ist meist mittels Blech oder Holzbrett ein Schutz gegen Schlagregen angebracht.

Konstruktiv wird der Sturz üblicherweise in Bögen gemauert, in wenigen Fällen sind auch Stahlträger eingesetzt. Je nach Ausführung ergibt sich für die Fenster ein Anschlag. Die Straßenfassade war häufig mit stark strukturierter Ornamentik ausgeführt, die mit profilierten Werksteinen im Fensterbereich realisiert war. Diese hatten auch die Funktion des Schlagregenschutzes im Sturzbereich, bzw. ergaben ein nach außen geneigtes Fensterbrett.

Innenseitig sind Laibung und Sturz verputzt ausgeführt, in vielen Fällen mit profilierten Holzverkleidungen verkleidet. Diese wird häufig auch im Parapetbereich ausgeführt.

Zusätzlich können in der Laibung Holzelemente ausgeführt sein, die vor die Fenster geklappt werden können und dadurch im Winter zusätzlichen Wärmeschutz bieten.

Kastenfenster



Fenster U-Werte		
Fenster	*2,6*	*W/m²K*
Verglasung	*2,6*	*W/m²K*
Rahmen	*2,6*	*W/m²K*

- Darstellung eines Kastenfensters ohne Anschlag

4.1.3 Typische Schadensbilder

Folgende Schäden sind für Gründerzeitgebäude typisch:

- Feuchte- und Salzschäden im aufgehenden Mauerwerk
- Holzbalken der Geschoßdecken oder der obersten Geschoßdecke angefault
- Feuchteschäden im Dachanschlussbereich
- Fassade: abplatzender Putz, Stuck, verschmutzte Fassade

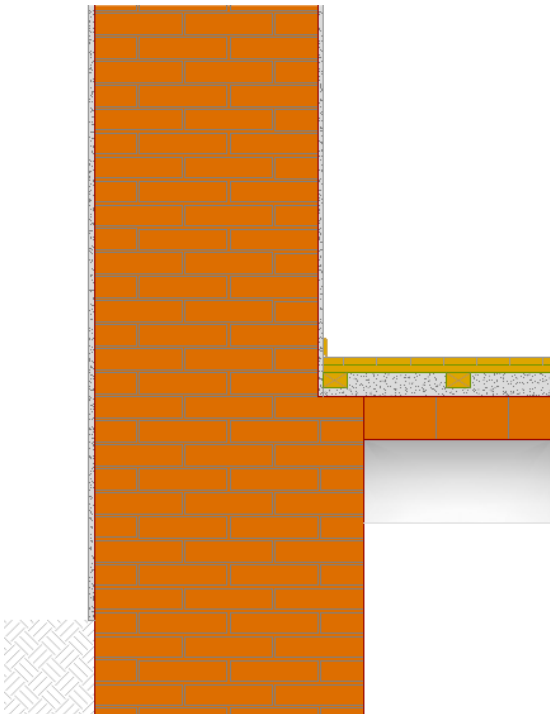
4.1.4 Sanierungsaufgaben

- Außendämmung, eventuell mit Rekonstruktionstechniken für Stuck und Strukturierung der Fassaden
- Innendämmung mit besonderer Berücksichtigung der Anschlüsse
- Einbindung Stiegenhaus (Problematik Halbgeschoße)
- Dämmung oberste Geschoßdecke, begehbar, nicht begehbar, Anschlüsse Dachkante
- Eventuell Dachausbau, Terrassen neu
- Fenstersanierung, z.T. mit speziellen Kastenfenstern, Anschlüsse
- Dämmung Kellerdecke, Minimierung Wärmebrücken über Außenwände und Innenwände
- Ausführung neue Balkone hofseitig
- Feuchteschutz gegen Schlagregen, aufsteigende Feuchte
- Verbesserung Luftdichtigkeit
- Verbesserung Schallschutz nach außen (Fenster und Fensteranschlüsse)
- Verbesserung Schallschutz zwischen Wohneinheiten (Wände, Decken)
- Verbesserung Brandschutz zwischen den Wohneinheiten
- Optimierte Wohnraumlüftung

4.1.5 Details Sockel: Außenwand – Kellerdecke

4.1.5.1 Außenwand mit WDVS, erdberührte Außenwand gedämmt, Kellerdecke ungedämmt

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – Keller-Gewölbedecke



Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*74*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,78	[W/m²K]	Σ	78,0	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*3*	*cm*
Ziegelgewölbe, schmalste Stelle				*14*	*cm*
U-Wert	0,99	[W/m²K]	Σ	27,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,085*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*-0,633*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,70*	*-*

Charakterisierung Bestand:

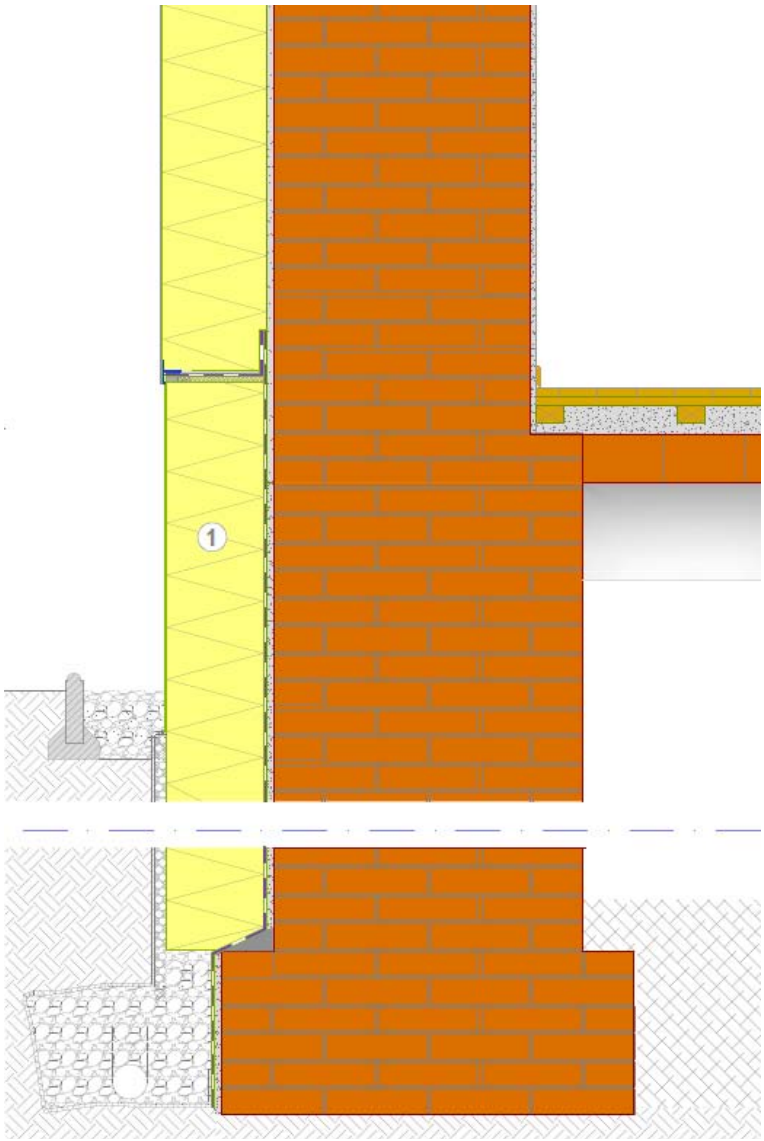
- Aufsteigende Feuchtigkeit, aufsteigende Salze?
- Nutzung des Kellers: Lagerraum, ungenutzt?
- Art Oberfläche Erdreich: Gras, Kies, Gehsteig dicht; geneigt nach außen?

Beschreibung Sanierung:

Die thermische Sanierung erfolgt durch eine Schirmdämmung: die Kellerdecke bleibt ungedämmt, die außenliegenden Wände des Kellers werden gedämmt:

- Die Temperatur des Kellerraumes wird im Winter erhöht, damit ergibt sich bei gleichbleibenden Feuchtequellen eine niedrigere relative Feuchte: Vorteile für Lagerung. Im Sommer abgesenkt, daher Kombination mit intelligenter Kellerlüftung sinnvoll (siehe Kap. erdberührte Bauteile)
- Soferne eine Durchfeuchtung des Mauerwerks durch Oberflächenwasser vorhanden ist, kann die Aufnahme durch die neu aufgebrachte vertikale Abdichtung und die Drainage vom Mauerwerk abgehalten werden.

Sockel: Außenwand mit WDVS, erdberührte Außenwand gedämmt, Kellerdecke ungedämmt



Wandaufbau					
Silikatputz, außen				*0,6*	*cm*
EPS-Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkputz				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*74*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,11	[W/m²K]	Σ	108,6	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*3*	*cm*
Ziegelgewölbe, schmalste Stelle				*14*	*cm*
U-Wert	0,99	[W/m²K]	Σ	27,0	cm

Kellerwandaufbau					
Silikatputz, außen				*0,6*	*cm*
EPS-Polystyrol expandiert				*28*	*cm*
Abdichtung				*0,2*	*cm*
Kalkputz				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*89*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ	120,3	cm

① *XPS*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,006*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*-0,249*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,83*	*-*

Eignung:

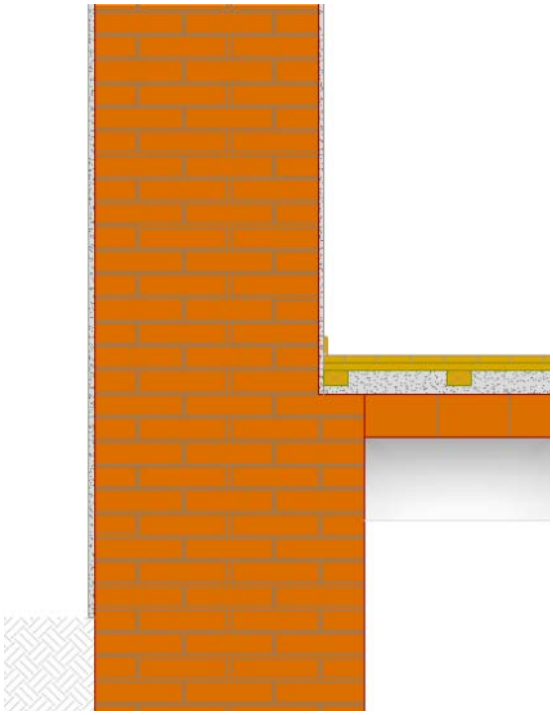
- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit und durch aufsteigende Schadsalze geeignet
- Aufgrabetiefe je nach statischen Möglichkeiten

Ausführungshinweise:

- Luftdichte Ebene (Außenputz, bei Erfordernis vollflächig verspachtelt) bis Unterkante Abdichtung führen, diese stellt auch die saubere Oberfläche für Aufbringen der vertikalen Abdichtung dar.
- Abdichtung vollflächig dicht verkleben bis mindestens 30 cm über Geländeniveau
- Den Streifen aus Polymerbitumen zwischen oberem Rand der Sockeldämmung und Dämmung des aufgehenden Mauerwerks mit der Wandoberfläche dicht verkleben (z.B. anflämmen), unterseitig an Fassadendämmplatte und Tropfkantenprofil verkleben.
- Einsatz einer intelligenten Lüftung insbesondere bei hohen Anforderungen an die Lagerqualität des Kellers prüfen (siehe Kapitel Kellerklima, Haustechnik).

4.1.5.2 Außenwand mit WDVS, erdberührte Außenwand horizontal abgedichtet und gedämmt

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – Keller-Gewölbedecke



Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*74*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,78	[W/m²K]	Σ	78,0	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*3*	*cm*
Ziegelgewölbe, schmalste Stelle				*14*	*cm*
U-Wert	0,99	[W/m²K]	Σ	27,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,085*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*-0,633*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,70*	-

Charakterisierung Bestand:

- Aufsteigende Feuchtigkeit, aufsteigende Salze?
- Nutzung des Kellers: Lagerraum, ungenutzt?
- Art Oberfläche Erdreich: Gras, Kies, Gehsteig dicht; geneigt nach außen?

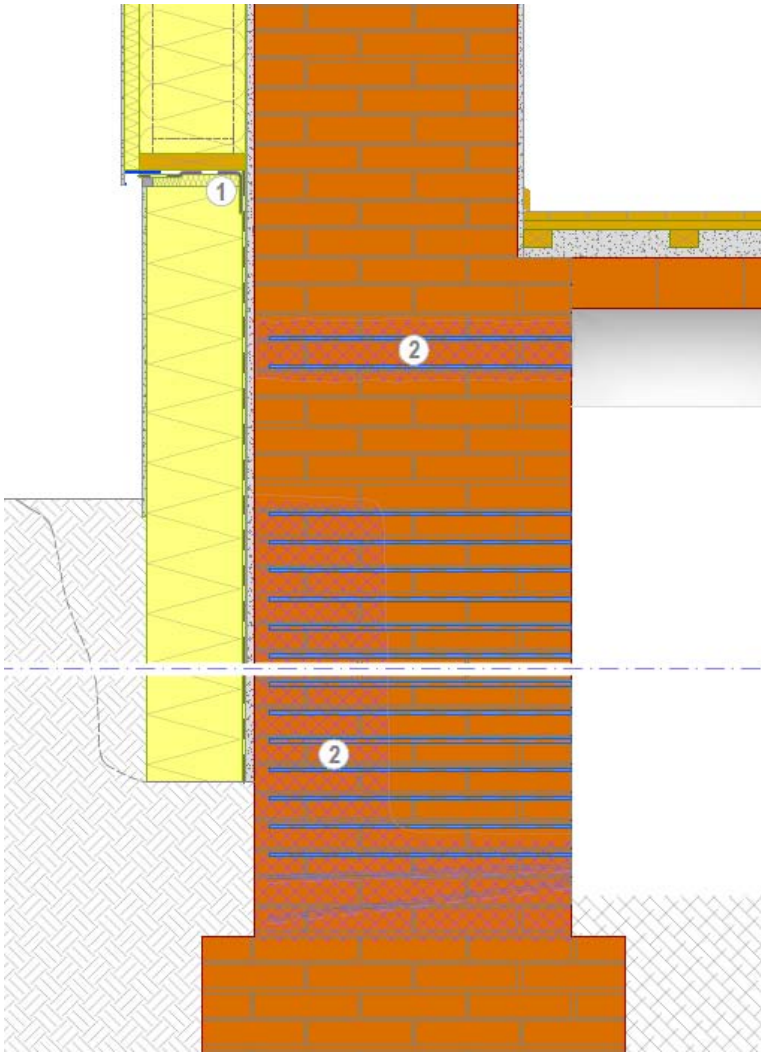
Sanierung: Außenwand mit WDVS, erdberührte Außenwand horizontal abgedichtet und gedämmt

Beschreibung:

Die thermische Sanierung erfolgt durch eine Schirmdämmung: die Kellerdecke bleibt ungedämmt, die außenliegenden Wände des Kellers werden gedämmt. Die Ausführung einer „Schirmdämmung“ bietet mehrere Vorteile:

- Die Temperatur des Kellerraumes wird im Winter erhöht, damit ergibt sich bei gleichbleibenden Feuchtequellen eine niedrigere relative Feuchte: Vorteile für Lagerung. Im Sommer abgesenkt, daher Kombination mit intelligenter Kellerlüftung sinnvoll (siehe Kap. erdberührte Bauteile)
- Soferne eine Durchfeuchtung Mauerwerk durch Oberflächenwasser vorhanden ist, kann die Aufnahme durch die neu aufgebrachte vertikale Abdichtung und die Drainage vom Mauerwerk abgehalten werden.

Sanierung: Außenwand mit WDVS, erdberührte Außenwand horizontal abgedichtet und gedämmt



Wandaufbau				
Silikatputz, außen			*0,6*	*cm*
Holzfaser-Dämmplatte			*4*	*cm*
Zelluloseflocken, Doppel-T-Träger			*30*	*cm*
Kalkputz			*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk			*74*	*cm*
Kalkputz, innen			*1,5*	*cm*
U-Wert	0,13	[W/m²K]	Σ 112,6	cm

Deckenaufbau				
Parkettboden			*2,5*	*cm*
Blindboden			*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8			*5*	*cm*
Schüttung			*3*	*cm*
Ziegelgewölbe, schmalste Stelle			*14*	*cm*
U-Wert	0,99	[W/m²K]	Σ 27,0	cm

Kellerwandaufbau				
Silikatputz, außen			*0,6*	*cm*
EPS-Polystyrol expandiert			*28*	*cm*
Abdichtung			*0,2*	*cm*
Kalkputz			*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk			*89*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ 120,3	cm

① *ECB-Bahn*

② *Injektage gegen aufsteigende Feuchte*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,018*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*-0,739*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,83*	*-*

Eignung:

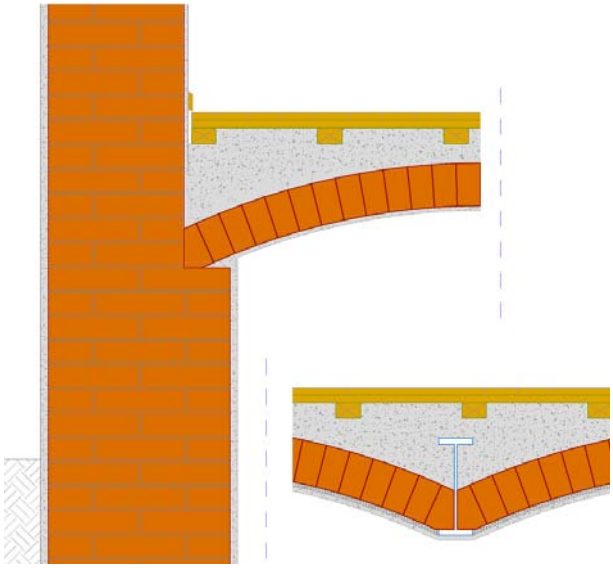
- Bei hoher Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit und durch aufsteigende Schadsalze geeignet
- Aufgrabetiefe je nach statischen Möglichkeiten

Ausführungshinweise:

- Luftdichte Ebene (Außenputz, bei Erfordernis vollflächig verspachtelt) bis Unterkante Abdichtung führen. Im Abdichtungsbereich ist eine bituminöse Schlämme zu verwenden
- Abdichtung vollflächig dicht verkleben bis mindestens 30 cm über Geländeniveau
- Tropfkantenprofil an Abschluss Holzkonstruktion verkleben und mechanisch sichern
- ECB-Bahn auf unterem Abschluss Holzkonstruktion (OSB-Platte) verkleben.
- Einsatz einer intelligenten Lüftung insbesondere bei hohen Anforderungen an die Lagerqualität des Kellers prüfen (siehe Kapitel Kellerklima, Haustechnik).

4.1.5.3 Außenwand mit WDVS, Kappendecke oberseitig gedämmt

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – Keller-Gewölbedecke



Außenwandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*6*	*cm*
Ziegelgewölbe, schmalste Stelle				*14*	*cm*
Kalkputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,93	[W/m²K]	Σ	31,5	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,174*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*-0,447*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,63*	-

Charakterisierung Bestand:

- Aufsteigende Feuchtigkeit, aufsteigende Salze?
- Nutzung des Kellers: Lagerraum, ungenutzt?
- Art Oberfläche Erdreich: Gras, Kies, Gehsteig dicht; geneigt nach außen?

Sanierung Außenwand mit Dämmung in Holzkonstruktion, Kellerdecke oberseitig mit Schüttung gedämmt

Beschreibung:

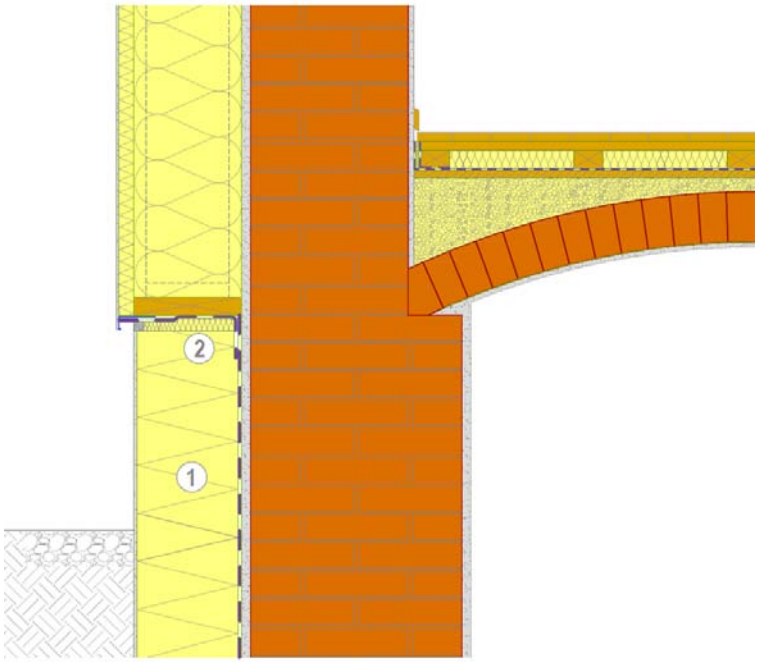
Die thermische Sanierung erfolgt durch eine Außen- und Perimeterdämmung und eine oberseitige Dämmung der Kellerdecke.

- Durchgängige luftdichte Ebene ist der Außenputz und die Dampfbremse der Kellerdecke, ein direkter strömungsdichter Anschluss von vertikaler und horizontaler Ebene ist nicht möglich.
- Die Wärmebrückenwirkung im Sockelbereich ist hoch.
- Durch die Wärmedämmung der Kellerdecke wird die Temperatur im Keller abgesenkt und ohne begleitende Maßnahmen die relative Feuchte im Keller erhöht.

Eignung:

- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit und durch aufsteigende Schadsalze geeignet
- Wenn Erdgeschoßwohnung für Sanierung geräumt werden kann

Sanierung: Außenwand mit WDVS, Kellerdecke oberseitig gedämmt



① *XPS*
② *ECB-Bahn*

Wandaufbau					
Silikatputz, außen				*0,6*	*cm*
Holzfaser-Dämmplatte				*4*	*cm*
Zelluloseflocken, Doppel-T-Träger				*30*	*cm*
Kalkputz				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,11	[W/m²K]	Σ	82,6	cm

Deckenaufbau					
Bodenbelag				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schafwolle, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Holzfaser-Dämmplatte				*2*	*cm*
Perlite expandiert, verdichtet				*8*	*cm*
Ziegelgewölbe, schmalste Stelle				*14*	*cm*
Kalkputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,25	[W/m²K]	Σ	35,5	cm

Kellerwandaufbau					
Silikatputz, außen				*0,6*	*cm*
EPS-Polystyrol expandiert				*28*	*cm*
Abdichtung				*0,2*	*cm*
Kalkputz				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*59*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ	91,8	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,005*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*0,130*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,86*	*-*

Ausführungshinweise:

- Luftdichte Ebene (Außenputz, bei Erfordernis vollflächig verspachtelt) bis Unterkante Abdichtung führen, diese stellt auch die saubere Oberfläche für Aufbringen der vertikalen Abdichtung dar.
- Nach Montage des Außenwand-Dämmsystems Abdichtungsebene bis zum Tropfkantenprofil ziehen und an Sockelholz verkleben (z.B. mit ECB-Bahn).
- Perimeterdämmplatten mit vorkomprimiertem Dichtungsband und angeheftetem Streifen Faserdämmstoff knirsch nach oben drücken, oberste Dämmplatte sollte vollflächig verklebt werden. Dämmung sollte mindestens 0,5 m unter Niveau reichen.
- Den Innenputz des Bestandes als luftdichte Ebene bis Rohdecke führen, wenn nur in Teilen vorhanden
- Perliteschüttung einbringen, verdichten, Holzfaserplatte auflegen
- Einsatz einer intelligenten Lüftung für Keller prüfen (siehe Kapitel Kellerklima, Haustechnik).

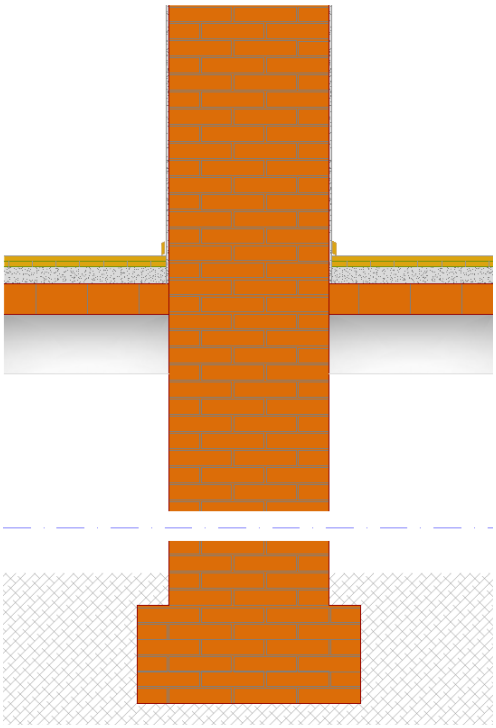
Diskussion:

Vor allem für „trockene“ Keller mit Feuchtereserven geeignet, bei denen keine hohen Anforderungen an das Feuchteverhalten gestellt werden. Durch den diffusionsoffenen Aufbau der Außenwanddämmung können weiterhin (geringe) Feuchtemengen nach außen geführt werden.

4.1.6 Innenwand – Kellerdecke

4.1.6.1 Innenwand Vollziegel verputzt, Kellerdecke oberseitig gedämmt

Bestand: Innenwand Vollziegel verputzt – Keller-Gewölbedecke



Wandaufbau					
Kalkputz				*1,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*74*	*cm*
Kalkputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,74	[W/m²K]	Σ	77,0	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*3*	*cm*
Ziegelgewölbe, schmalste Stelle				*14*	*cm*
U-Wert	0,99	[W/m²K]	Σ	27,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
innen / Keller	*-0,083*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,68*	-

Charakterisierung Bestand:

- Aufsteigende Feuchtigkeit, aufsteigende Salze?
- Nutzung des Kellers: Lagerraum, ungenutzt?

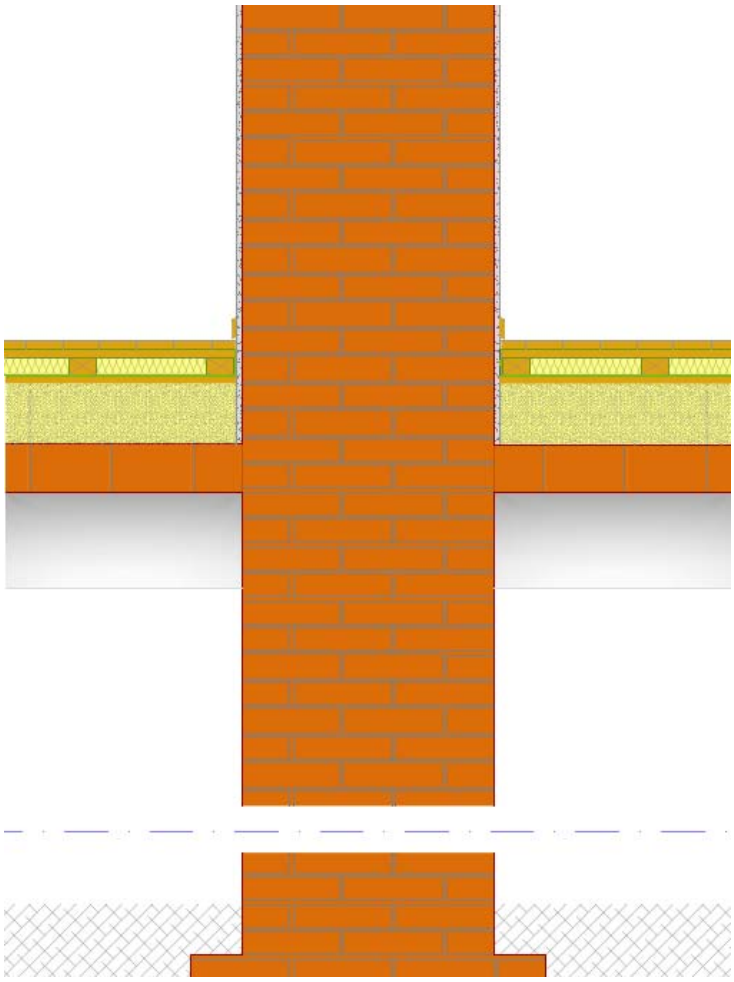
Sanierung Innenwand Vollziegel verputzt, Kellerdecke oberseitig gedämmt

Beschreibung:

Die thermische Sanierung erfolgt durch eine oberseitige Wärmedämmung der Kellerdecke:

- Durchgängige luftdichte Ebene ist der Außenputz und die Dampfbremse der Kellerdecke, ein direkter strömungsdichter Anschluss von vertikaler und horizontaler Ebene ist nicht möglich.
- Die Wärmebrückenwirkung im Sockelbereich ist hoch.
- Durch die Wärmedämmung der Kellerdecke wird die Temperatur im Keller abgesenkt und, ohne begleitende Maßnahmen, die relative Feuchte im Keller erhöht.
- Dämmstoffhöhe stark von bestehender Fußbodenoberkante abhängig, im Scheitelpunkt sind häufig keine hohen Dämmstärken möglich, insgesamt ist der erreichbare Wärmeschutz dadurch limitiert.

Sanierung: Innenwand Vollziegel verputzt, Kellerdecke oberseitig gedämmt



Wandaufbau					
Kalkputz				*1,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*74*	*cm*
Kalkputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,74	[W/m²K]	Σ	77,0	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schafwolle, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Holzfaser-Dämmplatte				*2*	*cm*
Perlite expandiert, verdichtet				*8*	*cm*
Ziegelgewölbe, schmalste Stelle				*14*	*cm*
U-Wert	0,25	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / Keller	*0,763*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,69*	*-*

Eignung:

- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit und durch aufsteigende Schadsalze geeignet
- Wenn Erdgeschoßwohnung für Sanierung geräumt werden kann

Ausführungshinweise:

- Fußbodenaufbau und Schüttung entfernen
- Den Innenputz des Bestandes als luftdichte Ebene bis Rohdecke führen, wenn nur in Teilen vorhanden
- Perliteschüttung einbringen, verdichten, Holzfaserplatte auflegen
- Dampfbremse verlegen, mit Innenputz strömungsdicht verbinden.
- Einsatz einer intelligenten Lüftung im Keller prüfen (siehe Kapitel Kellerklima, Haustechnik).

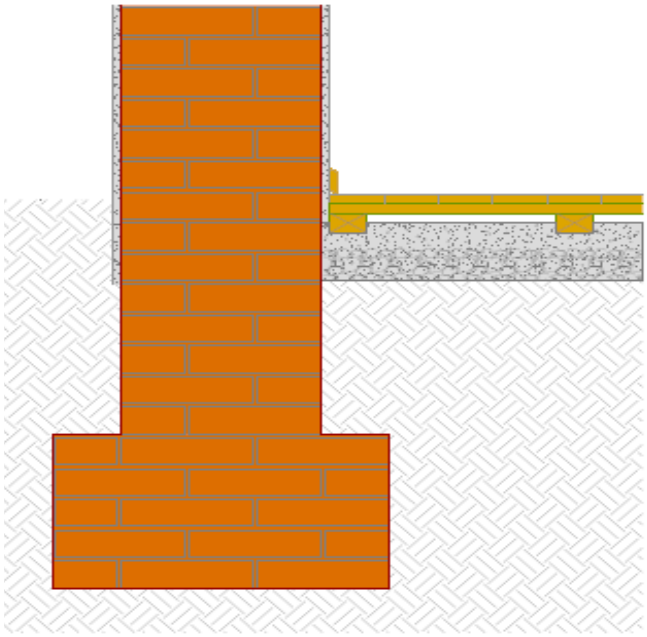
Diskussion:

Vor allem für „trockene“ Keller mit Feuchtereserven geeignet, wenn keine hohen Anforderungen an das Feuchteverhalten gestellt werden.

4.1.7 Sockel: Außenwand – Erdberührter Fußboden

4.1.7.1 Außenwand WDVS, erdberührter Fußboden oberseitig gedämmt

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – Erdberührter Fußboden



Außenwandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

Bodenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*10*	*cm*
Erdreich					*cm*
U-Wert	1,35	[W/m²K]	Σ	20,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,310*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,66*	*-*

Charakterisierung Bestand:

- Aufsteigende Feuchtigkeit, aufsteigende Salze?
- Art Oberfläche Erdreich: Gras, Kies, Gehsteig dicht; geneigt nach außen?

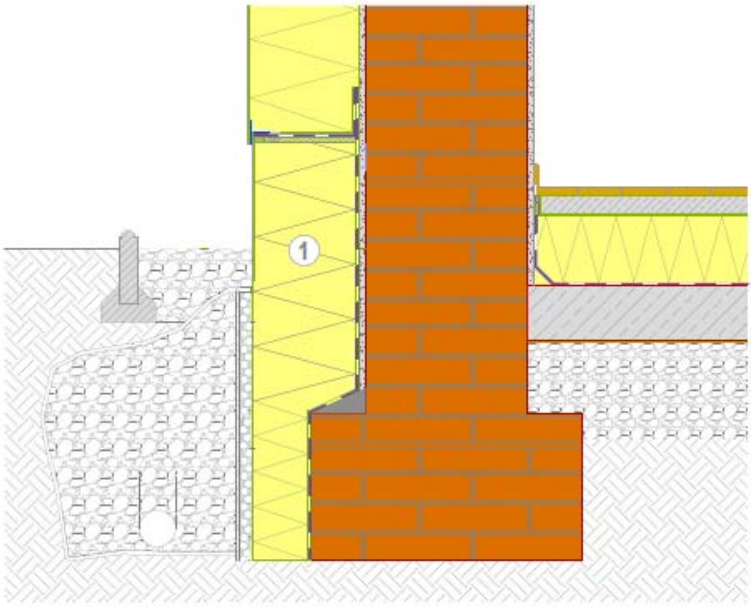
Sanierung Außenwand WDVS, erdberührter Fußboden oberseitig gedämmt

Beschreibung:

Die thermische Sanierung erfolgt durch eine außenseitige Dämmung der Außenwand, wobei die Perimeterdämmung möglichst weit nach unten geführt wird, idealerweise bis zur Unterkante der Fundamentierung. Der Fußboden wird oberseitig gedämmt, ein U-Beton wird als dauerhaft tragfähige Unterlage für Abdichtung und druckfeste Dämmung verwendet.

- Gegebenenfalls Absenkung des Geländeniveaus zumindest im Spritzwasserbereich, besonders im Türenbereich, wenn erforderlich
- Die Wärmebrückenwirkung im Sockelbereich ist hoch.

Sanierung: Außenwand WDVS, erdberührter Fußboden oberseitig gedämmt



Wandaufbau					
Silikatputz, außen				*0,6*	*cm*
EPS-Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkputz				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ	78,6	cm

Bodenaufbau					
Bodenbelag				*2,5*	*cm*
Estrichbeton				*6*	*cm*
PE-Weichschaum, Stöße abgeklebt				*0,5*	*cm*
EPS-W25				*18*	*cm*
Polymerbitumen-Abdichtung				*0,01*	*cm*
Betonplatte				*15*	*cm*
Trennlage				*0,02*	*cm*
Rollierung				*20*	*cm*
U-Wert	0,20	[W/m²K]	Σ	62,0	cm

① *XPS*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,064*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,84*	-

Eignung:

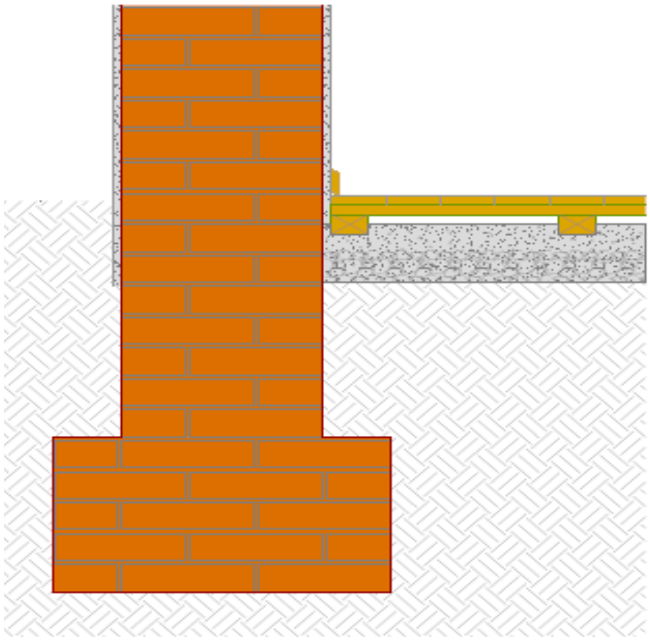
- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit und aufsteigende Schadsalze
- Wenn Erdgeschoßwohnung für Sanierung geräumt werden kann
- Wenn Perimeterdämmung möglich ist (Statik, Oberflächenstruktur)

Ausführungshinweise:

- Außenputz Außenwand und Sockel reinigen, fehlende Teile ausbessern und bis Unterkante Abdichtung führen. Der Außenputz stellt die luftdichte Ebene und die saubere Oberfläche für Aufbringen der vertikalen Abdichtung dar.
- Perimeterdämmplatten mit vorkomprimiertem Dichtungsband und angeheftetem Streifen Faserdämmstoff knirsch nach oben drücken, oberste Dämmplatte sollte vollflächig verklebt werden. Perimeterdämmung bis 1 m unter Niveau ziehen, wenn möglich.
- Entfernung Bestandsboden, bis zu gewünschter Tiefe auskoffern, Rollierung einbringen, U-Beton auf Trennlage ausführen, Abdichtung vollflächig aufbringen, an gegebenenfalls verlängerten Innenputz anschließen

4.1.7.2 Außenwand WDVS, erdberührter Fußboden unterseitig gedämmt

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – erdberührter Fußboden



Außenwandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

Bodenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*10*	*cm*
Erdreich					*cm*
U-Wert	1,35	[W/m²K]	Σ	20,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,310*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,66*	*-*

Charakterisierung Bestand:

- Aufsteigende Feuchtigkeit, aufsteigende Salze?
- Art Oberfläche Erdreich: Gras, Kies, Gehsteig dicht; geneigt nach außen?

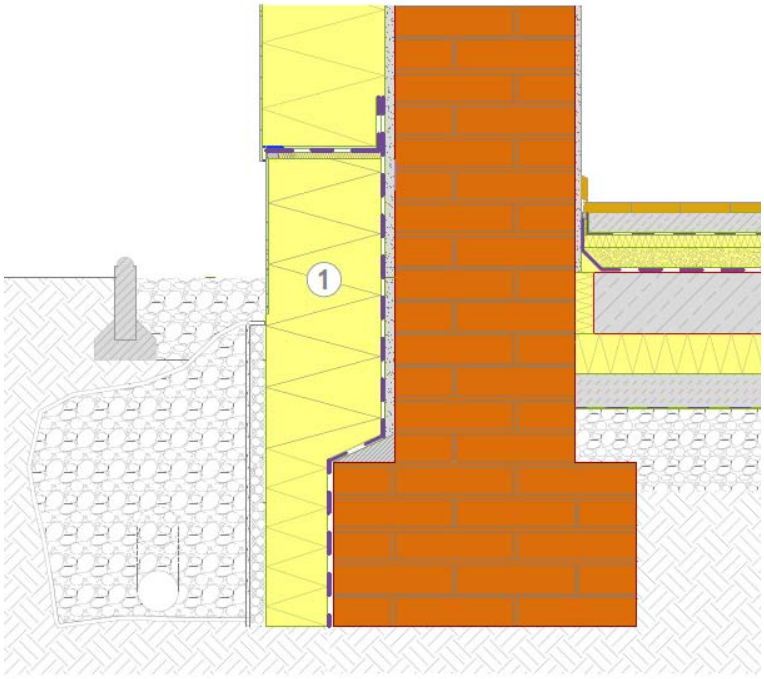
Sanierung Außenwand WDVS, erdberührter Fußboden oberseitig gedämmt

Beschreibung:

Die thermische Sanierung erfolgt durch eine außenseitige Dämmung der Außenwand, wobei die Perimeterdämmung möglichst weit nach unten geführt wird, idealerweise bis zur Unterkante Fundamentierung. Der Fußboden wird unterseitig gedämmt.

- Gegebenenfalls Absenkung des Geländeniveaus zumindest im Spritzwasserbereich, besonders im Türenbereich, wenn erforderlich
- Die Wärmebrückenwirkung im Sockelbereich ist hoch.

Sanierung: Außenwand WDVS, erdberührter Fußboden unterseitig gedämmt



Wandaufbau					
Silikatputz, außen				*0,6*	*cm*
EPS-Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkputz				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ	78,6	cm

Bodenaufbau					
Bodenbelag				*2,5*	*cm*
Zementestrich				*5*	*cm*
PE-Folie				*0,02*	*cm*
EPS-Trittschalldämmplatte				*3*	*cm*
EPS-Schüttung, zementgebunden				*5*	*cm*
Abdichtung				*0,03*	*cm*
Betonplatte				*15*	*cm*
Trennlage				*0,02*	*cm*
XPS mit Stufenfalz				*10*	*cm*
Magerbeton/ Sauberkeitsschicht				*8*	*cm*
Trennlage				*0,02*	*cm*
U-Wert	0,22	[W/m²K]	Σ	48,6	cm

① *XPS*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,029*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,85*	-

Eignung:

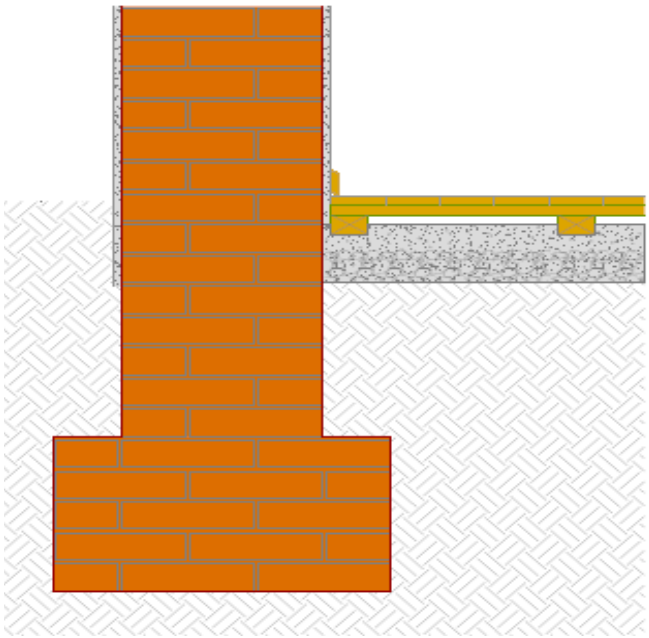
- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit und durch aufsteigende Schadsalze geeignet
- Wenn Erdgeschoßwohnung für Sanierung geräumt werden kann
- Wenn Perimeterdämmung möglich ist (Statik, Oberflächenstruktur)

Ausführungshinweise:

- Außenputz Außenwand und Sockel reinigen, fehlende Teile ausbessern und bis Unterkante Abdichtung führen. Der Außenputz stellt die luftdichte Ebene und die saubere Oberfläche für Aufbringen der vertikalen Abdichtung dar.
- Perimeterdämmplatten mit vorkomprimiertem Dichtungsband und angeheftetem Streifen Faserdämmstoff knirsch nach oben drücken, oberste Dämmplatte sollte vollflächig verklebt werden. Tiefe Perimeterdämmung bis 1 m unter Niveau, wenn möglich.
- Entfernung Bestandsboden, bis zu gewünschter Tiefe auskoffern
- Rollierung einbringen, Sauberkeitsschicht auf Trennlage, XPS auflegen, U-Beton auf Trennlage, Abdichtung vollflächig aufbringen, an gegebenenfalls verlängerten Innenputz anschließen

4.1.7.3 Außenwand WDVS, Schirmdämmung, Boden ungedämmt

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – erdberührter Fußboden



Außenwandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

Bodenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*10*	*cm*
Erdreich					*cm*
U-Wert	1,35	[W/m²K]	Σ	20,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,310*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,66*	*-*

Charakterisierung Bestand:

- Aufsteigende Feuchtigkeit, aufsteigende Salze?
- Art Oberfläche Erdreich: Gras, Kies, Gehsteig dicht; geneigt nach außen?

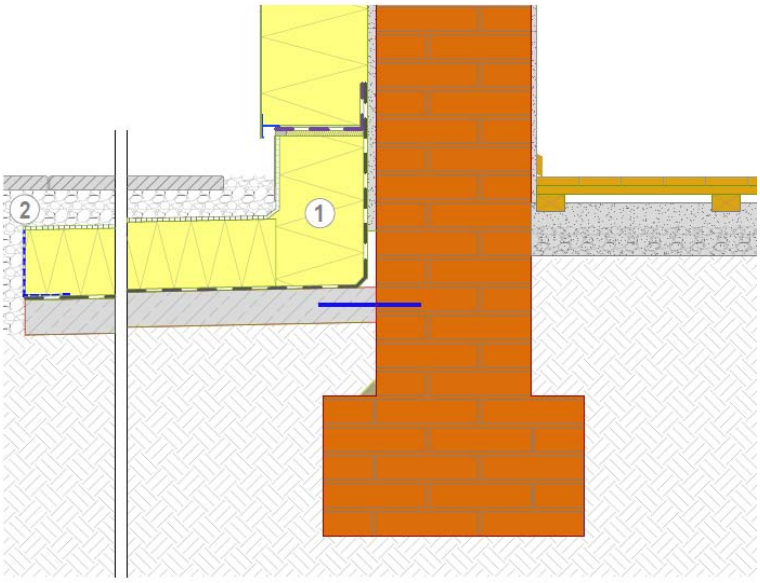
Sanierung Außenwand WDVS, Schirmdämmung, Boden ungedämmt

Beschreibung:

Die thermische Sanierung erfolgt durch eine außenseitige Dämmung der Außenwand, der Fußboden bleibt ungedämmt. Die Schirmdämmung wird auf einer statisch am Fundament angehefteten Sauberkeitsschicht ausgeführt.

- Von Vorteil ist die durchgehende Bewohnbarkeit der Erdgeschoßwohnung
- Gegebenenfalls Absenkung des Geländeniveaus zumindest im Spritzwasserbereich, besonders im Türenbereich, wenn erforderlich

Sanierung: Außenwand WDVS, Schirmdämmung, Boden ungedämmt



Wandaufbau					
Silikatputz, außen				*0,6*	*cm*
EPS-Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkputz				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ	78,6	cm

Bodenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*10*	*cm*
Erdreich					*cm*
U-Wert	1,35	[W/m²K]	Σ	20,0	cm

① *XPS*
② *Kiesleiste Niro, mechanisch befestigt*

2-dimensionale Kennwerte			
Ψ-Wert innen / außen – 1 m		*-0,077*	*W/mK*
f_{RSi} - 1m		*0,84*	*-*
Ψ-Wert innen / außen – 2,5 m		*-0,061*	*W/mK*
f_{RSi} – 2,5m		*0,86*	*-*
Ψ-Wert innen / außen – 5 m		*-0,051*	*W/mK*
f_{RSi} - 5m		*0,87*	*-*

Eignung:

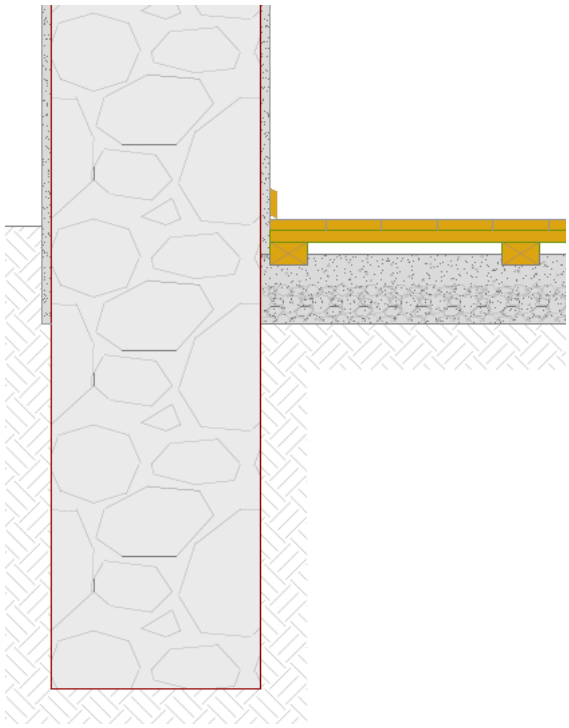
- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit und durch aufsteigende Schadsalze geeignet
- Wenn Fußboden nicht erneuert werden kann und/oder muss.

Ausführungshinweise:

- Außenputz Außenwand und Sockel reinigen, fehlende Teile ausbessern. Der Außenputz stellt die luftdichte Ebene und die saubere Oberfläche für Aufbringen der vertikalen Abdichtung dar.
- Bewehrte Sauberkeitsschichte auf Rollierung betonieren, punktweise am Sockel statisch befestigen.
- Abdichtung vollflächig dicht verkleben bis mindestens 30 cm über Geländeniveau (Spritzwasserbereich)
- Den Streifen aus Polymerbitumen zwischen oberem Rand der Sockeldämmung und Dämmung des aufgehenden Mauerwerks mit der Wandoberfläche dicht verkleben (z.B. anflämmen), unterseitig an Fassadendämmplatte und Tropfkantenprofil verkleben.
- Perimeterdämmplatten mit vorkomprimiertem Dichtungsband und angeheftetem Streifen Faserdämmstoff knirsch nach oben drücken, oberste Dämmplatte sollte vollflächig verklebt werden. Tiefe Schirmdämmung bis 1 m unter Niveau, wenn möglich.
- Drainageschotterbett allseits mit PP-Filtervlies umhüllen, die Verunreinigung des Schotters durch Erdreich bei der Arbeit sorgfältig vermeiden,

4.1.7.4 Außenwand Kalkstein WDVS, erdberührter Fußboden unterseitig gedämmt

Bestand: Außenwand Kalkstein verputzt – erdberührter Fußboden



Außenwandaufbau					
Kalkputz, außen				*2*	*cm*
Kalksteinmauerwerk				*45*	*cm*
Kalkputz, innen				*2*	*cm*
U-Wert	2,23	[W/m²K]	Σ	49,0	cm

Bodenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*10*	*cm*
Erdreich					*cm*
U-Wert	1,35	[W/m²K]	Σ	20,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,440*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,51*	-

Charakterisierung Bestand:

- Aufsteigende Feuchtigkeit, aufsteigende Salze?
- Art Oberfläche Erdreich: Gras, Kies, Gehsteig dicht; geneigt nach außen?

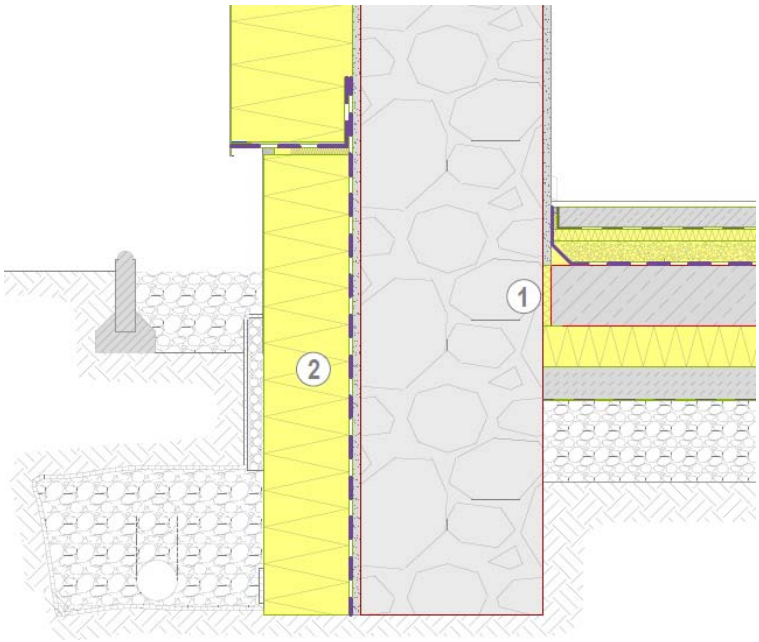
Sanierung Außenwand Kalkstein mit WDVS, erdberührter Fußboden unterseitig gedämmt

Beschreibung:

Die thermische Sanierung erfolgt durch eine außenseitige Dämmung der Außenwand, wobei die Perimeterdämmung möglichst weit nach unten geführt wird, idealerweise bis zur Unterkante Fundamentierung. Die Fußboden wird unterseitig gedämmt.

- Gegebenenfalls Absenkung des Geländeniveaus zumindest im Spritzwasserbereich, besonders im Türenbereich, wenn erforderlich
- Die Wärmebrückenwirkung im Sockelbereich ist hoch

Sanierung: Außenwand Kalkstein WDVS, erdberührter Fußboden unterseitig gedämmt



Wandaufbau					
Silikatputz, außen				*0,6*	*cm*
EPS-Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*2*	*cm*
Kalksteinmauerwerk				*45*	*cm*
Kalkputz, innen				*2*	*cm*
U-Wert	0,13	[W/m²K]	Σ	79,6	cm

Bodenaufbau					
Fliesen				*1,5*	*cm*
Zementestrich				*5*	*cm*
PE-Folie				*0,02*	*cm*
EPS-Trittschalldämmplatte				*3*	*cm*
EPS-Schüttung, zementgebunden				*5*	*cm*
Abdichtung				*0,3*	*cm*
Betonplatte				*15*	*cm*
Trennlage				*0,02*	*cm*
XPS mit Stufenfalz				*10*	*cm*
Magerbeton/ Sauberkeitsschicht				*8*	*Cm*
Trennlage				*0,02*	*cm*
U-Wert	0,23	[W/m²K]	Σ	47,9	cm

① *XPS*
② *XPS*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,191*	*W/mK*
f_{RSi} - 1m	*0,79*	*-*

Eignung:

- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit und aufsteigende Schadsalze
- Wenn Erdgeschoßwohnung für Sanierung geräumt werden kann
- Wenn Perimeterdämmung möglich ist (Statik, Oberflächenstruktur)

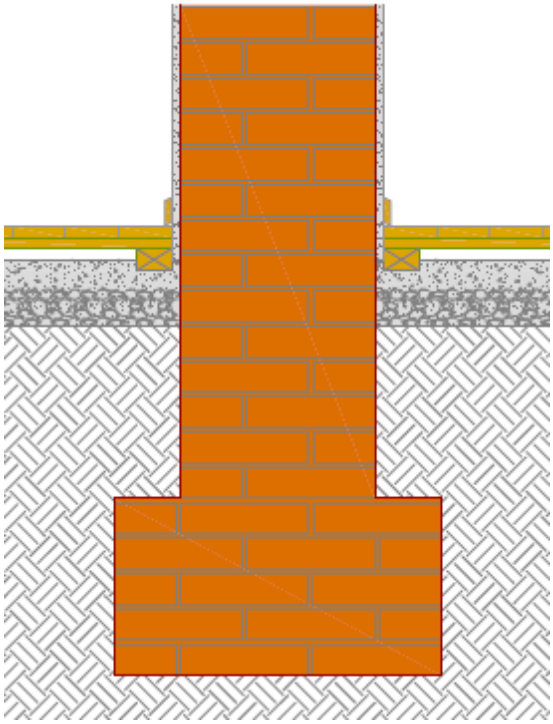
Ausführungshinweise:

- Außenputz Außenwand und Sockel reinigen, fehlende Teile ausbessern und bis Unterkante Abdichtung führen. Der Außenputz stellt die luftdichte Ebene und die saubere Oberfläche für Aufbringen der vertikalen Abdichtung dar.
- Den Streifen aus Polymerbitumen zwischen oberem Rand der Sockeldämmung und Dämmung des aufgehenden Mauerwerks mit der Wandoberfläche dicht verkleben (z.B. anflämmen), unterseitig an Fassadendämmplatte und Tropfkantenprofil verkleben
- Perimeterdämmplatten mit vorkomprimiertem Dichtungsband und angeheftetem Streifen Faserdämmstoff knirsch nach oben drücken, oberste Dämmplatte sollte vollflächig verklebt werden. Tiefe Perimeterdämmung bis 1 m unter Niveau, wenn möglich.
- Rollierung einbringen, Sauberkeitsschicht auf Trennlage, XPS auflegen, U-Beton auf Trennlage, Abdichtung vollflächig aufbringen, an gegebenenfalls verlängerten Innenputz anschließen

4.1.8 Sockel: Innenwand – erdberührter Fußboden

4.1.8.1 Innenwand Vollziegel – erdberührter Boden oberseitig gedämmt

Bestand: Innenwand Vollziegel verputzt – erdberührter Fußboden



Innenwandaufbau					
Kalkputz, außen				*2*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*2*	*cm*
U-Wert	1,06	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

Bodenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*10*	*cm*
Erdreich					*cm*
U-Wert	1,35	[W/m²K]	Σ	20,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,078*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,59*	-

Charakterisierung Bestand:

- Aufsteigende Feuchtigkeit, aufsteigende Salze?

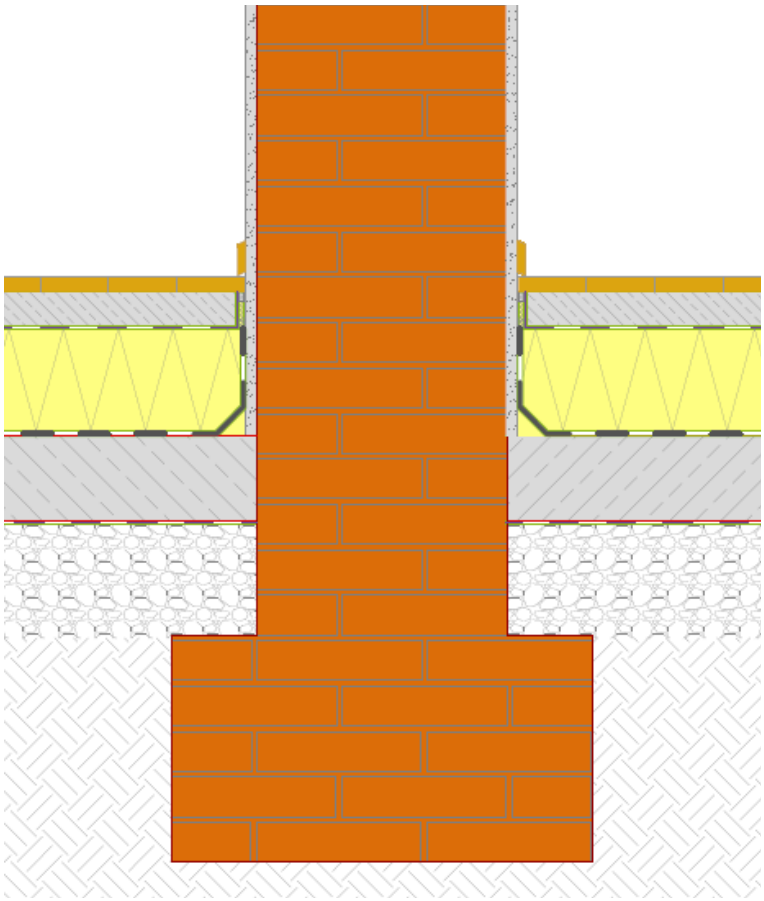
Sanierung Erdberührter Fußboden oberseitig gedämmt

Beschreibung:

Die thermische Sanierung erfolgt durch oberseitige Wärmedämmung, ein U-Beton wird als dauerhaft tragfähige Unterlage für Abdichtung und druckfeste Dämmung verwendet.

- Die Wärmebrückenwirkung im Sockelbereich ist hoch, hängt allerdings auch von der Kompaktheit des Gebäudes, der Ausführung einer Schirmdämmung etc. ab.

Sanierung: Innenwand Vollziegel – erdberührter Boden oberseitig gedämmt



Innenwandaufbau					
Kalkputz, außen				*2*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*2*	*cm*
U-Wert	1,06	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

Bodenaufbau					
Bodenbelag				*2,5*	*cm*
Estrichbeton				*6*	*cm*
PE-Weichschaum, Stöße abgeklebt				*0,5*	*cm*
EPS-W25				*18*	*cm*
Polymerbitumen-Abdichtung				*0,02*	*cm*
Betonplatte				*15*	*cm*
Trennlage				*0,02*	*cm*
Rollierung				*20*	*cm*
U-Wert	0,20	[W/m²K]	Σ	62,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,523*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,75*	*-*

Eignung:

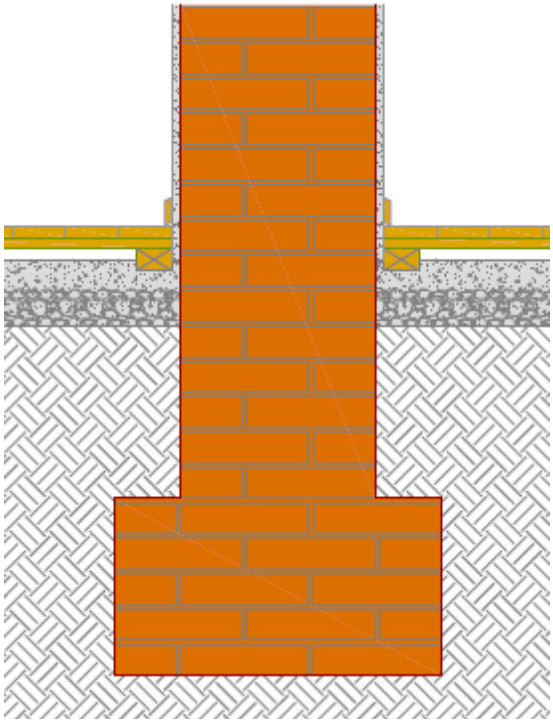
- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit und durch aufsteigende Schadsalze geeignet
- Wenn Erdgeschoßwohnung für Sanierung geräumt werden kann

Ausführungshinweise:

- Entfernung Bestandsboden, bis zu gewünschter Tiefe auskoffern
- Rollierung einbringen, U-Beton auf Trennlage ausführen, Abdichtung vollflächig aufbringen, an gegebenenfalls verlängerten Innenputz anschließen

4.1.8.2 Innenwand Vollziegel – erdberührter Boden unterseitig gedämmt

Bestand: Innenwand Vollziegel verputzt – erdberührter Boden



Innenwandaufbau					
Kalkputz, außen				*2*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*2*	*cm*
U-Wert	1,06	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

Bodenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*10*	*cm*
Erdreich					*cm*
U-Wert	1,35	[W/m²K]	Σ	20,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,078*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,59*	-

Charakterisierung Bestand:

- Aufsteigende Feuchtigkeit, aufsteigende Salze?

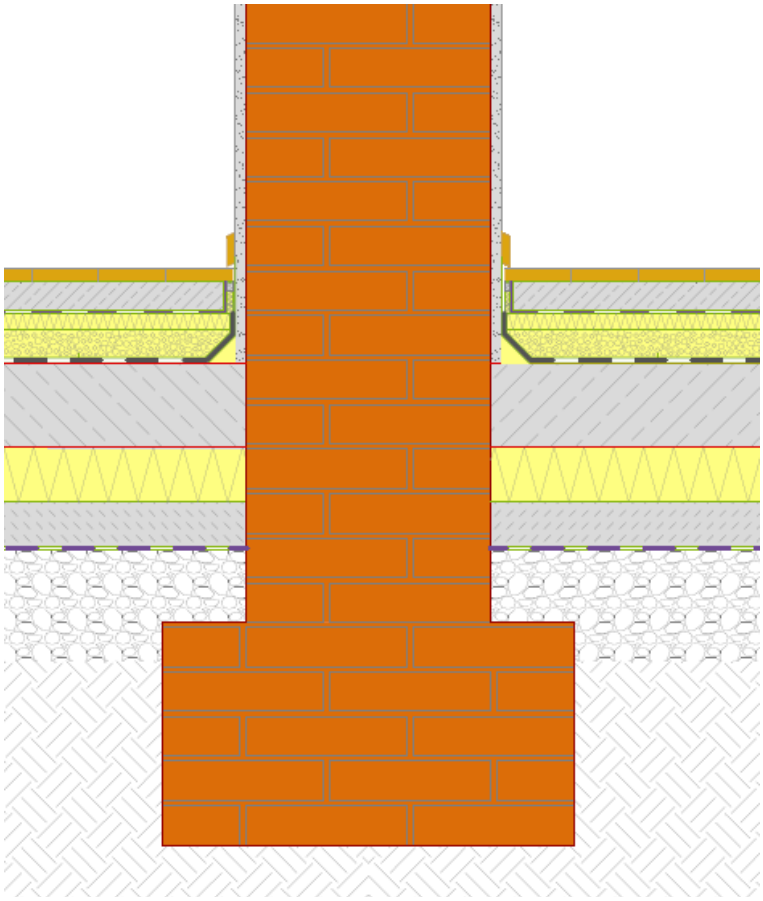
Sanierung Innenwand Vollziegel – erdberührter Boden unterseitig gedämmt

Beschreibung:

Die thermische Sanierung erfolgt durch eine druckfeste, feuchteunempfindliche Dämmung des erdberührten Fußbodens, die unterseitig ausgeführt wird.

- Von Vorteil ist das Feuchteverhalten der Fußbodenkonstruktion: Die Installationen können warmseitig verlegt werden, die Abdichtung liegt im warmen Bereich
- Die Wärmebrückenwirkung im Sockelbereich ist hoch, hängt allerdings auch von der Kompaktheit des Gebäudes, der Ausführung einer Schirmdämmung etc. ab.

Sanierung: Innenwand Vollziegel – erdberührter Boden unterseitig gedämmt



Innenwandaufbau					
Kalkputz, außen				*2*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*2*	*cm*
U-Wert	1,06	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

Bodenaufbau					
Bodenbelag				*2,5*	*cm*
Zementestrich				*5*	*cm*
PE-Folie				*0,02*	*cm*
EPS-Trittschalldämmplatte				*3*	*cm*
EPS-Schüttung, zementgebunden				*5*	*cm*
Abdichtung				*0,03*	*cm*
Betonplatte				*15*	*cm*
Trennlage				*0,02*	*cm*
XPS mit Stufenfalz				*10*	*cm*
Magerbeton/ Sauberkeitsschicht				*8*	*Cm*
Trennlage				*0,02*	*cm*
U-Wert	0,22	[W/m²K]	Σ	48,6	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,389*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,81*	-

Eignung:

- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit und aufsteigende Schadsalze
- Wenn Erdgeschoßwohnung für Sanierung geräumt werden kann

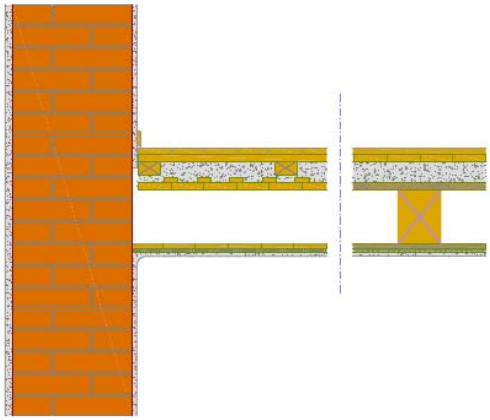
Ausführungshinweise:

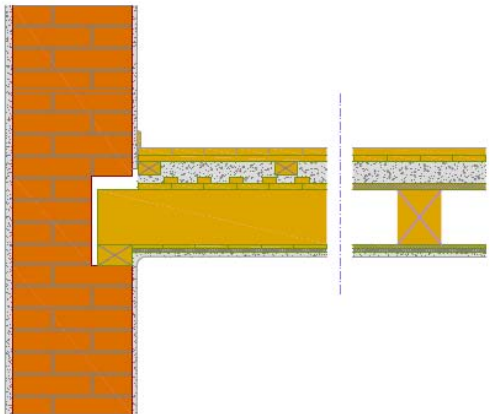
- Entfernung Bestandsboden, bis zu gewünschter Tiefe auskoffern
- Rollierung einbringen, Sauberkeitsschicht auf Trennlage ausführen
- Den Innenputz des Bestandes als luftdichte Ebene bis Sauberkeitsschicht führen, druckfeste und feuchte-unempfindliche Wärmedämmung auflegen, Betonplatte gießen.
- Abdichtung vollflächig aufbringen, an Innenputz luftdicht anschließen

4.1.9 Zwischengeschoße: Außenwand – Geschoßdecke

4.1.9.1 Außenwand mit WDVS - Geschoßdecke Holzträme

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – Geschoßdecke Holzträme





Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*2,5*	*cm*
Holzschalung				*2,5*	*cm*
Luftraum, Holzträme				*20*	*cm*
Holzschalung				*1,5*	*cm*
Stukkatur				*1,5*	*cm*
Kalkputz, innen				*1*	*cm*
U-Wert	0,82	[W/m²K]	Σ	39,0	cm

2-dimensionaler Kennwert		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,054*	*W/mK*
3-dimensionale Kennwerte		
χ-Wert innen / außen	*-0,020*	*W/K*
f_{RSi}	*0,71*	*-*

Charakterisierung Bestand:

- Risse vorhanden?

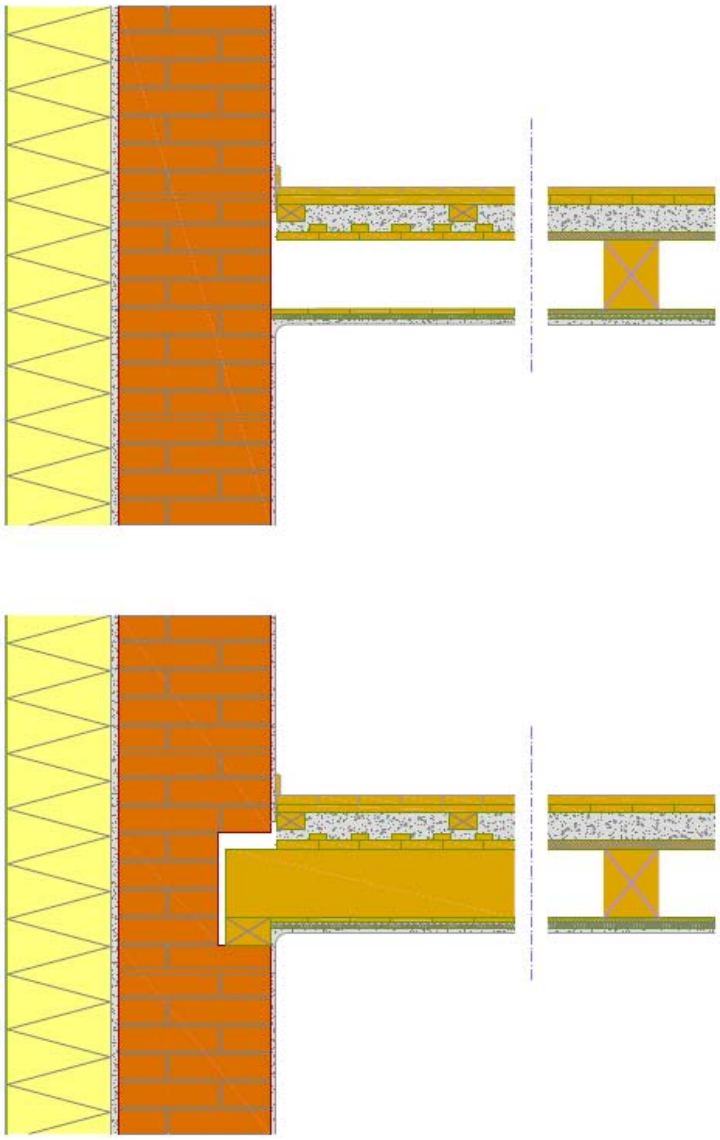
Sanierung Außenwand mit WDVS – Geschoßdecke Holzträme

Beschreibung:

Die thermische Sanierung erfolgt durch die außenseitige Wärmedämmung der Außenwand:

- Die Temperatur im Bereich Balkenkopf wird deutlich erhöht, damit sinkt bei gleicher Feuchtelast die relative Feuchte im Stirnbereich des Balkenkopfes
- Durch ein dampfdiffusionsoffenes, aber wasserhemmendes Putzsystem werden meist auch die durch Schlagregen eindringenden Wassermengen geringer

Sanierung: Außenwand mit WDVS - Geschoßdecke Holzträme



Wandaufbau					
Silikatputz, außen				*0,6*	*cm*
EPS-Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkputz				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ	78,6	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*2,5*	*cm*
Holzschalung				*2,5*	*cm*
Luftraum, Holzträme				*20*	*cm*
Holzschalung				*1,5*	*cm*
Stukkatur				*1,5*	*cm*
Kalkputz, innen				*1*	*cm*
U-Wert	0,82	[W/m²K]	Σ	39,0	cm

2-dimensionaler Kennwert		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,001*	*W/mK*
3-dimensionale Kennwerte		
χ-Wert innen / außen	*-0,000*	*W/K*
f_{RSi}	*0,97*	*-*

Eignung:

- Bei Fassaden ohne aufwändige Stukkatur

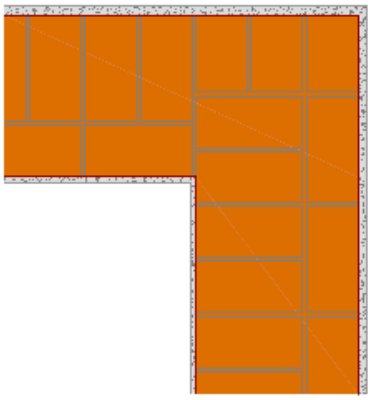
Ausführungshinweise:

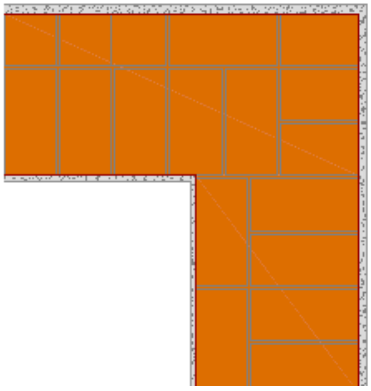
- Luftdichte Ebene ist der Bestands-Außenputz: Risse schließen, bei Erfordernis vollflächig verspachteln

4.1.10 Zwischengeschoße: Außenwand – Außenwand

4.1.10.1 Außenwand – Ecke Vollziegel verputzt, mit Dämmung zwischen Holzkonstruktion

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt





Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,873*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,59*	*-*

Charakterisierung Bestand:

- Aufsteigende Feuchtigkeit, aufsteigende Salze?

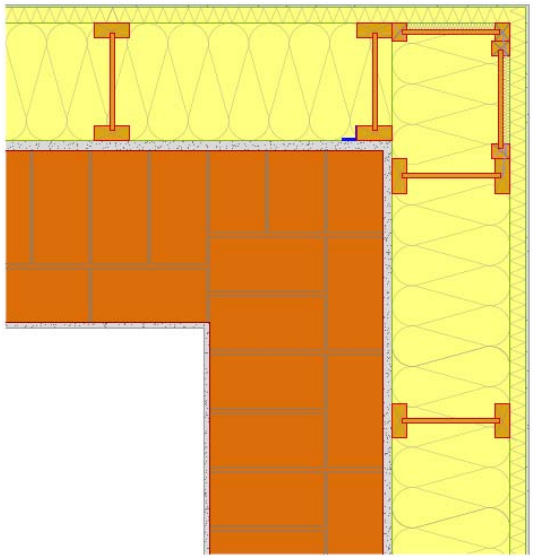
Sanierung Außenwand – Ecke Vollziegel verputzt, mit Dämmung zwischen Holzkonstruktion

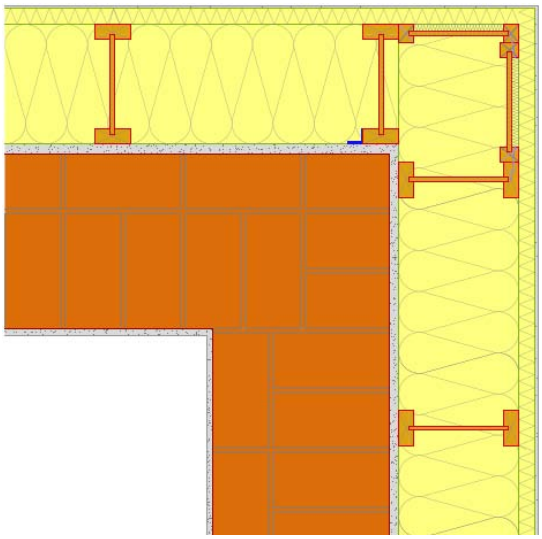
Beschreibung:

Die thermische Sanierung erfolgt durch das Ausblasen mit Zellulose zwischen Holz-Doppel-T-Steher.

- Die Holzkonstruktion wird bauseits befestigt und mit der Holzfaserplatte außen geschlossen.
- Durchgängige luftdichte Ebene ist der Außenputz
- Durch die Wärmedämmung der Außenecke kann die Oberflächentemperatur in der Ecke deutlich angehoben werden und bietet damit ein hohes Maß an Sicherheit.

Sanierung: Außenwand – Ecke Vollziegel verputzt, mit Dämmung zwischen Holzkonstruktion





Wandaufbau					
Silikatputz, außen				*0,6*	*cm*
Holzfaser-Dämmplatte				*4*	*cm*
Zelluloseflocken, Doppel-T-Träger				*30*	*cm*
Kalkputz				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,13	[W/m²K]	Σ	82,6	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,067*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,93*	*-*

Eignung:

- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit

Ausführungshinweise:

- Luftdichte Ebene ist der Außenputz, Risse schließen bzw. bei Erfordernis vollflächig verspachteln

Diskussion:

Durch den diffusionsoffenen Aufbau der Außenwanddämmung können weiterhin (geringe) Feuchtemengen nach außen geführt werden. Lokale Brandschutzvorschriften beachten.

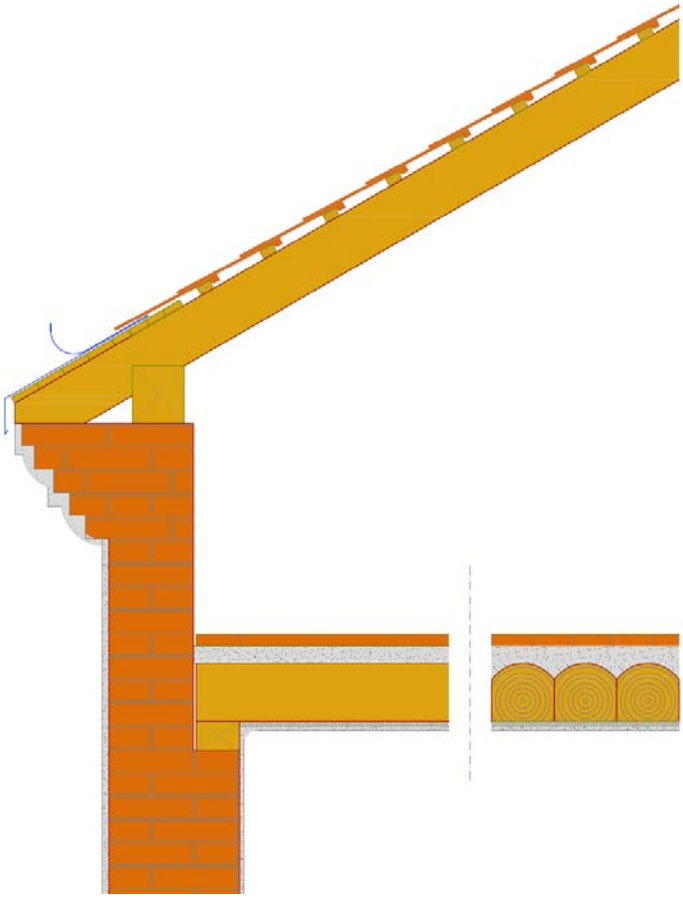
Anschlussvarianten:

Andere Trägersysteme wie z.B. Holz-C-Träger

4.1.11 Attika: Außenwand – Dach unbeheizt

4.1.11.1 Außenwand mit Dämmung zwischen Holzkonstruktion, oberste Geschoßdecke Perlite

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – Dippelbaumdecke – Ziegeldach



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung 3/5				*3*	*cm*
Sparren				*18*	*cm*
U-Wert	-	[W/m²K]	Σ	23,0	cm

Deckenaufbau					
Klinkerziegel				*4*	*cm*
Schüttung				*6*	*cm*
Dippelbaumdecke				*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,59	[W/m²K]	Σ	32,5	cm

Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,682*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,72*	-

Charakterisierung Bestand:

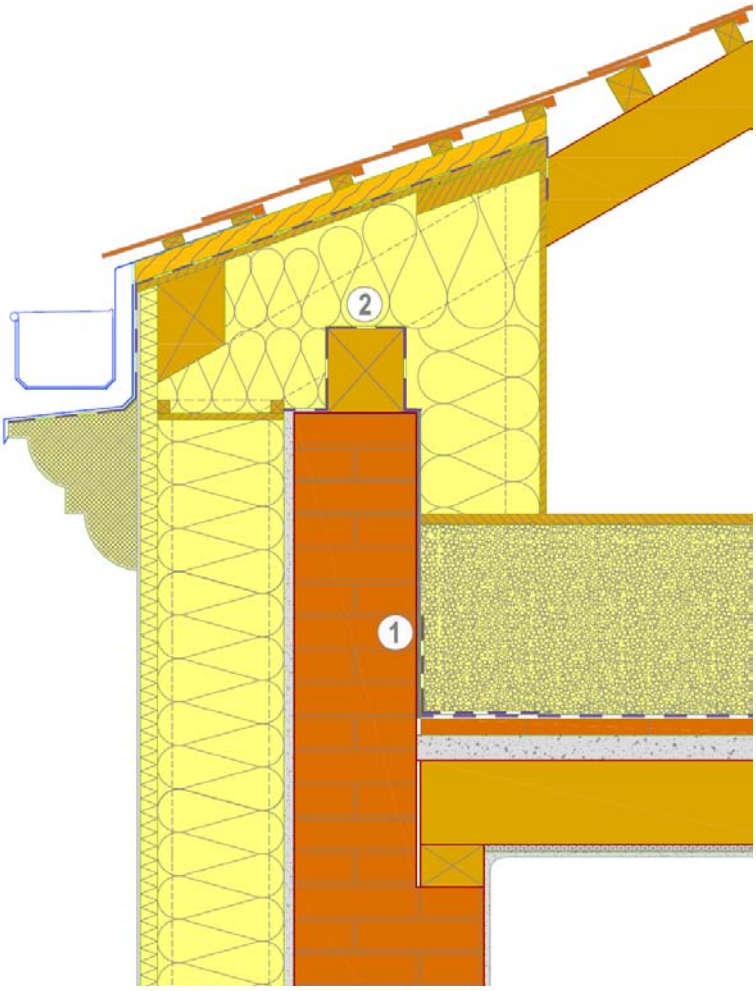
- Dacheindeckung dicht?
- Nutzung des Dachraums: Lagerraum, Wäschetrocknung, ungenutzt?

Sanierung Außenwand mit Dämmung zwischen Holzkonstruktion, oberste Geschoßdecke Perlite

Beschreibung:

- Die Zellulosedämmung wird in die Holzkonstruktion eingeblasen, die Zierelemente sind aus EPS.
- Die oberste Geschoßdecke wird mit einer Perliteschüttung gedämmt, eine lastverteilende Platte erlaubt die Begehung auch des sanierten Dachgeschoßes.
- Die luftdichte Ebene ist die neu verlegte Dampfbremse an der Decke, die über einen die verspachtelten Drempelwand an den Bestands-Außenputz strömungsdicht angeschlossen wird. Nur im Auflagerbereich der Sparren ist eine „sauber“ geführte dichte Ebene nicht möglich.
- Durch die Dämmung werden die Temperaturen im Dachgeschoß im Winterhalbjahr deutlich abgesenkt, dies ist bei der zukünftigen Nutzung und der Belüftung des Dachraumes zu beachten.

Sanierung: Außenwand mit Dämmung zwischen Holzkonstruktion, oberste Geschoßdecke Perlite



Deckenaufbau					
HWL-Porenverschlussplatte				*2,5*	*cm*
Perlite expandiert				*45*	*cm*
Dampfbremse				*0,02*	*cm*
Klinkerziegel				*4*	*cm*
Schüttung				*6*	*cm*
Dippelbaumdecke				*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,09	[W/m²K]	Σ	80,0	cm

Wandaufbau					
Silikatputz, außen				*0,6*	*cm*
Holzfaser-Dämmplatte				*4*	*cm*
Zelluloseflocken, Doppel-T-Träger				*30*	*cm*
Kalkputz				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,13	[W/m²K]	Σ	82,6	cm

① *Glattstrich bzw. Putz strömungsdicht*

② *Diffusionsoffene, strömungsdichte Folie innen und außen luftdicht verklebt*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,038*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,94*	*-*

Eignung:

- Für begehbare Dachböden

Ausführungshinweise:

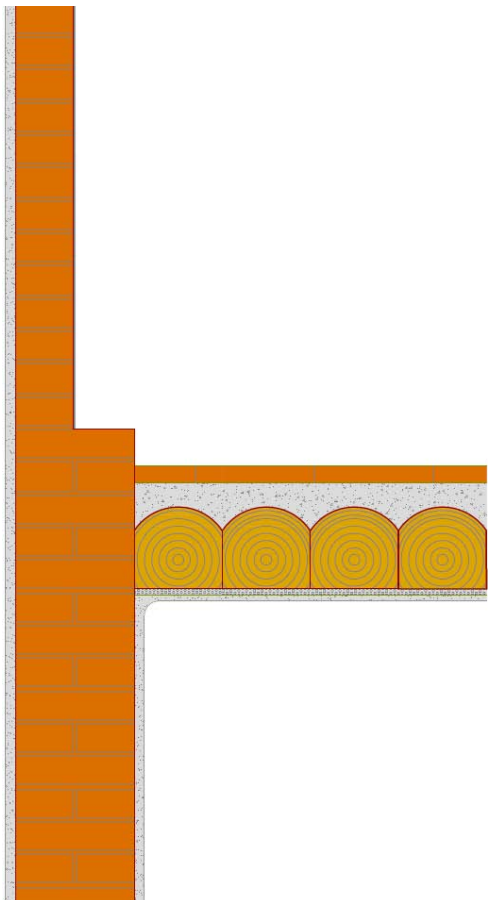
- Drempelmauer verspachteln/verputzen, Dampfbremse verlegen, Bestandsaußenputz ausbessern, mit der Dampfbremse im Dachbereich verbinden
- Perliteschüttung einbringen, verdichten, Porenverschlussplatte auflegen
- Dach im Traufenbereich abdecken, Sparren mit Aufschieblingen aufdoppeln, Schalung und diffusionsoffene Dachauflegebahn verlegen, mit Porenverschlussplatte und Außenputz winddicht verschließen

Diskussion:

Die Ausführung einer Hängerinne ermöglicht, die Proportionen im Außenbereich zu erhalten. Ist dies aus gestalterischen Gründen nicht erforderlich, kann auch eine Nachbildung der Bestandskonstruktion mit Saumrinne erfolgen. Damit „rutscht“ der Außenwandabschluss ca. 30 cm nach oben.
Wenn statisch erforderlich, kann die Perlitedämmung auch direkt auf die Dippelbäume verlegt werden, damit kann das Gewicht von Schüttung und Ziegel eingespart werden.

4.1.11.2 Feuerwand Vollziegel verputzt, oberste Geschoßdecke Perlitedämmung

Bestand: Feuermauer Vollziegel verputzt – Dippelbaumdecke – Ziegeldach



Deckenaufbau					
Klinkerziegel				*4*	*cm*
Schüttung				*6*	*cm*
Dippelbaumdecke				*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,59	[W/m²K]	Σ	32,5	cm

Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*29*	*cm*
Kalkputz, innen				*2,5*	*cm*
U-Wert	1,54	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,583*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,57*	*-*

Charakterisierung Bestand:

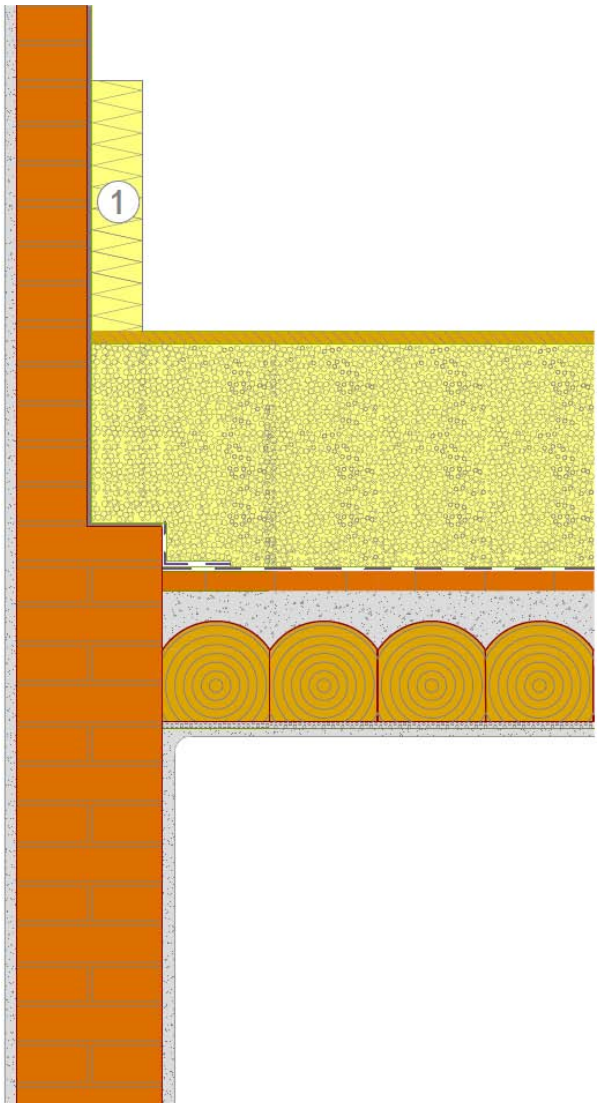
- Dacheindeckung dicht?
- Nutzung des Dachraums: Lagerraum, Wäschetrocknung, ungenutzt?

Sanierung Feuerwand Vollziegel verputzt, Oberste Geschoßdecke Perlitedämmung

Beschreibung:

- Die oberste Geschoßdecke wird mit einer Perliteschüttung gedämmt, eine lastverteilende Platte erlaubt die Begehung auch des sanierten Dachgeschoßes
- Die luftdichte Ebene ist die neu verlegte Dampfbremse an der Decke, die an die verspachtelte Drempelwand verklebt wird. Eine „saubere“ Verbindung an die vertikale luftdichte Ebene Außenputz Feuermauer ist nicht möglich
- Durch die Dämmung werden die Temperaturen im Dachgeschoß im Winterhalbjahr deutlich abgesenkt, dies ist bei der zukünftigen Nutzung und der Belüftung des Dachraumes (Lüfterziegel etc.) zu beachten.

Sanierung: Feuerwand Vollziegel verputzt, oberste Geschoßdecke Perlitedämmung



Deckenaufbau					
HWL-Porenverschlussplatte				*2,5*	*cm*
Perlite expandiert				*45*	*cm*
Dampfbremse				*0,02*	*cm*
Klinkerziegel				*4*	*cm*
Schüttung				*6*	*cm*
Dippelbaumdecke				*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,09	[W/m²K]	Σ	80,0	cm

Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*29*	*cm*
Kalkputz, innen				*2,5*	*cm*
U-Wert	1,55	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

① *Halsdämmung*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,960*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,95*	-

Eignung:

- Für begehbare Dachböden
- Auch für wohnungsweise Sanierung

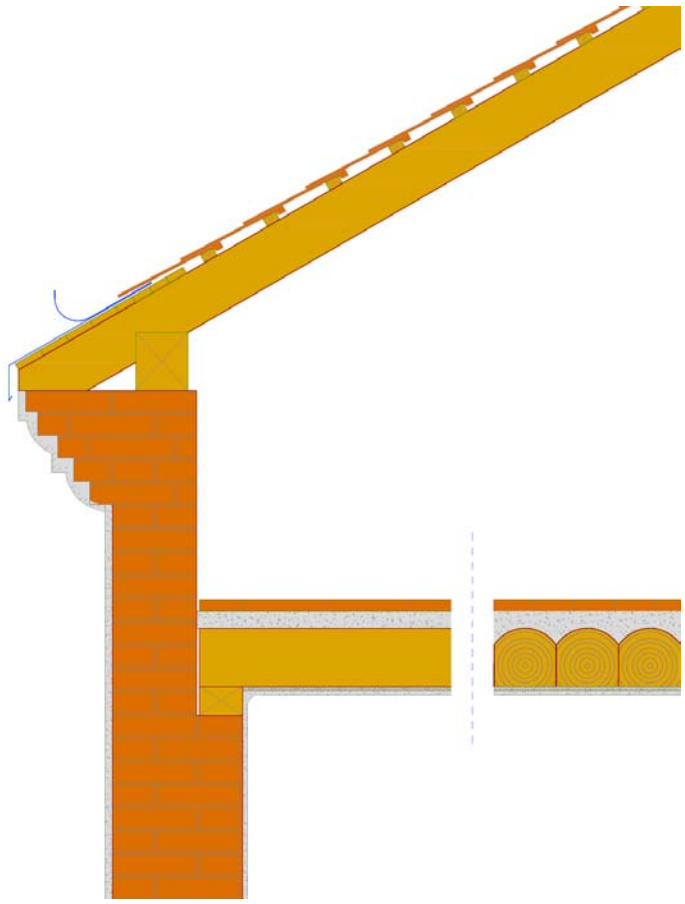
Ausführungshinweise:

- Drempelmauer verspachteln/verputzen bis auf eine Höhe von ca. 1 m, Dampfbremse verlegen, mit der Dampfbremse im Dachbereich verbinden
- Perliteschüttung einbringen, verdichten, Porenverschlussplatte auflegen, mit Drempelmauerputz winddicht verbinden
- wenn statisch erforderlich, kann die Perlitedämmung auch direkt auf die Dippelbäume verlegt werden, damit kann das Gewicht von Schüttung und Ziegel eingespart werden.
- Wenn die Feuermauer direkt an ein anderes Gebäude grenzt, Temperaturzone des Nachbarn in Sanierungskonzept miteinbeziehen.

4.1.12 Attika: Außenwand – Dach beheizt

4.1.12.1 Außenwand mit Dämmung zw. Holzkonstruktion, Dachgeschoß mit Sparrenaufdopplung

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – Dippelbaumdecke – Ziegeldach



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung 3/5				*3*	*cm*
Sparren				*18*	*cm*
U-Wert	-	[W/m²K]	Σ	23,0	cm

Deckenaufbau					
Klinkerziegel				*4*	*cm*
Schüttung				*6*	*cm*
Dippelbaumdecke				*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,59	[W/m²K]	Σ	32,5	cm

Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,682*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,72*	*-*

Charakterisierung Bestand:

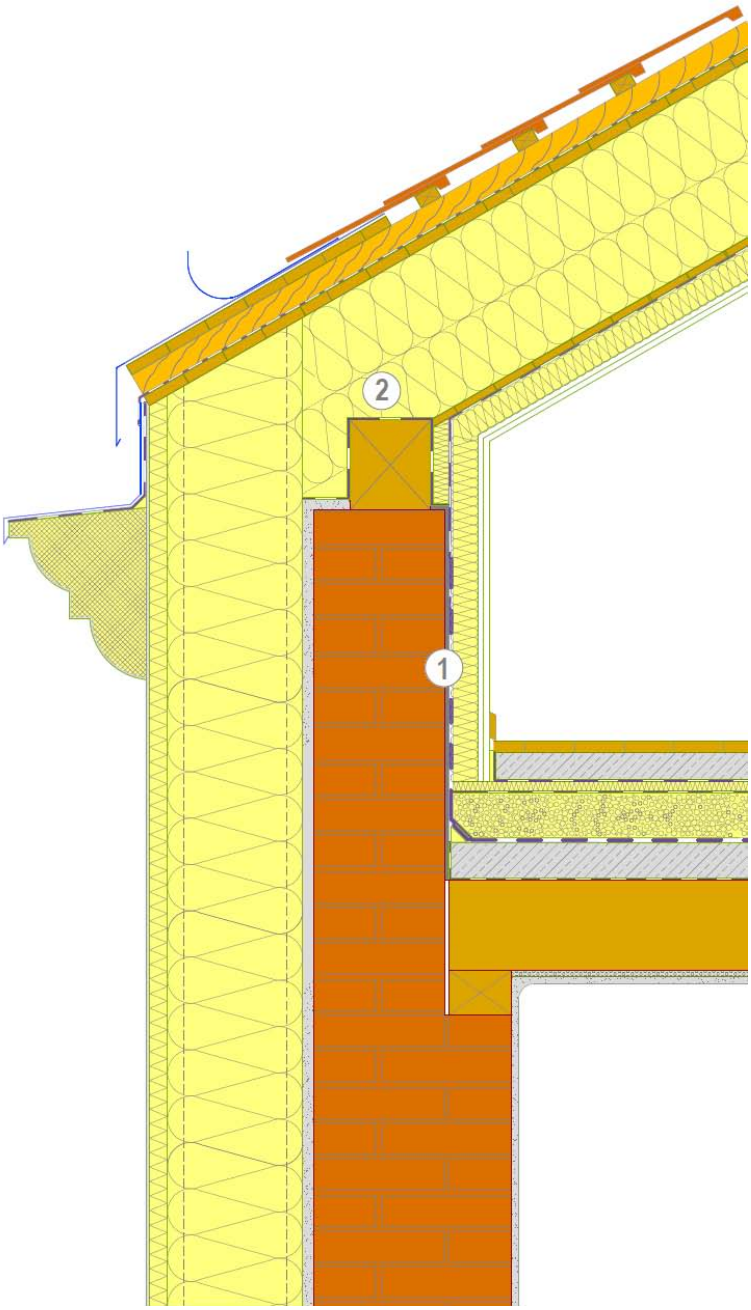
- Dachsparren statisch weiterverwendbar?

Sanierung Außenwand mit Dämmung zw. Holzkonstruktion, Dachgeschoß mit Sparrenaufdopplung

Beschreibung:

- Die Zellulosedämmung wird in die Holzkonstruktion eingeblasen, die Zierelemente werden aus EPS ausgeführt
- Die Dachsparren werden weiterverwendet, aufgedoppelt und mit Faserdämmstoff gedämmt
- Die Dippelbaumdecke, ehemals oberste Geschoßdecke, wird mit Verbundbeton ausgeführt, um das Gesperre zu ersetzen und einen akzeptablen Trittschallschutz zu erreichen
- Die luftdichte Ebene ist die neu verlegte Dampfbremse im Dach, die über die verputzte Drempelwand an den Bestands-Außenputz strömungsdicht angeschlossen wird. Im Auflagerbereich der Sparren wäre eine sauber geführte dichte Ebene nicht möglich.

Sanierung: Außenwand mit Dämmung zw. Holzkonstruktion, Dachgeschoß mit Sparrenaufdopplung



Dachaufbau				
Dachziegel			*2*	*cm*
Lattung 3/5			*3*	*cm*
Konterlattung, Hinterlüftung			*5*	*cm*
PE-Dachauflegebahn diffusionsoffen			*0,02*	*cm*
Holzschalung			*2,4*	*cm*
Glaswolle, Aufdopplung Sparren			*18*	*cm*
Glaswolle, Sparren Bestand			*16*	*cm*
Holzschalung			*1,6*	*cm*
Dampfbremse			*0,02*	*cm*
Glaswolle zwischen Federbügeln			*6*	*cm*
2 Lagen Gipskartonfeuerschutzplatten			*3*	*cm*
U-Wert	0,11	[W/m²K]	Σ 57,0	cm

Deckenaufbau				
Bodenbelag			*2,5*	*cm*
Estrich			*6*	*cm*
PE-Folie			*0,02*	*cm*
EPS-Trittschalldämmplatte			*3*	*cm*
PE-Folie			*0,02*	*cm*
EPS-Schüttung, zementgebunden			*10,5*	*cm*
Dampfbremse			*0,02*	*cm*
Betondecke			*8*	*cm*
Dippelbaumdecke			*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur			*2,5*	*cm*
U-Wert	0,24	[W/m²K]	Σ 52,6	cm

Wandaufbau				
Silikatputz, außen			*0,6*	*cm*
Holzfaser-Dämmplatte			*4*	*cm*
Zelluloseflocken, Doppel-T-Träger			*30*	*cm*
Kalkputz			*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk			*44*	*cm*
Kalkputz, innen			*1,5*	*cm*
U-Wert	0,13	[W/m²K]	Σ 82,6	cm

① *Glattstrich bzw. Putz strömungsdicht*

② *Diffusionsoffene, strömungsdichte Folie, innen und außen auf Putz verklebt*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,008*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,96*	*-*

Eignung:

- Für außenseitig dämmbare Fassaden

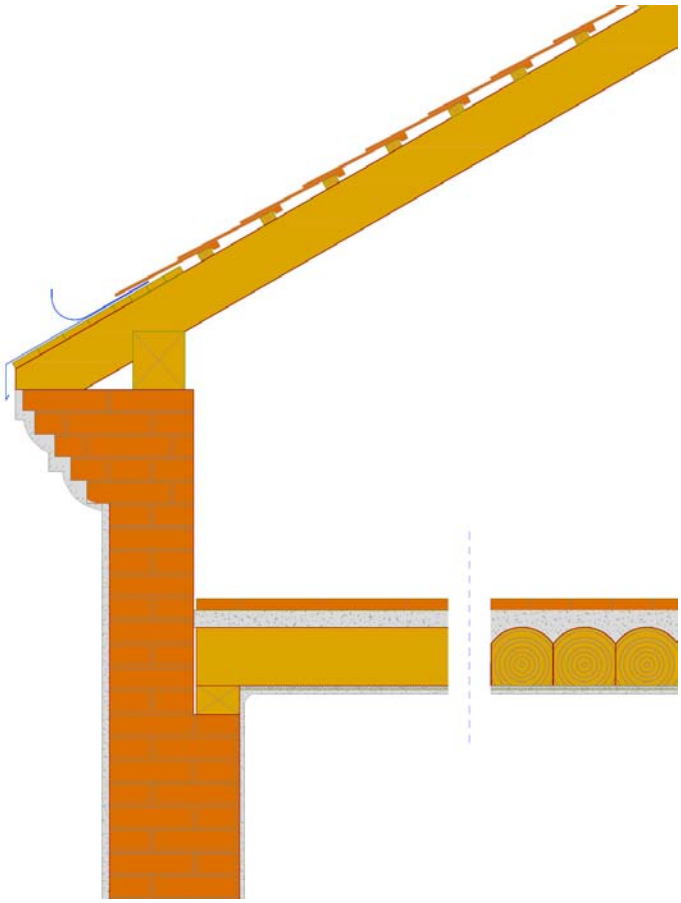
Ausführungshinweise:

- Drempelmauer grob verputzen, Verbundbeton aufbringen, bituminöse Dampfbremse / Notabdichtung verlegen, Bestandsaußenputz ausbessern, diesen mit luftdichter Folie luftdicht an innenseitigen Grobputz von Drempelwand anschließen Sparren aufdoppeln, Schalung und diffusionsoffen Dachauflegebahn verlegen. Dämmstoff einbringen, Schalung befestigen, Dampfbremse an Grobputz Drempelwand anschließen.

4.1.13 Attika: Außenwand – Terrasse

4.1.13.1 Terrassentür – Terrasse Betondecke – Zwischengeschoßdecke Holzbetonverbund

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – Dippelbaumdecke - Ziegeldach



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung 3/5				*3*	*cm*
Sparren				*18*	*cm*
U-Wert	-	[W/m²K]	Σ	23,0	cm

Deckenaufbau					
Klinkerziegel				*4*	*cm*
Schüttung				*6*	*cm*
Dippelbaumdecke				*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,59	[W/m²K]	Σ	32,5	cm

Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,682*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,72*	-

Charakterisierung Bestand:

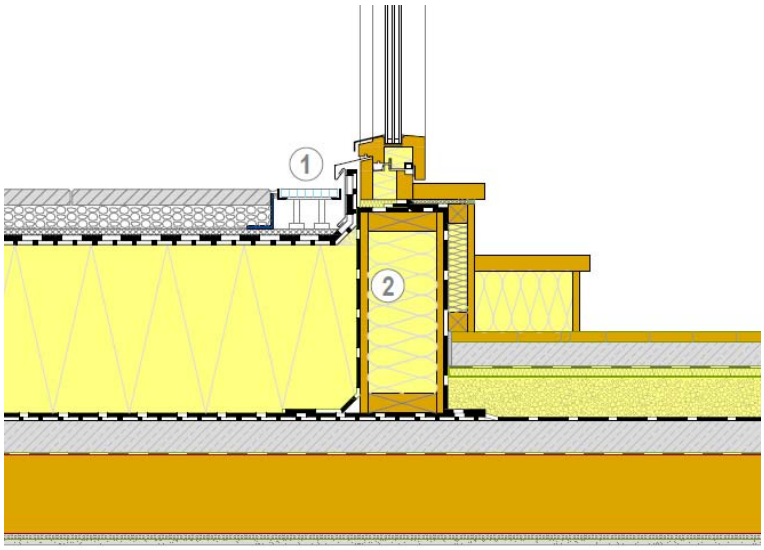
- Dippelbaumdecke statisch weiterverwendbar?

Sanierung Außenwand mit Innendämmung kapillarleitfähig, Dachausbau mit Sparrenaufdopplung

Beschreibung:

- Die ehemalige oberste Geschoßdecke wird Terrasse und Wohnungstrenndecke des Dachgeschoßausbaus.
- Die Dippelbaumdecke wird mit Verbundbeton ausgeführt, um das Gesperre zu ersetzen und einen akzeptablen Trittschallschutz zu erreichen.
- Die Terrassentür wird auf einem gedämmten Leichtwandelement aufgelagert, der Niveauunterschied wird mit 2 Stufen (alternativ: Rampe) ausgeführt.
- Die luftdichte Ebene ist die auf dem Verbundbeton verlegte Dampfbremse / Notabdichtung. Diese wird mit einer Dampfbremse dampf- und luftdicht an den Türrahmen angeschlossen.

Sanierung: Terrassentür – Terrasse Betondecke – Zwischengeschoßdecke Holzbetonverbund



① *Hochzug ≥ 5cm über Rigol*
② *OSB –IV-Platte*

Tür U-Werte		
Fenster	*0,80*	*W/m²K*
Verglasung	*0,60*	*W/m²K*
Rahmen	*0,77*	*W/m²K*

Deckenaufbau außen		
Betonplatten im Kiesbett	*4*	*cm*
Kies (4-8)	*6*	*cm*
Gummigranulatmatte	*1*	*cm*
Polymerbitumenabdichtung, 2-lagig	*1*	*cm*
EPS im Gefälle (34-38)	*36*	*cm*
Dampfsperre bituminös	*0,02*	*cm*
Entspannungsschicht	*0,02*	*cm*
Betondecke	*8*	*cm*
PE-Folie	*1,5*	*cm*
Dippelbaumdecke	*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur	*2,5*	*cm*
U-Wert 0,10 [W/m²K]	Σ 80,0	cm

Deckenaufbau innen		
Bodenbelag	*2,5*	*cm*
Estrich	*6*	*cm*
PE-Folie	*0,02*	*cm*
EPS-Trittschalldämmplatte	*3*	*cm*
PE-Folie	*0,02*	*cm*
EPS-Schüttung, zementgebunden	*10,5*	*cm*
Dampfbremse	*0,02*	*cm*
Betondecke	*8*	*cm*
PE-Folie	*1,5*	*cm*
Dippelbaumdecke	*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur	*2,5*	*cm*
U-Wert 0,24 [W/m²K]	Σ 54,1	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,078*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,79*	*-*

Eignung:

- Wenn zwei unterschiedliche Niveaus zwischen Terrasse und Wohnraum akzeptabel sind

Ausführungshinweise:

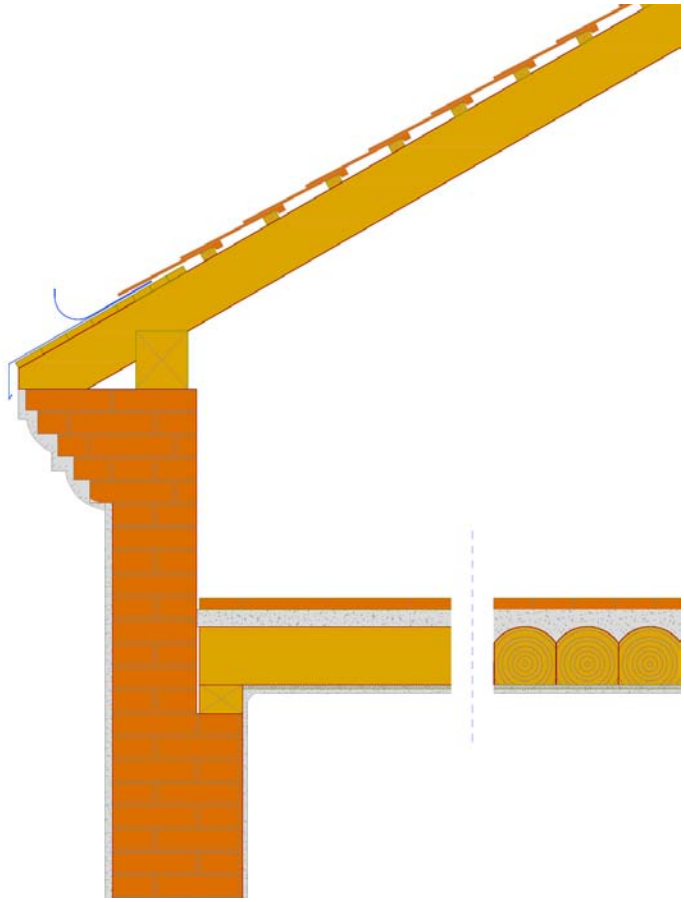
- Ziegel und Schüttung entfernen, Verbundbeton aufbringen, bituminöse Dampfbremse / Notabdichtung verlegen
- Oberste Trittschallstufe auf Trittschallstreifen verkleben
- Der bei Terrassentüren erlaubte verminderte Hochzug der Feuchteabdichtung erfordert eine zusätzliche mechanische Befestigung der Feuchteabdichtung am Fensterrahmen

Diskussion:

Für einen barrierefreien Ausgang ist neben einem geeigneten Türprofil ein Vordach und eine Rampe erforderlich. Alternativ kann auf Kosten der Raumhöhe die Schütthöhe entsprechend erhöht werden (oder durch einen druckfesten Dämmstoff).

4.1.13.2 Terrassentür – Terrasse Vakuumdämmung – Zwischengeschoßdecke Holzbetonverbund

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – Dippelbaumdecke – Ziegeldach



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung 3/5				*3*	*cm*
Sparren				*18*	*cm*
U-Wert	-	[W/m²K]	Σ	23,0	cm

Deckenaufbau					
Klinkerziegel				*4*	*cm*
Schüttung				*6*	*cm*
Dippelbaumdecke				*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,59	[W/m²K]	Σ	32,5	cm

Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,682*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,72*	-

Charakterisierung Bestand:

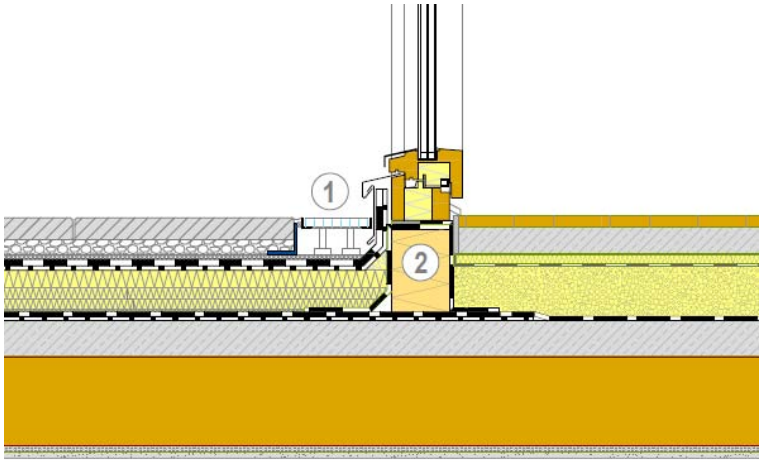
- Dippelbaumdecke statisch weiterverwendbar?

Sanierung Terrassentür – Terrasse Vakuumdämmung - Zwischengeschoßdecke Holzbetonverbund

Beschreibung:

- Die ehemalige oberste Geschoßdecke wird Terrasse und Wohnungstrenndecke des Dachgeschoßausbaus.
- Die Dippelbaumdecke wird mit Verbundbeton ausgeführt, um das Gesperre zu ersetzen und einen akzeptablen Trittschallschutz zu erreichen.
- Die Terrassentür wird auf einem gedämmten Leichtwandelement aufgelagert, dank der Vakuumdämmung ergibt sich kein Niveauunterschied.
- Die luftdichte Ebene ist die auf dem Verbundbeton verlegte Dampfbremse / Notabdichtung. Diese wird mit einer Dampfbremse dampf- und luftdicht an den Türrahmen angeschlossen.

Sanierung: Terrassentür – Terrasse Vakuumdämmung – Zwischengeschoßdecke Holzbetonverbund



Deckenaufbau außen		
Betonplatten	*5*	*cm*
Kies (4-8)	*4*	*cm*
Gummigranulatmatte	*1*	*cm*
Polymerbitumenabdichtung, 2-lagig	*1*	*cm*
EPS W25 Gefälleplatten, drüber Dampfdruck-Ausgleichsschicht	*4*	*cm*
Vakuumdämmung 2 lagig	*5*	*cm*
PE-Weichschaum	*0,5*	*cm*
Dampfsperre bituminös	*0,02*	*cm*
Betondecke, drüber Dampfdruck-Ausgleichsschicht	*8*	*cm*
PE-Folie	*1,5*	*cm*
Dippelbaumdecke	*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur	*2,5*	*cm*
U-Wert 0,10 [W/m²K]	Σ 52,5	cm

Deckenaufbau innen		
Bodenbelag	*2,5*	*cm*
Estrich	*6*	*cm*
PE-Folie	*0,02*	*cm*
EPS-Trittschalldämmplatte	*3*	*cm*
PE-Folie	*0,02*	*cm*
EPS-Schüttung, zementgebunden	*10,5*	*cm*
Dampfbremse	*0,02*	*cm*
Betondecke	*8*	*cm*
PE-Folie	*1,5*	*cm*
Dippelbaumdecke	*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur	*2,5*	*cm*
U-Wert 0,24 [W/m²K]	Σ 54,1	cm

① *Hochzug ≥ 5cm über Rigol*

② *Purenit*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,064*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,84*	*-*

Eignung:

- Wenn 2 unterschiedliche Niveaus zwischen Terrasse und Wohnraum akzeptabel sind.

Ausführungshinweise:

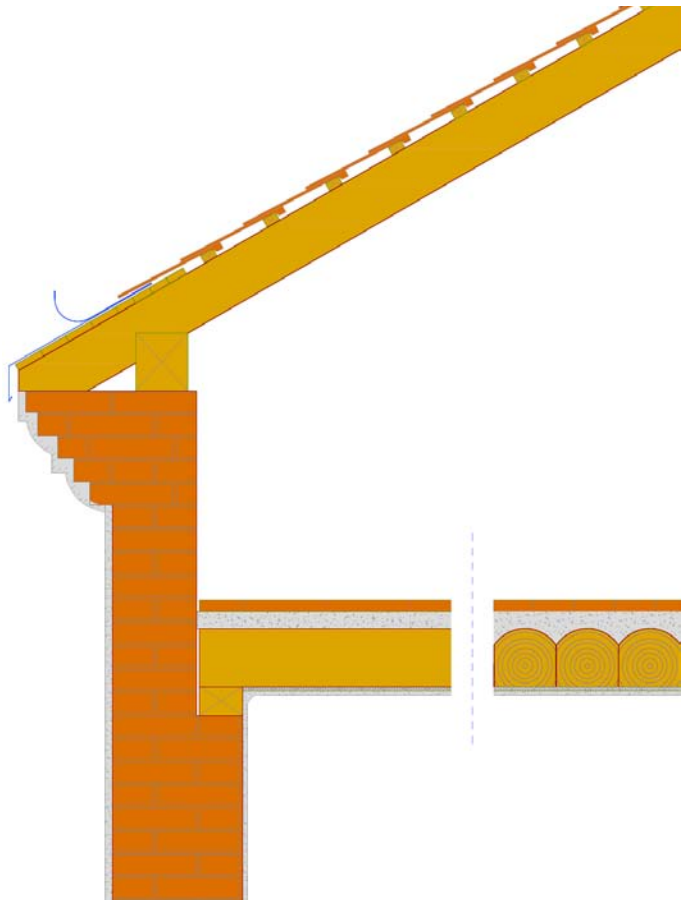
- Ziegel und Schüttung entfernen, Verbundbeton aufbringen, bituminöse Dampfbremse / Notabdichtung verlegen
- Für Ausführung Vakuumdämmung auf Firmen mit entsprechender Expertise zurückgreifen, da Platten sehr empfindlich für mechanische Schäden sind
- Oberste Trittschallstufe auf Trittschallstreifen verkleben
- Der bei Terrassentüren erlaubte verminderte Hochzug der Feuchteabdichtung erfordert eine zusätzliche mechanische Befestigung der Feuchteabdichtung am Fensterrahmen

Diskussion:

Prinzipiell ist auch eine einlagige Verlegung der Vakuumdämmung möglich

4.1.13.3 Außenwand mit WDVS – Oberste Geschoßdecke wird Terrasse, Variante 1

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – Dippelbaumdecke – Ziegeldach



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung 3/5				*3*	*cm*
Sparren				*18*	*cm*
U-Wert	-	[W/m²K]	Σ	23,0	cm

Deckenaufbau					
Klinkerziegel				*4*	*cm*
Schüttung				*6*	*cm*
Dippelbaumdecke				*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,59	[W/m²K]	Σ	32,5	cm

Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,682*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,72*	*-*

Charakterisierung Bestand:

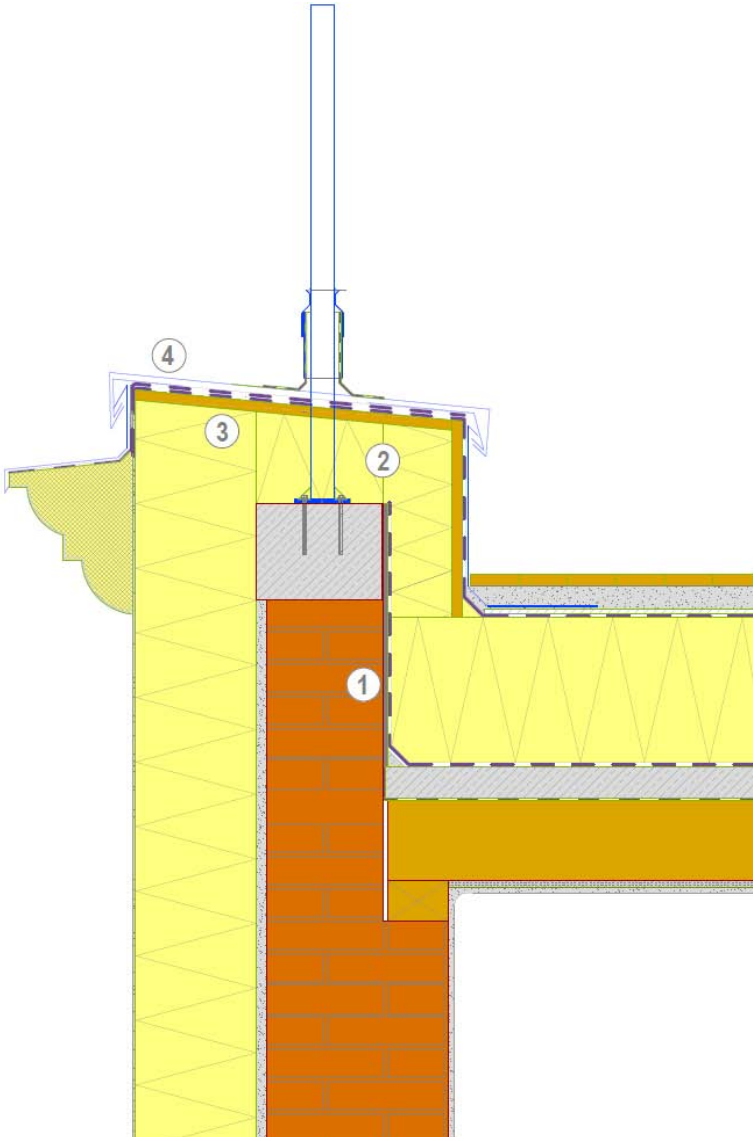
- Dippelbaumdecke statisch weiterverwendbar?

Sanierung Außenwand mit WDVS – Oberste Geschoßdecke wird Terrasse, Variante 1

Beschreibung:

- Die ehemalige oberste Geschoßdecke wird Terrasse, die Dippelbaumdecke wird mit Verbundbeton ausgeführt, um das Gesperre zu ersetzen und einen akzeptablen Trittschallschutz zu erreichen.
- Die bestehende Außenwand wird mit einem Wärmedämmverbundsystem gedämmt, die vorgefertigten EPS-Zierelemente werden aufgeklebt
- Die luftdichte Ebene sind die auf dem Verbundbeton verlegte Dampfbremse / Notabdichtung im Terrassenbereich und der Bestandsaußenputz im Fassadenbereich. Beide werden luftdicht über den Betonrost miteinander verbunden.

Sanierung: Außenwand mit WDVS – Oberste Geschoßdecke wird Terrasse, Variante 1



Deckenaufbau		
Holz-Lattenrost Lärche auf Alumatten im Kiesbett	*3*	*cm*
Kies (4-8)	*6*	*cm*
Gummigranulatmatte	*1*	*cm*
Polymerbitumenabdichtung, 2-lagig	*1*	*cm*
EPS im Gefälle (34-38)	*36*	*cm*
Dampfsperre bituminös	*0,02*	*cm*
Verbundbeton	*8*	*cm*
PE-Folie	*1,5*	*cm*
Dippelbaumdecke	*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur	*2,5*	*cm*
U-Wert 0,09 [W/m²K]	Σ 79,0	cm

Wandaufbau		
Silikatputz, außen	*0,6*	*cm*
EPS-Polystyrol expandiert	*30*	*cm*
Kalkputz	*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk	*44*	*cm*
Kalkputz, innen	*1,5*	*cm*
U-Wert 0,12 [W/m²K]	Σ 78,6	cm

① *Putz bzw. Glattstrich*
② *XPS*
③ *OSB IV*
④ *Strukturmatte (obere Lage)*

2-dimensionaler Kennwert		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,042*	*W/mK*
3-dimensionaler Kennwerte		
χ-Wert innen / außen	*0,045*	*W/K*
f_{RSi}	*0,92*	-

,

Eignung:

- Wenn Dippelbaumdecke statisch geeignet.

Ausführungshinweise:

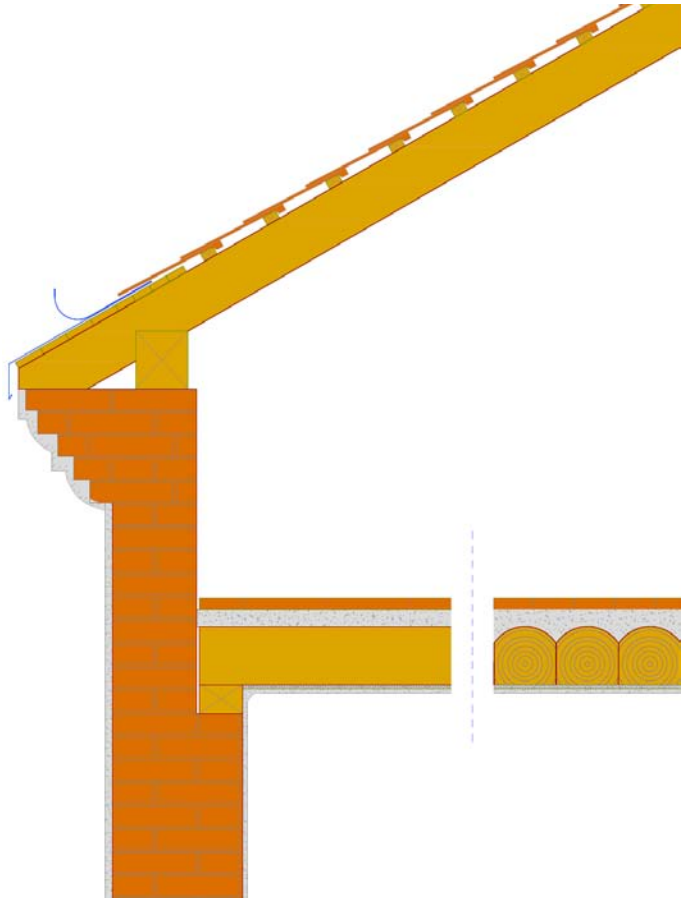
- Ziegel und Schüttung entfernen, Verbundbeton aufbringen, bituminöse Dampfbremse / Notabdichtung verlegen, bis auf Betonrost verlegen. Drempelwand vorab verputzen, wenn erforderlich.
- Außenputz Außenwand reinigen, fehlende Teile ausbessern. Der Außenputz stellt die luftdichte Ebene dar. Mit Klebeband an Betonrost luftdicht anschließen.

Diskussion:

Je höher die Drempelwand, desto höher der Wärmebrückenverlust. In diesem Fall eventuell völlig erneuern und thermisch sauber trennen.

4.1.13.4 Außenwand mit WDVS – Oberste Geschoßdecke wird Terrasse, Variante 2

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – Dippelbaumdecke – Ziegeldach



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung 3/5				*3*	*cm*
Sparren				*18*	*cm*
U-Wert	-	[W/m²K]	Σ	23,0	cm

Deckenaufbau					
Klinkerziegel				*4*	*cm*
Schüttung				*6*	*cm*
Dippelbaumdecke				*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,59	[W/m²K]	Σ	32,5	cm

Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,682*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,72*	*-*

Charakterisierung Bestand:

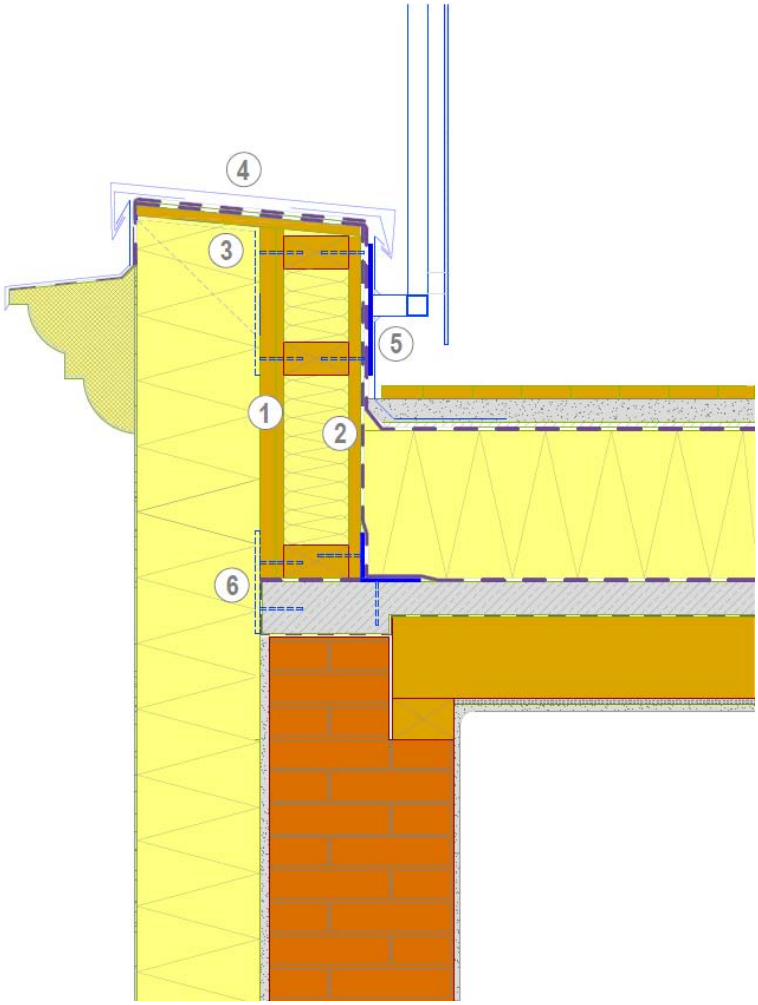
- Dippelbaumdecke statisch weiterverwendbar?

Sanierung Außenwand mit WDVS – Oberste Geschoßdecke wird Terrasse, Variante 2

Beschreibung:

- Die ehemalige oberste Geschoßdecke wird Terrasse, die Dippelbaumdecke wird mit Verbundbeton ausgeführt, um das Gesperre zu ersetzen und einen akzeptablen Trittschallschutz zu erreichen
- Die bestehende Außenwand wird mit einem Wärmedämmverbundsystem gedämmt, die vorgefertigten EPS-Zierelemente werden aufgeklebt
- Die luftdichte Ebene sind die auf dem Verbundbeton verlegte Dampfbremse / Notabdichtung im Terrassenbereich und der Bestandsaußenputz im Fassadenbereich. Beide werden luftdicht über den Betonrost miteinander verbunden.

Sanierung: Außenwand mit WDVS – Oberste Geschoßdecke wird Terrasse, Variante 2



Deckenaufbau					
Holz-Lattenrost Lärche auf Alumatten im Kiesbett				*3*	*cm*
Kies (4-8)				*6*	*cm*
Gummigranulatmatte				*1*	*cm*
Polymerbitumenabdichtung, 2-lagig				*1*	*cm*
EPS im Gefälle (34-38)				*36*	*cm*
Dampfsperre bituminös				*0,02*	*cm*
Verbundbeton				*8*	*cm*
PE-Folie				*1,5*	*cm*
Dippelbaumdecke				*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,10	[W/m²K]	Σ	79,0	cm

Wandaufbau					
Silikatputz, außen				*0,6*	*cm*
EPS-Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkputz				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ	78,6	cm

① *OSB-Platte mit Furnierschichtholzplatte verstärkt (?)*
② *OSB-Platte 28 mm (?)*
③ *OSB-Platte 28 mm*
④ *Strukturmatte*
⑤ *Stahlplatte, Steher darauf geschweißt*
⑥ *Dämmplatte vollflächig verklebt*

2-dimensionaler Kennwert		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,090*	*W/mK*
3-dimensionaler Kennwerte		
χ-Wert innen / außen	*0,025*	*W/K*
f_{RSi}	*0,94*	*-*

Eignung:

- Wenn Dippelbaumdecke statisch geeignet.

Ausführungshinweise:

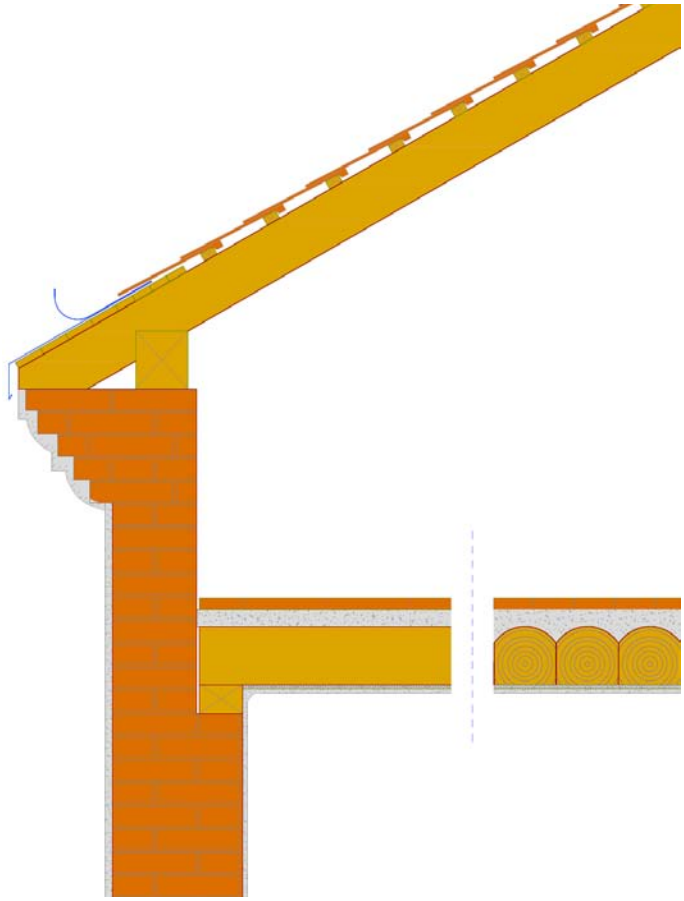
- Ziegel und Schüttung entfernen, Verbundbeton aufbringen, bituminöse Dampfbremse / Notabdichtung verlegen
- Außenputz Außenwand reinigen, fehlende Teile ausbessern. Der Außenputz stellt die luftdichte Ebene dar. Mit Klebeband an Betonrost luftdicht anschließen.
- Leichtbauelement auf Betonrost befestigen, darauf Geländer befestigen
- Dämmplatten im Bereich Betonrost vollflächig verkleben, um eine Dampfentspannung über Luftschicht zwischen Bestandsputz – Dämmplatten nach oben sicher auszuschließen.

Diskussion:

Lokale Anforderungen des Brandschutzes beachten (Leichtbauelement)

4.1.13.5 Außenwand mit WDVS – Oberste Geschoßdecke wird Terrasse, Variante 3

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – Dippelbaumdecke – Ziegeldach



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung 3/5				*3*	*cm*
Sparren				*18*	*cm*
U-Wert	-	[W/m²K]	Σ	23,0	cm

Deckenaufbau					
Klinkerziegel				*4*	*cm*
Schüttung				*6*	*cm*
Dippelbaumdecke				*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,59	[W/m²K]	Σ	32,5	cm

Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,682*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,72*	-

Charakterisierung Bestand:

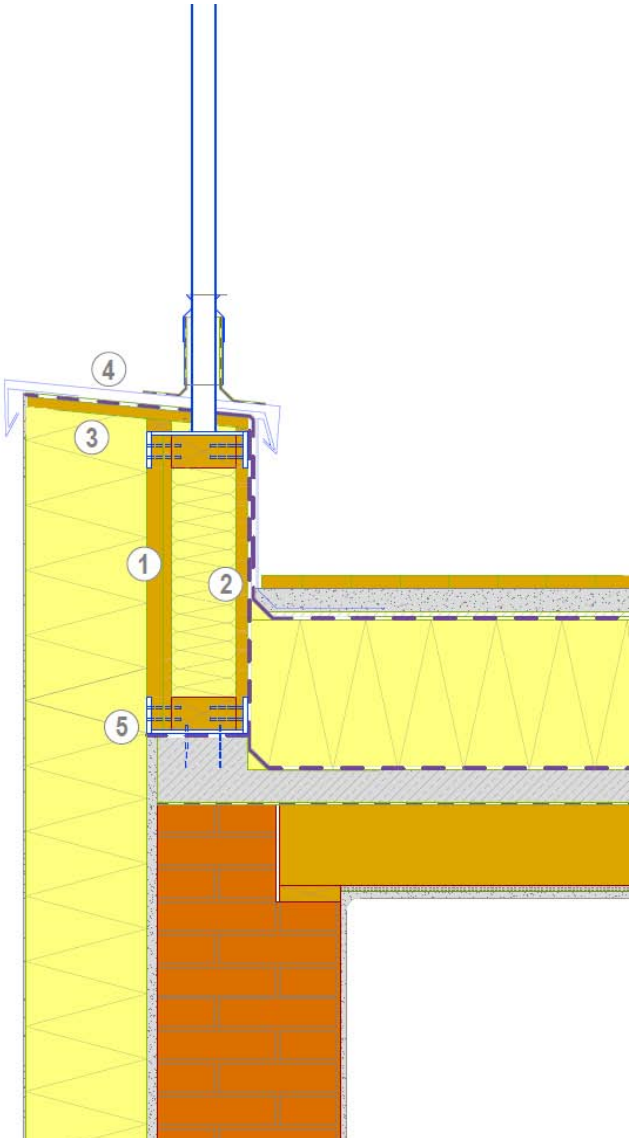
- Dippelbaumdecke statisch weiterverwendbar?

Sanierung Außenwand mit WDVS – Oberste Geschoßdecke wird Terrasse, Variante 3

Beschreibung:

- Die ehemalige oberste Geschoßdecke wird Terrasse, die Dippelbaumdecke wird mit Verbundbeton ausgeführt, um das Gesperre zu ersetzen und einen akzeptablen Trittschallschutz zu erreichen
- Die bestehende Außenwand wird mit einem Wärmedämmverbundsystem gedämmt, die vorgefertigten EPS-Zierelemente werden aufgeklebt
- Die luftdichte Ebene sind die auf dem Verbundbeton verlegt Dampfbremse / Notabdichtung im Terrassenbereich und der Bestandsaußenputz im Fassadenbereich. Beide werden luftdicht über den Betonrost miteinander verbunden.

Sanierung: Außenwand mit WDVS – Oberste Geschoßdecke wird Terrasse, Variante 3



Deckenaufbau		
Holz-Lattenrost Lärche auf Alumatten im Kiesbett	*3*	*cm*
Kies (4-8)	*6*	*cm*
Gummigranulatmatte	*1*	*cm*
Polymerbitumenabdichtung, 2-lagig	*1*	*cm*
EPS im Gefälle (34-38)	*36*	*cm*
Dampfsperre bituminös	*0,02*	*cm*
Verbundbeton	*8*	*cm*
PE-Folie	*1,5*	*cm*
Dippelbaumdecke	*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur	*2,5*	*cm*
U-Wert 0,10 [W/m²K]	Σ 79,0	cm

Wandaufbau		
Silikatputz, außen	*0,6*	*cm*
EPS-Polystyrol expandiert	*30*	*cm*
Kalkputz	*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk	*44*	*cm*
Kalkputz, innen	*1,5*	*cm*
U-Wert 0,12 [W/m²K]	Σ 78,6	cm

① *OSB-Platte mit Furnierschichtholzplatte verstärkt (?)*
② *OSB-Platte 28 mm (?)*
③ *OSB-Platte 28 mm*
④ *Strukturmatte*
⑤ *Dämmplatte vollflächig verklebt*

2-dimensionaler Kennwert		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,078*	*W/mK*
3-dimensionaler Kennwerte		
χ-Wert innen / außen	*0,024*	*W/K*
f_{RSi}	*0,76*	*-*

Eignung:

- Wenn Dippelbaumdecke statisch geeignet

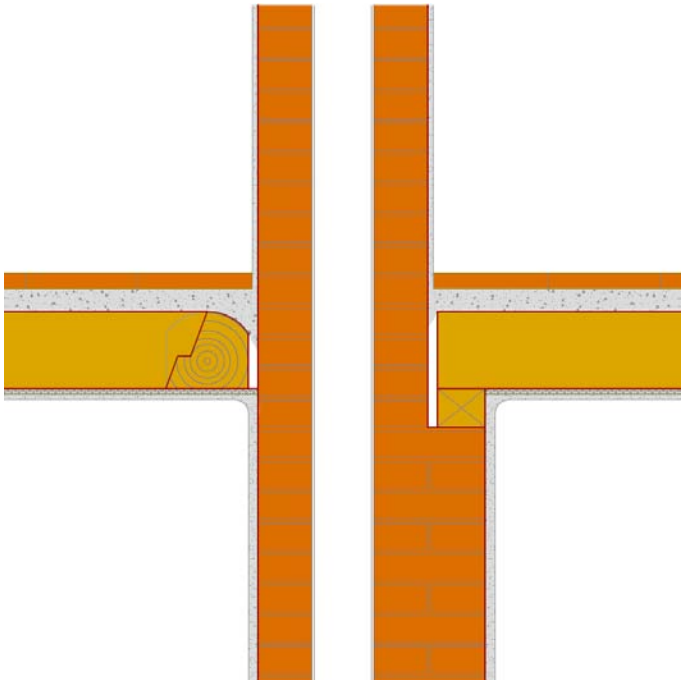
Ausführungshinweise:

- Ziegel und Schüttung entfernen, Verbundbeton aufbringen, bituminöse Dampfbremse / Notabdichtung verlegen
- Außenputz Außenwand reinigen, fehlende Teile ausbessern. Der Außenputz stellt die luftdichte Ebene dar. Diesen über den Betonrost verlängern und in diesem Bereich armieren.
- Leichtbauelement auf Betonrost verdübeln, darauf Geländer befestigen
- Dämmplatten im Bereich Betonrost vollflächig verkleben, um eine Dampfentspannung über Luftschicht zwischen Bestandsputz – Dämmplatten nach oben sicher auszuschließen.

4.1.14 Dach: Innenwand – Oberste Geschoßdecke

4.1.14.1 Innenwand tragend Vollziegel / Kamin verputzt – Dippelbaumdecke Wohnungstrenndecke

Bestand: Innenwand Vollziegel verputzt – Dippelbaumdecke



Deckenaufbau					
Klinkerziegel				*4*	*cm*
Schüttung				*6*	*cm*
Dippelbaumdecke				*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,59	[W/m²K]	Σ	32,5	cm

Wandaufbau					
Kalkputz				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*14*	*cm*
Luftraum				*16*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*14*	*cm*
Kalkputz				*2,5*	*cm*
U-Wert	1,01	[W/m²K]	Σ	49,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,202*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,75*	-

Charakterisierung Bestand:

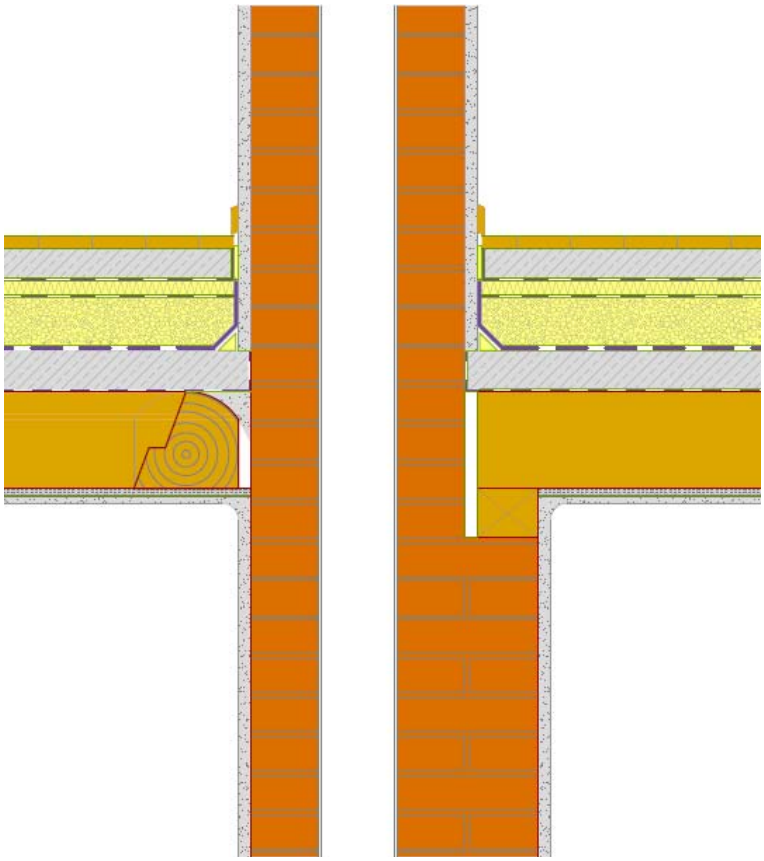
- Kamine noch aktiv

Sanierung Innenwand tragend Vollziegel / Kamin verputzt – Dippelbaumdecke Wohnungstrenndecke

Beschreibung:

- Die Dippelbaumdecke, ehemals oberste Geschoßdecke, wird mit Verbundbeton ausgeführt, um das Gesperre zu ersetzen und einen akzeptablen Trittschallschutz zu erreichen
- Die luftdichte Ebene stellen die Notabdichtung und der Putz der Innenwand / Kamin dar. Obwohl es sich um Innenbauteile handelt, ist ein luftdichter Anschluss der beiden Ebenen wegen des Schallschutzes und aus wohnhygienischen Gründen sinnvoll.

Sanierung: Innenwand tragend Vollziegel / Kamin verputzt – Dippelbaumdecke Wohnungstrenndecke



Deckenaufbau					
Bodenbelag				*2,5*	*cm*
Estrich				*6*	*cm*
PE-Folie				*0,02*	*cm*
EPS-Trittschalldämmplatte				*3*	*cm*
PE-Folie				*0,02*	*cm*
EPS-Schüttung, zementgebunden				*10,5*	*cm*
Dampfbremse				*0,02*	*cm*
Betondecke				*8*	*cm*
Dippelbaumdecke				*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,24	[W/m²K]	Σ	52,6	cm

Wandaufbau					
Kalkputz				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*14*	*cm*
Luftraum				*16*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*14*	*cm*
Kalkputz				*2,5*	*cm*
U-Wert	1,01	[W/m²K]	Σ	49,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,300*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,83*	-

Eignung:

- Dippelbaumdecke statisch weiterverwendbar?

Ausführungshinweise:

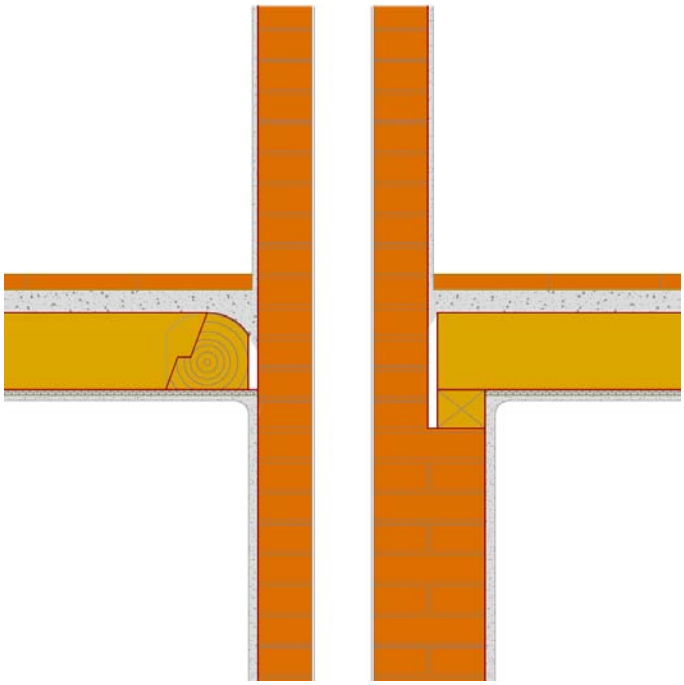
- Bestandsputz Kamin/Innenwand ausbessern, Verbundbeton aufbringen, bituminöse Dampfbremse / Notabdichtung verlegen und dicht an den Putz anschließen
- Nicht mehr aktive Kamine oben schließen, um Entwärmung über Konvektion zu vermeiden

Diskussion:

Eine Wärmedämmung der Kaminwand ist bei nicht mehr aktiven Kaminen thermisch interessant, allerdings wird damit die wirksame Speichermasse der Kaminwände stark reduziert. Eine sinnvolle Entscheidung ist nur im konkreten Einzelfall möglich.

4.1.14.2 Innenwand tragend Vollziegel verputzt – oberste Geschoßdecke Dippelbaumdecke

Bestand: Innenwand tragend Vollziegel / Kamin verputzt – oberste Geschoßdecke Dippelbaumdecke



Deckenaufbau					
Klinkerziegel				*4*	*cm*
Schüttung				*6*	*cm*
Dippelbaumdecke				*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,59	[W/m²K]	Σ	32,5	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,202*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,75*	-

Charakterisierung Bestand:

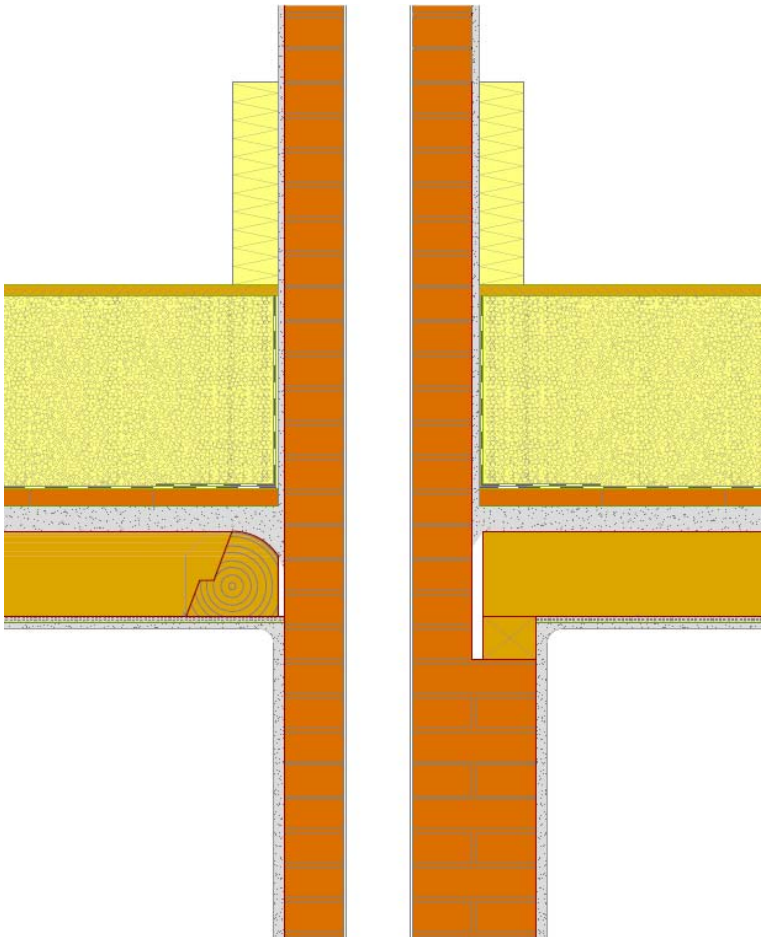
- Kamine noch aktiv

Sanierung Innenwand tragend Vollziegel verputzt – Oberste Geschoßdecke Dippelbaumdecke

Beschreibung:

- Die Dippelbaumdecke wird mit einer begehbaren Wärmedämmung aus Perliten unter lastverteilender Platte ausgeführt
- Die Wärmebrückenwirkung der tragenden Wand kann mit einer Halsdämmung verringert werden
- Die luftdichte Ebene stellt die Dampfbremse auf der Bestandsdecke dar, die luft- und dampfdicht an den Putz der Innenwand / Kamin angeschlossen wird

Sanierung: Innenwand tragend Vollziegel verputzt – Oberste Geschoßdecke Dippelbaumdecke



Deckenaufbau					
HWL-Porenverschlussplatte				*2,5*	*cm*
Perlite expandiert				*45*	*cm*
Dampfbremse				*0,02*	*cm*
Klinkerziegel				*4*	*cm*
Schüttung				*6*	*cm*
Dippelbaumdecke				*20*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,09	[W/m²K]	Σ	80,0	cm

Wandaufbau					
Kalkputz				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*14*	*cm*
Luftraum				*16*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*14*	*cm*
Kalkputz				*2,5*	*cm*
U-Wert	1,01	[W/m²K]	Σ	49,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,207*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,91*	-

Eignung:

- Wenn Dippelbaumdecke statisch weiterverwendbar

Ausführungshinweise:

- Bestandsputz Kamin/Innenwand ausbessern.
- Bestandsdecke reinigen, Dampfbremse verlegen und dicht an den Putz der Innenwand anschließen
- Nicht mehr aktive Kamine oben schließen, um Entwärmung über Konvektion zu vermeiden

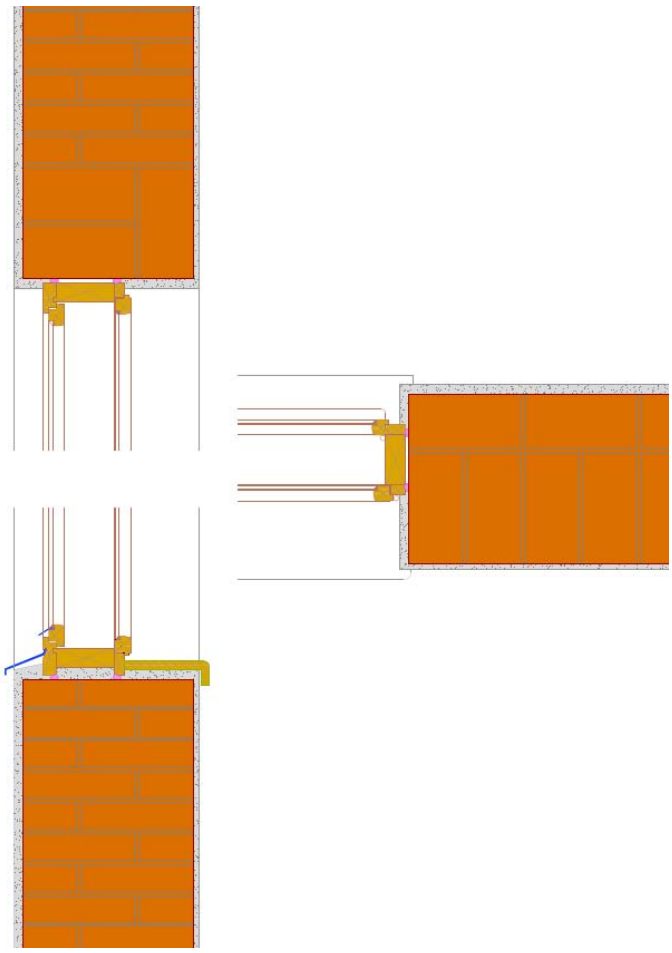
Diskussion:

Durch die Kaminwand ist eine durchgängige Führung der luftdichten Ebene nicht möglich.

4.1.15 Fenster: Außenwand – Fenster

4.1.15.1 Außenwand mit Dämmung zwischen Holzkonstruktion, Passivhaus-Holz-Alu-Fenster

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – Kastenfenster



Fenster U-Werte		
Fenster	*2,6*	*W/m²K*
Verglasung	*2,6*	*W/m²K*

Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

Charakterisierung Bestand:

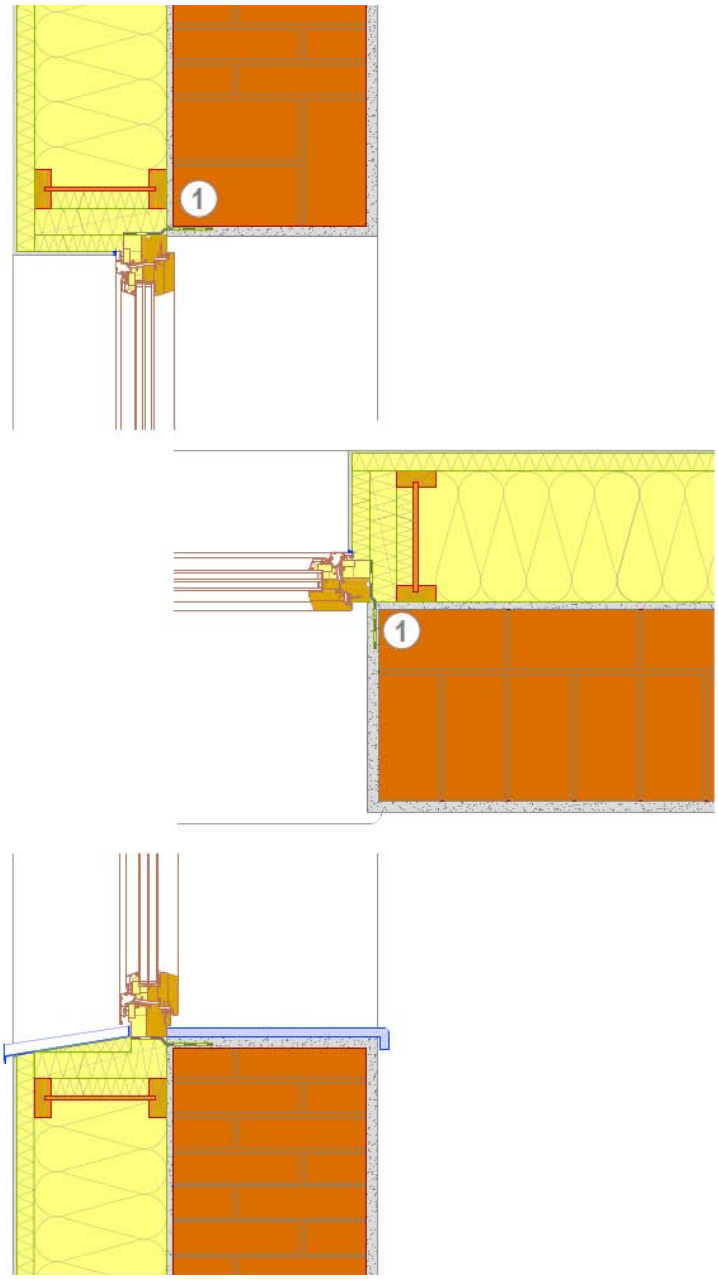
- Anschlag Außenwand vorhanden
- Position Fenster in Laibung

Sanierung Außenwand mit Dämmung zwischen Holzkonstruktion, Passivhaus-Holz-Alu-Fenster

Beschreibung:

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch das Einblasen von Zellulose zwischen Holz-Doppel-T-Steher. Die Holzkonstruktion wird bauseits befestigt und mit der Holzfaserplatte außen geschlossen.
- Die Fenster werden durch Holz-Alu-Passivhausfenster ersetzt, die in die Dämmebene versetzt werden
- Durchgängige luftdichte Ebene ist der Bestands-Außenputz, dieser wird an den Innenputz luftdicht angeschlossen. Die Überschlagdichtung des Fensters wird an den Glattstrich / Putz angeschlossen.

Sanierung: Außenwand mit Dämmung zwischen Holzkonstruktion, Passivhaus-Holz-Alu-Fenster



Fenster U-Werte		
Fenster	0,80	W/m²K
Verglasung	0,60	W/m²K
Rahmen	0,77	W/m²K

Wandaufbau					
Silikatputz, außen				0,6	cm
Holzfaser-Dämmplatte				4	cm
Zelluloseflocken, Doppel-T-Träger				30	cm
Kalkputz				2,5	cm
Vollziegelmauerwerk				44	cm
Kalkputz, innen				1,5	cm
U-Wert	0,13	[W/m²K]	Σ	82,6	cm

① *Überschlagdichtung dampfdicht*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert Sturz	0,017	W/mK
Ψ-Wert Laibung	0,017	W/mK
Ψ-Wert Parapet	0,033	W/mK
3-dimensionale Kennwerte		
χ- Wert Sturz	0,002	W/K
χ- Wert Laibung	0,002	W/K
χ- Wert Parapet	0,004	W/K
f_{RSi} Sturz	0,87	-
f_{RSi} Laibung	0,87	-
f_{RSi} Parapet	0,84	-

Eignung:

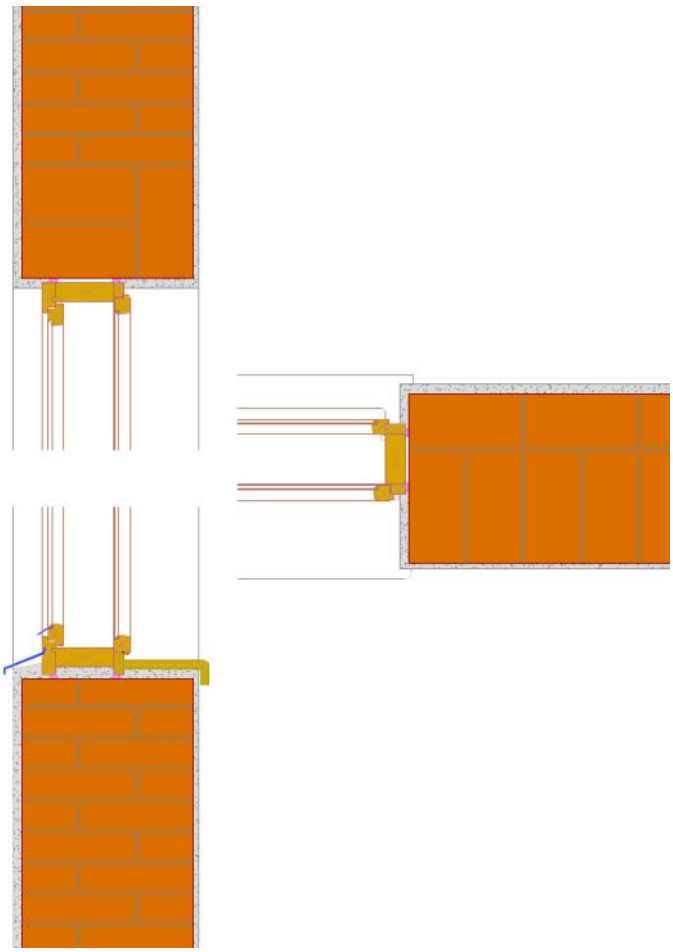
- Wenn aus Denkmalschutzgründen möglich

Ausführungshinweise:

- Luftdichte Ebene ist der Bestands-Außenputz, Risse schließen bzw. bei Erfordernis vollflächig verspachteln
- Saubere/luftdichte Oberfläche an Ausbruchstelle der Bestandfenster mittels Glattstrich / Putzmörtel herstellen, dieser verbindet luftdicht Bestandsaußenputz und Innenputz.
- Die Fenster werden über eine vlieskaschiertes Butylkautschukband umlaufend dicht auf dem Putz auf der Laibung verklebt und überputzt.

4.1.15.2 Außenwand mit WDVS abgeschrägt, Passivhaus-Holz-Alu-Fenster

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – Kastenfenster



Fenster U-Werte		
Fenster	*2,6*	*W/m²K*
Verglasung	*2,6*	*W/m²K*

Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

Charakterisierung Bestand:

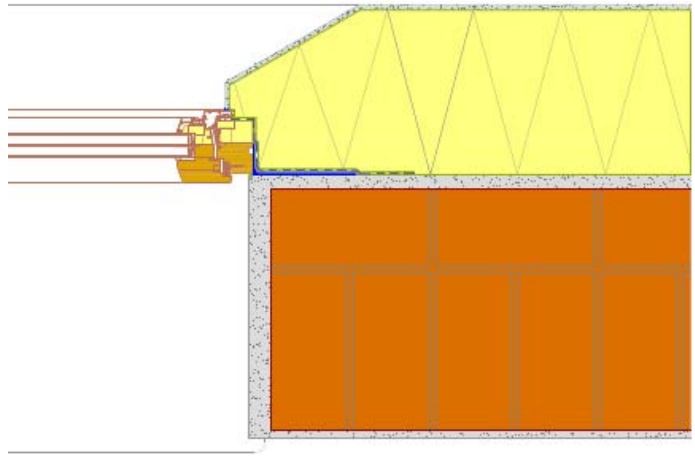
- Anschlag Außenwand vorhanden
- Position Fenster in Laibung

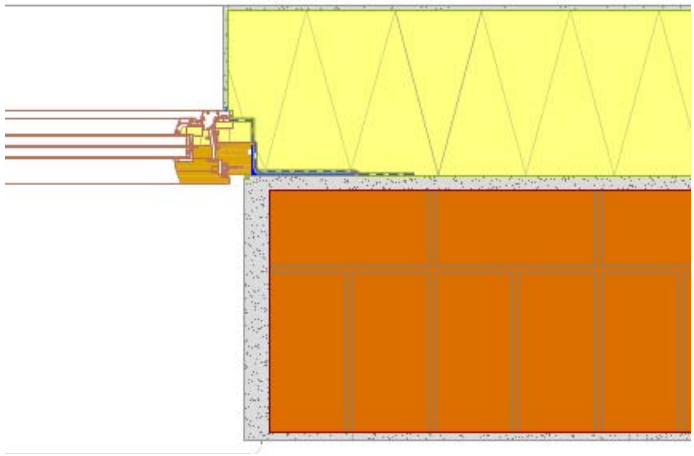
Sanierung Außenwand mit WDVS abgeschrägt, Passivhaus-Holz-Alu-Fenster

Beschreibung:

- Die Außenwand wird durch ein Wärmedämmverbundsystem thermisch saniert
- Die Fenster werden durch Holzalu-Passivhausfenster ersetzt, die in die Dämmebene versetzt werden
- Durchgängige luftdichte Ebene ist der Bestands-Außenputz, dieser wird mit dem Innenputz luftdicht angeschlossen. Die Überschlagdichtung des Fensters wird an den Glattstrich / Putz angeschlossen.
- Durch eine Abschrägung des Wärmedämmverbundsystems in der Laibung können der Besonnungsgrad, der Ausblick und eventuell die natürliche Belichtung erhöht werden.

Sanierung: Außenwand mit WDVS abgeschrägt, Passivhaus-Holz-Alu-Fenster





Fenster U-Werte		
Fenster	*0,80*	*W/m²K*
Verglasung	*0,60*	*W/m²K*
Rahmen	*0,77*	*W/m²K*

Wandaufbau					
Silikatputz, außen				*0,6*	*cm*
EPS-Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkputz				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ	78,6	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert Sturz	*0,010*	*W/mK*
Ψ-Wert Laibung	*0,010*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,90*	-
Ψ-Wert Sturz 60°	*0,022*	*W/mK*
Ψ-Wert Laibung 60°	*0,022*	*W/mK*
f_{RSi} *60°*	*0,90*	-

Eignung:

- Wenn aus Denkmalschutzgründen möglich

Ausführungshinweise:

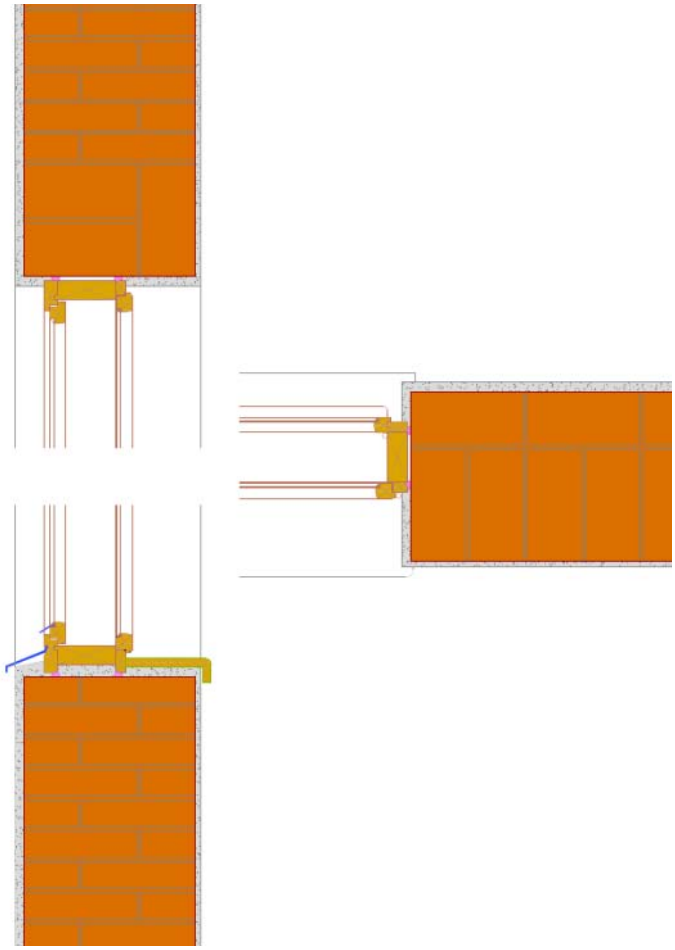
- Luftdichte Ebene ist der Bestands-Außenputz, Risse schließen bzw. bei Erfordernis vollflächig verspachteln
- Saubere/luftdichte Oberfläche an Ausbruchstelle der Bestandfenster mittels Glattstrich / Putzmörtel herstellen, dieser verbindet luftdicht Bestandsaußenputz und Innenputz.
- Die Fenster werden über eine vlieskaschiertes Butylkautschukband umlaufend dicht auf dem Laibungs-Putz verklebt und überputzt.

Diskussion:

Gekürzte Alu-Schalen und eine stärkere Überdämmung verringern den Wärmebrückenverlust.

4.1.15.3 Vollziegelwand WDVS, Kastenfenster mit 2-fach Wärmeschutzverglasung innen

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – Kastenfenster



Fenster U-Werte		
Fenster	*2,6*	*W/m²K*
Verglasung	*2,6*	*W/m²K*

Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

Charakterisierung Bestand:

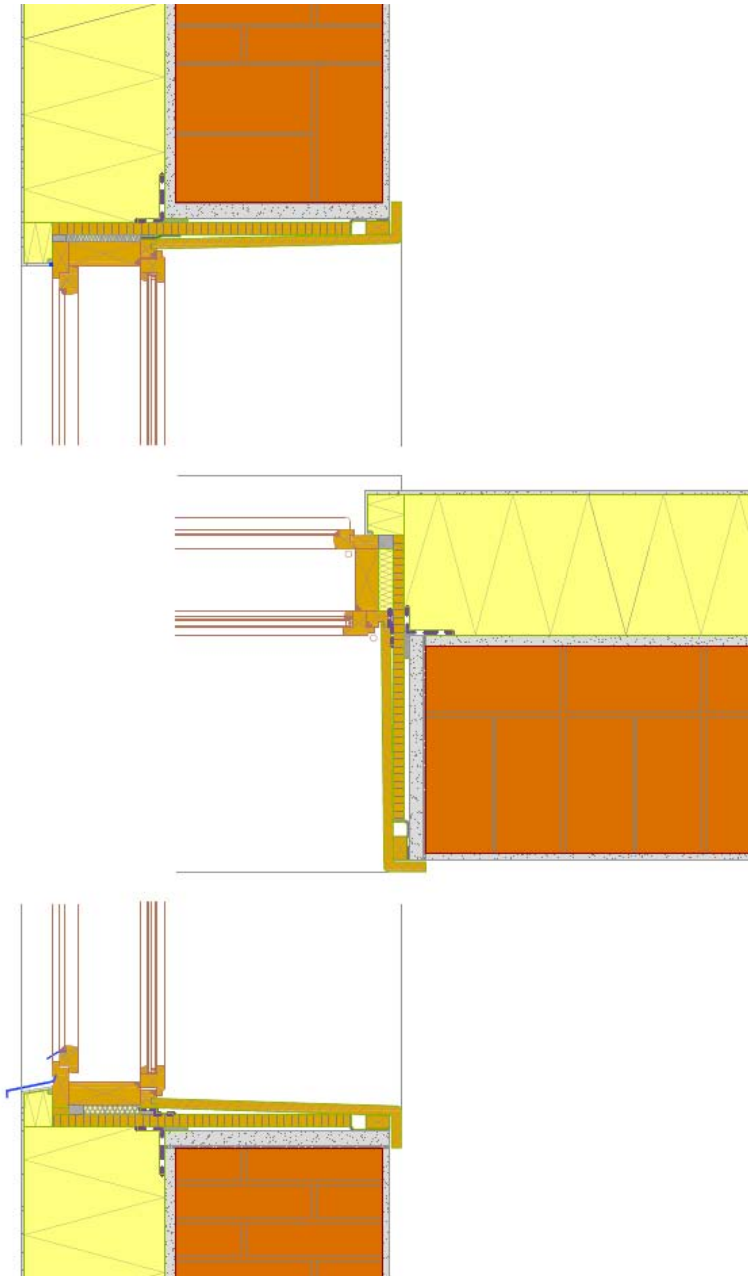
- Anschlag Außenwand vorhanden
- Position Fenster in Laibung

Sanierung Vollziegelwand WDVS, Kastenfenster mit 2-fach Wärmeschutzverglasung innen

Beschreibung:

- Die Außenwand wird durch ein Wärmedämmverbundsystem thermisch saniert
- Fensterstock und Außenflügel bleiben erhalten und werden in die Dämmebene gesetzt, der innere Flügel wird durch ein optimiertes 2-Scheiben WSG-Holzfenster ersetzt
- Um dieselben Fenster-Dimensionen wie im Bestand zu erhalten, ist der Abtrag des Laibungsmörtels erforderlich. Die Dreischicht-Holzwerkstoffplatte ist in sich luftdicht (Stöße verklebt). An diese werden der Bestands-Außenputz und der Fensterstock-Innenflügel neu luftdicht angeschlossen.
- Die Überschlagdichtung des Fensters wird an den Glattstrich / Putz angeschlossen

Sanierung: Vollziegelwand WDVS, Kastenfenster mit 2-fach Wärmeschutzverglasung innen



Fenster U-Werte		
Fenster 4-teilig inkl. Einbau	*1,14*	*W/m²K*
Verglasung	*1,0 / 5,8*	*W/m²K*
Rahmen	*1,4 innen*	*W/m²K*

* Dimensionen: 2,14 m², 1,08 m/1,98 m

Wandaufbau					
Silikatputz, außen				*0,6*	*cm*
EPS-Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkputz				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ	78,6	cm

2-dimensionale Kennwerte (innen/Zwischenraum)		
Ψ-Wert Sturz (innen/Zwi)	*0,005*	*W/mK*
Ψ-Wert Laibung	*0,005*	*W/mK*
Ψ-Wert Parapet	*0,001*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,84*	*-*

Eignung:

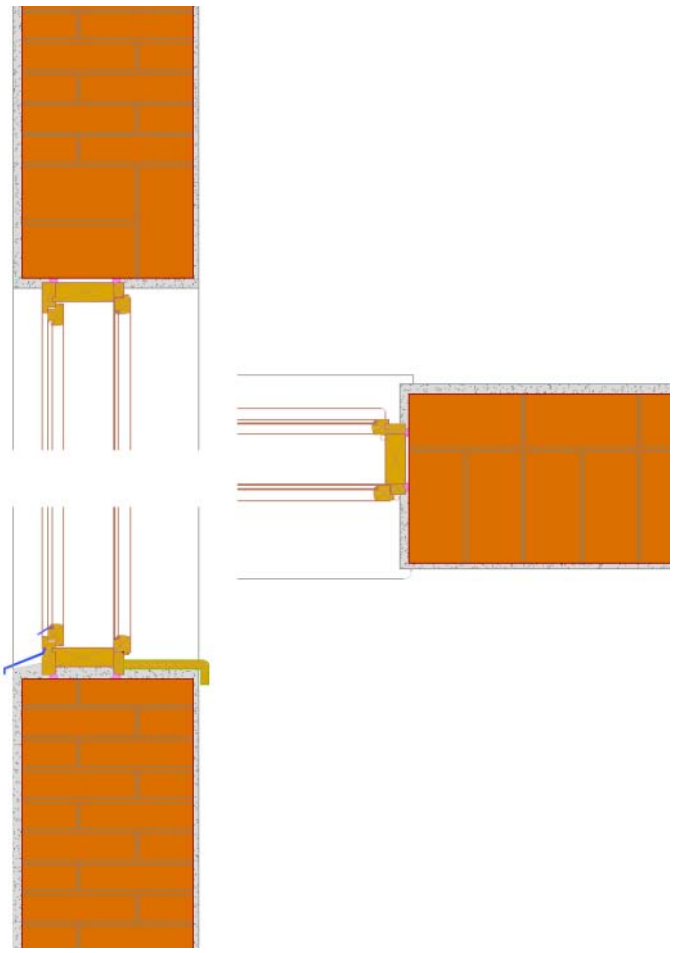
- Wenn aus Denkmalschutzgründen erforderlich.
- Wenn Dampfentspannung bzw. Hinterlüftung Außenflügel möglich ist.

Ausführungshinweise:

- Luftdichte Ebene ist der Bestands-Außenputz, Risse schließen
- Am Außenflügel im Flügel unten und oben Dampfentspannungsöffnungen (-löcher) anbringen. Auf Schlagregendichtigkeit besonders achten. Kondensat kann an der Innenseite des Außenflügels temporär auftreten, eine Vereisung („Eisblumen“) tritt auch bei fachgerechter Ausführung der Dampfentspannung / Hinterlüftung auf.

4.1.15.4 Vollziegelwand WDVS, Kastenfenster mit 3-fach Wärmeschutzverglasung außen

Bestand: Außenwand Vollziegel verputzt – Kastenfenster



Fenster U-Werte		
Fenster	*2,6*	*W/m²K*
Verglasung	*2,6*	*W/m²K*

Wandaufbau					
Kalkputz, außen				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,18	[W/m²K]	Σ	48,0	cm

Charakterisierung Bestand:

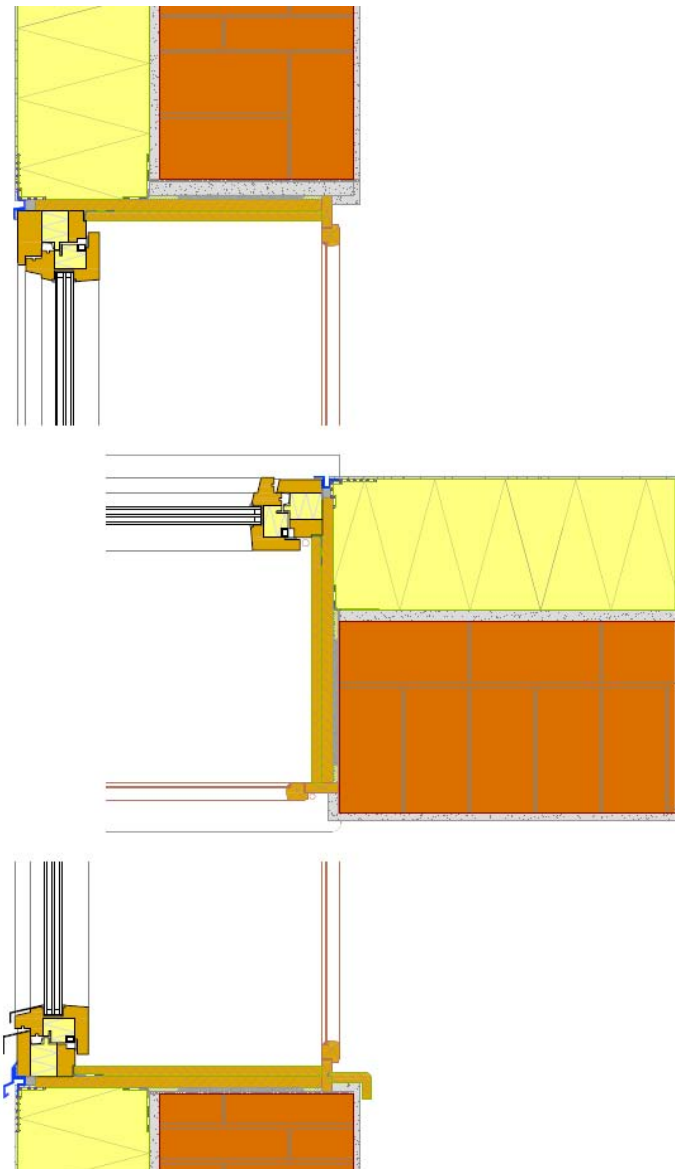
- Anschlag Außenwand vorhanden
- Position Fenster in Laibung

Sanierung Vollziegelwand WDVS, Kastenfenster mit 3-fach Wärmeschutzverglasung außen

Beschreibung:

- Die Außenwand wird durch ein Wärmedämmverbundsystem thermisch saniert.
- Fensterstock und Innenflügel bleiben erhalten, der äußere Flügel wird durch ein Passivhausfenster ersetzt
- Um dieselben Fenster-Dimensionen wie im Bestand zu erhalten, ist der Abtrag des Laibungsmörtels erforderlich. Die Dreischicht-Holzwerkstoffplatte ist in sich luftdicht (Stöße verklebt). An diese wird der Bestands-Außenputz luftdicht angeschlossen.
- Die Überschlagdichtung des Fensters wird an die Dreischichtplatte luft- und dampfdicht angeschlossen.

Sanierung: Vollziegelwand WDVS, Kastenfenster mit 3-fach Wärmeschutzverglasung außen



Fenster U-Werte		
Fenster eff	*0,78*	*W/m²K*
Verglasung	*5,8 / 0,60*	*W/m²K*
Rahmen	*0,77*	*W/m²K*

* Dimensionen: 2,14 m², 1,08 m/1,98 m

Wandaufbau					
Silikatputz, außen				*0,6*	*cm*
EPS-Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkputz				*2,5*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*44*	*cm*
Kalkputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ	78,6	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Zwischenraum außen		
Ψ-Wert Sturz	*0,066*	*W/mK*
Ψ-Wert Laibung	*0,066*	*W/mK*
Ψ-Wert Parapet	*0,066*	*W/mK*

Eignung:

- Wenn außenbündige Anordnung der Fenster ausdrücklich gefordert
- Wenn keine hohe Effektivität des zwischenliegenden Sonnenschutzes erforderlich

Ausführungshinweise:

- Luftdichte Ebene ist der Bestands-Außenputz, Risse schließen, vollflächig verspachteln
- Fensterrahmen außen mit Putzanschlussprofil mit Armierungsfahne dauerhaft verbinden

Diskussion:

Außenbündige Versetzung der Außenflügel ist feuchtetechnisch problematisch, da ein dauerhaft schlagregendichter Anschluss nur bei sorgfältiger Ausführung möglich ist. An stark schlagregenbelasteten Fassaden besser nicht ausführen.

4.2 Gebäude errichtet 1920 bis 1950

Die hier beschriebenen Gebäude wurden vor allem in der Zwischenkriegszeit errichtet.

4.2.1 Charakterisierung des Bestandes:

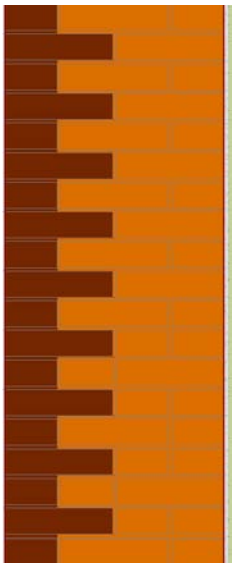
Die 20er Jahre bringen nach dem Zusammenbruch der alten Kaiserreiche auch einen Aufbruch in der Bauweise. Stahlbetondecke oder Elementdecken verbreiten sich stark, Wände werden auch in Hohlziegelwänden hergestellt. Kelleraußenwände und -decken werden verstärkt in Stahlbetonbauweise errichtet. Mauerstärken reduzieren sich, da nicht mehr ausschließlich Mindeststärken durch die Behörde verlangt werden, die auf Erfahrung beruhen, sondern ein statischer Nachweis gefordert wird.

4.2.1.1 Außenwände und erdberührte Außenwände

Teilweise ist die Bauweise der Wände noch sehr ähnlich derjenigen vor 1918. Vollziegel sind auch weiterhin das bevorzugte Baumaterial für alle Arten von Wänden. Daneben werden aus Gründen der Materialersparnis und des Wärmeschutzes auch Hohlziegel und Leichtbetonsteine eingesetzt, vor allem in Gebäuden mit geringeren statischen Erfordernissen.
Außenseitig werden nicht nur aus ästhetischen Gründen unverputzte Wände ausgeführt. Diese werden zum Teil als zweischalige Außenwände mit einer Klinkerschale außen ausgeführt, wobei der Luftraum hinterlüftet oder auch nur mit stehender Luftschicht ausgeführt ist. Die Verbindung der Schalen erfolgt mit Bindersteinen oder Eisenankern. Vor allem im Gewerbebau findet sich auch eine einschalige Bauweise mit direkt eingemauerten Klinkerverblendungen.
Für die Vermauerung werden größtenteils bereits Kalkmörtel mit Zementanteil eingesetzt. Die Innenputze sind meist immer noch Kalkputze.

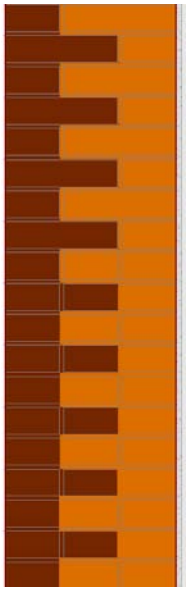
Beispiele für Außenwände:

Vollziegel mit Verblendung, innen verputzt



Wandaufbau					
Vollziegel inkl. Verblendung				*59*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,97	[W/m²K]	Σ	60,5	cm

- Zierglieder werden entsprechend eingemauert



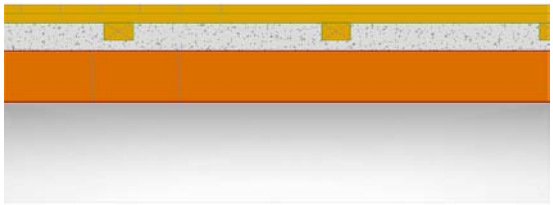
Wandaufbau					
Vollziegel inkl. Verblendung				*44*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,22	[W/m²K]	Σ	45,5	cm

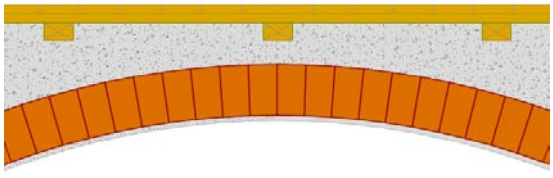
- Zierglieder werden entsprechend eingemauert

4.2.1.2 Kellerboden, Kelleraußenwand, Kellerinnenwand

Kellerdecken wurden aus Gründen des Feuchteschutzes meist massiv ausgeführt. Neben den bereits vor 1918 verstärkt eingesetzten Kappendecken kommen nunmehr auch Stahlträger, Betonplatten und Leichtbetonsteine zum Einsatz. In den meisten Fällen wird auch ein 3 bis 5 cm starker Aufbeton hergestellt. Auch Stahlbetondecken kommen verstärkt zum Einsatz.

Kappendecke





Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*3*	*cm*
Ziegelgewölbe, schmalste Stelle				*14*	*cm*
U-Wert	0,99	[W/m²K]	Σ	27,0	cm

- Ziegelgewölbe zwischen Stahlträgern

4.2.1.3 Erdberührter Fußboden

Siehe Zeit vor 1918

4.2.1.4 Innenwände

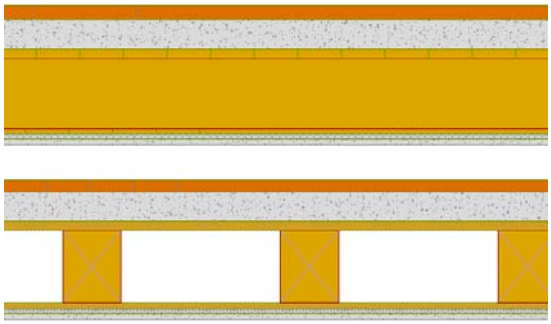
Siehe Zeit vor 1918

4.2.1.5 Geschoßdecken

Im Wohnbau sind weiterhin Tramdecken die bevorzugte Deckenkonstruktion. Im Gewerbebau werden auch in den oberen Geschoßen vermehrt Stahlträger und Rippenbetondecken ausgeführt.

Unter dem Endbelag werden vermehrt Zementestriche ausgeführt, auch Anhydrit- und Magnesitestriche kommen zum Einsatz. Lehm- und Kalkestriche verschwinden fast völlig.

Tramdecke



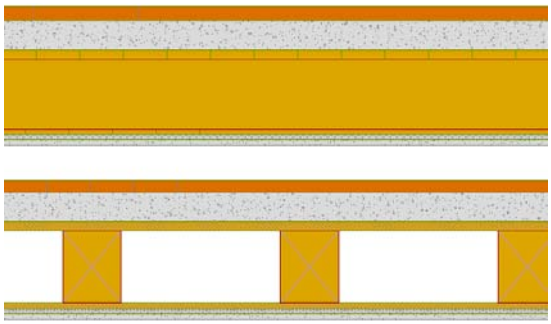
Deckenaufbau					
Klinkerziegel				*4*	*cm*
Schüttung				*8*	*cm*
Holzschalung				*2,5*	*cm*
Luftraum/Holztrame				*20*	*cm*
Holzschalung				*2*	*cm*
Stukkatur				*1*	*cm*
Kalkputz				*0,5*	*cm*
U-Wert	1,02	[W/m²K]	Σ	38,0	cm

- Der Aufbau ist einer Geschoßdecke ähnlich, oberseitig wird aus Brandschutzgründen Pflasterziegel auf der Schüttung verlegt

4.2.1.6 Oberste Geschoßdecke

Die oberste Geschoßdecke führt meist in einen ungenutzten Dachraum, der als „Kaltdach“ ausgeführt und mehr oder weniger mit Außenluft hinterlüftet ist.
In der Zwischenkriegszeit werden zwar noch viele Decken als Tramdecken oder Dippelbaumdecken ausgeführt (vor allem im Wohnbau), vermehrt kommen aber auch Stahlträger- und Stahlbetondecken zum Einsatz.

Tramdecke



Deckenaufbau					
Klinkerziegel				*4*	*cm*
Schüttung				*8*	*cm*
Holzschalung				*2,5*	*cm*
Luftraum/Holztrame				*20*	*cm*
Holzschalung				*2*	*cm*
Stukkatur				*1*	*cm*
Kalkputz				*0,5*	*cm*
U-Wert	1,02	[W/m²K]	Σ	38,0	cm

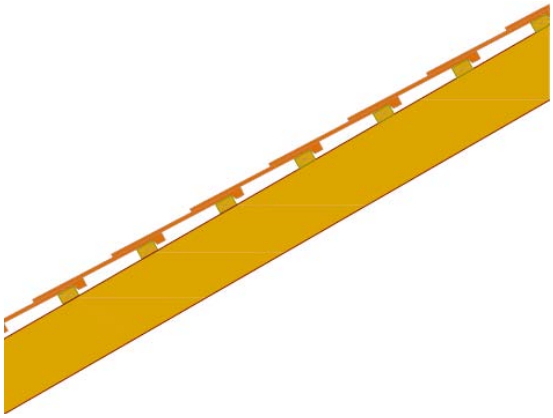
- Der Aufbau ist einer Geschoßdecke ähnlich, oberseitig wird aus Brandschutzgründen Pflasterziegel auf der Schüttung verlegt

4.2.1.7 Dach

Dächer von Gebäuden in der Zwischenkriegszeit wurden wurden ähnlich denjenigen vor 1918 fast durchgehend als Zimmermannskonstruktion errichtet.

Für die Eindeckung wurden meist Dachziegel in unterschiedlicher Form verwendet, die auf Dachlatten befestigt sind. Daneben wurden auch Blechdächer ausgeführt wie auch, vor allem im ländlichen Raum Eindeckungen mit Holzschindeln, Stroh oder Steinplatten.

Ziegeldach



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung 3/5				*3*	*cm*
Sparren				*18*	*cm*
U-Wert	-	[W/m²K]	Σ	23,0	cm

- Die Sparrenstärken reichen von meist 12 bis 18 cm.

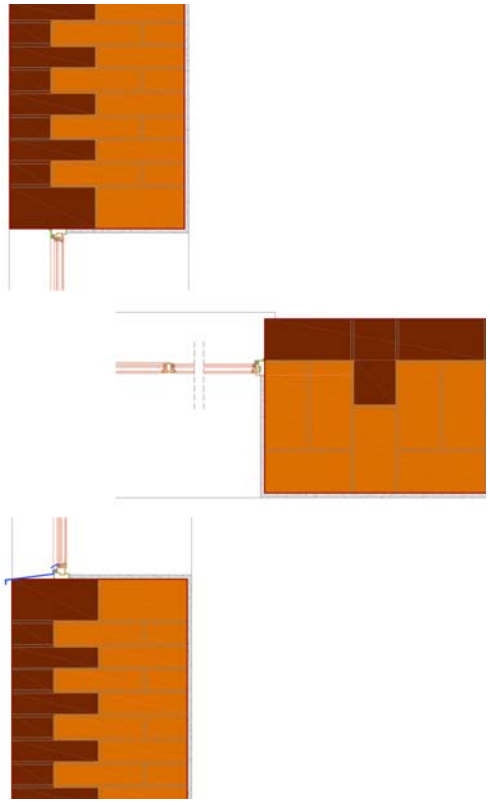
4.2.1.8 Fenster

Fenster sind je nach Region als Kastenfenster oder als Fenster mit Einfachflügel ausgeführt. Die Ausführung ist derjenigen vor 1918 sehr ähnlich. Formal werden die Fenster vermehrt liegend und nicht aufgestellt ausgeführt.

Bereits im Einsatz sind Holzverbundfenster, die vor allem ab 1950 verstärkt eingesetzt werden, da der Versetzungsaufwand deutlich niedriger ist.

Daneben werden vor allem im Gewerbebau auch Stahlfenster eingesetzt, meist mit Einfachverglasung, teilweise aus Wärmeschutzgründen auch 2-fach verglast.

Stahlrahmenfenster



Fenster U-Werte		
Fenster	*3,2*	*W/m²K*
Verglasung	*3,2*	*W/m²K*
Rahmen	*3,2*	*W/m²K*

Stahlfenster mit 2-fach-Verglasung

- Die Fenster werden meist ziemlich mittig versetzt

4.2.2 Typische Schadensbilder

Folgende Schäden sind für Gebäude der Zwischenkriegszeit typisch:

- Feuchte- und Salzschäden im aufgehenden Mauerwerk
- Holzbalken der Geschoßdecken, oder der obersten Geschoßdecke angefault
- Kondensationsschäden an Stahlfenstern
- Fassade: abplatzender Putz, Stuck, verschmutzte Fassade

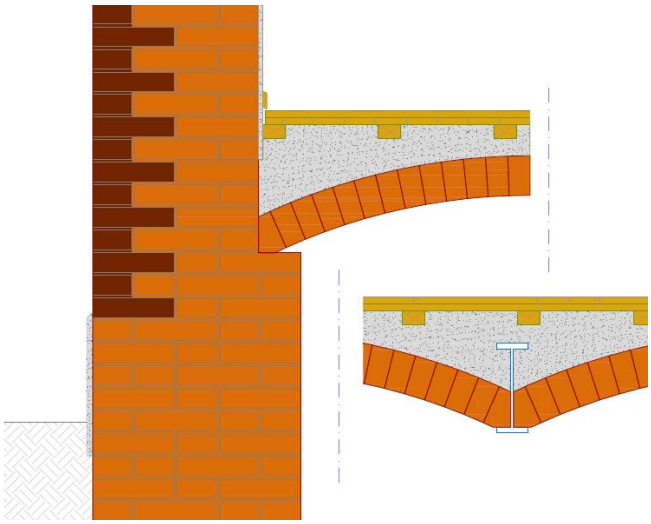
4.2.3 Sanierungsaufgaben

- Außendämmung, eventuell mit Rekonstruktionstechniken für meist gering vorhandene Ornamentik der Fassaden
- Innendämmung mit besonderer Berücksichtigung der Anschlüsse, vor allem bei nicht verputzten Fassaden (Entschärfung Wärmebrücken/Schimmelproblematik)
- Einbindung Stiegenhaus (Problematik Halbgeschoße)
- Dämmung oberste Geschoßdecke, begehbar, nicht begehbar, Anschlüsse Dachkante
- Eventuell Dachausbau, Terrassen neu
- Fenstersanierung, z.T. mit speziellen Kastenfenstern, Anschlüsse; Optik der Stahlfenster erhalten, mit verbesserten Wärme- und Schallschutz
- Dämmung Kellerdecke, Minimierung der Wärmebrücken über Außenwände und Innenwände, Stiegenhaus
- Ausführung neuer Balkone, bzw. Vergrößerung der bestehenden
- Feuchteschutz gegen Schlagregen, aufsteigende Feuchte
- Verbesserung Luftdichtigkeit
- Verbesserung Schallschutz nach außen (Fenster und Fensteranschlüsse)
- Verbesserung Schallschutz zwischen Wohneinheiten (Wände, Decken)
- Verbesserung Brandschutz zwischen den Wohneinheiten
- Optimierte Wohnraumlüftung

4.2.4 Sockel: Außenwand – Kellerdecke

4.2.4.1 Außenwand Vollziegel mit Innendämmung, Kellerdecke oberseitig mit Schüttung gedämmt

Bestand: Außenwand Vollziegel – Keller Gewölbedecke



Wandaufbau					
Vollziegel inkl. Verblendung				*59*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,97	[W/m²K]	Σ	60,5	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*6*	*Cm*
Ziegelgewölbe, schmalste Stelle				*14*	*cm*
U-Wert	0,94	[W/m²K]	Σ	30,0	cm

Wandaufbau, erdberührt					
Vollziegelmauerwerk				*74*	*cm*
U-Wert	0,84	[W/m²K]	Σ	74	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,120*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*-0,597*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,66*	-

Charakterisierung Bestand:

- Aufsteigende Feuchtigkeit, aufsteigende Salze?
- Nutzung des Kellers: Lagerraum, ungenutzt?
- Art Oberfläche Erdreich: Gras, Kies, Gehsteig dicht; geneigt nach außen?

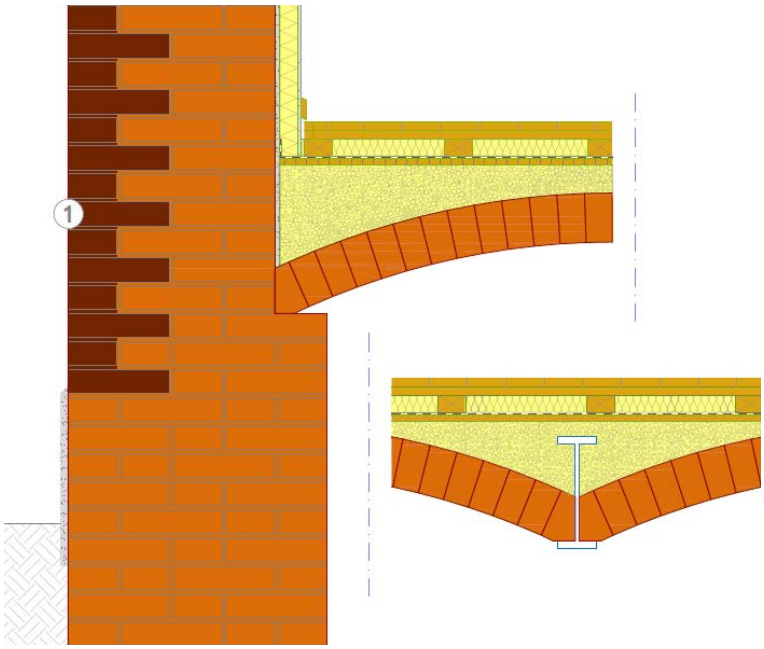
Sanierung Außenwand mit Innendämmung, Kellerdecke oberseitig mit Schüttung gedämmt

Beschreibung:

Die thermische Sanierung erfolgt durch eine Innendämmung, sowohl im Außenwand- als auch im Kellerdeckenbereich.

- Von Vorteil ist der wärmebrückenfreie Anschluss der vertikalen mit der horizontalen Dämmebene
- Durch die Innendämmung werden die Temperaturen der Tragstruktur im Winterhalbjahr deutlich abgesenkt, dem Feuchteverhalten von Außenwand und Kellerdecke ist daher hohe Aufmerksamkeit zu schenken.
- Durch die Wärmedämmung der Kellerdecke wird die Temperatur im Keller abgesenkt und ohne begleitende Maßnahmen die relative Feuchte im Keller erhöht.

Sanierung: Außenwand mit Innendämmung, Kellerdecke oberseitig mit Schüttung gedämmt



Wandaufbau					
Vollziegel inkl. Verblendung				*59*	*cm*
Kalkputz				*1,5*	*cm*
Calciumsilikatdämmplatte				*5*	*cm*
Kalkputz				*1*	*cm*
U-Wert	0,44	[W/m²K]	Σ	66,5	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schafwolle				*5*	*cm*
Dampfbremse				*0,02*	*cm*
Holzfaserplatte				*2*	*cm*
Perlite expandiert verdichtet				*8*	*cm*
Ziegelgewölbe, schmalste Stelle				*14*	*cm*
U-Wert	0,27	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

Wandaufbau, erdberührt					
Vollziegelmauerwerk				*74*	*cm*
U-Wert	0,84	[W/m²K]	Σ	74	cm

① *hydrophobiert*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,110*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*-0,085*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,85*	*-*

Eignung:

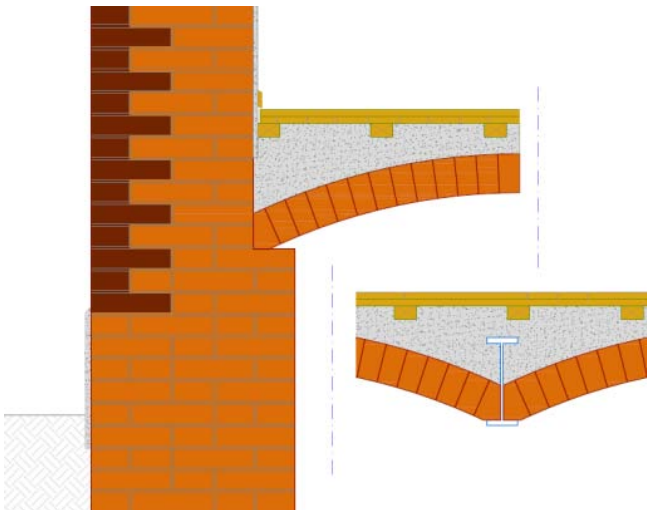
- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit und durch aufsteigende Schadsalze geeignet
- Wenn eindringende Feuchte von außen (Schlagregen) sicher ausgeschlossen werden kann (Hydrophobierung)
- Wenn außenseitige Sanierung nicht möglich (Denkmalschutz etc.).
- Wenn Nachweis durch hygrothermische Simulation vorhanden.

Ausführungshinweise:

- Bestehenden Fußbodenaufbau und Schüttung entfernen
- Den Innenputz des Bestandes als luftdichte Ebene bis Rohdecke führen, wenn nur in Teilen vorhanden
- Perliteschüttung einbringen, verdichten, Holzfaserplatte auflegen
- Dampfbremse verlegen, mit Innenputz strömungsdicht verbinden.
- Einsatz einer intelligenten Lüftung, insbesondere bei hohen Anforderungen an die Lagerqualität des Kellers prüfen (siehe Kapitel Kellerklima, Haustechnik).

4.2.4.2 Außenwand Vollziegel mit Fassadendämmplatte und vorgehängter Fassade, erdberührte Außenwand gedämmt, Kellerdecke ungedämmt

Bestand: Außenwand Vollziegel – Keller Gewölbedecke



Wandaufbau					
Vollziegel inkl. Verblendung				*59*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,97	[W/m²K]	Σ	60,5	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*6*	*Cm*
Ziegelgewölbe, schmalste Stelle				*14*	*cm*
U-Wert	0,94	[W/m²K]	Σ	30,0	cm

Wandaufbau, erdberührt					
Vollziegelmauerwerk				*74*	*cm*
U-Wert	0,84	[W/m²K]	Σ	74	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,121*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*-0,596*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,66*	-

Charakterisierung Bestand:

- Aufsteigende Feuchtigkeit, aufsteigende Salze?
- Nutzung des Kellers: Lagerraum, ungenutzt?
- Art Oberfläche Erdreich: Gras, Kies, Gehsteig dicht; geneigt nach außen?

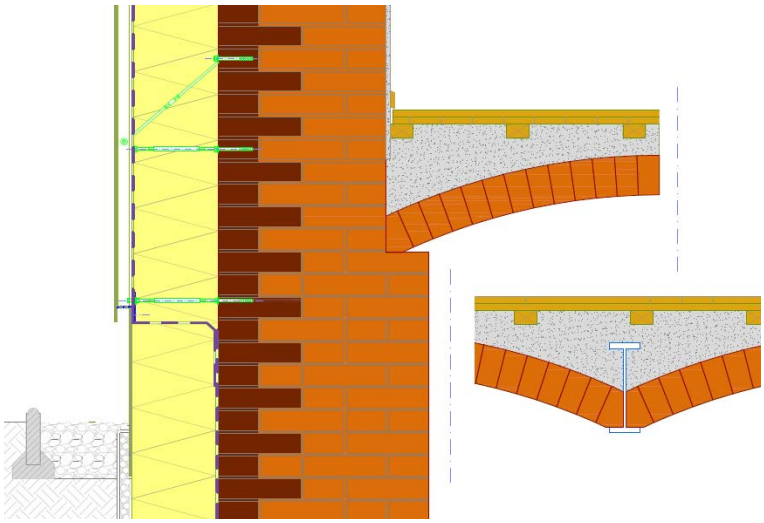
Sanierung Außenwand mit Fassadendämmplatte und vorgehängter Fassade, erdberührte Außenwand gedämmt, Kellerdecke ungedämmt

Beschreibung:

Die thermische Sanierung erfolgt durch eine Schirmdämmung: Die Kellerdecke bleibt ungedämmt, die außenliegenden Wände des Kellers werden gedämmt.

- Die Außenwand wird mit einer Glaswolle-Fassadendämmplatte gedämmt. Die Unterkonstruktion der Fassade ist ein passivhaustaugliches Edelstahl-Stabsystem.
- Die Temperatur des Kellerraumes wird im Winter erhöht, damit ergibt sich bei gleichbleibenden Feuchtequellen eine niedrigere relative Feuchte: Vorteile für Lagerung. Im Sommer abgesenkt, daher Kombination mit intelligenter Kellerlüftung sinnvoll (siehe Kap. erdberührte Bauteile)
- Soferne eine Durchfeuchtung des Mauerwerks durch Oberflächenwasser vorhanden ist, kann die Aufnahme durch die neu aufgebrachte vertikale Abdichtung und die Drainage vom Mauerwerk abgehalten werden.

Sanierung: Außenwand mit Fassadendämmplatte und vorgehängter Fassade, erdberührte Außenwand gedämmt, Kellerdecke ungedämmt



Wandaufbau					
Faserzementplatte				*0,8*	*cm*
Hinterlüftung, Alulattung				*4*	*cm*
Windsperre				*0,02*	*cm*
Glaswolle Fassadendämmplatte zwischen Edelstahlstangen				*30*	*cm*
Vollziegel inkl. Verblendung				*59*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,14	[W/m²K]	Σ	95,3	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Blindboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*6*	*cm*
Ziegelgewölbe, schmalste Stelle				*14*	*cm*
U-Wert	0,94	[W/m²K]	Σ	30,0	cm

Wandaufbau, erdberührt					
Silikatputz				*0,6*	*cm*
XPS				*30*	*cm*
Abdichtung				*0,2*	*cm*
Vollziegelmauerwerk				*74*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ	104,8	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,008*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*-0,630*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,81*	*-*

Eignung:

- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit und durch aufsteigende Schadsalze geeignet
- Aufgrabetiefe je nach statischen Möglichkeiten

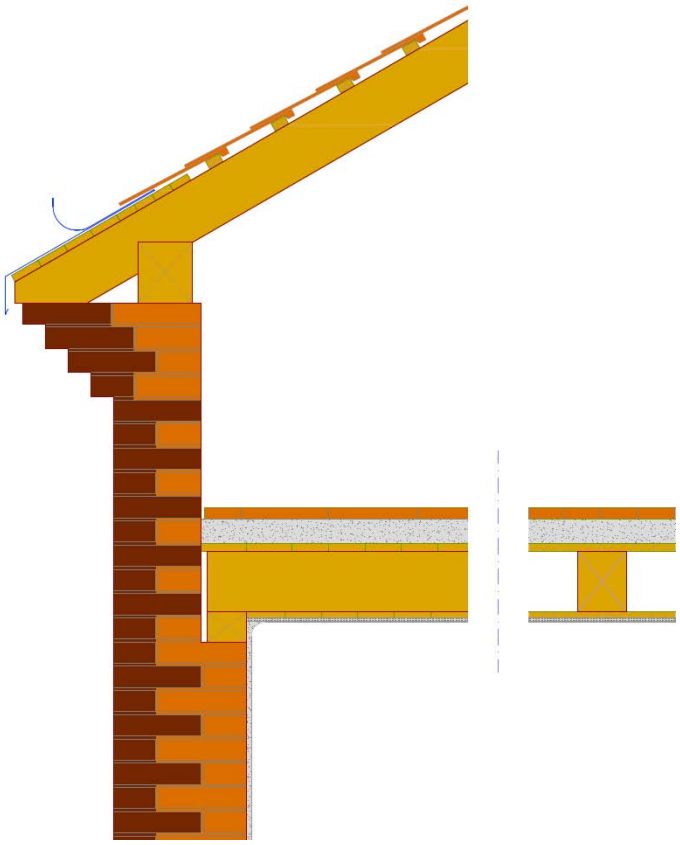
Ausführungshinweise:

- Luftdichte Ebene (Außenputz, bei Erfordernis vollflächig verspachtelt) bis Unterkante Abdichtung führen, diese stellt auch die saubere Oberfläche für Aufbringen der vertikalen Abdichtung dar.
- Abdichtung vollflächig dicht verkleben bis mindestens 30 cm über Geländeniveau (Spritzwasserbereich)

4.2.5 Attika: Außenwand – Dach unbeheizt

4.2.5.1 Außenwand mit Fassadendämmplatte und vorgehängter Fassade, Dachgeschoß mit Sparrenaufdopplung

Bestand: Außenwand Vollziegel – Tramdecke – Ziegeldach



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung 3/5				*3*	*cm*
Sparren				*18*	*cm*
U-Wert	-	[W/m²K]	Σ	23,0	cm

Deckenaufbau					
Klinkerziegel				*4*	*cm*
Schüttung				*8*	*cm*
Holzschalung				*2,5*	*cm*
Luftraum/Holztrame				*20*	*cm*
Holzschalung				*2*	*cm*
Stukkatur				*1*	*cm*
Kalkputz				*0,5*	*cm*
U-Wert	1,02	[W/m²K]	Σ	38,0	cm

Wandaufbau					
Vollziegel inkl. Verblendung				*44,0*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,22	[W/m²K]	Σ	45,5	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,444*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,67*	-

Charakterisierung Bestand:

- Dachsparren statisch weiterverwendbar?

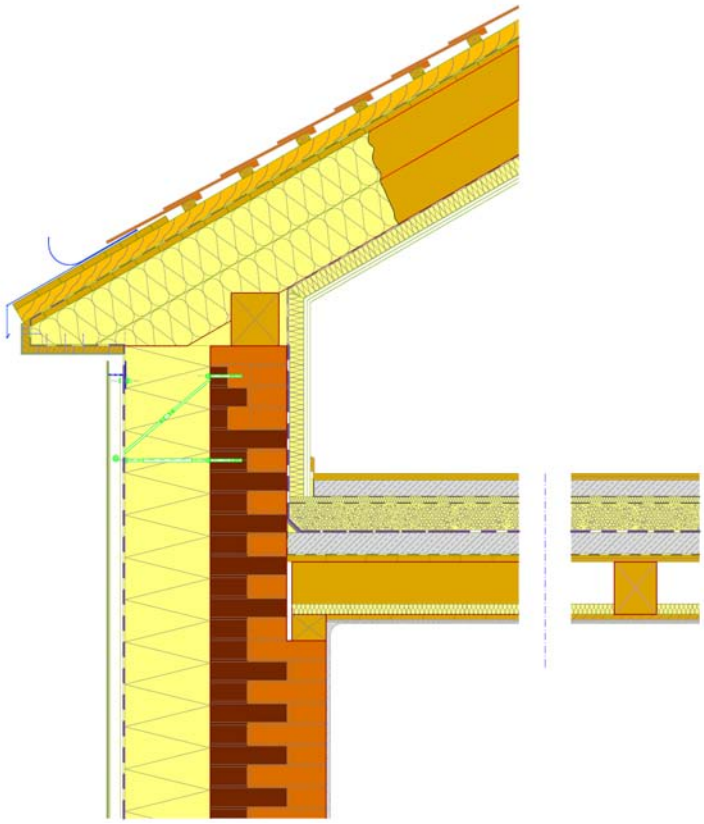
Sanierung Außenwand mit Fassadendämmplatte und vorgehängter Fassade, Dach mit Sparrenaufdopplung

Beschreibung:

- Die Außenwand wird mit einer Glaswolle-Fassadendämmplatte gedämmt. Die Unterkonstruktion der Fassade ist ein passivhaustaugliches Edelstahl-Stabsystem.
- Die Dachsparren werden weiterverwendet, aufgedoppelt und mit Faserdämmstoff gedämmt.
- Die Tramdecke, ehemals oberste Geschoßdecke, wird mit Verbundbeton ausgeführt, um das Gesperre zu ersetzen und einen akzeptablen Trittschallschutz zu erreichen.
- Die luftdichte Ebene ist die neu verlegte Dampfbremse im Dach, die über die verputzte Drempelwand an den Bestands-Außenputz strömungsdicht angeschlossen wird. Nur im Auflagerbereich der Sparren ist eine „sauber“ geführte dichte Ebene nicht möglich.

Sanierung: Außenwand mit Fassadendämmplatte und vorgehängter Fassade, oberste Geschoßdecke

Perlite



Dachaufbau		
Dachziegel	*2*	*cm*
Lattung 3/5	*3*	*cm*
Konterlattung, Hinterlüftung	*5*	*cm*
PE-Dachauflegebahn diffusionsoffen	*0,02*	*cm*
Holzschalung	*2,4*	*cm*
Glaswolle, Aufdopplung Sparren	*18*	*cm*
Glaswolle, Sparren Bestand	*18*	*cm*
Dampfbremse	*0,02*	*cm*
Glaswolle zwischen Federbügeln	*6*	*cm*
2 Lagen Gipskartonfeuerschutzplatten	*3*	*cm*
U-Wert 0,12 [W/m²K]	Σ 57,4	cm

Wandaufbau		
Faserzementplatte	*0,8*	*cm*
Hinterlüftung, Alulattung	*4*	*cm*
Windsperre	*0,02*	*cm*
Glaswolle Fassadendämmplatte zwischen Edelstahlstangen	*30*	*cm*
Vollziegel inkl. Verblendung	*44*	*cm*
Kalkzementputz	*1,5*	*cm*
U-Wert 0,14 [W/m²K]	Σ 80,3	cm

Deckenaufbau		
Bodenbelag	*2,5*	*cm*
Estrich	*6*	*cm*
PE-Folie	*0,02*	*cm*
EPS-Trittschalldämmplatte	*3*	*cm*
PE-Folie	*0,02*	*cm*
EPS-Schüttung, zementgebunden	*10,5*	*cm*
Dampfbremse	*0,02*	*cm*
Betondecke	*8*	*cm*
PE-Folie	*0,02*	*cm*
Holzschalung	*2,5*	*cm*
Tramdecke, Luftraum	*16*	*cm*
Tramdecke, Dämmung	*4*	*cm*
Holzschalung	*2*	*cm*
Kalkputz auf Schilf-Stukkatur	*1,5*	*cm*
U-Wert 0,21 [W/m²K]	Σ 56,1	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,049*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,96*	*-*

Eignung:

- Für außenseitig dämmbare Fassaden

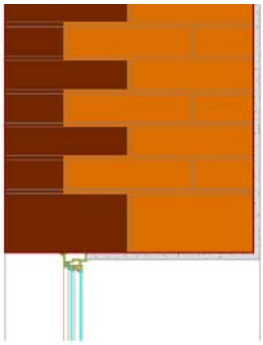
Ausführungshinweise:

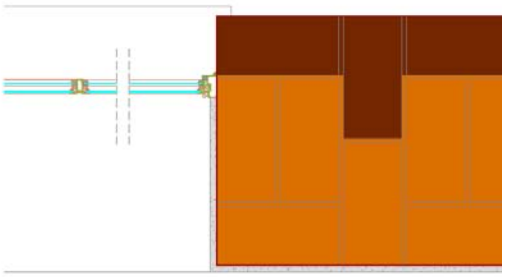
- Drempelmauer grob verputzen, Verbundbeton aufbringen, bituminöse Dampfbremse / Notabdichtung verlegen, Bestandsaußenputz ausbessern, diesen luftdicht an innenseitigen Grobputz von Drempelwand anschließen mit luftdichter Folie

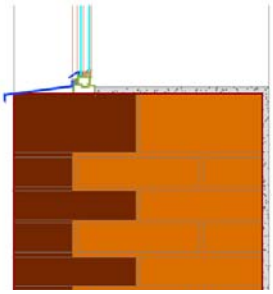
4.2.6 Fenster: Außenwand – Fenster

4.2.6.1 Außenwand mit Fassadendämmplatte und vorgehängter Fassade, Passivhausfenster

Bestand: Außenwand Vollziegel – Stahlrahmenfenster







Fenster U-Werte		
Fenster	*2,6*	*W/m²K*
Verglasung	*1,04*	*W/m²K*
Rahmen	*1,04*	*W/m²K*

Wandaufbau					
Vollziegel inkl. Verblendung				*59*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,97	[W/m²K]	Σ	60,5	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert Sturz	*-1,144*	*W/mK*
Ψ-Wert Laibung	*-1,144*	*W/mK*
Ψ-Wert Parapet	*-1,155*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,27*	*-*

Charakterisierung Bestand:

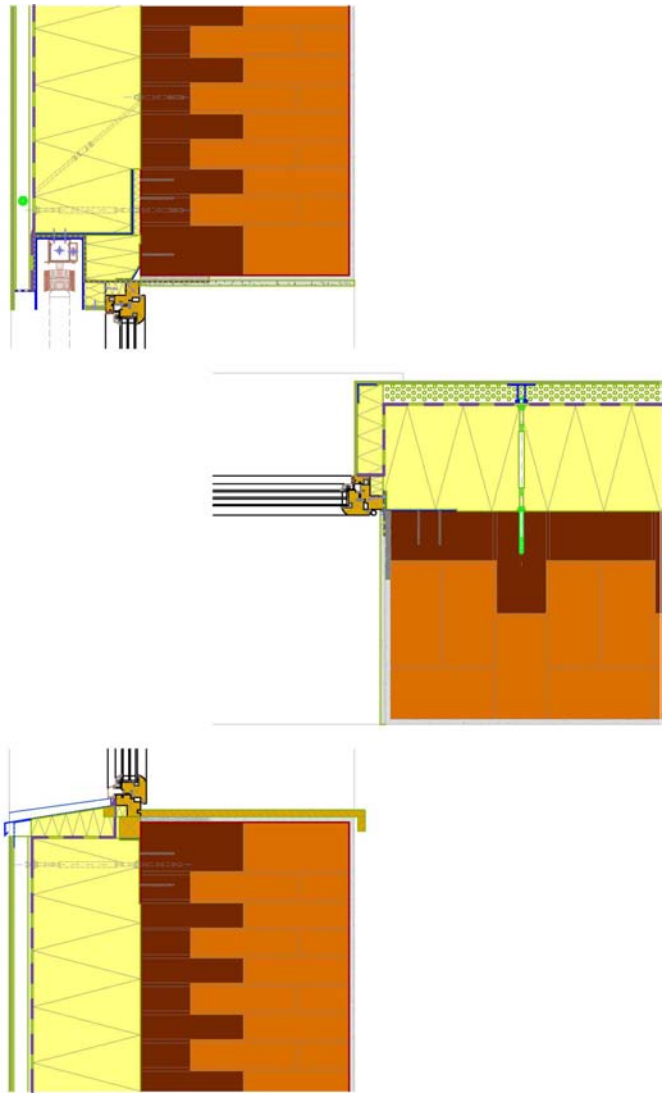
- Anschlag Außenwand vorhanden
- Position Fenster in Laibung

Sanierung Vollziegelwand mit vorgehängter Fassade, Kastenfenster mit 3-fach Wärmeschutzverglasung außen

Beschreibung:

- Die Außenwand wird durch eine vorgehängte Fassade thermisch saniert.
- Die Fenster werden durch Holz-Alu-Passivhausfenster ersetzt, die in die Dämmebene versetzt werden
- Durchgängige luftdichte Ebene ist der Bestands-Außenputz, dieser wird an den Innenputz luftdicht angeschlossen. Die Überschlagdichtung des Fensters wird an den Glattstrich / Putz angeschlossen.

Sanierung: Außenwand mit Fassadendämmplatte und vorgehängter Fassade, überdämmbare Passivhaus-Fensterrahmen



Fenster U-Werte		
Fenster	*0,80*	*W/m²K*
Verglasung	*0,60*	*W/m²K*
Rahmen	*0,77*	*W/m²K*

Wandaufbau		
Faserzementplatte	*0,8*	*cm*
Hinterlüftung, Alulattung	*4*	*cm*
Windsperre	*0,02*	*cm*
Glaswolle Fassadendämmplatte zwischen Edelstahlstangen	*30*	*cm*
Vollziegel inkl. Verblendung	*44*	*cm*
Kalkzementputz	*1,5*	*cm*
U-Wert 0,14 [W/m²K]	Σ 80,3	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert Sturz	*0,189*	*W/mK*
Ψ-Wert Laibung	*-0,015*	*W/mK*
Ψ-Wert Parapet	*-0,002*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,77*	*-*

Eignung:

- Wenn aus Denkmalschutzgründen möglich

Ausführungshinweise:

- Luftdichte Ebene ist der Bestands-Außenputz, Risse schließen bzw. bei Erfordernis vollflächig verspachteln
- Saubere/luftdichte Oberfläche an Ausbruchstelle der Bestandfenster mittels Glattstrich / Putzmörtel herstellen, dieser verbindet luftdicht Bestandsaußenputz und Innenputz.
- Die Fenster werden über eine vlieskaschiertes Butylkautschukband umlaufend dicht auf dem Laibungs-Putz verklebt und überputzt.

Diskussion:

Gekürzte Alu-Schalen und eine stärkere Überdämmung verringern den Wärmebrückenverlust

4.3 Gebäude der 50er und 60er Jahre

Die Periode beginnt nach Ende des 2. Weltkrieges und dauert bis Ende der 60er Jahre.

4.3.1 Charakterisierung des Bestandes:

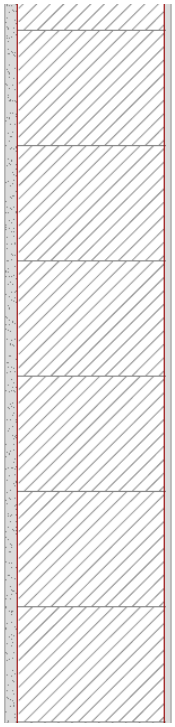
In Mitteleuropa war die unmittelbare Nachkriegszeit durch Materialknappheit gekennzeichnet. Häufig wurden Baustoffe „recycliert“ aus den im Krieg zerstörten Gebäuden. Keller wurden meist betoniert, horizontale und vertikale Abdichtungen wurden häufiger verlegt, ab den 60er Jahren wurden Abdichtung gemäß Normung gefordert. Tragende Wände wurden weiterhin als Mauerwerk ausgeführt, allerdings mit Hohlziegeln, die teilweise durch Betonsteine mit beispielsweise Ziegelsplittzuschlag ausgeführt wurden. Die Geschoßdecken aus Holz wurden endgültig durch massive Decken ersetzt. Ortbetondecken setzten zu ihrem Siegeszug erst in den 60er Jahren an, davor dominieren unterschiedliche Typen von Einhänge- und Fertigteildecken.
Kleine Balkone sind typisch für die 50er Jahre, größere und verschachtelte für die 60iger. die Fassaden sind glatt, ohne jede Ornamentik. Die Dachkonstruktionen sind denjenigen der Zwischenkriegszeit ähnlich, Eindeckungen bestehen allerdings zunehmend aus Beton- und Faserzementziegeln.

4.3.1.1 Außenwände und erdberührte Außenwände

Wände in Vollziegel werden nur noch selten realisiert, diese werden durch Hochlochziegel oder zementgebundene Steine ersetzt. Wegen des hohen Anfalls an Ziegel aus zerstörten Wohngebäuden werden häufig auch Ziegelsplitt-Betonsteine verbaut. Daneben werden auch unterschiedliche Leichtbetonsteine verstärkt eingesetzt (Gasbeton-„Ytong“; Holzmantelbetonsteine-„Durisol“, etc.).
Vor allem im Schul- und im Gewerbebau werden ab 1960 verstärkt Stahlbetonskelettkonstruktionen realisiert, die Ausfachung geschieht mit Mauersteinen oder mit Betonfertigteilen. Besonders in Norddeutschland kommt 2-schaliges Mauerwerk häufig zum Einsatz. Die bis zu 8 cm starke Luftschicht ist meist nach außen hin hinterlüftet.
Im erdberührten Bereich kommen verstärkt Betonwände zum Einsatz, im Einfamilienbereich wird aber immer noch oft gemauert.

Beispiele für Außenwände:

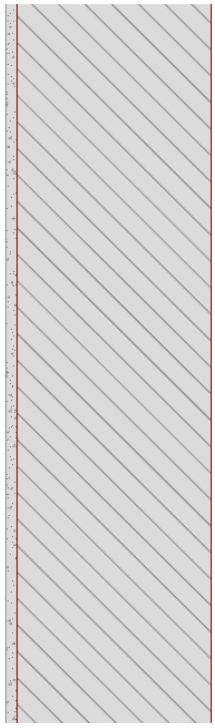
Ziegelsplittmauerwerk



Wandaufbau					
Kalkzementputz				*2,5*	*cm*
Splitt-Ziegelsplittmauerwerk				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,33	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

- Die Formatgröße der Ziegel unterscheidet sich in den einzelnen Ländern

Stahlbetonmauer



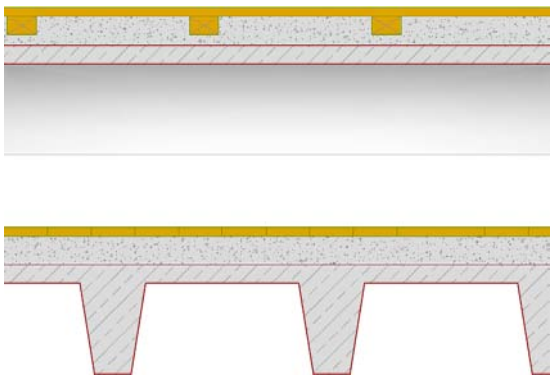
Wandaufbau, erdberührt					
Kalkzementputz, außen				*2,5*	*cm*
Stahlbeton				*40*	*cm*
U-Wert	2,98	[W/m²K]	Σ	42,5	cm

- Im Keller kommen meist unbewehrte Betonwände zum Einsatz

4.3.1.2 Kellerdecke

Kellerdecken werden fast ausschließlich als Betondecken realisiert. Neben den verstärkt eingesetzten „ebenen“ Stahlbetondecken werden meist im großvolumigen Wohnbau Rippendecken eingesetzt, während in kleinvolumigen Gebäuden Einhängedecken üblich sind. Auch Stahlträger sind im Einsatz.

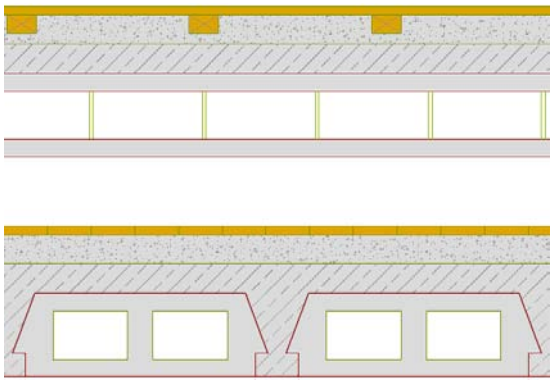
Rippendecke



Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*2,5*	*cm*
Stahlbeton				*5*	*cm*
Stahlbetonrippen, Luft				*24*	*cm*
U-Wert	1,28	[W/m²K]	Σ	39,0	cm

- Die Form der Rippen kann auch konisch sein. Im Kellerbereich ist meist keine abgehängte Decke vorhanden.

Betonziegeldecke



Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*2,5*	*cm*
Aufbeton				*8*	*cm*
Betonhohlsteindecke				*23*	*cm*
U-Wert	0,92	[W/m²K]	Σ	41,0	cm

- Einhängeziegel können Betonsteine, Leichtbetonsteine oder im Einfamilienhausbereich auch Hochlochziegel sein.

Stahlbetondecke



Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*2,5*	*cm*
Betonplatte				*14*	*cm*
U-Wert	1,49	[W/m²K]	Σ	24,0	cm

- Die Stärke der Betonplatten unterscheidet sich je nach Spannweite. Wegen des Materialmangels wurde stark an Material gespart.

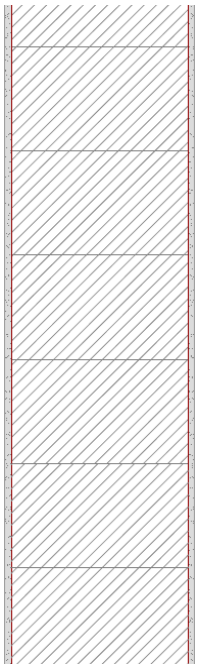
4.3.1.3 Erdberührter Fußboden

Eine Unterkellerung war üblich, in vielen Fällen wurde der Keller höherwertig als Wohnraum, Partykeller etc. verwendet. Standard ist eine Betonplatte von mindestens 10 cm Stärke, die auf einer Rollierung betoniert wurde. Bituminöse Abdichtung wurden verstärkt eingesetzt, obwohl die Normung in Deutschland und Österreich diese nur für spezielle Fälle definitiv vorschrieb.

4.3.1.4 Innenwände

Tragende Innenwände sind ähnlich den Außenwänden aufgebaut. Es kamen sowohl Mauerwerkverbände wie Stahlbetonwände zum Einsatz.

Ziegelsplittmauerwerk



Innenwandaufbau					
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
Splitt-Ziegelsplittmauerwerk				*40*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,00	[W/m²K]	Σ	43,0	cm

4.3.1.5 Geschoßdecken

Die Geschoßdecken werden im Unterschied zur Vorkriegszeit fast durchwegs massiv ausgeführt. Eine Reihe von speziellen Deckentypen ist im Einsatz, wobei die (Flach-)Stahlbetondecke vor allem im mehrgeschoßigen Wohnbau langsam stärkere Verbreitung findet.

4.3.1.6 Oberste Geschoßdecke

Die Ausführung der obersten Decke unterscheidet sich von den (Roh-)Geschoßdecken nur wenig. In den späten 60er Jahren werden knapp bemessene Dämmschichten (vor allem Holzwolleleichtbauplatten, aber auch Mineralwolle, Kork und Polystyrol) eingesetzt.

Stahlbetondecke



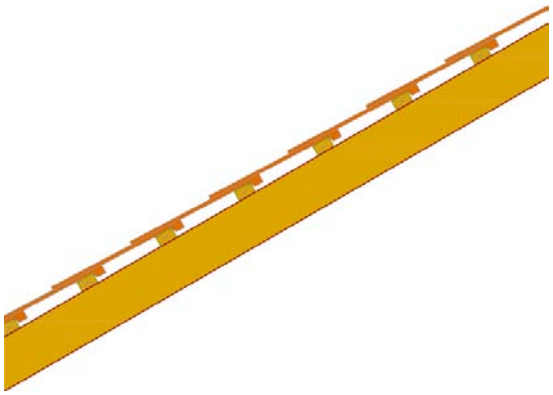
Deckenaufbau					
Bodenbelag				*1*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
Betonplatte				*14*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	2,67	[W/m²K]	Σ	21,5	cm

4.3.1.7 Dach

Auch in der Nachkriegszeit werden die meisten Dächer als Steildächer ausgeführt. Durch den Einsatz von Flachdachpfannen, anstatt der früher üblichen Biberschwanzdeckung, können geringere Dachneigungen ausgeführt werden, die für Gebäude der 50er und insbesondere der 60er durchaus typisch sind. Vor allem in mehrgeschoßigen Gebäuden wird auf eine Drempelwand verzichtet. Auflager für die Dachkonstruktion in Holz ist die oberste Massivdecke oder darauf ausgeführte Betonfertigteile.

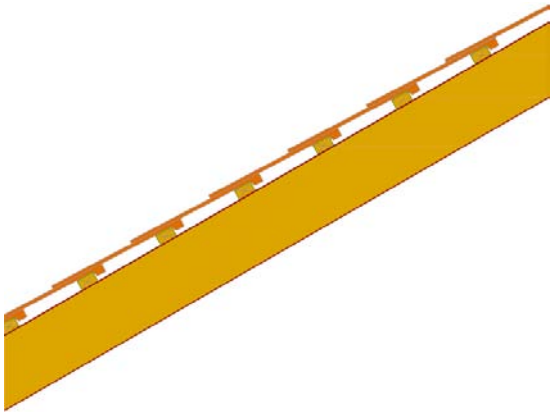
Neben den Steildächern werden erstmals verstärkt Flachdächer realisiert, die meist mit bituminösen Abdichtungen ausgeführt sind. Teilweise werden Dämmschichten unter diesen vorgesehen, in meist sehr geringer Stärke bis 5 cm (vorwiegend Holzwolleleichtbauplatten).

Ziegel-Kaltdach



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung 3/5				*3*	*cm*
Sparren, Luftraum				*12*	*cm*
U-Wert	-	[W/m²K]	Σ	18,0	cm

- Als Eindeckungen kommen neben gebrannten Dachziegeln auch bituminöse Abdichtungen, Beton- und Faserzementziegel zum Einsatz

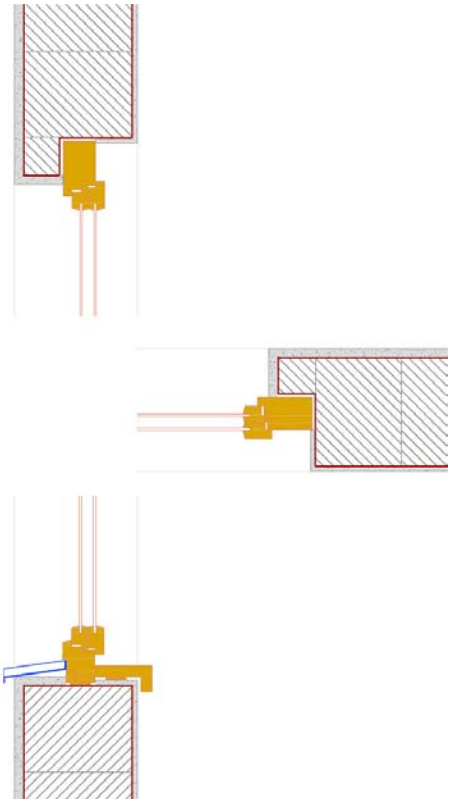


Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung 3/5				*3*	*cm*
Sparren				*18*	*cm*
U-Wert	-	[W/m²K]	Σ	23,0	cm

4.3.1.8 Fenster

Als Fenster kommen verstärkt Holzverbundfenster zum Einsatz, da deren Einbau deutlich weniger aufwändiger ist, als der von Kastenfenstern.

Holzverbundfenster



Fenster U-Werte		
Fenster	*2,6*	*W/m²K*
Verglasung	*2,6*	*W/m²K*
Rahmen	*2,2*	*W/m²K*

- Der Einbau ist meist mit Anschlag vorhanden. Je nach Außenwand sind unterschiedliche Sondersteine für die Ausführung von Fensterlaibung und –sturz üblich. Der Sturzbereich wird meist mit Stahlbetonstürzen, die zum Teil direkt mit der Decke vergossen sind, realisiert oder mit Sondersteinen, die bewehrt und mit Beton vergossen sind.

4.3.2 Typische Schadensbilder

Folgende Schäden sind für Gebäude der 50er und 60er Jahre typisch:

- Feuchteschäden an Balkonen und Loggien und angrenzenden Bauteilen durch geringe Überdeckung der Bewehrung
- Geringer Schallschutz
- Feuchteschäden an außenliegenden Fensterbrettern
- Feuchteschäden an Flachdächern, fehlender Dampfdruckausgleich, Schimmelschäden innen an Gebäudeecken
- Fassade: abplatzender Putz

Aufsteigende Feuchte ist wegen der Stahlbetonbauweise der Keller meist kein Problem mehr (trotz oft fehlender Abdichtungen).

4.3.3 Sanierungsaufgaben

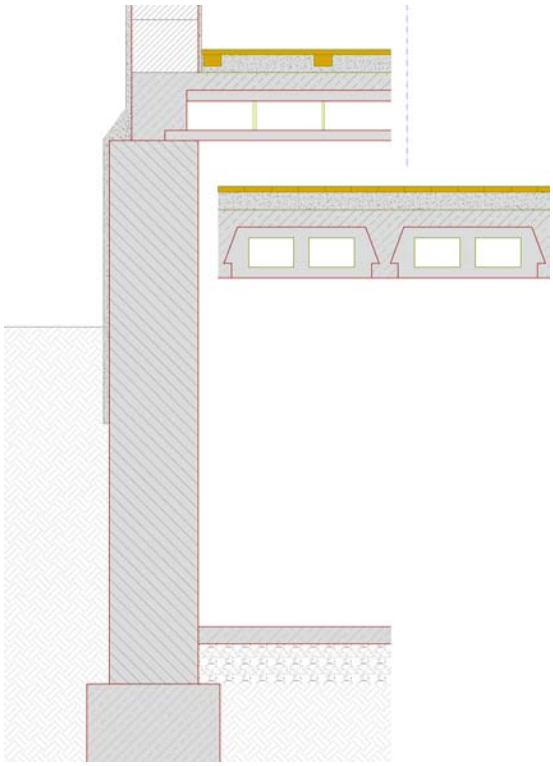
- Außendämmung, wegen nicht vorhandener Ornamentik unproblematisch
- Sanierung bzw. Abschneiden der Balkone, wenn statisch möglich und Errichtung neuer und tieferer Balkone vorstehend oder zumindest halb vorstehend.

- Innendämmung mit besonderer Berücksichtigung der Eckanschlüsse (Entschärfung Wärmebrücken/Schimmelproblematik)
- Einbindung Stiegenhaus (Problematik Halbgeschoße)
- Dämmung oberste Geschoßdecke, begehbar, nicht begehbar, Anschlüsse Traufe (auskragende Stahlbetonplatten)
- Eventuell Dachausbau, Terrassen neu
- Fenstersanierung Austausch
- Dämmung Kellerdecke, Minimierung der Wärmebrücken über Außenwände und Innenwände, Stiegenhaus
- Verbesserung Luftdichtigkeit
- Verbesserung Schallschutz nach außen (Fenster und Fensteranschlüsse)
- Verbesserung Schallschutz zwischen Wohneinheiten (Wände, Decken)
- Verbesserung Brandschutz zwischen den Wohneinheiten
- Optimierte Wohnraumlüftung

4.3.4 Sockel: Außenwand – Kellerdecke

4.3.4.1 Ziegelsplittmauerwerk mit WDVS, Betonhohlkörperdecke unterseitig mit Glaswolle gedämmt

Bestand: Splitt-Ziegelsplittmauerwerk, Betonhohlkörperdecke



Wandaufbau					
Kalkzementputz, außen				*2,5*	*cm*
Splitt-Ziegelsplittmauerwerk				*30*	*cm*
Kalkzementputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,33	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*2,5*	*cm*
Aufbeton				*8*	*cm*
Betonhohlsteindecke				*23*	*cm*
U-Wert	0,92	[W/m²K]	Σ	41,0	cm

Wandaufbau, erdberührt					
Stahlbeton				*40*	*cm*
U-Wert	3,29	[W/m²K]	Σ	40,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,229*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*-0,352*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,58*	*-*

Charakterisierung Bestand:

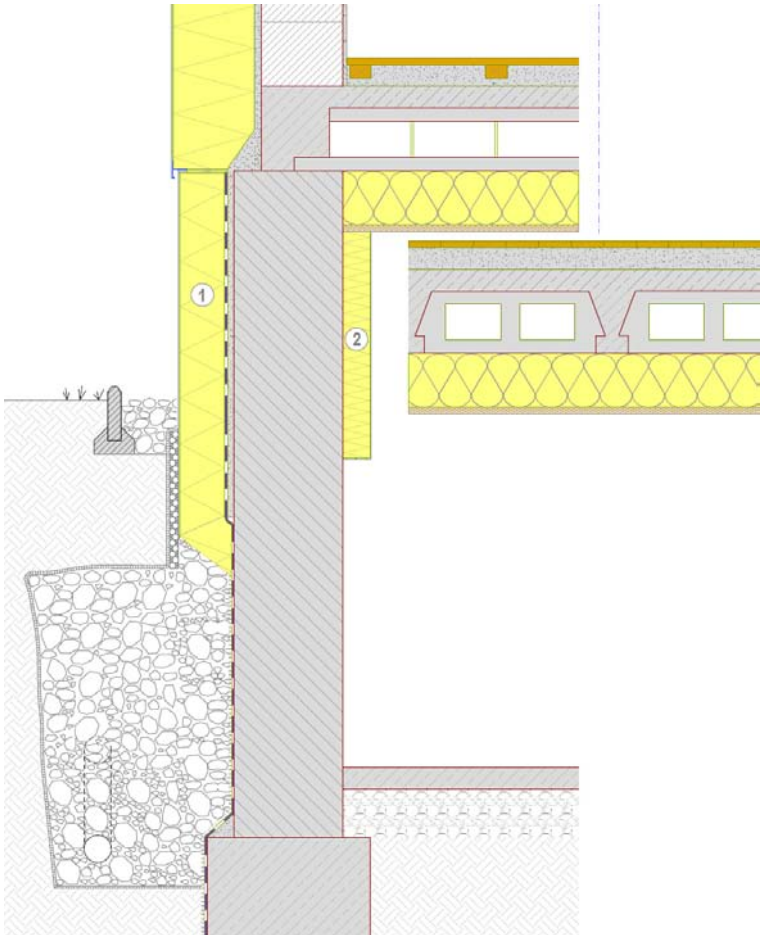
- Aufsteigende Feuchtigkeit, aufsteigende Salze?
- Nutzung des Kellers: Lagerraum, ungenutzt?

Sanierung Ziegelsplittmauerwerk mit WDVS, Betonhohlkörperdecke unterseitig mit Glaswolle gedämmt

Beschreibung:

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch das außenseitige Aufbringen eines Wärmedämmverbundsystems
- Die Kellerdecke wird unterseitig gedämmt, die Wände des Kellers werden außen und innen gedämmt (Schirmdämmung).
- Die Temperatur des Kellerraumes wird im Winter abgesenkt, damit ergibt sich bei gleichbleibenden Feuchtequellen eine höhere relative Feuchte. Daher Kombination mit intelligenter Kellerlüftung sinnvoll

Sanierung: Ziegelsplittmauerwerk mit WDVS, Betonhohlkörperdecke unterseitig mit Glaswolle gedämmt



Wandaufbau					
Silikatputz				*0,6*	*cm*
EPS - Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
Splitt-Ziegelmauerwerk				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ	64,6	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*2,5*	*cm*
Aufbeton				*8*	*cm*
Betonhohlsteindecke				*23*	*cm*
Glaswolle MW-W Dämmfilz				*20*	*cm*
Holzwolleleichtbauplatte				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,15	[W/m²K]	Σ	63,5	cm

Wandaufbau, erdberührt					
Stahlbeton				*40*	*cm*
U-Wert	3,29	[W/m²K]	Σ	40,0	cm

① *XPS*
② *Mineralwolle kaschiert*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,036*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*0,179*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,86*	*-*

Eignung:

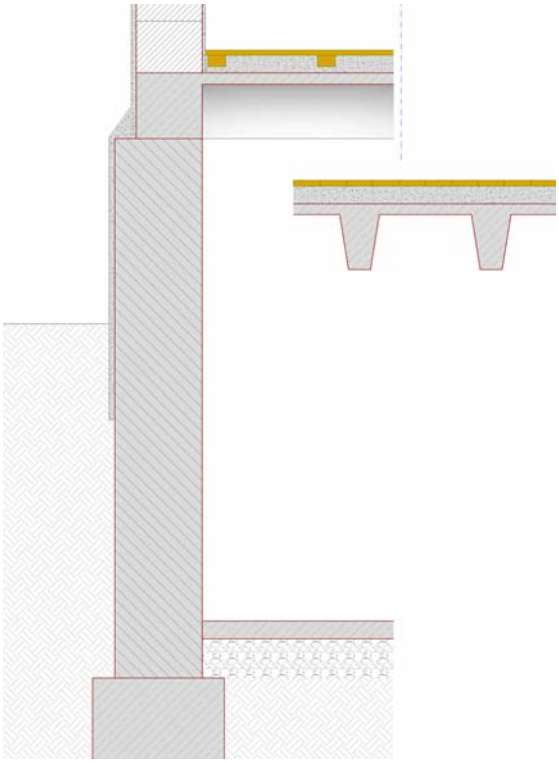
- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit geeignet
- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Schadsalze geeignet
- Vor Aufbringen der vertikalen Abdichtung saubere Oberfläche herstellen (Grobputz)
- Wenn eine Drainage erforderlich ist, muss sowieso aufgegraben werden
- Aufgraben je nach statischen Möglichkeiten

Ausführungshinweise:

- Luftdichte Ebene ist der Außenputz der Kellerwand
- Perimeterdämmplatten vollflächig an Kellerwand verkleben, oberseitig vorkomprimiertes Dichtungsband einlegen, Tropfkantenprofil aufstecken, Wand verputzen.
- Erfordernis Drainage siehe allgemeines Kapitel „Drainage: Für und Wider“
- Einsatz einer intelligenten Lüftung insbesondere bei hohen Anforderungen an die Lagerqualität des Kellers prüfen (siehe Kapitel Kellerklima, Haustechnik).

4.3.4.2 Ziegelsplittmauerwerk mit Dämmung zwischen Holzkonstruktion, Rippendecke unterseitig mit Glaswolle gedämmt

Bestand: Ziegelsplittmauerwerk, Rippendecke



Wandaufbau					
Kalkzementputz				*2,5*	*cm*
Splitt-Ziegelsplittmauerwerk				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,33	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*2,5*	*cm*
Stahlbeton				*5*	*cm*
Stahlbetonrippen, Luft				*24*	*cm*
U-Wert	1,28	[W/m²K]	Σ	39,0	cm

Wandaufbau, erdberührt					
Stahlbeton				*40*	*cm*
U-Wert	3,29	[W/m²K]	Σ	40,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,199*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*-0,497*	*W/mK*
3-dimensionale Kennwerte		
χ-Wert innen / außen	*-0,001*	*W/K*
χ-Wert innen / Keller	*-0,044*	*W/K*
f_{RSi}	*0,58*	*-*

Charakterisierung Bestand:

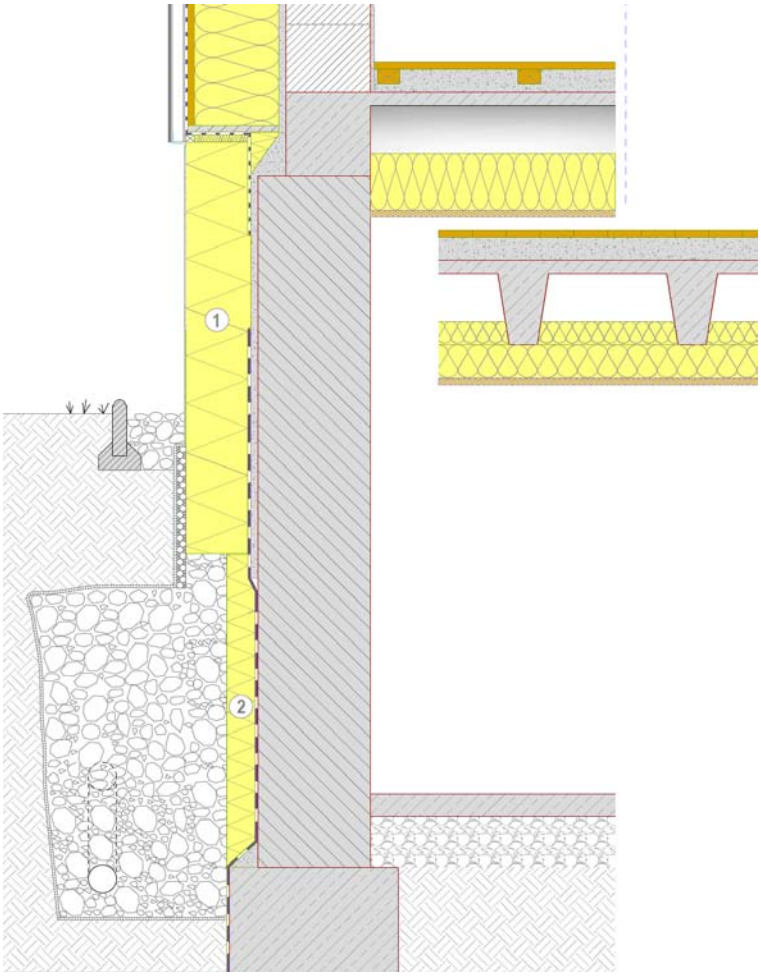
- Aufsteigende Feuchtigkeit, aufsteigende Salze?
- Nutzung des Kellers: Lagerraum, ungenutzt?
- Art Oberfläche Erdreich: Gras, Kies, Gehsteig dicht; geneigt nach außen?

Sanierung Ziegelsplittmauerwerk mit Dämmung zwischen einer Holzkonstruktion, Rippendecke unterseitig mit Glaswolle gedämmt

Beschreibung:

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch Dämmung zwischen einer Holzkonstruktion
- Die Kellerdecke wird unterseitig gedämmt, die Wände des Kellers werden außen bis zur Fundamentoberkante gedämmt.
- Die Temperatur des Kellerraumes wird im Winter abgesenkt, damit ergibt sich bei gleichbleibenden Feuchtequellen eine höhere relative Feuchte. Daher Kombination mit intelligenter Kellerlüftung sinnvoll

Sanierung: Ziegelsplittmauerwerk mit Dämmung zwischen Holzkonstruktion, Rippendecke unterseitig mit Glaswolle gedämmt



Wandaufbau					
Faserzementplatten				*0,8*	*cm*
Hinterlüftung				*5*	*cm*
Holzschalung				*2,4*	*cm*
Glaswolle				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*2,5*	*cm*
Splitt-Ziegelsplittmauerwerk				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ	72,2	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*2,5*	*cm*
Stahlbeton				*5*	*cm*
Stahlbetonrippen, Luft				*17*	*cm*
Stahlbetonrippen, Glaswolle MW-W Dämmfilz				*8*	*cm*
Glaswolle MW-W Dämmfilz				*12*	*cm*
Holzwolleleichtbauplatte				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,20	[W/m²K]	Σ	54,5	cm

① *XPS verputzt*
② *XPS*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,029*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*0,732*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,85*	*-*

Eignung:

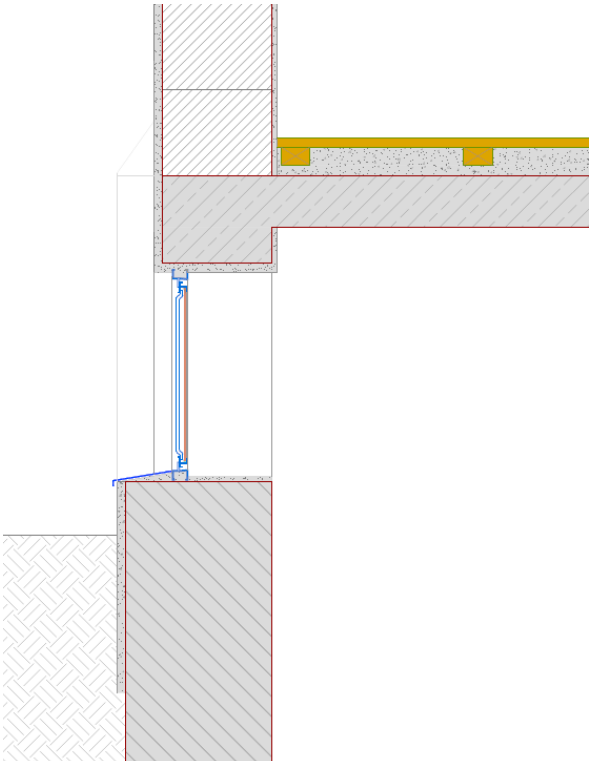
- Vor Aufbringen der vertikalen Abdichtung saubere Oberfläche herstellen (Grobputz)
- Wenn eine Drainage erforderlich ist, muss sowieso aufgegraben werden
- Aufgraben je nach statischen Möglichkeiten

Ausführungshinweise:

- Luftdichte Ebene (Außenputz, bei Erfordernis vollflächig verspachtelt) bis Unterkante Abdichtung führen, diese stellt auch die saubere Oberfläche für Aufbringen der vertikalen Abdichtung dar. Im Abdichtungsbereich ist eine bituminöse Schlämme zu verwenden
- Abdichtung vollflächig dicht verkleben bis mindestens 30 cm über Geländeniveau (Spritzwasserbereich)
- Tropfkantenprofil an Abschluss Holzkonstruktion verkleben und mechanisch sichern
- ECB-Bahn auf unterem Abschluss Holzkonstruktion (OSB-Platte) verkleben.

4.3.4.3 Ziegelsplittmauerwerk mit WDVS, Stahlbetondecke unterseitig, Kellerfenster saniert

Bestand: AW-Splitt-Ziegelsplittmauerwerk, Stahlbetonkellerdecke, Kellerfenster



Fenster U-Werte		
Fenster	*2,6*	*W/m²K*
Verglasung	*1,04*	*W/m²K*
Rahmen	*1,04*	*W/m²K*

Wandaufbau					
Kalkzementputz				*2,5*	*cm*
Splitt-Ziegelsplittmauerwerk				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,33	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*2,5*	*cm*
Betonplatte				*14*	*cm*
U-Wert	1,49	[W/m²K]	Σ	24,0	cm

Wandaufbau, erdberührt					
Stahlbeton				*40*	*cm*
U-Wert	3,29	[W/m²K]	Σ	40,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,118*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / außen mit Fenster	*-0,145*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*-0,219*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller mit Fenster	*-0,206*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,59*	*-*

Charakterisierung Bestand:

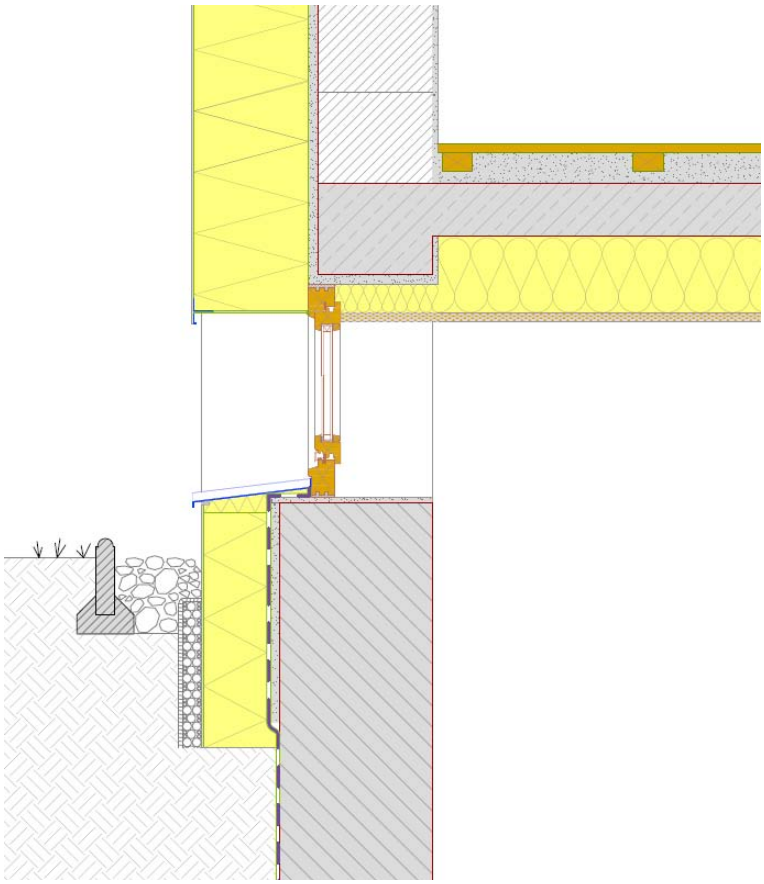
- Aufsteigende Feuchtigkeit, aufsteigende Salze?
- Nutzung des Kellers: Lagerraum, ungenutzt?
- Art Oberfläche Erdreich: Gras, Kies, Gehsteig dicht; geneigt nach außen?

Sanierung Ziegelsplittmauerwerk mit WDVS, Stahlbetondecke unterseitig, Kellerfenster saniert

Beschreibung:

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch Dämmung mit einem WDVS
- Die Kellerdecke wird unterseitig gedämmt, die Wände des Kellers werden außen gedämmt (Schirmdämmung)
- Die Fenster werden durch Holzalu-Fenster ersetzt, die in die Dämmebene versetzt werden. Wenn der Abstand zwischen Unterkante Decke und oberen Fensterrahmen sehr klein ist, kann eine Stockaufdopplung im oberen Fensterbereich angedacht werden.
- Die Temperatur des Kellerraumes wird im Winter abgesenkt, damit ergibt sich bei gleichbleibenden Feuchtequellen eine höhere relative Feuchte. Daher Kombination mit intelligenter Kellerlüftung sinnvoll

Sanierung: Ziegelsplittmauerwerk mit WDVS, Stahlbetondecke unterseitig, Kellerfenster saniert



Fenster U-Werte		
Fenster	*2,6*	*W/m²K*
Verglasung	*1,04*	*W/m²K*
Rahmen	*1,04*	*W/m²K*

Wandaufbau					
Silikatputz				*0,6*	*cm*
EPS – Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*2,5*	*cm*
Splitt-Ziegelsplittmauerwerk				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ	64,6	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*2,5*	*cm*
Betonplatte				*14*	*cm*
Glaswolle MW-W Dämmfilz				*20*	*cm*
Holzwolleleichtbauplatte				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,16	[W/m²K]	Σ	46,5	cm

Wandaufbau, erdberührt					
Stahlbeton				*40*	*cm*
U-Wert	3,29	[W/m²K]	Σ	40,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,022*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / außen mit Fenster	*0,064*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*0,487*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller mit Fenster	*-0,019*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,84*	*-*

Eignung:

- Vor Aufbringen der vertikalen Abdichtung saubere Oberfläche herstellen (Grobputz)
- Wenn eine Drainage erforderlich ist, muss sowieso aufgegraben werden

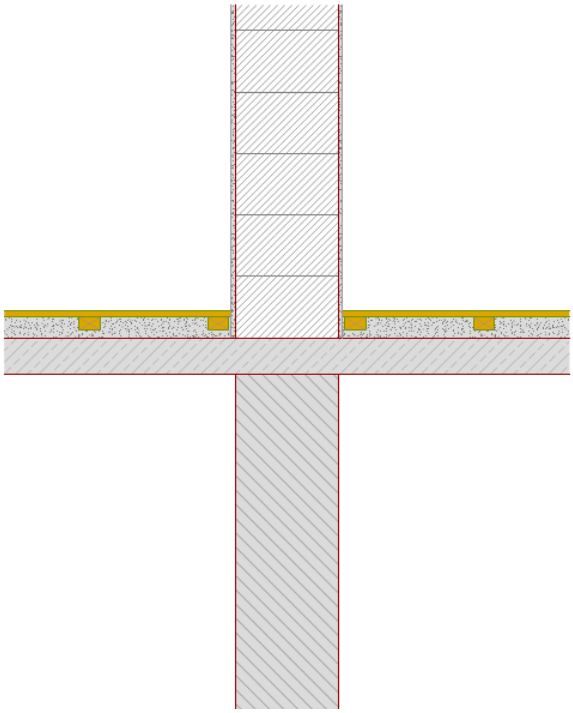
Ausführungshinweise:

- Luftdichte Ebene (Außenputz, bei Erfordernis vollflächig verspachtelt) bis Unterkante Abdichtung führen, diese stellt auch die saubere Oberfläche für Aufbringen der vertikalen Abdichtung dar. Im Abdichtungsbereich ist eine bituminöse Schlämme zu verwenden
- Durchgängige luftdichte Ebene ist der Bestands-Außenputz, dieser wird mit dem Innenputz luftdicht angeschlossen. Die Überschlagdichtung des Fensters wird an den Glattstrich / Putz angeschlossen.
- Abdichtung vollflächig dicht verkleben bis mindestens 30 cm über Geländeniveau (Spritzwasserbereich)
- Erfordernis Drainage siehe allgemeines Kapitel „Drainage: Für und Wider“
- Perimeterdämmplatten vollflächig an Kellerwand verkleben, oberseitig vorkomprimiertes Dichtungsband einlegen , Tropfkantenprofil aufstecken, Wand verputzen.

4.3.5 Sockel: Innenwand – Kellerdecke

4.3.5.1 Ziegelsplittmauerwerk, Stahlbetondecke unterseitig mit Glaswolle gedämmt

Bestand: Ziegelsplittmauerwerk, Stahlbetondecke



Wandaufbau					
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
Splitt-Ziegelsplittmauerwerk				*40*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,00	[W/m²K]	Σ	43,0	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*2,5*	*cm*
Betonplatte				*14*	*cm*
U-Wert	1,49	[W/m²K]	Σ	24,0	cm

Wandaufbau, unten					
Stahlbeton				*40*	*cm*
U-Wert	2,31	[W/m²K]	Σ	40,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / Keller	*-0,098*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,59*	*-*

Charakterisierung Bestand:

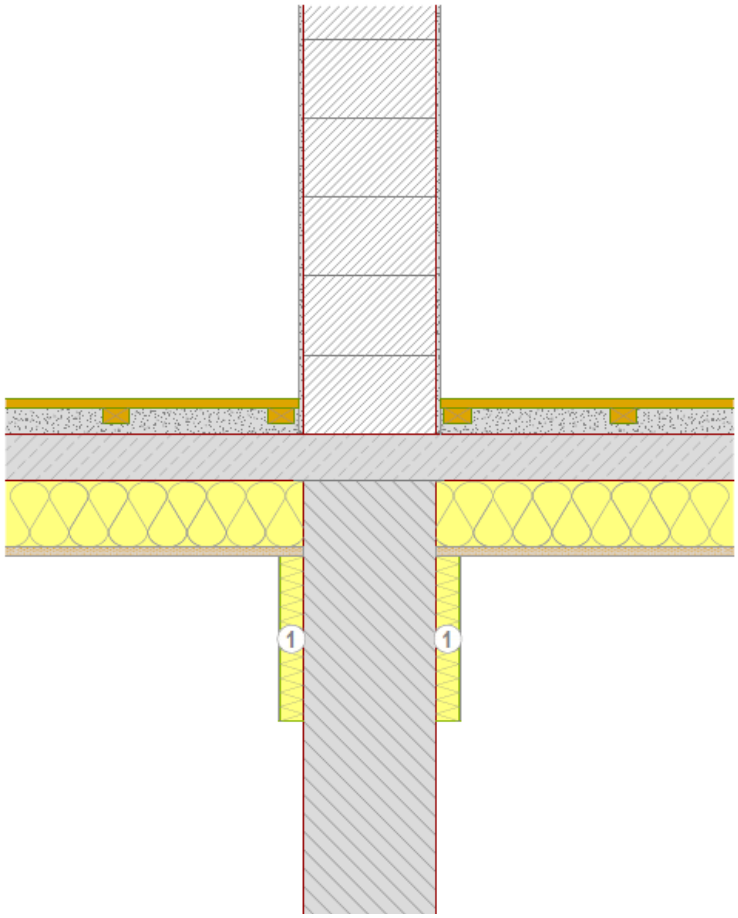
- Aufsteigende Feuchtigkeit, aufsteigende Salze?
- Nutzung des Kellers: Lagerraum, ungenutzt?

Sanierung Ziegelsplittmauerwerk, Stahlbetondecke unterseitig mit Glaswolle gedämmt

Beschreibung:

- Die Kellerdecke wird unterseitig mit Glaswolle gedämmt
- Die thermische Sanierung der Innenwand erfolgt durch eine Schirmdämmung
- Die Temperatur des Kellerraumes wird im Winter abgesenkt, damit ergibt sich bei gleichbleibenden Feuchtequellen eine höhere relative Feuchte. Daher Kombination mit intelligenter Kellerlüftung sinnvoll
- Sofern eine Durchfeuchtung Mauerwerk durch Oberflächenwasser vorhanden ist, kann die Aufnahme durch die neu aufgebrachte vertikale Abdichtung und die Drainage vom Mauerwerk abgehalten werden

Sanierung: Ziegelsplittmauerwerk, Stahlbetondecke unterseitig mit Glaswolle gedämmt



Wandaufbau					
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
Splitt-Ziegelsplittmauerwerk				*40*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,00	[W/m²K]	Σ	43,0	cm

Deckenaufbau					
Parkettboden				*2,5*	*cm*
Schüttung, Polsterhölzer 5/8				*5*	*cm*
Schüttung				*2,5*	*cm*
Betonplatte				*14*	*cm*
Glaswolle MW-W Dämmfilz				*20*	*cm*
Holzwolleleichtbauplatte				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,16	[W/m²K]	Σ	46,5	cm

Wandaufbau, unten					
Stahlbeton				*40*	*cm*
U-Wert	2,31	[W/m²K]	Σ	40,0	cm

① *Mineralwolle kaschiert*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / Keller	*0,583*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,82*	-

Eignung:

- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit und durch aufsteigende Schadsalze geeignet
- Wenn Erdgeschoßwohnung für Sanierung geräumt werden kann

Ausführungshinweise:

- Den Innenputz des Bestandes als luftdichte Ebene bis Rohdecke
- Einsatz einer intelligenten Lüftung, insbesondere bei hohen Anforderungen an die Lagerqualität des Kellers, prüfen (siehe Kapitel Kellerklima, Haustechnik).

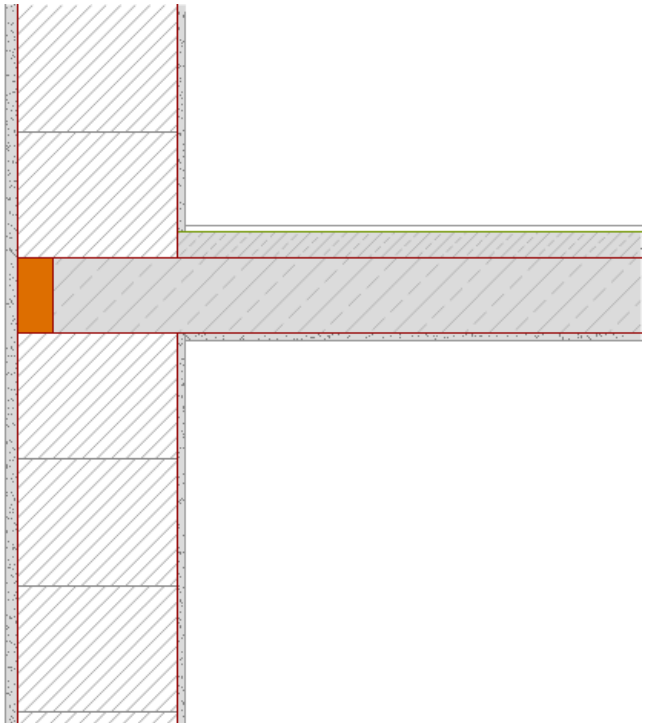
Diskussion:

Vor allem für „trockene“ Keller mit Feuchtereserven geeignet, wenn keine hohen Anforderungen an das Feuchteverhalten gestellt werden.

4.3.6 Zwischengeschoße: Außenwand – Geschoßdecke

4.3.6.1 Außenwand mit WDVS – Oberste Geschoßdecke mit druckfester Dämmung

Bestand: Ziegelsplittmauerwerk, Stahlbetondecke mit Estrich und Bodenbelag



Wandaufbau					
Kalkzementputz				*2,5*	*cm*
Splitt-Ziegelsplittmauerwerk				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,33	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

Deckenaufbau					
Bodenbelag				*1*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
Betonplatte				*14*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	2,67	[W/m²K]	Σ	21,5	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,843*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,43*	*-*

Charakterisierung Bestand:

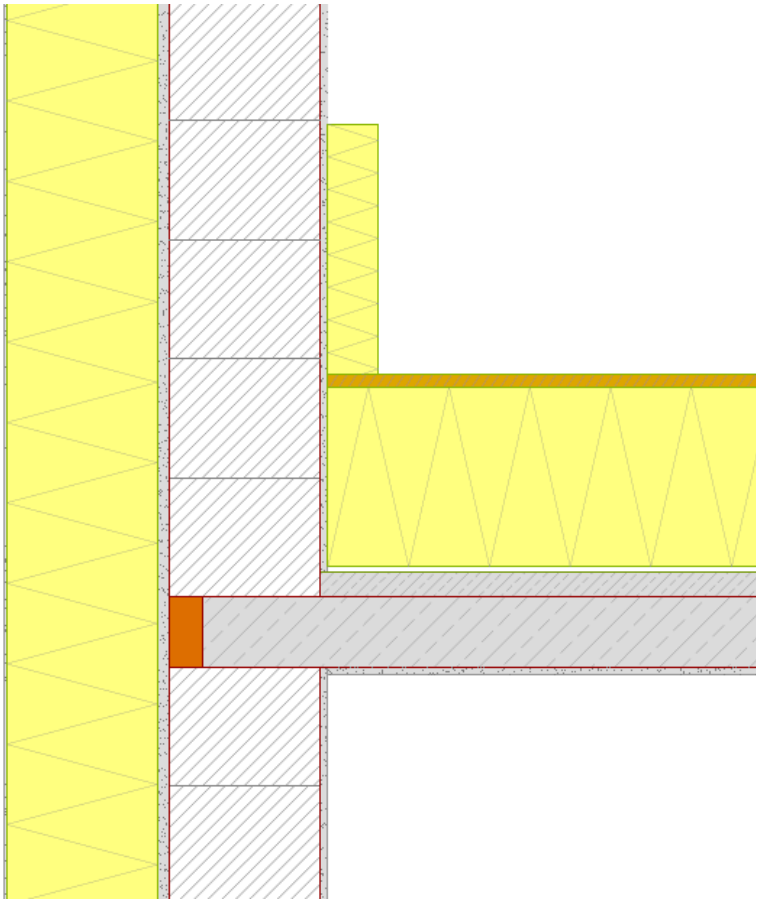
- Wärmebrücke im Bereich der Decke in der Außenwand

Sanierung Außenwand mit WDVS – Oberste Geschoßdecke mit druckfester Dämmung

Beschreibung:

- Die thermische Sanierung erfolgt durch die außenseitige Wärmedämmung der Außenwand
- Durch ein dampfdiffusionsoffenes, aber wasserhemmendes Putzsystem werden meist auch die durch Schlagregen eindringenden Wassermengen geringer
- Die oberste Geschoßdecke wird mit einer steifen Dämmung und Brandschutzplatte saniert
- Eine Halsdämmung reduziert die Wärmeverluste über die aufgehende Giebelwand

Sanierung: Außenwand mit WDVS – Oberste Geschoßdecke mit druckfester Dämmung



Wandaufbau					
Silikatputz				*0,6*	*cm*
EPS - Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*2,5*	*cm*
Splitt-Ziegelsplittmauerwerk				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ	64,6	cm

Deckenaufbau					
EPV-Platte				*2,5*	*cm*
EPS				*36*	*cm*
Bodenbelag				*1*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
Betonplatte				*14*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,10	[W/m²K]	Σ	60,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,150*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,73*	*-*

Eignung:

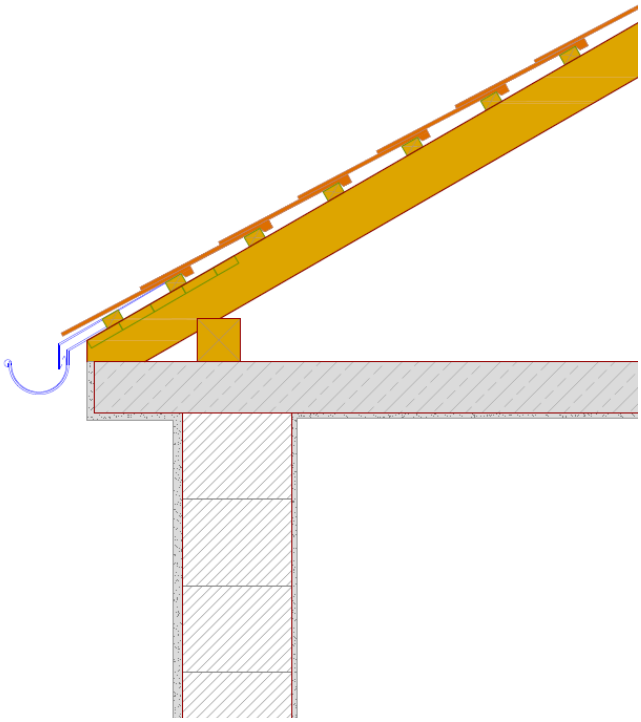
- Bei Fassaden ohne aufwändige Stukkatur

Ausführungshinweise:

- Luftdichte Ebene ist der Bestands-Außenputz: Risse schließen, bei Erfordernis vollflächig verspachteln
- Innenseitig Putz bis auf Oberkante Halsdämmung ebenfalls luftdicht ausführen

4.3.6.2 Ziegelsplittmauerwerk mit WDVS, Stahlbetondecke oberseitig mit EPS gedämmt (Traufe)

Bestand: Ziegelsplittmauerwerk, Stahlbetondecke



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung 3/5				*3*	*cm*
Sparren, Luftraum				*13*	*cm*
U-Wert	-	[W/m²K]	Σ	18,0	cm

Wandaufbau					
Kalkzementputz				*2,5*	*cm*
Splitt-Ziegelsplittmauerwerk				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,33	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

Deckenaufbau					
Betonplatte				*14*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	3,58	[W/m²K]	Σ	15,5	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-1,054*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,34*	-

Charakterisierung Bestand:

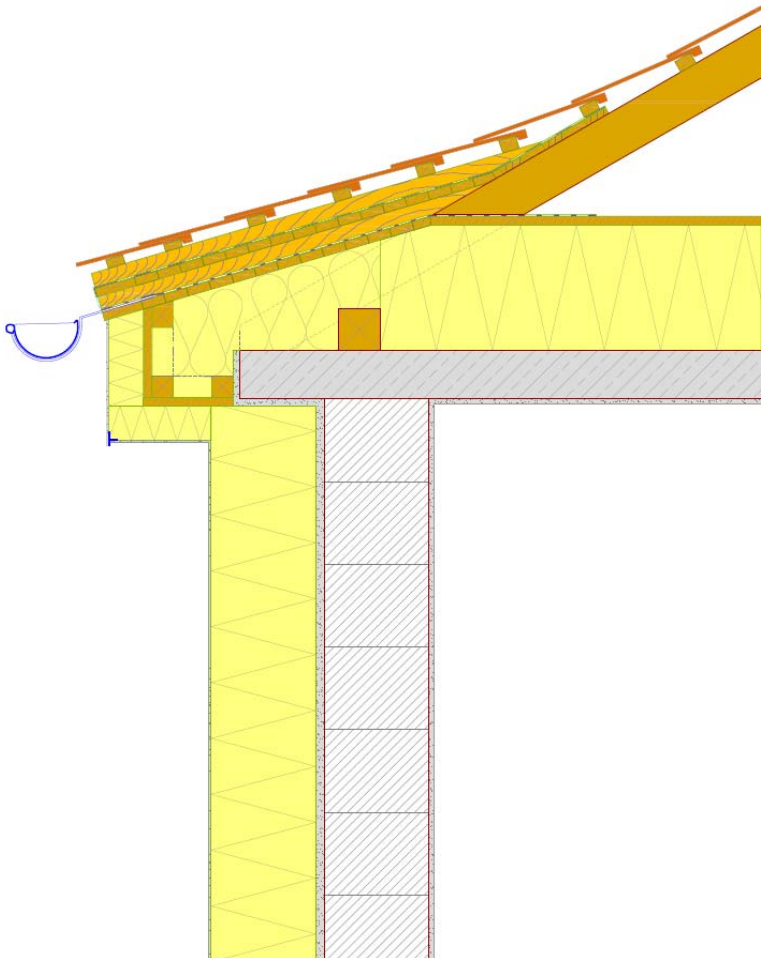
- Dacheindeckung dicht?
- Nutzung des Dachraums: Lagerraum, Wäschetrocknung, ungenutzt?

Sanierung Ziegelsplittmauerwerk mit WDVS, Stahlbetondecke oberseitig mit EPS gedämmt

Beschreibung:

- Die Außenwand wird mittels eines WDVS saniert
- Die oberste Geschoßdecke wird mit einer EPS Dämmung gedämmt, eine lastverteilende Platte erlaubt die Begehung auch des sanierten Dachgeschoßes.
- Die luftdichte Ebene ist die neu verlegte Dampfbremse an der Decke, die an den Bestands-Außenputz strömungsdicht angeschlossen wird.
- Durch die Dämmung werden die Temperaturen im Dachgeschoß im Winterhalbjahr deutlich abgesenkt, dies ist bei der zukünftigen Nutzung zu beachten

Sanierung: Ziegelsplittmauerwerk mit WDVS, Stahlbetondecke oberseitig mit EPS gedämmt



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung 3/5				*3*	*cm*
Sparren, Luftraum				*13*	*cm*
U-Wert	-	[W/m²K]	Σ	18,0	cm

Deckenaufbau					
EPV				*2,5*	*cm*
Polystyrol expandiert (EPS)-W20-Dämmplatte				*36*	*cm*
Betonplatte				*14*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,10	[W/m²K]	Σ	54,0	cm

Wandaufbau					
Silikatputz				*0,6*	*cm*
EPS – Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*2,5*	*cm*
Splitt-Ziegelsplittmauerwerk				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ	64,6	cm

2-dimensionaler Kennwert		
Ψ-Wert innen / außen	*0,228*	*W/mK*
3-dimensionale Kennwerte		
χ-Wert innen / außen	*-0,141*	*W/K*
f_{RSi}	*0,85*	*-*

Eignung:

- Für begehbare Dachböden

Ausführungshinweise:

- Dampfbremse verlegen, Bestandsaußenputz ausbessern, mit der Dampfbremse im Dachbereich verbinden
- EPS Dämmung und begehbare lastverteilende Platte auflegen
- Dach im Traufenbereich abdecken, Sparren mit Aufschieblingen aufdoppeln, Schalung und diffusionsoffen Dachauflegebahn verlegen, mit Porenverschlussplatte und Außenputz winddicht verschließen.

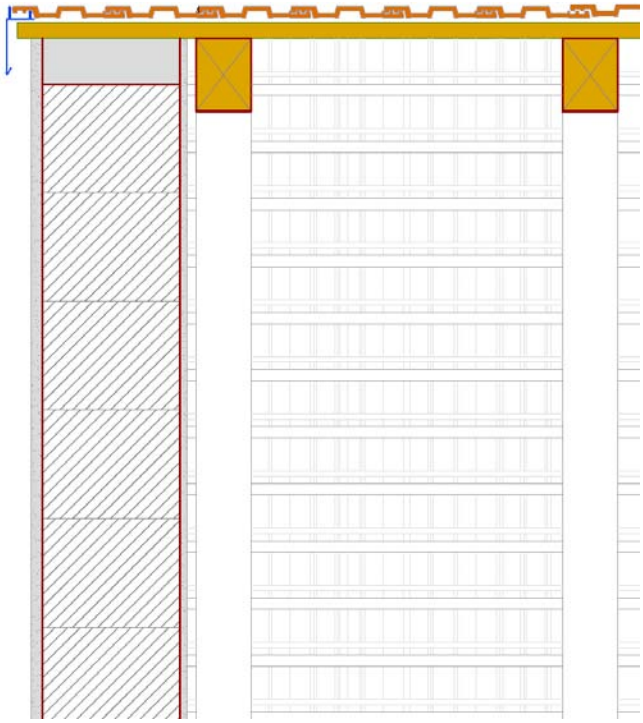
Diskussion:

Die Ausführung einer Hängerinne erfolgt deswegen, um die Proportionen im Außenbereich zu erhalten. Ist dies aus gestalterischen Gründen nicht erforderlich, kann auch eine Nachbildung der Bestandskonstruktion mit Saumrinne erfolgen. Damit „rutscht“ der Außenwandabschluss ca. 30 cm nach oben.

4.3.7 Attika: Außenwand – Dach

4.3.7.1 Giebelwand Ziegelsplittmauerwerk mit WDVS, Ziegel-Kaltdach

Bestand: Ziegelsplittmauerwerk, Ziegel-Kaltdach



Wandaufbau					
Kalkzementputz				*2,5*	*cm*
Splitt-Ziegelsplittmauerwerk				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,33	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

Dachaufbau					
Dachziegel				*1*	*cm*
Lattung 3/5				*3*	*cm*
Sparren, Luftraum				*16*	*cm*
U-Wert	-	[W/m²K]	Σ	20,0	cm

Charakterisierung Bestand:

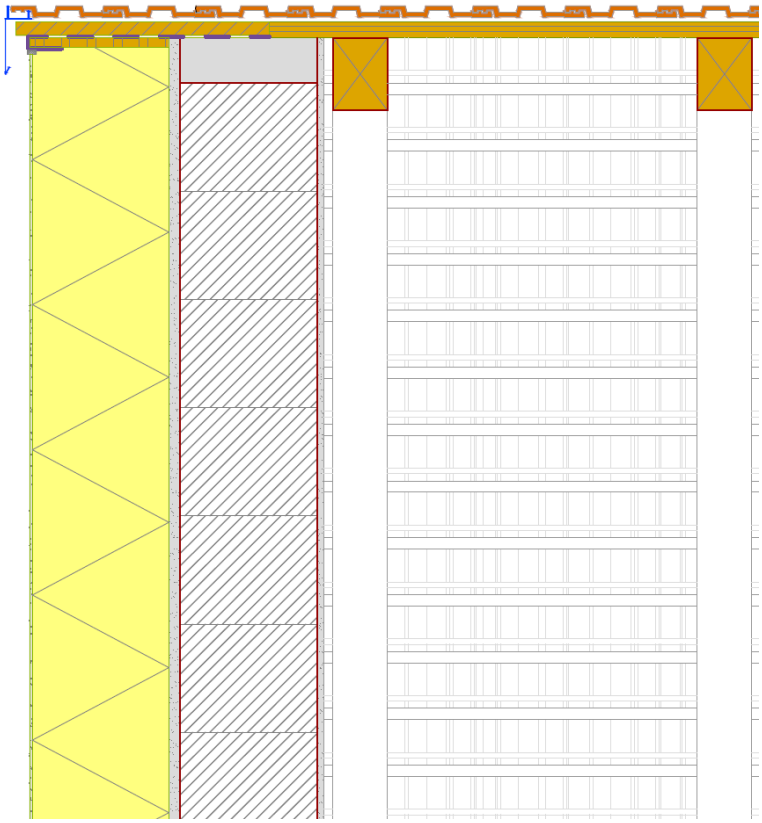
- Dacheindeckung dicht?
- Nutzung des Dachraums: Lagerraum, Wäschetrocknung, ungenutzt?

Sanierung Giebelwand Ziegelsplittmauerwerk mit WDVS, Ziegel-Kaltdach

Beschreibung:

- Die Außenwand wird mittels eines WDVS saniert
- Durch die Dämmung werden die Temperaturen im Dachgeschoß im Winterhalbjahr deutlich abgesenkt, dies ist bei der zukünftigen Nutzung und der Belüftung des Dachraumes (Belüftung) zu beachten

Sanierung: Giebelwand Ziegelsplittmauerwerk mit WDVS, Ziegel-Kaltdach



Wandaufbau					
Silikatputz				*0,6*	*cm*
EPS – Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*2,5*	*cm*
Splitt-Ziegelsplittmauerwerk				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ	64,6	cm

Dachaufbau					
Dachziegel				*1*	*cm*
Lattung 3/5				*3*	*cm*
Sparren, Luftraum				*16*	*cm*
U-Wert	-	[W/m²K]	Σ	20,0	cm

Eignung:

- Für belüftete Dachböden

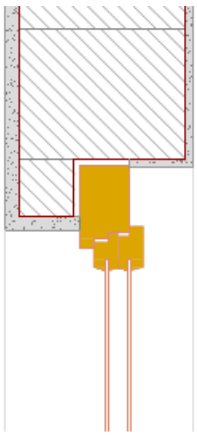
Ausführungshinweise:

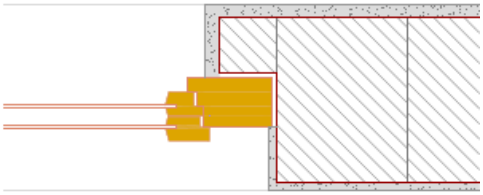
- Latten mit Verstärkung, wenn erforderlich

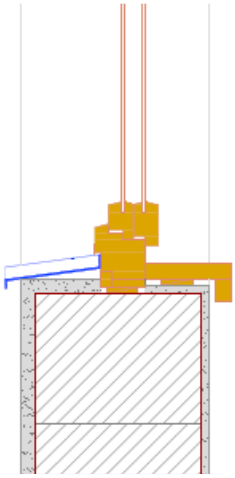
4.3.8 Fenster: Außenwand – Fenster

4.3.8.1 Ziegelsplittmauerwerk mit WDVS, überdämmbare Passivhaus-Fensterrahmen

Bestand: AW-Splitt-Ziegelsplittmauerwerk, Holzverbundfenster







Fenster U-Werte		
Fenster	*2,6*	*W/m²K*
Verglasung	*2,6*	*W/m²K*
Rahmen	*2,2*	*W/m²K*

Wandaufbau					
Kalkzementputz				*2,5*	*cm*
Splitt-Ziegelsplittmauerwerk				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,33	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert Sturz	*0,039*	*W/mK*
Ψ-Wert Laibung	*0,039*	*W/mK*
Ψ-Wert Parapet	*0,037*	*W/mK*
f_{RSi} *- Sturz*	*0,66*	-
f_{RSi} *- Laibung*	*0,66*	-
f_{RSi} *- Parapet*	*0,66*	-

Charakterisierung Bestand:

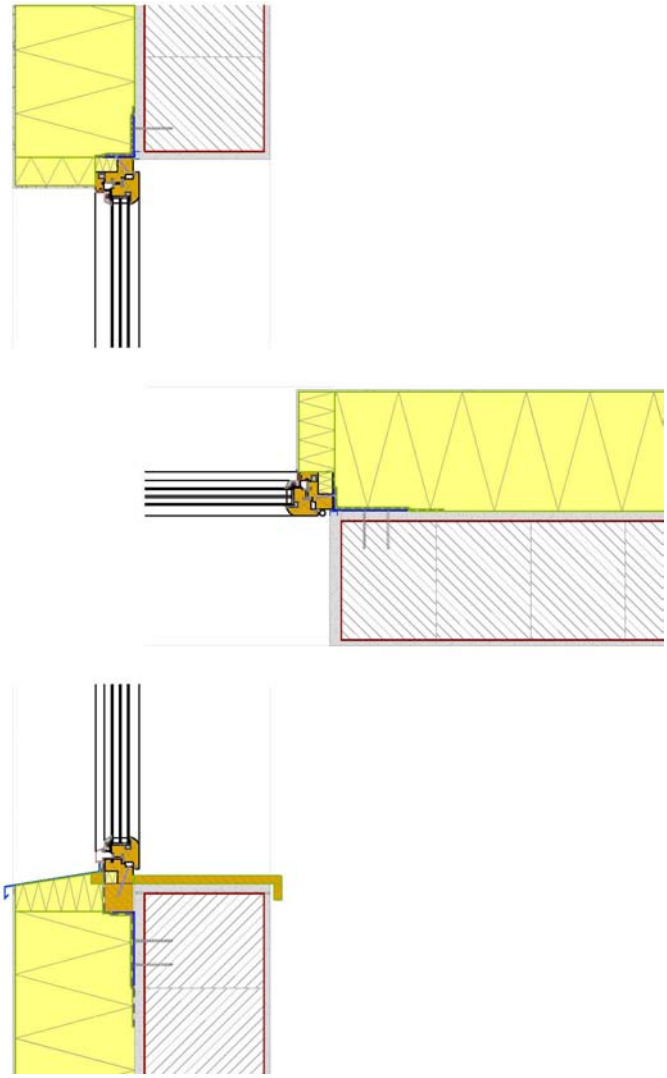
- Position Fenster

Sanierung Ziegelsplittmauerwerk mit WDVS, überdämmbare Passivhaus-Fensterrahmen

Beschreibung:

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch WDVS.
- Die Fenster werden durch überdämmbare Passivhausfenster in der Dämmebene ersetzt

Sanierung: Ziegelsplittmauerwerk mit WDVS, überdämmbare Passivhaus-Fensterrahmen



Fenster U-Werte		
Fenster	*2,6*	*W/m²K*
Verglasung	*1,04*	*W/m²K*
Rahmen	*1,04*	*W/m²K*

Wandaufbau					
Silikatputz				*0,6*	*cm*
EPS – Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*2,5*	*cm*
Splitt-Ziegelsplittmauerwerk				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ	64,6	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert Sturz	*0,012*	*W/mK*
Ψ-Wert Laibung	*0,001*	*W/mK*
Ψ-Wert Parapet	*0,024*	*W/mK*
f_{RSi} *- Sturz*	*0,79*	-
f_{RSi} *- Laibung*	*0,79*	-
f_{RSi} *- Parapet*	*0,75*	-

Eignung:

- Wenn aus Denkmalschutzgründen möglich

Ausführungshinweise:

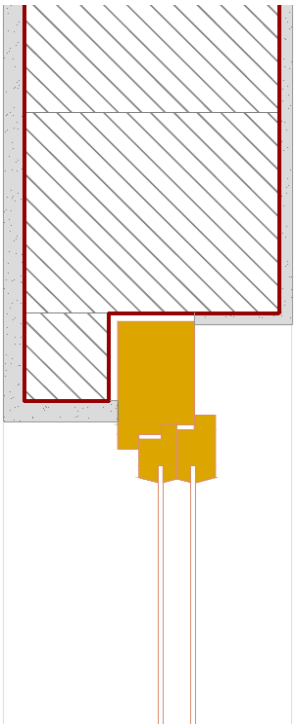
- Luftdichte Ebene ist der Bestands-Außenputz, Risse schließen bzw. bei Erfordernis vollflächig verspachteln
- Saubere/luftdichte Oberfläche an Ausbruchstelle der Bestandfenster mittels Glattstrich / Putzmörtel herstellen, dieser verbindet luftdicht Bestandsaußenputz und Innenputz.
- Die Fenster werden über ein vlieskaschiertes Butylkautschukband umlaufend dicht auf dem Putz auf der Laibung verklebt und überputzt.

Diskussion:

Gekürzte Alu-Schalen und eine stärkere Überdämmung verringern den Wärmebrückenverlust.

4.3.8.2 Ziegelsplittmauerwerk mit WDVS, überdämmbare Passivhaus-Fensterrahmen und Jalousie

Bestand: AW-Splitt-Ziegelsplittmauerwerk, Holzverbundfenster



Fenster U-Werte		
Fenster	*2,6*	*W/m²K*
Verglasung	*2,6*	*W/m²K*
Rahmen	*2,2*	*W/m²K*

Wandaufbau					
Kalkzementputz				*2,5*	*cm*
Splitt-Ziegelsplittmauerwerk				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	1,33	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert Sturz	*0,039*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,66*	-

Charakterisierung Bestand:

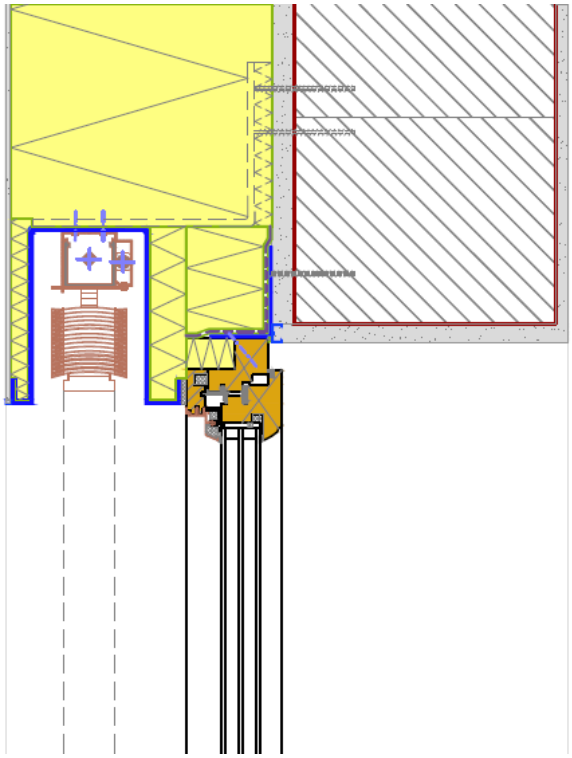
- Position Fenster

Sanierung Ziegelsplittmauerwerk mit WDVS, überdämmbare Passivhaus-Fensterrahmen und Jalousie

Beschreibung:

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch WDVS.
- Die Fenster werden durch Holzverbundfenster ersetzt, die in die Dämmebene versetzt werden
- Durchgängige luftdichte Ebene ist der Bestands-Außenputz, dieser wird an den Innenputz luftdicht angeschlossen. Die Überschlagdichtung des Fensters wird an den Glattstrich / Putz angeschlossen.

Sanierung: Ziegelsplittmauerwerk mit WDVS, überdämmbare Passivhaus-Fensterrahmen und Jalousie



Fenster U-Werte		
Fenster	*2,6*	*W/m²K*
Verglasung	*1,04*	*W/m²K*
Rahmen	*1,04*	*W/m²K*

Wandaufbau					
Silikatputz				*0,6*	*cm*
EPS – Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*2,5*	*cm*
Splitt-Ziegelsplittmauerwerk				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ	64,6	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert Sturz	*0,247*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,77*	*-*

Eignung:

- Wenn aus Denkmalschutzgründen möglich

Ausführungshinweise:

- Luftdichte Ebene ist der Bestands-Außenputz, Risse schließen bzw. bei Erfordernis vollflächig verspachteln
- Saubere/luftdichte Oberfläche an Ausbruchstelle der Bestandfenster mittels Glattstrich / Putzmörtel herstellen, dieser verbindet luftdicht Bestandsaußenputz und Innenputz.
- Die Fenster werden über ein vlieskaschiertes Butylkautschukband umlaufend dicht auf dem Putz auf der Laibung verklebt und überputzt.

4.4 Gebäude der 70er Jahre

Die späten 60er und frühen 70er Jahre sind noch von einem unbeschränkten Zukunftsglauben bestimmt. Die Ölkrise (1973) und der Bericht an den Club of Rome (1972) zeigen die „Grenzen des Wachstums“ auf. Die Bauweise ändert sich gegenüber der 60er Jahre nur geringfügig, durch die Normung verbessert sich allerdings der Wärmeschutz.

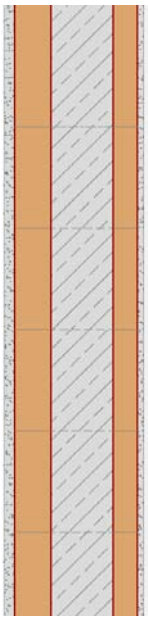
4.4.1 Charakterisierung des Bestandes:

Die Rohkonstruktion unterscheidet sich nicht wesentlich von den 60er Jahren. Im mehrgeschoßigen Wohnbau werden Innenwände verstärkt als tragende Wände herangezogen, um größere Gebäudetiefen zu erreichen.
Balkone werden folgerichtig durch Loggien ersetzt. Die Brüstungen werden zum Teil zur Begrünung verwendet, zudem werden die Fertigteile in vielen Fällen auch statisch miteinbezogen.
Flachdächer werden gerade für größere Gebäude und Nutzbauten üblich, wenn auch die Probleme der Abdichtung noch nicht wirklich gelöst sind.
Ab 1973 werden die Anforderungen an den Wärmeschutz in allen europäischen Ländern deutlich verstärkt. Die Folge ist der Einsatz von Dämmstoffen im mehrgeschoßigen Wohnbau (innen, aber auch zunehmend außen, bzw. in Sandwichbauweise), beim Bau von Einfamilienhäusern kommen verstärkt porosierte Ziegel und Leichtbetone mit zunehmenden Mauerstärken zum Einsatz. Die ersten Leichtbau-Fertigteilhäuser werden gebaut.
Als problematisch stellen sich alle Sichtbetonteile dar, da die Überdeckung der Bewehrung meist unter 2 cm liegt.
Materiell setzt sich der Stahlbeton für Geschoßdecken durch, die Stahlbetonskelettbauweise ist im Gewerbebau weit verbreitet.
Verglasungen werden vor allem als 2-Scheibenisolierverglasung mit Alu-Abstandhaltern realisiert (teilweise bereits 3-Scheibenverglasungen), als Rahmenmaterial bleibt Holz der Material der Wahl. Häufig werden auch hochwertige Tropenhölzer eingesetzt. Die Behandlung der Hölzer mit bedenklichen Holzschutzmitteln (z.B. Lindan, PCP etc.) ist häufig.

4.4.1.1 Außenwände und erdberührte Wände

Im großvolumigen Wohnbau kommen stark Normalbetonwände mit Innendämmung oder in Sandwichbauweise (mit Sichtbeton außen) zum Einsatz. Daneben erfahren auch Mantelbetonbauweisen einen Höhepunkt, die (meist nur leicht) wärmedämmende Mantelschichten mit dem statisch wirksamen und meist bewehrten Kernbeton verbinden. Das Bauen mit Fertigteilen wird immer öfter eingesetzt.
In Einfamilienhäusern sind porosierte Ziegel, Leichtbetone wie Gasbeton, Bimsbeton, Blähbeton mit zunehmenden Wandstärken im Einsatz.
Kellerwände werden im mehrgeschoßigen Wohnbau in Stahlbetonbauweise ausgeführt, die mit bituminösen Abdichtungen gegen Feuchteeintrag geschützt sind. Teilweise werden bereits weiße Wannen hergestellt.

Holzspanbetonmauerwerk



Wandaufbau					
Kalkzement-Außenputz				*2,5*	*cm*
Holzspanteil				*9*	*cm*
Beton				*15*	*cm*
Holzspanteil				*6*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,75	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

- Die Holzspanbetonstärken können variieren, vor allem der äußere Teil wird, den steigenden Anforderungen an den Wärmeschutz entsprechend, verstärkt.

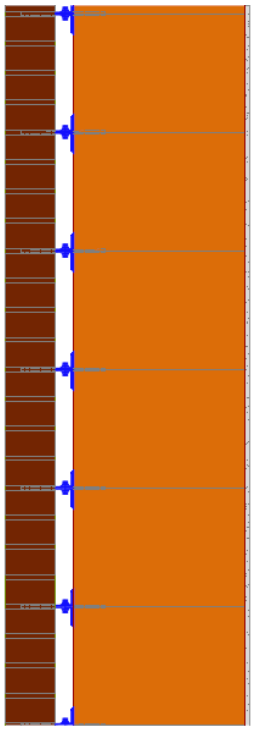
Stahlbetonwand Keller



Wandaufbau, erdberührt					
Kalkzement-Außenputz				*2,5*	*cm*
Stahlbeton				*30*	*cm*
Kalkputz				*2*	*cm*
U-Wert	2,78	[W/m²K]	Σ	34,5	cm

- Im Einfamlienhausbau werden die Wände meist noch aus Stampfbeton hergestellt, im mehrgeschoßigen Bau sind die Kellerwände bewehrt.

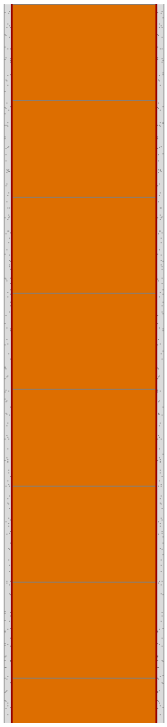
Hochlochziegel mit Klinkerziegelverblendung



Wandaufbau					
Klinkerziegelverblendung				*10,5*	*cm*
Hinterlüftung, Stahlanker				*4*	*cm*
Hochlochziegel				*36*	*cm*
Kalkzementputz				*1*	*cm*
U-Wert	0,77	[W/m²K]	Σ	51,5	cm

- Die innere Schale wird nach Wärmeschutzanforderungen dimensioniert. Nach 1973 wird bereits Wärmedämmung am tragenden Ziegel befestigt.

Hochlochziegel



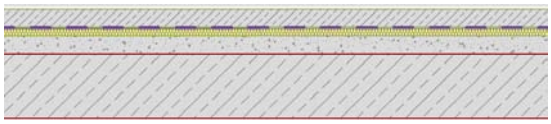
Wandaufbau					
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
Hochlochziegel				*30,0*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,94	[W/m²K]	Σ	33,0	cm

- Für Einfamilienhäuser typisch. Der Ziegel wird mit steigenden Wärmeschutzanforderungen stärker porosiert und in höheren Stärken verbaut.

4.4.1.2 Kellerdecke

Kellerdecken werden vermehrt als (Flach-)Stahlbetondecken ausgeführt. Eine Wärmedämmung, die auch eine Trittschallfunktion (Schallnebenwege) besitzt, wird meist oberseitig ausgeführt.
Einhängedecken werden vor allem im Einfamilienhausbau noch realisiert.

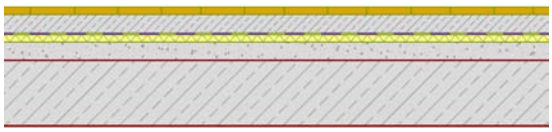
Stahlbetondecke Fliesenbelag



Deckenaufbau					
Bodenbelag				*1*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
PE-Folie/Trennlage				*0,2*	*cm*
Trittschalldämmplatte				*2*	*cm*
Schüttung				*5*	*cm*
Stahlbetondecke				*18*	*cm*
U-Wert	1,00	[W/m²K]	Σ	31,2	cm

- Mit den in den meisten mittel- und nordeuropäischen Ländern erfolgten Verschärfungen im Wärmeschutz erhöhen sich die Dämmstärken.

Stahlbetondecke Parkettbelag

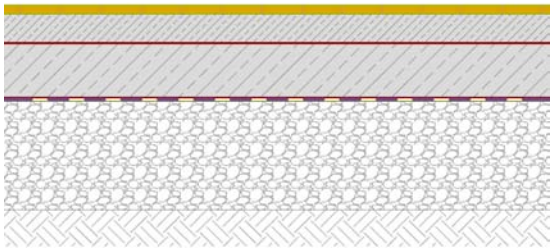


Deckenaufbau					
Bodenbelag				*2*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
PE-Folie/Trennlage				*0,2*	*cm*
Trittschalldämmplatte				*2*	*cm*
Schüttung				*5*	*cm*
Stahlbetondecke				*18*	*cm*
U-Wert	0,90	[W/m²K]	Σ	32,2	cm

4.4.1.3 Erdberührter Fußboden

Eine Unterkellerung ist üblich. In vielen Fällen wird der Keller höherwertig als Wohnraum, Partykeller etc. verwendet. Standard ist eine Betonplatte von mindestens 10 cm Stärke, die auf einer Rollierung betoniert wurde. Bituminöse Abdichtung werden standardmäßig eingesetzt.

Bodenplatte mit Streifenfundament



Bodenaufbau					
Bodenbelag				*2*	*cm*
Estrich				*8*	*cm*
U-Beton				*15*	*cm*
U-Wert	2,44	[W/m²K]	Σ	25,0	cm

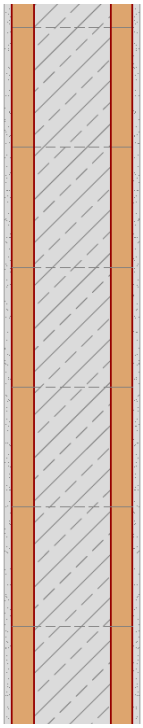
- Auf der U-Betonplatte werden schon häufig Abdichtungen gegen aufsteigende Bodenfeuchte verlegt. Teilweise werden die Betonplatten ohne Abdichtung, dafür mit höherem Zementanteil ausgeführt, wenn die Nutzung im Keller nicht höherwertig ist.

4.4.1.4 Innenwände

Die tragenden Innenwände werden meist wie die Außenwände ausgeführt.

Nicht neu, aber verstärkt eingesetzt werden Leichtbauwände aus mehrschaligen Gipskarton/faserwänden oder Gipsdielen.

Holzspanbetonsteine



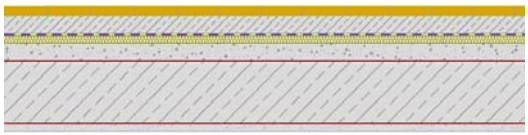
Wandaufbau					
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
Holzspanteil				*4,5*	*cm*
Beton				*16*	*cm*
Holzspanteil				*4,5*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,99	[W/m²K]	Σ	28,0	cm

- Kernbetonstärke nach statischen Erfordernissen

4.4.1.5 Geschoßdecken

Im mehrgeschoßigen Wohnbau werden fast nur noch Stahlbetondecken eingesetzt. Im Einfamilienhausbau werden auch Einhängedecken ausgeführt.

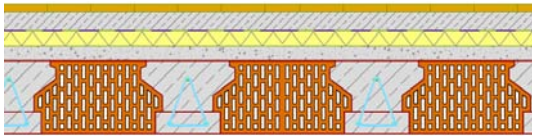
Stahlbetondecke Parkettbelag



Deckenaufbau					
Bodenbelag				*2*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
PE-Folie/Trennlage				*0,2*	*cm*
Trittschalldämmplatte				*2*	*cm*
Schüttung				*5*	*cm*
Stahlbetondecke				*18*	*cm*
U-Wert	0,90	[W/m²K]	Σ	32,2	cm

- Die Deckenstärken variieren je nach Spannweiten

Ziegeldecke



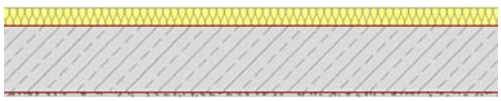
Deckenaufbau					
Bodenbelag				*2*	*cm*
Zementestrich				*5*	*cm*
PE-Folie/ Trennlage				*0,2*	*cm*
EPS – Polystryrol expandiert				*4*	*cm*
Aufbeton				*4*	*cm*
Ziegel, Stahlbeton				*20*	*cm*
U-Wert	0,63	[W/m²K]	Σ	35,2	cm

- Im Einfamilienhausbau wurde auf die Dämmung oft auch verzichtet

4.4.1.6 Oberste Geschoßdecke

Wegen der Anforderungen an den Wärmeschutz mussten oberste Geschoßdecken in Stahlbeton zusätzlich gedämmt werden: Als Dämmstoffe kamen zunächst Holzwolleleichtbauplatten, später vor allem Mineralwolle und, wenn aus Brandschutzgründen möglich, expandiertes Polystyrol zum Einsatz.

Stahlbetondecke



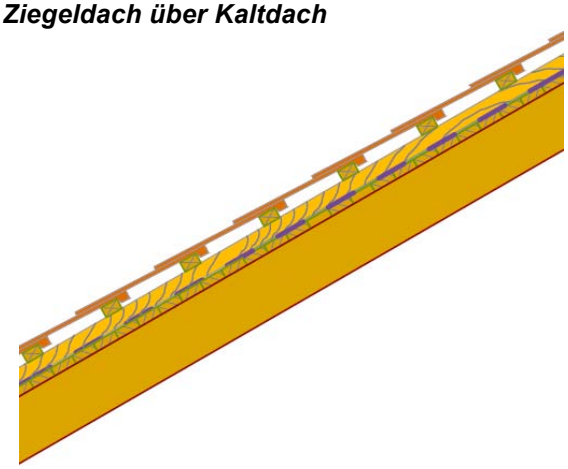
Deckenaufbau					
Glaswolle				*5*	*cm*
Stahlbeton				*18*	*cm*
Kalkzementputz				*1*	*cm*
U-Wert	0,64	[W/m²K]	Σ	24,0	cm

- Ausführung in Flachdächern. Mit Steildächern wurden begehbare Beläge (Estrich, Gipsfaserplatten, EPV-Platten) gewählt.

4.4.1.7 Dach

Dächer werden vielfältiger ausgeführt: Im mehrgeschoßigen Wohnbau setzen sich Flachdächer vermehrt durch, wobei Warm- und Umkehrdächer zum Einsatz kommen. Zusätzlich sind Blechdächer, die nach innen entwässern, stark verbreitet. Für Einfamilienhäuser werden immer noch hauptsächlich Steildächer gebaut.

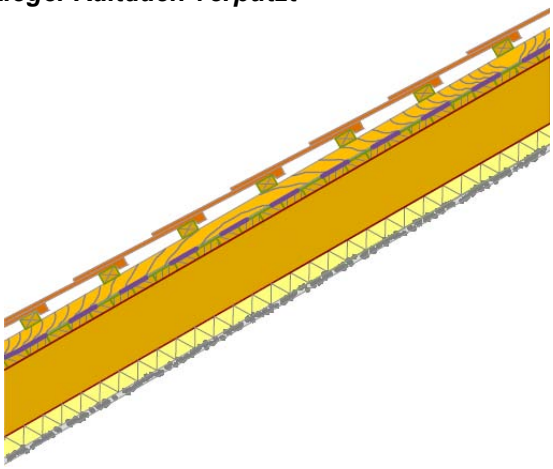
Ziegeldach über Kaltdach



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung				*3*	*cm*
Konterlattung				*4*	*cm*
Bitumenbahn				*0,5*	*cm*
Schalung				*2,4*	*cm*
Sparren 14/8, Luft				*14*	*cm*
U-Wert	1,83	[W/m²K]	Σ	25,9	cm

- Im Unterschied zu älteren Gebäuden wird eine Schalung realisiert und eine bituminöse Deckung ausgeführt. Der Dachraum ist nach außen belüftet.

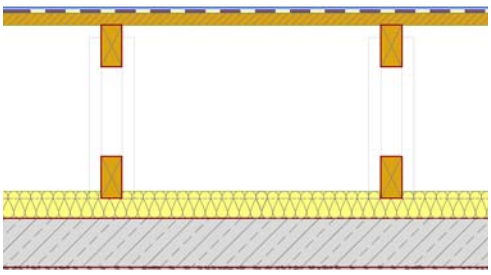
Ziegel-Kaltdach verputzt



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung				*3*	*cm*
Konterlattung				*4*	*cm*
Bitumenbahn				*0,5*	*cm*
Schalung				*2,4*	*cm*
Luft, Sparren 16/8				*16*	*cm*
Holzwolleleichtbauplatte magnesitgebunden (Heraklith)				*5*	*cm*
Putz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,87	[W/m²K]	Σ	34,4	cm

- Für den ausgebauten Dachraum vor allem von Einfamilien- und Reihenhäusern ausgeführt. Der Luftraum zwischen den Sparren ist nach außen hin belüftet (Kaltdach).

Flachdach



Deckenaufbau					
Blecheindeckung				*0,2*	*cm*
Abdichtung, 3-lagig				*1*	*cm*
Schalung				*3,5*	*cm*
Dachstuhl/Nagelbinder				*~40*	*cm*
Wärmedämmung				*7,5*	*cm*
Stahlbeton				*14*	*cm*
Innenputz				*0,6*	*cm*
U-Wert	0,48	[W/m²K]	Σ	66,8	cm

- Die Entwässerung wird innen ausgeführt,

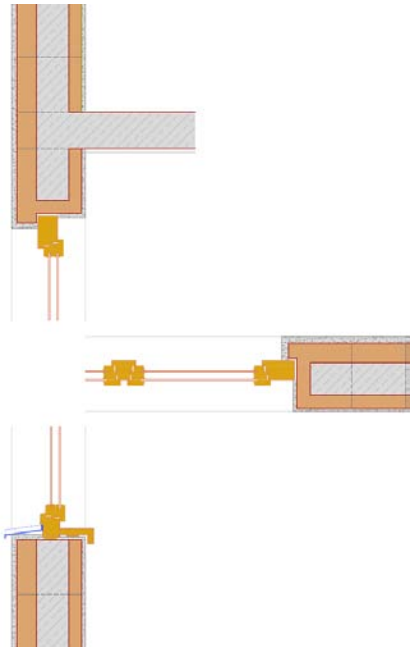
4.4.1.8 Fenster

Die Isolierverglasung mit Alu-Abstandhaltern setzt sich durch. Üblich sind 2-Scheibenverglasungen, wegen der großen Formate werden auch bereits 3-Scheibenverglasungen ausgeführt. Häufig werden wegen der großen Fensterformate Fixverglasungen und Terrassentüren realisiert.

Als Rahmenmaterial dient vorwiegend Nadelholz, verstärkt werden auch Tropenhölzer eingesetzt. Vor allem im Objektbau kommen Pfosten-Riegelfassaden zum Einsatz.

Die Behandlung mit heute als toxikologisch äußerst bedenklich eingestuften Holzschutzmitteln (Lindan, PCP) ist Standard.

Holz-Isolierglasfenster



Fenster U-Werte		
Fenster	*3,0*	*W/m²K*
Verglasung	*3,0*	*W/m²K*
Rahmen	*1,8*	*W/m²K*

- Als äußere Fensterbretter werden häufig Bleche und Steinplatten verwendet

4.4.2 Typische Schadensbilder

Folgende Schäden sind für Gebäude der 70er Jahre typisch:

- Feuchteschäden an Balkonen und Loggien und angrenzenden Bauteilen durch geringe Überdeckung der Bewehrung
- Geringer Schallschutz
- Feuchteschäden an Flachdächern, fehlender Dampfdruckausgleich, Schimmelschäden innen an Gebäudeecken
- Fassade: abplatzender Putz
- Sichtbeton: Feuchteschäden durch Abplatzungen, Schäden an Bewehrung

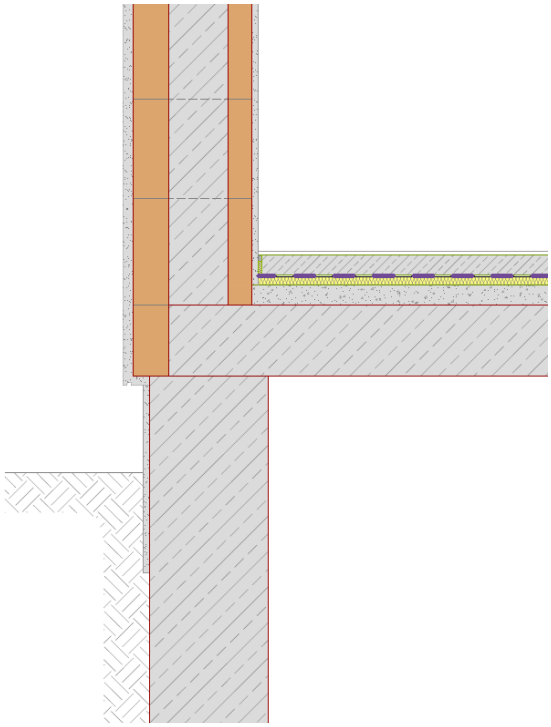
4.4.3 Sanierungsaufgaben

- Außendämmung, wegen nicht vorhandener Ornamentik unproblematisch; gegebenenfalls Abfräsen bestehender Kunstharzputze erforderlich.
- Sanierung bzw. Abschneiden der Balkone/Loggien, wenn statisch möglich und Errichtung neuer und tieferer Balkone vorstehend oder zumindest halb vorstehend.
- Flachdachsanierung
- Abtrennung Blumentröge
- Innendämmung mit besonderer Berücksichtigung der Eckanschlüsse (Entschärfung Wärmebrücken/Schimmelproblematik)
- Einbindung Stiegenhaus (Problematik Halbgeschoße)
- Dämmung oberste Geschoßdecke, begehbar, nicht begehbar, Anschlüsse Traufe (auskragende Stahlbetonplatten)
- Eventuell Dachausbau, Terrassen neu
- Fenstersanierung Austausch Verglasungen, bzw. je nach Zustand und Material Rahmen auch Rahmen.
- Dämmung Kellerdecke, Minimierung Wärmebrücken über Außenwände und Innenwände, Stiegenhaus
- Verbesserung Luftdichtigkeit
- Verbesserung Schallschutz nach außen (Fenster und Fensteranschlüsse)
- Verbesserung Schallschutz zwischen Wohneinheiten (Wände, Decken)
- Verbesserung Brandschutz zwischen den Wohneinheiten
- Optimierte Wohnraumlüftung

4.4.4 Sockel: Außenwand – Kellerdecke

4.4.4.1 Außenwand mit WDVS, Kellerdecke mit WDVS unterseitig

Bestand: AW-Holzspanbetonsteine, Stahlbetonkellerdecke



Wandaufbau					
Kalkzement-Außenputz				*2,5*	*cm*
Holzspanteil				*9*	*cm*
Beton				*15*	*cm*
Holzspanteil				*6*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,75	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

Deckenaufbau					
Bodenbelag				*1*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
PE-Folie/Trennlage				*0,2*	*cm*
Trittschalldämmplatte				*2*	*cm*
Schüttung				*5*	*cm*
Stahlbetondecke				*18*	*cm*
U-Wert	1,00	[W/m²K]	Σ	31,2	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,074*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*-0,271*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,74*	*-*

Charakterisierung Bestand:

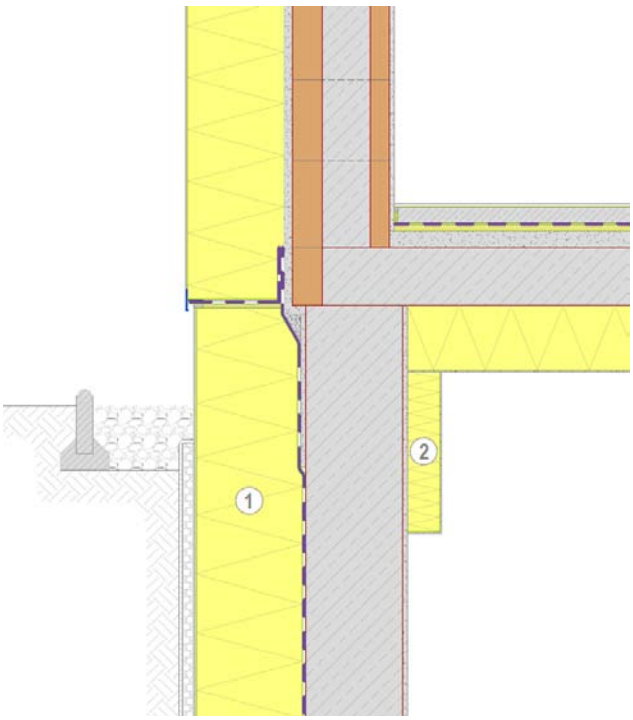
- Keller feucht, Abdichtung vorhanden, bzw. intakt?
- Nutzung des Kellers: Lagerraum, ungenutzt?

Sanierung Außenwand mit WDVS, Kellerdecke mit WDVS unterseitig

Beschreibung:

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch ein Wärmedämmverbundsystem, das an der Keller- und Außenwand ausgeführt wird
- Die Kellerdecke wird unterseitig ebenfalls mit einem Wärmedämmverbundsystem gedämmt
- Die Temperatur des Kellerraumes wird im Vergleich zum Bestand im Winter abgesenkt, damit ergeben sich bei gleichbleibenden Feuchtequellen höhere relative Feuchten

Sanierung: Außenwand mit WDVS, Kellerdecke mit WDVS unterseitig



Wandaufbau					
Silikatputz				*0,6*	*cm*
EPS - Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkzement-Außenputz				*2,5*	*cm*
Holzspanteil				*9*	*cm*
Beton				*15*	*cm*
Holzspanteil				*6*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,11	[W/m²K]	Σ	64,6	cm

Deckenaufbau					
Bodenbelag				*1*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
PE-Folie/Trennlage				*0,2*	*cm*
Trittschalldämmplatte				*2*	*cm*
Schüttung				*5*	*cm*
Stahlbetondecke				*18*	*cm*
Polystyrol expandiert (EPS)-F-Fassadendämmplatte				*20*	*cm*
Silikatputz				*0,5*	*cm*
U-Wert	0,17	[W/m²K]	Σ	51,7	cm

① *XPS*
② *Mineralwolle kaschiert*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,012*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*0,238*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,9*	*-*

Eignung:

- Wenn im Keller keine hochwertige Nutzung erwartet wird

Ausführungshinweise:

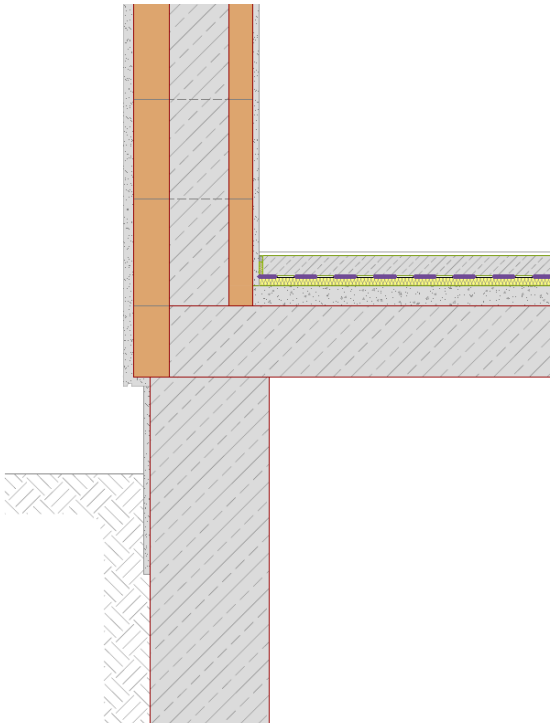
- Luftdichte Ebene (Außenputz, bei Erfordernis vollflächig verspachtelt) bis Unterkante Kellerwand führen, diese stellt auch die saubere Oberfläche für Aufbringen der vertikalen Abdichtung dar
- Dämmplatten an Kellerdecke verkleben und je nach Untergrund zusätzlich verdübeln
- Abdichtung vollflächig dicht verkleben bis mindestens 30 cm über Geländeniveau (Spritzwasserbereich)
- Den Streifen aus Polymerbitumen zwischen oberem Rand der Sockeldämmung und Dämmung des aufgehenden Mauerwerks mit der Wandoberfläche dicht verkleben (z.B. anflämmen), unterseitig an Fassadendämmplatte und Tropfkantenprofil verkleben
- Perimeterdämmplatten mit vorkomprimiertem Dichtungsband und angeheftetem Streifen Faserdämmstoff knirsch nach oben drücken, oberste Dämmplatte sollte vollflächig verklebt werden.
- Erfordernis Drainage siehe allgemeines Kapitel „Drainage: für und wider“
- Einsatz einer intelligenten Lüftung insbesondere bei hohen Anforderungen an Lagerqualität des Kellers prüfen (siehe Kapitel Kellerklima, Haustechnik).

Diskussion:

Alternativ zum Bitumenlappen kann auch die oberste Lage Perimeterdämmplatten und die unterste Lage WDVS-Platten vollflächig verklebt werden, Vertikal-Plattenstöße sorgfältig schließen.

4.4.4.2 Holzspanbetonwand mit Wärmedämmung zwischen vorgefertiger Holzkonstruktion, hinterlüftet, Stahlbetondecke unterseitig gedämmt mit EPS

Bestand: AW-Holzspanbetonsteine, Stahlbetonkellerdecke



Wandaufbau					
Kalkzement-Außenputz				*2,5*	*cm*
Holzspanteil				*9*	*cm*
Beton				*15*	*cm*
Holzspanteil				*6*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,75	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

Deckenaufbau					
Bodenbelag				*1*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
PE-Folie/Trennlage				*0,2*	*cm*
Trittschalldämmplatte				*2*	*cm*
Schüttung				*5*	*cm*
Stahlbetondecke				*18*	*cm*
U-Wert	1,00	[W/m²K]	Σ	31,2	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,074*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*-0,271*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,74*	*-*

Charakterisierung Bestand:

1 Aufsteigende Feuchtigkeit, aufsteigende Salze?

2 Nutzung des Kellers: Lagerraum, ungenutzt?

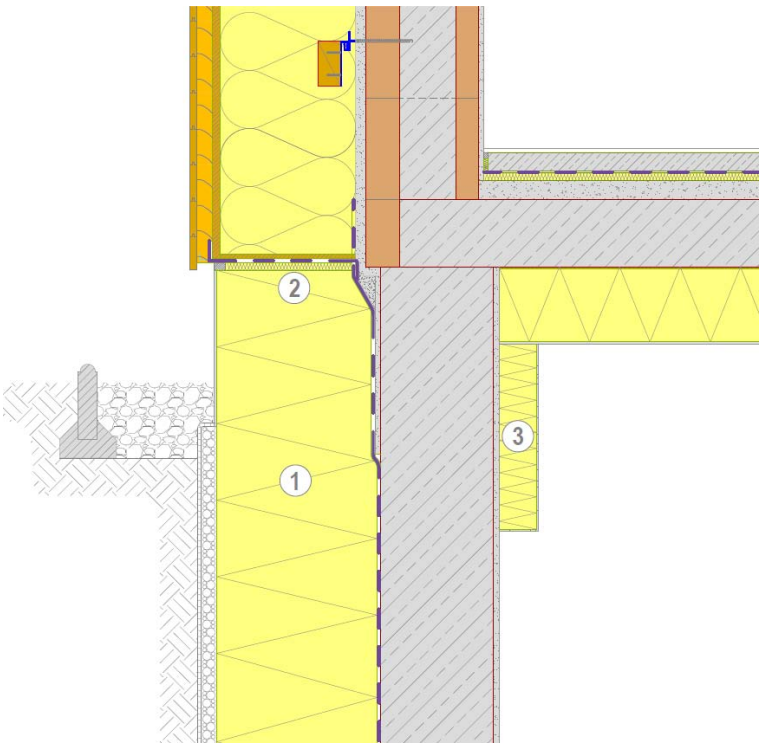
3 Art Oberfläche Erdreich: Gras, Kies, Gehsteig dicht; geneigt nach außen?

Sanierung Holzspanbetonwand mit Wärmedämmung zwischen vorgefertiger Holzkonstruktion, hinterlüftet, Stahlbetondecke unterseitig gedämmt mit EPS

Beschreibung :

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch eine vorgefertigte Holzkonstruktion, die bauseits mit Zellulosedämmung ausgeblasen wird., das an der Keller- und Außenwand ausgeführt wird
- Die Kellerdecke wird unterseitig ebenfalls mit einem Wärmedämmverbundsystem saniert
- Die Temperatur des Kellerraumes wird im Vergleich zum Bestand im Winter abgesenkt, damit ergeben sich bei gleichbleibenden Feuchtequellen höhere relative Feuchten

Sanierung: Holzspanbetonwand mit Wärmedämmung zwischen vorgefertiger Holzkonstruktion, hinterlüftet, Stahlbetondecke unterseitig gedämmt mit EPS



Wandaufbau		
Lärchenfassade	*2*	*cm*
Holzlatten	*4*	*cm*
MDF-Platte imprägniert	*2,2*	*cm*
Zellulosefaserflocken zwischen Holzriegel	*36*	*cm*
Kalkzement-Außenputz	*2,5*	*cm*
Holzspanteil	*9*	*cm*
Beton	*15*	*cm*
Holzspanteil	*6*	*cm*
Kalkzementputz	*1,5*	*cm*
U-Wert 0,10 [W/m²K]	Σ 78,2	cm

Deckenaufbau		
Bodenbelag	*1*	*cm*
Estrich	*5*	*cm*
PE-Folie/Trennlage	*0,2*	*cm*
Trittschalldämmplatte	*2*	*cm*
Schüttung	*5*	*cm*
Stahlbetondecke	*18*	*cm*
Polystyrol expandiert (EPS)-F-Fassadendämmplatte	*20*	*cm*
Silikatputz	*0,5*	*cm*
U-Wert 0,17 [W/m²K]	Σ 51,7	cm

① *XPS*
② *ECB - Bahn*
③ *Mineralwolle*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,005*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*0,232*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,91*	*-*

Eignung:

- Für Keller ohne hochwertige Nutzung

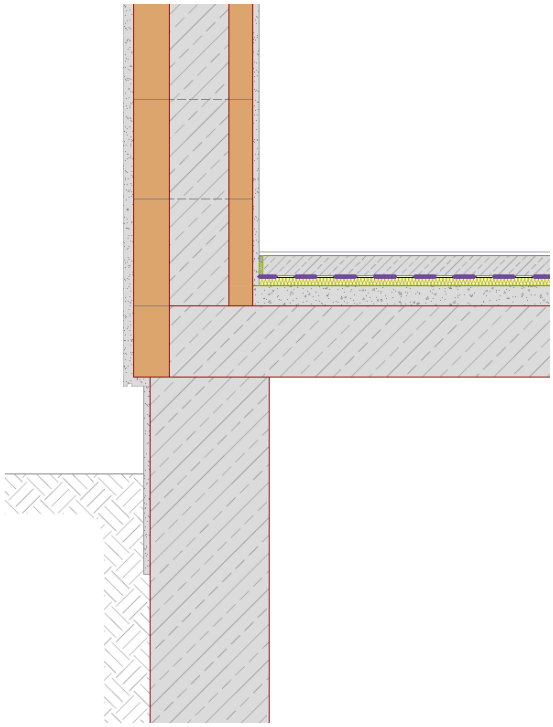
Ausführungshinweise:

- Luftdichte Ebene (Außenputz, bei Erfordernis vollflächig verspachtelt) bis Unterkante Abdichtung führen, diese stellt auch die saubere Oberfläche für Aufbringen der vertikalen Abdichtung dar
- Dämmplatten an Kellerdecke verkleben und je nach Untergrund zusätzlich verdübeln
- Abdichtung vollflächig dicht verkleben bis mindestens 30 cm über Geländeniveau (Spritzwasserbereich)
- Tropfkantenprofil an Abschluss Holzkonstruktion verkleben und mechanisch sichern
- ECB-Bahn auf unterem Abschluss Holzkonstruktion (OSB-Platte) verkleben
- Perimeterdämmplatten mit vorkomprimiertem Dichtungsband und angeheftetem Faserdämmstoff-Streifen knirsch nach oben drücken, oberste Dämmplatte sollte vollflächig verklebt werden.
- Einsatz einer intelligenten Lüftung insbesondere bei hohen Anforderungen an Lagerqualität des Kellers prüfen (siehe Kapitel Kellerklima, Haustechnik).

Diskussion:

Wenn versiegelte Oberfläche (z.B. Gehsteig) im Außenbereich direkt (ohne Drainageschicht) an Außenwand anschließt: Fläche mit Gefälle vom Haus weg ausbilden

Bestand: AW-Holzspanbetonsteine, Stahlbetonkellerdecke



Wandaufbau					
Kalkzement-Außenputz				*2,5*	*cm*
Holzspanteil				*9*	*cm*
Beton				*15*	*cm*
Holzspanteil				*6*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,75	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

Deckenaufbau					
Bodenbelag				*1*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
PE-Folie/Trennlage				*0,2*	*cm*
Trittschalldämmplatte				*2*	*cm*
Schüttung				*5*	*cm*
Stahlbetondecke				*18*	*cm*
U-Wert	1,00	[W/m²K]	Σ	31,2	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,074*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*-0,271*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,74*	-

Charakterisierung Bestand:

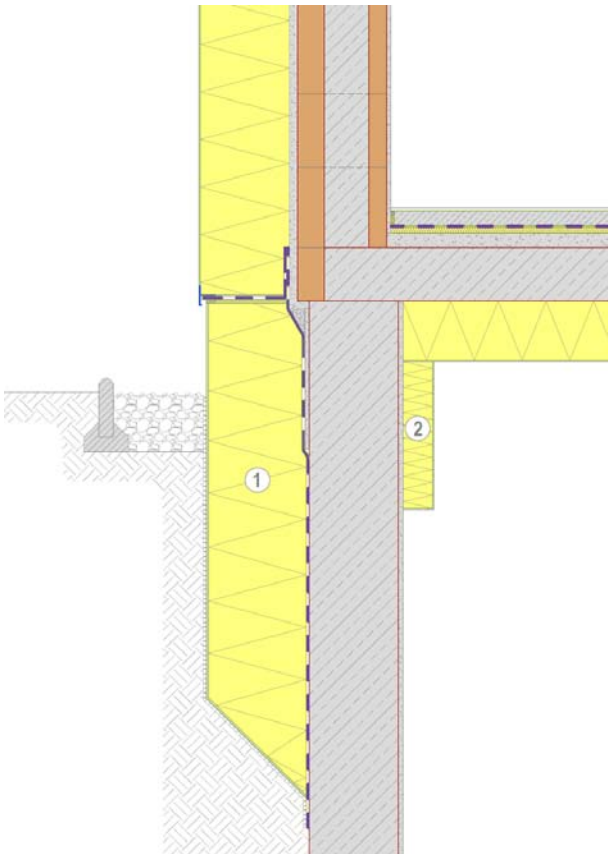
- Keller feucht, Abdichtung vorhanden, bzw. intakt?
- Nutzung des Kellers: Lagerraum, ungenutzt?

Sanierung Holzspanbetonwand mit WDVS , Kellerdeckendämmung oberseitig, Vakuumdämmung

Beschreibung:

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch ein Wärmedämmverbundsystem, das an der Keller- und Außenwand ausgeführt wird
- Die Kellerdecke wird oberseitig mit Vakuumdämmplatten saniert, um die ursprüngliche Höhe zu erhalten
- Die Temperatur des Kellerraumes wird im Vergleich zum Bestand im Winter abgesenkt, damit ergeben sich bei gleichbleibenden Feuchtequellen höhere relative Feuchten

Sanierung: Holzspanbetonwand mit WDVS , Kellerdeckendämmung oberseitig Vakuumdämmung



Wandaufbau					
Silikatputz				*0,6*	*cm*
EPS - Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkzement-Außenputz				*2,5*	*cm*
Holzspanteil				*9*	*cm*
Beton				*15*	*cm*
Holzspanteil				*6*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,11	[W/m²K]	Σ	64,6	cm

Deckenaufbau					
Bodenbelag				*2*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
PE Weichschaum, Stöße abgeklebt				*0,5*	*cm*
Vakuumdämmung				*4*	*cm*
PE Weichschaum, Stöße abgeklebt				*0,5*	*cm*
Stahlbetondecke				*18*	*cm*
U-Wert	0,13	[W/m²K]	Σ	30,0	cm

① *XPS*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,040*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*0,337*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,86*	*-*

Eignung:

- Für Keller ohne hochwertige Nutzung

Ausführungshinweise:

- Luftdichte Ebene (Außenputz, bei Erfordernis vollflächig verspachtelt) bis Unterkante Kellerwand führen, diese stellt auch die saubere Oberfläche für Aufbringen der vertikalen Abdichtung dar
- Vakuumdämmpatten auf PE-Weichschaumplatte vollflächig verkleben, wenn nicht eben, Ausgleichsschicht auf Rohdecke aufbringen
- Abdichtung vollflächig dicht verkleben bis mindestens 30 cm über Geländeniveau (Spritzwasserbereich)
- Den Streifen aus Polymerbitumen zwischen oberem Rand der Sockeldämmung und Dämmung des aufgehenden Mauerwerks mit der Wandoberfläche dicht verkleben (z.B. anflämmen), unterseitig an Fassadendämmplatte und Tropfkantenprofil verkleben
- Perimeterdämmplatten mit vorkomprimiertem Dichtungsband und angeheftetem Streifen Faserdämmstoff knirsch nach oben drücken, oberste Dämmplatte sollte vollflächig verklebt werden
- Einsatz einer intelligenten Lüftung insbesondere bei hohen Anforderungen an Lagerqualität Keller prüfen (siehe Kapitel Kellerklima, Haustechnik)

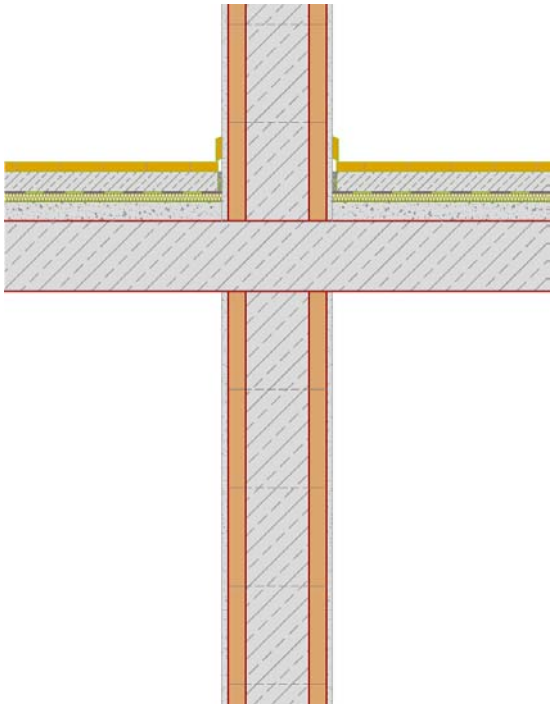
Diskussion:

Alternativ zum Bitumenlappen kann auch die oberste Lage Perimeterdämmplatten und die unterste Lage WDVS-Platten vollflächig verklebt werden, Vertikal-Plattenstöße sorgfältig schließen.

4.4.5 Sockel: Innenwand – Kellerdecke

4.4.5.1 Holzspanbetonwand, Stahlbetondecke, unterseitig gedämmt mit EPS

Bestand: IW-Holzspanbetonsteine, Stahlbetondecke



Wandaufbau					
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
Holzspanteil				*4,5*	*cm*
Beton				*16*	*cm*
Holzspanteil				*4,5*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,99	[W/m²K]	Σ	28,0	cm

Deckenaufbau					
Bodenbelag				*2*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
PE-Folie/Trennlage				*0,2*	*cm*
Trittschalldämmplatte				*2*	*cm*
Schüttung				*5*	*cm*
Stahlbetondecke				*18*	*cm*
U-Wert	0,90	[W/m²K]	Σ	32,2	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / Keller	*0,258*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,71*	-

Charakterisierung Bestand:

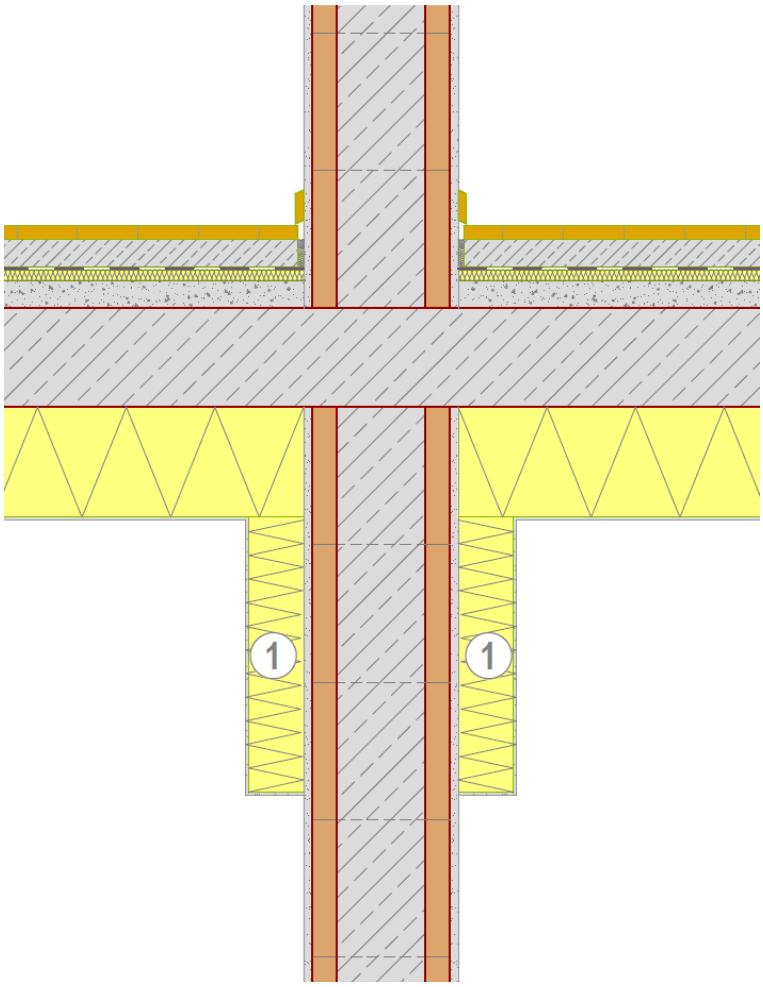
- Keller feucht, Abdichtung vorhanden, bzw. intakt?
- Nutzung des Kellers: Lagerraum, ungenutzt?

Sanierung Holzspanbetonwand, Stahlbetondecke unterseitig gedämmt mit EPS

Beschreibung:

- Die Kellerdecke wird unterseitig mit einem Wärmedämmverbundsystem gedämmt, für die Reduzierung der Wärmebrückenverluste und Erhöhung der Mindesttemperatur im EG wird eine Halsdämmung angebracht
- Die Temperatur des Kellerraumes wird im Vergleich zum Bestand im Winter abgesenkt, damit ergeben sich bei gleichbleibenden Feuchtequellen höhere relative Feuchten

Sanierung: Holzspanbetonwand, Stahlbetondecke unterseitig gedämmt mit EPS



Wandaufbau					
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
Holzspanteil				*4,5*	*cm*
Beton				*16,0*	*cm*
Holzspanteil				*4,5*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,99	[W/m²K]	Σ	28,0	cm

Deckenaufbau					
Bodenbelag				*2*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
PE-Folie/Trennlage				*0,2*	*cm*
Trittschalldämmplatte				*2*	*cm*
Schüttung				*5*	*cm*
Stahlbetondecke				*18*	*cm*
Polystyrol expandiert (EPS)-F-Fassadendämmplatte				*20,0*	*cm*
Silikatputz				*0,5*	*cm*
U-Wert	0,16	[W/m²K]	Σ	52,7	cm

① *Mineralwolle kaschiert*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,209*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,93*	-

Eignung:

- Für Keller ohne hochwertige Nutzung

Ausführungshinweise:

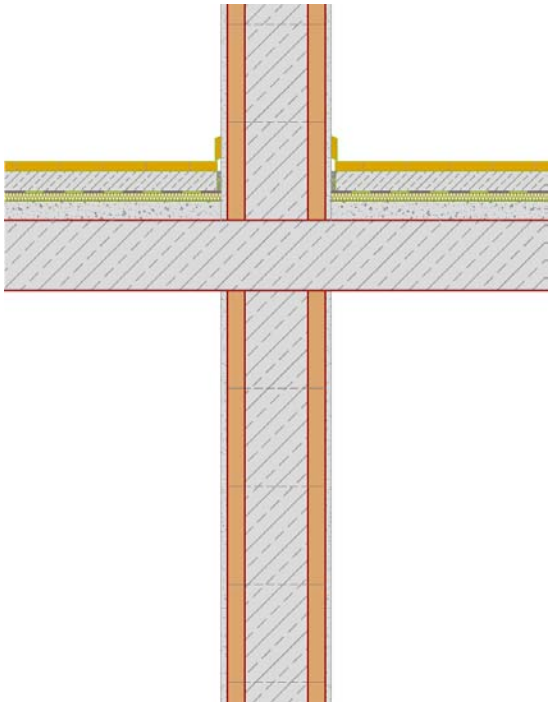
- Luftdichte Ebene ist die Stahlbetondecke, diese ist in sich luftdicht
- Dämmplatten an Kellerdecke verkleben und je nach Untergrund zusätzlich verdübeln
- Einsatz einer intelligenten Lüftung insbesondere bei hohen Anforderungen an Lagerqualität des Kellers prüfen (siehe Kapitel Kellerklima, Haustechnik)

Diskussion:

Erfordernis der Halsdämmung stark von Kellerklima abhängig.

4.4.5.2 Holzspanbetonwand, Stahlbetondecke, oberseitig Vakuumdämmung-Zementestrich

Bestand: IW-Holzspanbetonsteine , Stahlbetondecke



Wandaufbau					
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
Holzspanteil				*4,5*	*cm*
Beton				*16*	*cm*
Holzspanteil				*4,5*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,99	[W/m²K]	Σ	28,0	cm

Deckenaufbau					
Bodenbelag				*2*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
PE-Folie/Trennlage				*0,2*	*cm*
Trittschalldämmplatte				*2*	*cm*
Schüttung				*5*	*cm*
Stahlbetondecke				*18*	*cm*
U-Wert	0,90	[W/m²K]	Σ	32,2	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,258*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,71*	-

Charakterisierung Bestand:

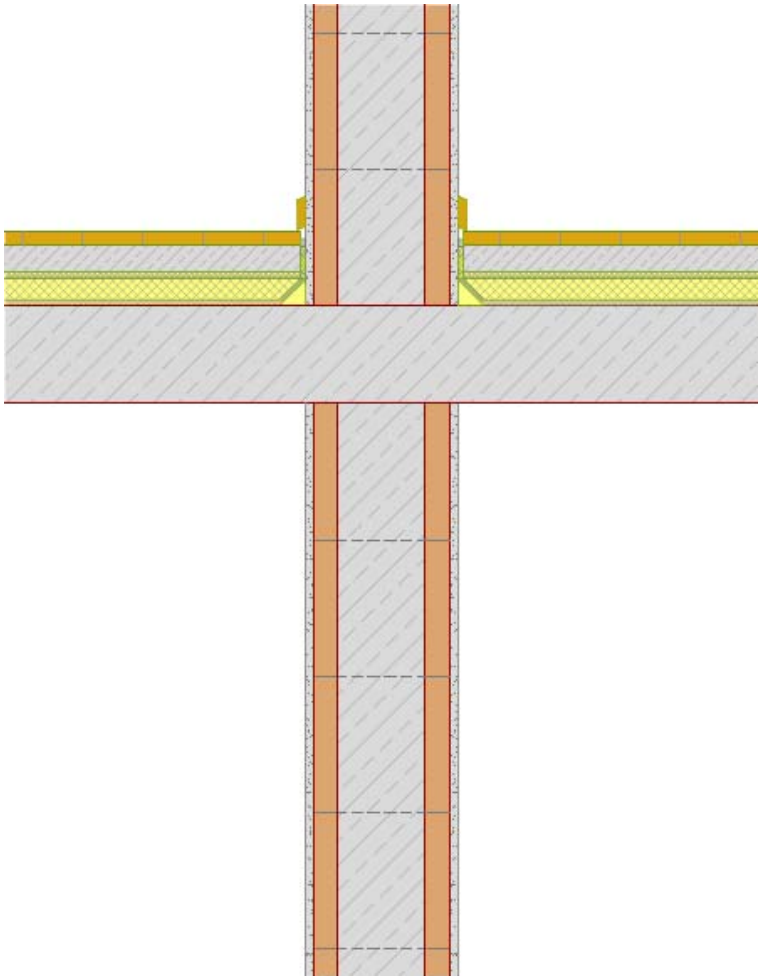
- Keller feucht, Abdichtung vorhanden, bzw. intakt?
- Nutzung des Kellers: Lagerraum, ungenutzt?

Sanierung Holzspanbetonwand, Stahlbetondecke, oberseitig Vakuumdämmung, Zementestrich

Beschreibung:

- Vakuumdämmpatten auf PE-Weichschaumplatte vollflächig verkleben, wenn nicht eben, Ausgleichsschicht auf Rohdecke aufbringen
- Die Temperatur des Kellerraumes wird im Vergleich zum Bestand im Winter abgesenkt, damit ergeben sich bei gleichbleibenden Feuchtequellen höhere relative Feuchten

Sanierung: Holzspanbetonwand, Stahlbetondecke oberseitig Vakuumdämmung-Zementestrich



Wandaufbau					
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
Holzspanteil				*4,5*	*cm*
Beton				*16,0*	*cm*
Holzspanteil				*4,5*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,99	[W/m²K]	Σ	28,0	cm

Deckenaufbau					
Bodenbelag				*2*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
PE Weichschaum, Stöße abgeklebt				*0,5*	*cm*
Vakuumdämmung				*4*	*cm*
PE Weichschaum, Stöße abgeklebt				*0,5*	*cm*
Stahlbetondecke				*18*	*cm*
U-Wert	0,13	[W/m²K]	Σ	30,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,671*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,75*	*-*

Eignung:

- Für Keller ohne hochwertige Nutzung

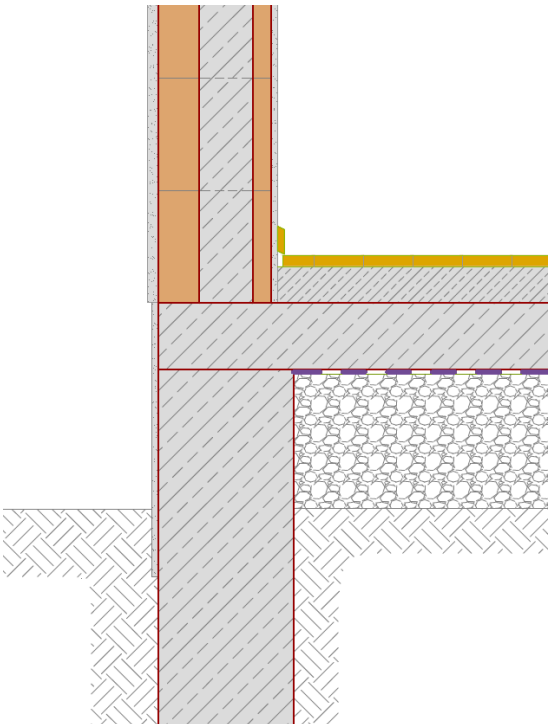
Ausführungshinweise:

- Luftdichte Ebene ist die Stahlbetondecke, diese ist in sich luftdicht
- Vakuumdämmpatten auf PE-Weichschaumplatte vollflächig verkleben, wenn nicht eben, Ausgleichsschicht auf Rohdecke aufbringen
- Einsatz einer intelligenten Lüftung insbesondere bei hohen Anforderungen an Lagerqualität Keller prüfen (siehe Kapitel Kellerklima, Haustechnik

4.4.6 Sockel: Außenwand – Erdberührter Fußboden

4.4.6.1 Holzspanbetonwand mit WDVS, Fußboden mit Vakuumdämmung

Bestand: Holzspanbetonwand, Fußboden mit Streifenfundament, Verbundestrich



Wandaufbau					
Kalkzement-Außenputz				*2,5*	*cm*
Holzspanteil				*9*	*cm*
Beton				*15*	*cm*
Holzspanteil				*6*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,75	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

Bodenaufbau					
Bodenbelag				*2*	*cm*
Estrich				*8*	*cm*
Stahlbetondecke				*15*	*cm*
U-Wert	2,44	[W/m²K]	Σ	25,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,277*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,62*	-

Charakterisierung Bestand:

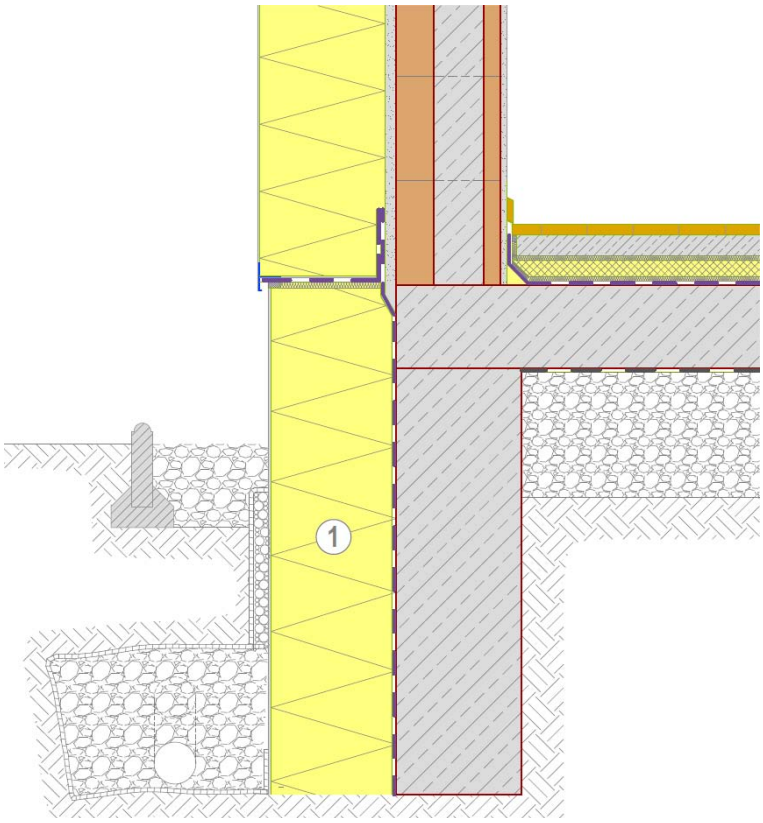
- Keller feucht, Abdichtung vorhanden, bzw. intakt?
- Nutzung des Kellers: Lagerraum, ungenutzt?

Sanierung Holzspanbetonwand mit WDVS, Fußboden mit Vakuumdämmung

Beschreibung:

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch ein Wärmedämmverbundsystem, das an der Keller- und Außenwand ausgeführt wird
- Die Kellerdecke wird oberseitig mit Vakuumdämmplatten saniert, um die ursprüngliche Höhe zu erhalten
- Die vertikale luftdichte Ebene stellt der Bestandsaußenputz dar, der mit der Stahlbeton-Bodenplatte luftdicht verschlossen wird

Sanierung: Holzspanbetonwand mit WDVS , Fußboden mit Vakuumdämmung



Wandaufbau					
Silikatputz				*0,6*	*cm*
EPS - Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkzement-Außenputz				*2,5*	*cm*
Holzspanteil				*9*	*cm*
Beton				*15*	*cm*
Holzspanteil				*6*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,11	[W/m²K]	Σ	64,6	cm

Bodenaufbau					
Bodenbelag				*2*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
PE Weichschaum, Stöße abgeklebt				*0,5*	*cm*
Vakuumdämmung				*4*	*cm*
PE Weichschaum, Stöße abgeklebt				*0,5*	*cm*
Stahlbetondecke				*20,0*	*cm*
U-Wert	0,14	[W/m²K]	Σ	32,0	cm

① *XPS*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,125*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,81*	-

Ausführungshinweise:

- Aufgrabetiefe je nach statischen Möglichkeiten
- Luftdichte Ebene (Außenputz, bei Erfordernis vollflächig verspachtelt) bis Unterkante Fundament führen. Diese stellt auch die saubere Oberfläche für Aufbringen der vertikalen Abdichtung dar.
- Vakuumdämmpatten auf PE-Weichschaumplatte vollflächig verkleben, wenn nicht eben, Ausgleichsschicht auf Rohdecke aufbringen
- Abdichtung vollflächig dicht verkleben bis mindestens 30 cm über Geländeniveau (Spritzwasserbereich)
- Den Streifen aus Polymerbitumen zwischen oberem Rand der Sockeldämmung und Dämmung des aufgehenden Mauerwerks mit der Wandoberfläche dicht verkleben (z.B. anflämmen), unterseitig an Fassadendämmplatte und Tropfkantenprofil verkleben
- Perimeterdämmplatten mit vorkomprimiertem Dichtungsband und angeheftetem Streifen Faserdämmstoff knirsch nach oben drücken, oberste Dämmplatte sollte vollflächig verklebt werden
- Erfordernis Drainage siehe allgemeines Kapitel „Drainage: für und wider“

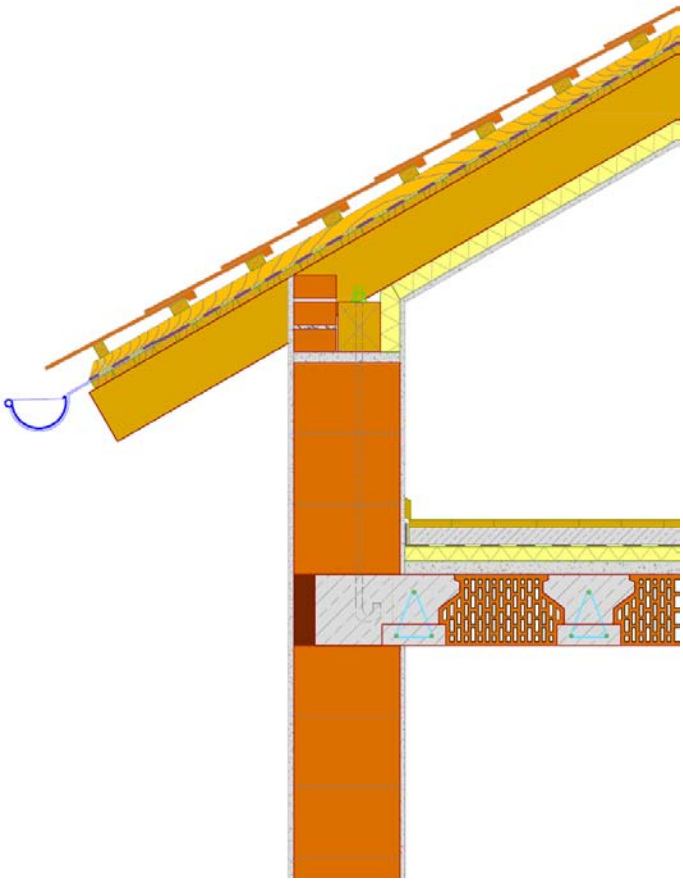
Diskussion:

Alternativ zum Bitumenlappen kann auch die oberste Lage Perimeterdämmplatten und die unterste Lage WDVS-Platten vollflächig verklebt werden, Vertikal-Plattenstöße sorgfältig schließen.

4.4.7 Attika: Außenwand – Dach unbeheizt

4.4.7.1 Hochlochziegel porosiert mit WDVS, Ziegeldach mit Aufsparrendämmung und Vordach, Traufe

Bestand: Hochlochziegel porosiert, Ziegeldach verputzt



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung				*3*	*cm*
Konterlattung				*4*	*cm*
Bitumenbahn				*0,5*	*cm*
Schalung				*2,4*	*cm*
Luft, Sparren 16/8				*16*	*cm*
Holzwolleleichtbauplatte magnesitgebunden (Heraklith)				*5*	*cm*
Putz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,87	[W/m²K]	Σ	34,4	cm

Deckenaufbau					
Bodenbelag				*2*	*cm*
Zementestrich				*5*	*cm*
PE-Folie/ Trennlage				*0,2*	*cm*
EPS – Polystryrol expandiert				*4*	*cm*
Aufbeton				*4*	*cm*
Ziegel, Stahlbeton				*20*	*cm*
U-Wert	0,63	[W/m²K]	Σ	35,2	cm

Wandaufbau					
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
Hochlochziegel				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,94	[W/m²K]	Σ	33,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,116*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,69*	-

Charakterisierung Bestand:

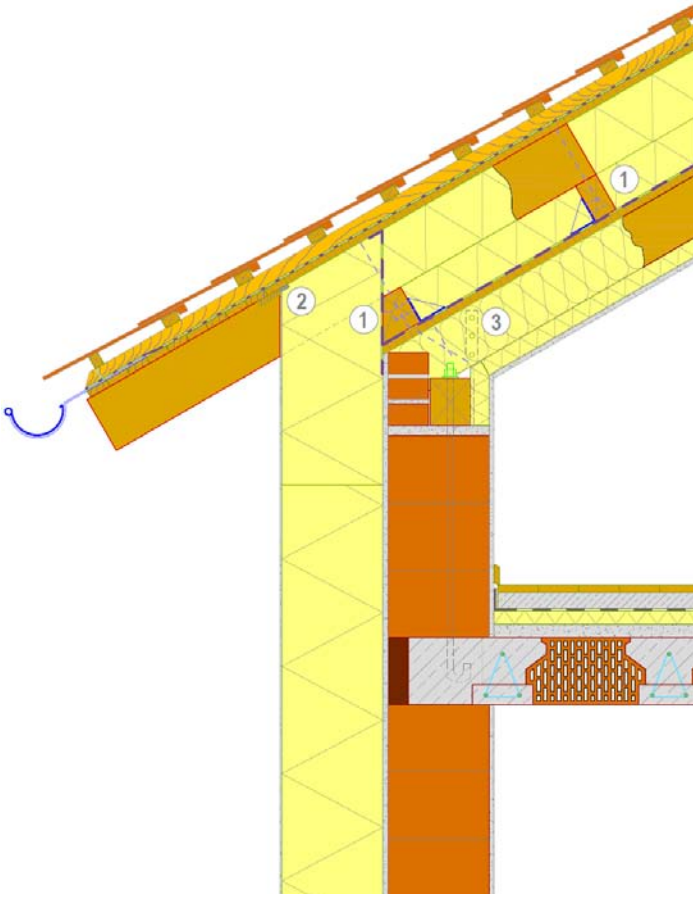
- Dachsparren statisch ausreichend?

Sanierung Hochlochziegel porosiert mit WDVS, Ziegeldach mit Aufsparrendämmung und Vordach

Beschreibung :

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch ein Wärmedämmverbundsystem
- Das Dach wird von außen geöffnet, die Ebene zwischen den Sparren wird ausgedämmt, darüber wird eine Aufsparrendämmung ausgeführt
- Die luftdichte Ebene ist der Außenputz, der mit der Dampfbremse im Dach strömungsdicht verklebt wird

Sanierung: Hochlochziegel porosiert mit WDVS, Ziegeldach mit Aufsparrendämmung und Vordach



① *Nur im Traufenbereich: Auflager für Sichtsparren des Vordachs*

② *Kompriband umlaufend um Sparren*

③ *Flacheisen verbunden mit Mauerbank*

Dachaufbau				
Dachziegel			*2*	*cm*
Lattung			*3*	*cm*
Konterlattung			*4*	*cm*
PE-Dachauflegebahn diffusionsoffen			*0,2*	*cm*
Unterdachplatte – Holzfaser			*2,2*	*cm*
Holzfaserdämmung, Aufschieblinge			*30*	*cm*
Dampfbremse			*0,2*	*cm*
Holzschalung			*2,4*	*cm*
Glaswolle, Sparren 16/8			*16*	*cm*
Holzwolleleichtbauplatte magnesitgebunden (Heraklith)			*5*	*cm*
Putz			*1,5*	*cm*
U-Wert	0,11	[W/m²K]	Σ 66,5	cm

Deckenaufbau				
Bodenbelag			*2*	*cm*
Zementestrich			*5*	*cm*
PE-Folie/ Trennlage			*0,2*	*cm*
EPS – Polystryrol expandiert			*4*	*cm*
Aufbeton			*4*	*cm*
Ziegel, Stahlbeton			*20*	*cm*
U-Wert	0,63	[W/m²K]	Σ 35,2	cm

Wandaufbau				
Kalkzementputz			*0,6*	*cm*
EPS - Polystyrol expandiert			*30*	*cm*
Kalkzementputz			*1,5*	*cm*
EPS - Polystyrol expandiert			*30*	*cm*
Kalkzementputz			*1,5*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ 63,6	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,047*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,95*	*-*

Eignung:

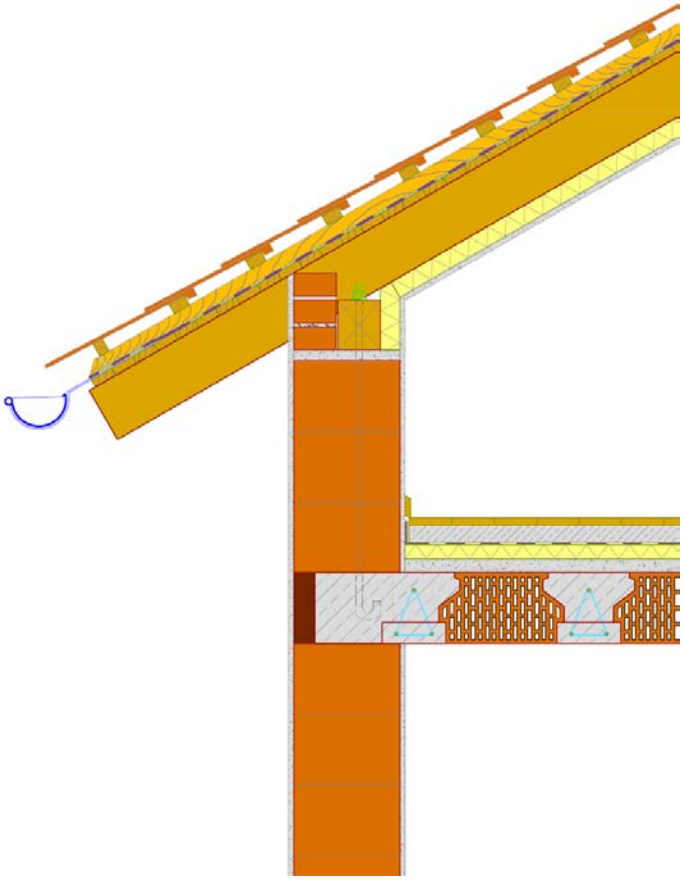
- Für statisch ausreichend dimensionierte Dächer

Ausführungshinweise:

- Abdeckung Dach, Dämmung Luftraum zwischen Bestandssparren, Montage Schalung. Dampfbremse wird mit Bestandsaußenputz Wand luftdicht verklebt.
- Befestigung Montageholz im Traufenbereich, Montage Aufschieblinge im Randbereich für großzügig dimensioniertes Vordach wie im Bestand, Versetzung Aufsparrendämmung, Holzfaserplatte und Windsperre
- Oberste Lage Dämmplatten vollflächig verkleben, um eine Dampfentspannung Trennschicht Bestandsputz – Dämmplatten nach oben sicher auszuschließen

4.4.7.2 Hochlochziegel porosiert mit WDVS, Ziegeldach mit teilvorgefertigter Holzkonstruktion, Traufe

Bestand: Hochlochziegel porosiert, Ziegeldach verputzt



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung				*3*	*cm*
Konterlattung				*4*	*cm*
Bitumenbahn				*0,5*	*cm*
Schalung				*2,4*	*cm*
Luft, Sparren 16/8				*16*	*cm*
Holzwolleleichtbauplatte magnesitgebunden (Heraklith)				*5*	*cm*
Putz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,87	[W/m²K]	Σ	34,4	cm

Deckenaufbau					
Bodenbelag				*2*	*cm*
Zementestrich				*5*	*cm*
PE-Folie/ Trennlage				*0,2*	*cm*
EPS – Polystryrol expandiert				*4*	*cm*
Aufbeton				*4*	*cm*
Ziegel, Stahlbeton				*20*	*cm*
U-Wert	0,63	[W/m²K]	Σ	35,2	cm

Wandaufbau					
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
Hochlochziegel				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,94	[W/m²K]	Σ	33,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,116*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,69*	-

Charakterisierung Bestand:

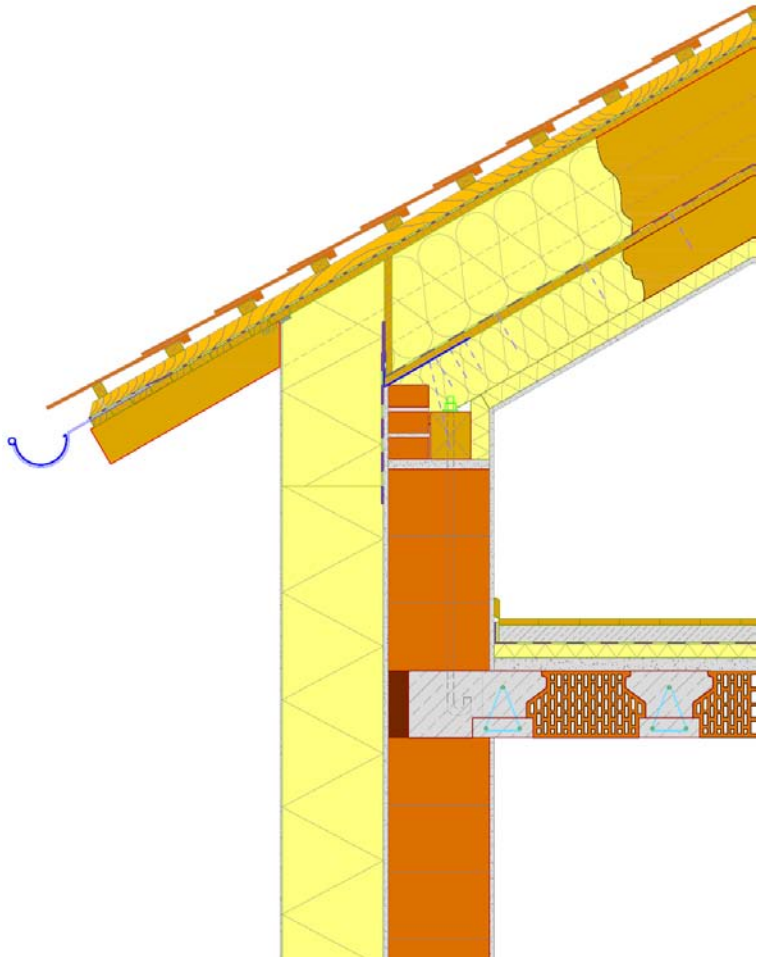
- Dachsparren statisch ausreichend?

Sanierung Hochlochziegel porosiert mit WDVS, Ziegeldach mit teilvorgefertigter Holzkonstruktion

Beschreibung :

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch ein Wärmedämmverbundsystem
- Das Dach wird von außen geöffnet, die Ebene zwischen den Sparren ausgedämmt, darüber wird eine teil-vorgefertige, ausgedämmte Holzkonstruktion montiert und bauseits geschlossen
- Die luftdichte Ebene ist der Außenputz, der mit der Dampfbremse im Dach strömungsdicht verklebt wird

Sanierung: Hochlochziegel porosiert mit WDVS, Ziegeldach mit teilvorgefertigter Holzkonstruktion



Dachaufbau		
Dachziegel	*2*	*cm*
Lattung	*3*	*cm*
Konterlattung	*4*	*cm*
PE-Dachauflegebahn diffusionsoffen	*0,2*	*cm*
Unterdachplatte – Holzfaser	*2,2*	*cm*
Glaswolle, Boxträger	*30*	*cm*
Dampfbremse	*0,2*	*cm*
OSB	*2,4*	*cm*
Glaswolle, Sparren 16/8	*16*	*cm*
Holzwolleleichtbauplatte magnesitgebunden (Heraklith)	*5*	*cm*
Putz	*1,5*	*cm*
U-Wert 0,10 [W/m²K]	Σ 66,5	cm

Deckenaufbau		
Bodenbelag	*2*	*cm*
Zementestrich	*5*	*cm*
PE-Folie/ Trennlage	*0,2*	*cm*
EPS – Polystryrol expandiert	*4*	*cm*
Aufbeton	*4*	*cm*
Ziegel, Stahlbeton	*20*	*cm*
U-Wert 0,63 [W/m²K]	Σ 35,2	cm

Wandaufbau		
Kalkzementputz	*0,6*	*cm*
EPS - Polystyrol expandiert	*30*	*cm*
Kalkzementputz	*1,5*	*cm*
EPS - Polystyrol expandiert	*30*	*cm*
Kalkzementputz	*1,5*	*cm*
U-Wert 0,12 [W/m²K]	Σ 63,6	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,040*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,95*	-

Eignung:

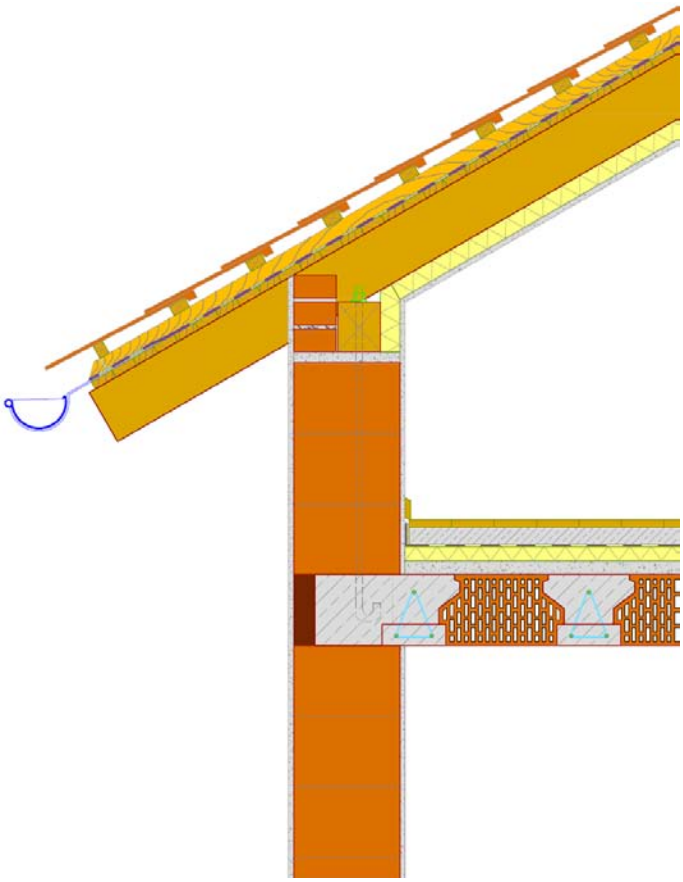
- Für statisch ausreichend dimensionierte Dächer

Ausführungshinweise:

- Abdeckung Dach, Dämmung Luftraum zwischen Bestandssparren, Versetzung Fertigteile, die nach oben offen sind für Montage. Schließen mit Holzfaserunterdachplatte und diffusionsoffener Dachauflegebahn
- Oberer Sparren des Boxträgers wird für Vordach nach außen geführt, auch für stark ausladende Vordächer geeignet
- Dampfbremse wird mit Bestandsaußenputz Wand luftdicht verklebt.
- Oberste Lage Dämmplatten vollflächig verkleben, um eine Dampfentspannung Trennschicht Bestandsputz – Dämmplatten nach oben sicher auszuschließen

4.4.7.3 Hochlochziegel porosiert, gedämmt mit vorgefertigter Holzkonstruktion, Ziegeldach mit Holzfertigteilen, Traufe

Bestand: Hochlochziegel porosiert, Ziegeldach verputzt



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung				*3*	*cm*
Konterlattung				*4*	*cm*
Bitumenbahn				*0,5*	*cm*
Schalung				*2,4*	*cm*
Luft, Sparren 16/8				*16*	*cm*
Holzwolleleichtbauplatte magnesitgebunden (Heraklith)				*5*	*cm*
Putz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,87	[W/m²K]	Σ	34,4	cm

Deckenaufbau					
Bodenbelag				*2*	*cm*
Zementestrich				*5*	*cm*
PE-Folie/ Trennlage				*0,2*	*cm*
EPS – Polystryrol expandiert				*4*	*cm*
Aufbeton				*4*	*cm*
Ziegel, Stahlbeton				*20*	*cm*
U-Wert	0,63	[W/m²K]	Σ	35,2	cm

Wandaufbau					
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
Hochlochziegel				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,94	[W/m²K]	Σ	33,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,116*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,69*	-

Charakterisierung Bestand:

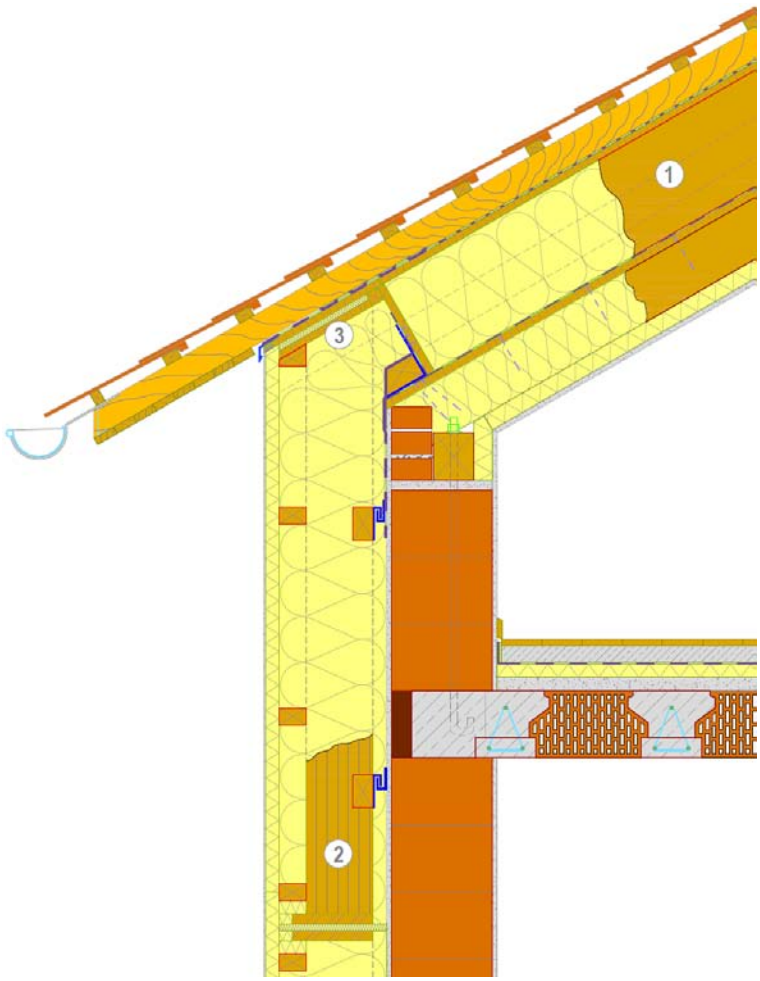
- Dachsparren statisch ausreichend?

Sanierung Hochlochziegel porosiert, gedämmt mit vorgefertigter Holzkonstruktion, Ziegeldach mit Holzfertigteilen, Traufe

Beschreibung :

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt über eine vorgefertige Holzkonstruktion, die bauseits mit Zellulose ausgeblasen wird
- Das Dach wird von außen geöffnet, die Ebene zwischen den Sparren ausgedämmt, darüber wird eine vorgefertige, ausgedämmte Holzkonstruktion montiert
- Die luftdichte Ebene ist der Außenputz, der mit der Dampfbremse im Dach strömungsdicht verklebt wird

Sanierung: Hochlochziegel porosiert, gedämmt mit vorgefertigter Holzkonstruktion, Ziegeldach mit Holzfertigteilen



Dachaufbau				
Dachziegel			*2*	*cm*
Lattung			*3*	*cm*
Konterlattung			*8*	*cm*
PE-Dachauflegebahn diffusionsoffen			*0,2*	*cm*
Unterdachplatte – Holzfaser			*2,2*	*cm*
Glaswolle, Boxträger			*30*	*cm*
Dampfbremse			*0,2*	*cm*
OSB			*2,4*	*cm*
Glaswolle, Sparren 16/8			*16*	*cm*
Holzwolleleichtbauplatte magnesitgebunden (Heraklith)			*5*	*cm*
Putz			*1,5*	*cm*
U-Wert	0,09	[W/m²K]	Σ 70,5	cm

Deckenaufbau				
Bodenbelag			*2*	*cm*
Zementestrich			*5*	*cm*
PE-Folie/ Trennlage			*0,2*	*cm*
EPS – Polystryrol expandiert			*4*	*cm*
Aufbeton			*4*	*cm*
Ziegel, Stahlbeton			*20*	*cm*
U-Wert	0,63	[W/m²K]	Σ 35,2	cm

Wandaufbau				
Außenputz			*0,6*	*cm*
Holzfaserplatte			*4*	*cm*
Zellulose, Pfosten, Pfostenmontage-system und Konstruktionsvollholz			*32*	*cm*
Kalkzementputz			*1,5*	*cm*
Hochlochziegel			*30*	*cm*
Kalkzementputz			*1,5*	*cm*
U-Wert	0,10	[W/m²K]	Σ 69,6	cm

① *Boxträger Dachelement als Fertigteil*
② *Konstruktionsvollholzstaffel*
③ *Komprimierte Dämmung*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,035*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,95*	*-*

Eignung:

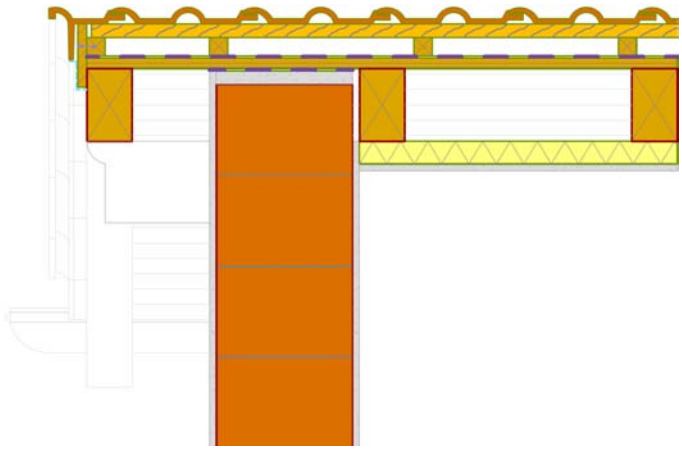
- Für statisch ausreichend dimensionierte Dächer

Ausführungshinweise:

- Abdeckung Dach, Dämmung Luftraum zwischen Bestandssparren, Versetzung Dach-Holzfertigteile
- Das Vordach wird über eine ausreichend dimensionierte Konterlattung hergestellt
- Dampfbremse wird mit Bestandsaußenputz Wand luftdicht verklebt
- Versetzung vorgefertigte Wandbauteile, Ausflocken mit Zellulose

4.4.7.4 Hochlochziegel porosiert mit WDVS, Ziegeldach mit Aufsparrendämmung und Vordach, Ortgang

Bestand: Hochlochziegel porosiert, Ziegeldach verputzt



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung				*3*	*cm*
Konterlattung				*4*	*cm*
Bitumenbahn				*0,5*	*cm*
Schalung				*2,4*	*cm*
Luft, Sparren 16/8				*16*	*cm*
Holzwolleleichtbauplatte magnesitgebunden (Heraklith)				*5*	*cm*
Putz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,87	[W/m²K]	Σ	34,4	cm

Wandaufbau					
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
Hochlochziegel				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,94	[W/m²K]	Σ	33,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,330*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,74*	-

Charakterisierung Bestand:

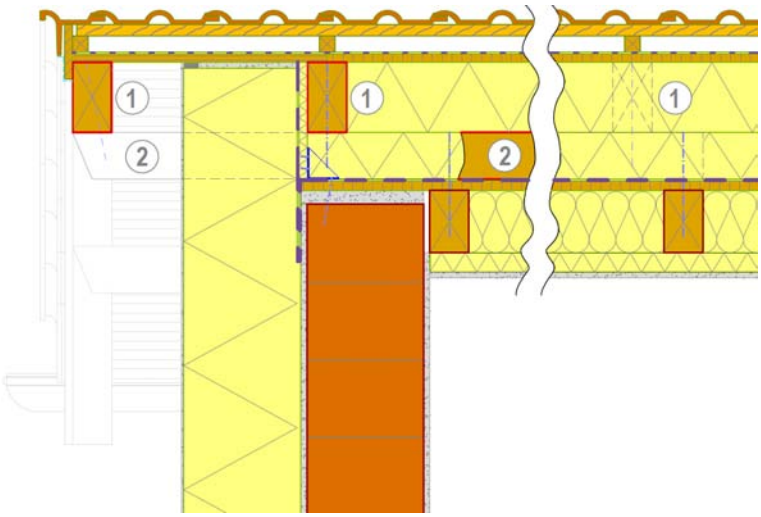
- Dachsparren statisch ausreichend?

Sanierung Hochlochziegel porosiert mit WDVS, Ziegeldach mit Aufsparrendämmung und Vordach

Beschreibung :

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch ein Wärmedämmverbundsystem
- Das Dach wird von außen geöffnet, die Ebene zwischen den Sparren wird ausgedämmt, darüber wird eine Aufsparrendämmung ausgeführt
- Die luftdichte Ebene ist der Außenputz, der mit der Dampfbremse im Dach strömungsdicht verklebt wird

Sanierung: Hochlochziegel porosiert mit WDVS, Ziegeldach mit Aufsparrendämmung und Vordach



Dachaufbau		
Dachziegel	*2*	*cm*
Lattung	*3*	*cm*
Konterlattung	*4*	*cm*
PE-Dachauflegebahn diffusionsoffen	*0,2*	*cm*
Unterdachplatte – Holzfaser	*2,2*	*cm*
Holzfaserdämmung, Aufschieblinge	*30*	*cm*
Dampfbremse	*0,2*	*cm*
Holzschalung	*2,4*	*cm*
Glaswolle, Sparren 16/8	*16*	*cm*
Holzwolleleichtbauplatte magnesitgebunden (Heraklith)	*5*	*cm*
Putz	*1,5*	*cm*
U-Wert 0,11 [W/m²K]	Σ 66,5	cm

Wandaufbau		
Kalkzementputz	*0,6*	*cm*
EPS - Polystyrol expandiert	*30*	*cm*
Kalkzementputz	*1,5*	*cm*
EPS - Polystyrol expandiert	*30*	*cm*
Kalkzementputz	*1,5*	*cm*
U-Wert 0,12 [W/m²K]	Σ 63,6	cm

① *Aufschieblinge (Sparren)*

② *Auflager für Sichtsparren des Vordachs*

2-dimensionaler Kennwert		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,042*	*W/mK*
3-dimensionale Kennwerte		
X-Wert innen / außen	*0,005*	*W/K*
f_{RSi}	*0,89*	*-*

Eignung:

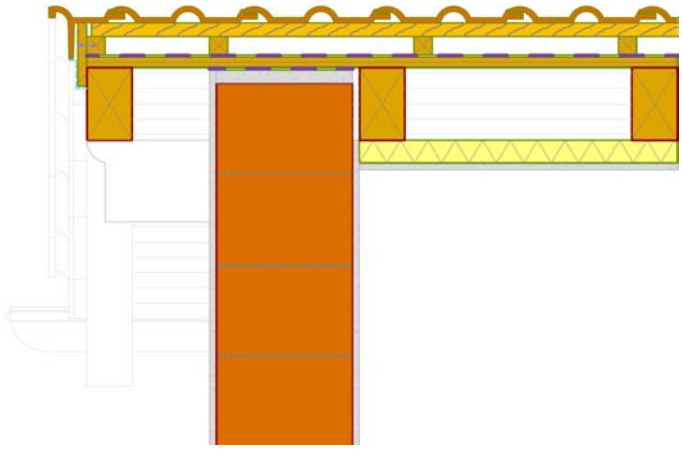
- Für statisch ausreichend dimensionierte Dächer

Ausführungshinweise:

- Abdeckung Dach, Dämmung Luftraum zwischen Bestandssparren, Montage Schalung. Dampfbremse wird mit Bestandsaußenputz Wand luftdicht verklebt.
- Befestigung Montageholz im Traufenbereich, Montage Aufschieblinge im Randbereich für großzügig dimensioniertes Vordach wie im Bestand, Versetzung Aufsparrendämmung, Holzfaserplatte und Windsperre
- Oberste Lage Dämmplatten vollflächig verkleben, um eine Dampfentspannung Trennschicht Bestandsputz – Dämmplatten nach oben sicher auszuschließen

4.4.7.5 Hochlochziegel porosiert mit WDVS, Ziegeldach mit teilvorgefertigter Holzkonstruktion, Ortgang

Bestand: Hochlochziegel porosiert, Ziegeldach verputzt



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung				*3*	*cm*
Konterlattung				*4*	*cm*
Bitumenbahn				*0,5*	*cm*
Schalung				*2,4*	*cm*
Luft, Sparren 16/8				*16*	*cm*
Holzwolleleichtbauplatte magnesitgebunden (Heraklith)				*5*	*cm*
Putz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,92	[W/m²K]	Σ	34,4	cm

Wandaufbau					
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
Hochlochziegel				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,94	[W/m²K]	Σ	33,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,330*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,74*	*-*

Charakterisierung Bestand:

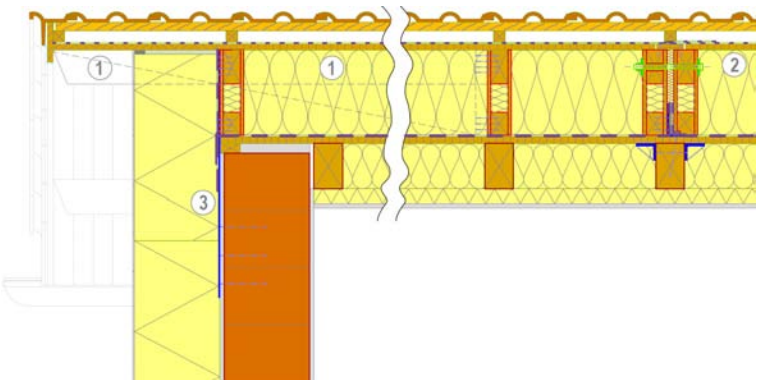
- Dachsparren statisch ausreichend?

Sanierung Hochlochziegel porosiert mit WDVS, Ziegeldach mit teilvorgefertigter Holzkonstruktion

Beschreibung :

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch ein Wärmedämmverbundsystem
- Das Dach wird von außen geöffnet, die Ebene zwischen den Sparren ausgedämmt, darüber wird eine teilvorgefertige, ausgedämmte Holzkonstruktion montiert und bauseits geschlossen
- Die luftdichte Ebene ist der Außenputz, der mit der Dampfbremse im Dach strömungsdicht verklebt wird

Sanierung: Hochlochziegel porosiert mit WDVS, Ziegeldach mit teilvorgefertigter Holzkonstruktion



Dachaufbau				
Dachziegel			*2*	*cm*
Lattung			*3*	*cm*
Konterlattung			*4*	*cm*
PE-Dachauflegebahn diffusionsoffen			*0,2*	*cm*
Unterdachplatte – Holzfaser			*2,2*	*cm*
Glaswolle, Boxträger			*30*	*cm*
Dampfbremse			*0,2*	*cm*
OSB			*2,4*	*cm*
Glaswolle, Sparren 16/8			*16*	*cm*
Holzwolleleichtbauplatte magnesitgebunden (Heraklith)			*5*	*cm*
Putz			*1,5*	*cm*
U-Wert	0,10	[W/m²K]	Σ 66,5	cm

Wandaufbau				
Kalkzementputz			*0,6*	*cm*
EPS - Polystyrol expandiert			*30*	*cm*
Kalkzementputz			*1,5*	*cm*
EPS - Polystyrol expandiert			*30*	*cm*
Kalkzementputz			*1,5*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ 63,6	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen – Ecke	*-0,043*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / außen - Boxträger	*0,010*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / außen - Elementstoss	*0,021*	*W/mK*
3-dimensionale Kennwerte		
X-Wert innen / außen - Ecke	*0,017*	*W/K*
f_{RSi} - Ecke	*0,89*	*-*
f_{RSi} - Boxträger	*0,97*	*-*
f_{RSi} - Elementstoss	*0,96*	*-*

Eignung:

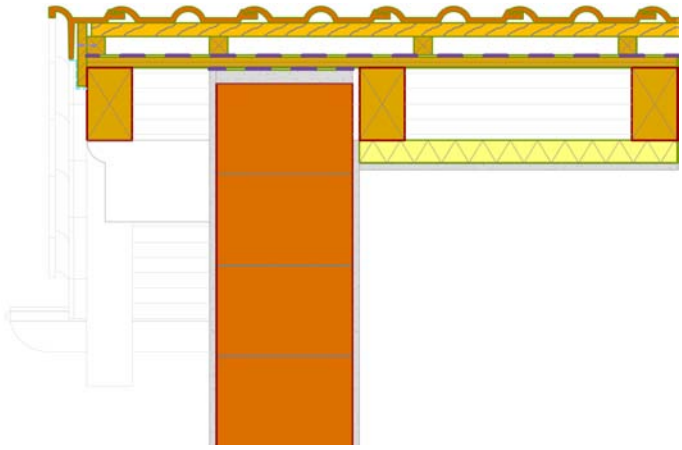
- Für statisch ausreichend dimensionierte Dächer

Ausführungshinweise:

- Abdeckung Dach, Dämmung Luftraum zwischen Bestandssparren, Versetzung Fertigteile, die nach oben offen sind für Montage. Schließen mit Holzfaserunterdachplatte und diffusionsoffener Dachauflegebahn.
- Oberer Sparren des Boxträgers wird für Vordach nach außen geführt, auch für stark ausladende Vordächer geeignet.
- Dampfbremse wird mit Bestandsaußenputz Wand luftdicht verklebt.
- Oberste Lage Dämmplatten vollflächig verkleben, um eine Dampfentspannung Trennschicht Bestandsputz – Dämmplatten nach oben sicher auszuschließen.

4.4.7.6 Hochlochziegel porosiert mit WDVS, Ziegeldach mit teilvorgefertigter Holzkonstruktion, Ortgang, Variante

Bestand: Hochlochziegel porosiert, Ziegeldach verputzt



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung				*3*	*cm*
Konterlattung				*4*	*cm*
Bitumenbahn				*0,5*	*cm*
Schalung				*2,4*	*cm*
Luft, Sparren 16/8				*16*	*cm*
Holzwolleleichtbauplatte magnesitgebunden (Heraklith)				*5*	*cm*
Putz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,92	[W/m²K]	Σ	34,4	cm

Wandaufbau					
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
Hochlochziegel				*30,0*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,94	[W/m²K]	Σ	33,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,330*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,74*	-

Charakterisierung Bestand:

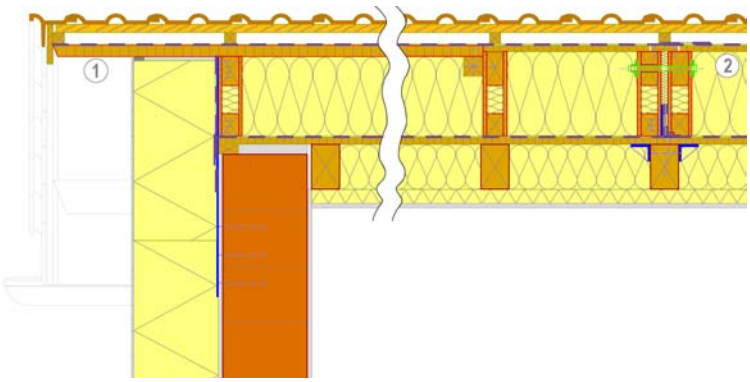
- Dachsparren statisch ausreichend?

Sanierung Hochlochziegel porosiert mit WDVS, Ziegeldach mit teilvorgefertigter Holzkonstruktion, Variante

Beschreibung :

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch ein Wärmedämmverbundsystem
- Das Dach wird von außen geöffnet, die Ebene zwischen den Sparren ausgedämmt, darüber wird eine teil-vorgefertige, ausgedämmte Holzkonstruktion montiert und bauseits geschlossen
- Das Vordach wir mittels Mehrschicht-Massivholzplatte ausgeführt
- Die luftdichte Ebene ist der Außenputz, der mit der Dampfbremse im Dach strömungsdicht verklebt wird.

Sanierung: Hochlochziegel porosiert mit WDVS, Ziegeldach mit teilvorgefertigter Holzkonstruktion, Variante



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung				*3*	*cm*
Konterlattung				*4*	*cm*
PE-Dachauflegebahn diffusionsoffen				*0,2*	*cm*
Unterdachplatte – Holzfaser				*2,2*	*cm*
Glaswolle, Boxträger				*30*	*cm*
Dampfbremse				*0,2*	*cm*
OSB				*2,4*	*cm*
Glaswolle, Sparren 16/8				*16*	*cm*
Holzwolleleichtbauplatte magnesitgebunden (Heraklith)				*5*	*cm*
Putz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,10	[W/m²K]	Σ	66,5	cm

Wandaufbau					
Kalkzementputz				*0,6*	*cm*
EPS - Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
EPS - Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ	63,6	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen – Ecke	*-0,034*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / außen - Boxträger	*0,010*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / außen - Elementstoss	*0,021*	*W/mK*
3-dimensionale Kennwerte		
X-Wert innen / außen - Ecke	*0,011*	*W/K*
f_{RSi} *- Ecke*	*0,89*	*-*
f_{RSi} *- Boxträger*	*0,97*	*-*
f_{RSi} *- Elementstoss*	*0,96*	*-*

Eignung:

- Für statisch ausreichend dimensionierte Dächer

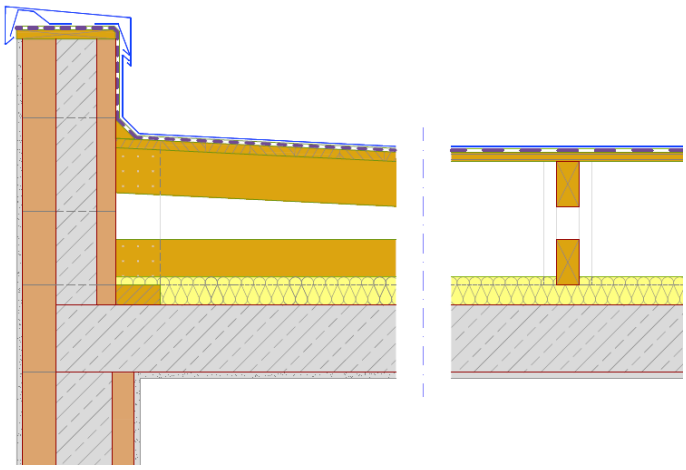
Ausführungshinweise:

- Abdeckung Dach, Dämmung Luftraum zwischen Bestandssparren, Versetzung Fertigteile, die nach oben offen sind für Montage. Schließen mit Holzfaserunterdachplatte und diffusionsoffener Dachauflegebahn.
- Oberer Sparren des Boxträgers wird für Vordach nach außen geführt, auch für stark ausladende Vordächer geeignet
- Dampfbremse wird mit Bestandsaußenputz Wand luftdicht verklebt
- Oberste Lage Dämmplatten vollflächig verkleben, um eine Dampfentspannung Trennschicht Bestandsputz – Dämmplatten nach oben sicher auszuschließen

4.4.8 Attika: Außenwand – Dach beheizt

4.4.8.1 Holzspanbetonsteine mit WDVS, Stahlbetondach zu Terrasse Holzrost

Bestand: AW-Holzspanbetonsteine, Flach-Blechdach auf Nagelbinder



Dachaufbau					
Blecheindeckung				*0,2*	*cm*
Abdichtung, 3-lagig				*1*	*cm*
Schalung				*2,4*	*cm*
Dachstuhl, Luftraum, Nagelbinder				*~40*	*cm*
Glaswolle, Balken				*7,5*	*cm*
Stahlbetondecke				*18*	*cm*
Gipsputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,47	[W/m²K]	Σ	70,6	cm

Wandaufbau					
Kalkzement-Außenputz				*2,5*	*cm*
Holzspanteil				*9*	*cm*
Beton				*15*	*cm*
Holzspanteil				*6*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,75	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,131*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,65*	-

Charakterisierung Bestand:

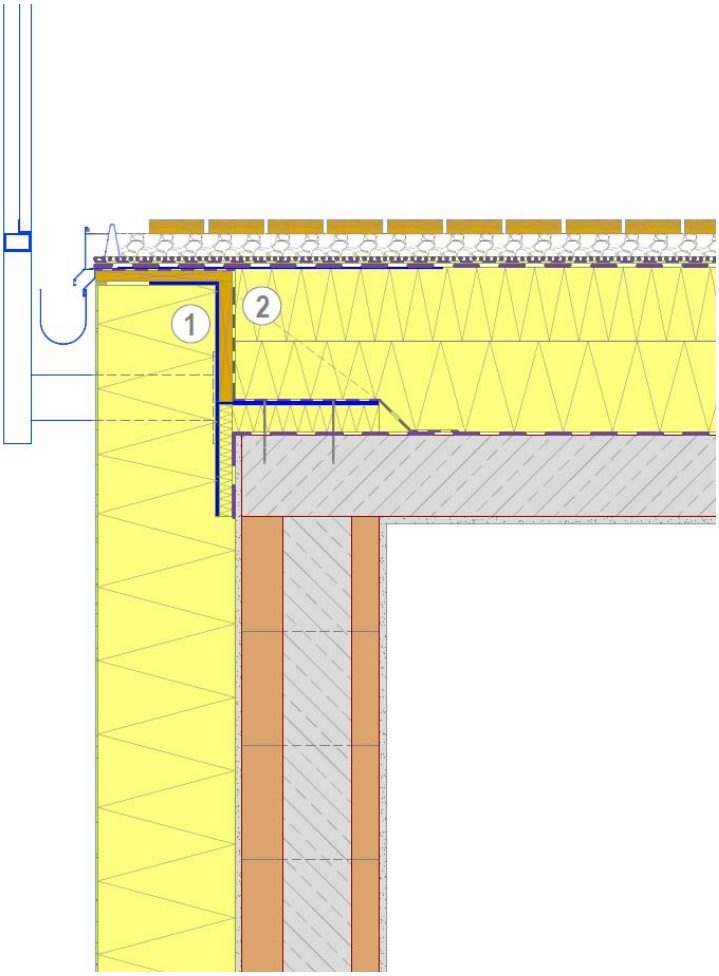
- Holzkonstruktion Dach weiterverwendbar?
- Stahlbetondecke strömungsdicht?

Sanierung Holzspanbetonsteine mit WDVS, Stahlbetondach zu Terrasse Holzrost

Beschreibung:

- Die Attika und die Holzkonstruktion Dach wird abgetragen
- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch ein Wärmedämmverbundsystem
- Die Decke wird mit einem Warmdachaufbau saniert, das Geländer wird möglichst außenseitig geführt, um die Terrassenfläche möglichst groß zu belassen
- Luftdichte Ebene ist der Bestands-Außenputz, die bituminöse Dampfsperre auf der Rohdecke wird mit diesem strömungsdicht verbunden

Sanierung: Holzspanbetonsteine mit WDVS, Stahlbetondach zu Terrasse Holzrost



Dachaufbau					
Holzrost				*4*	*cm*
Kies, dazwischen Polsterhölzer				*6*	*cm*
Vlies (PP)				*0,5*	*cm*
Polymerbitumen-Dichtungsbahn				*0,2*	*cm*
Dampfdruck-Ausgleichsschicht				*0,2*	*cm*
Polystyrol expandiert (EPS) - W25 Dämmplatte				*36*	*cm*
Alu-Bitumendichtungsbahn				*0,3*	*cm*
Dampfdruck-Ausgleichsschicht				*0,2*	*cm*
Stahlbetondecke				*18*	*cm*
Gipsputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,10	[W/m²K]	Σ	66,9	cm

Wandaufbau					
Silikatputz				*0,6*	*cm*
EPS - Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkzement-Außenputz				*2,5*	*cm*
Holzspanteil				*9*	*cm*
Beton				*15*	*cm*
Holzspanteil				*6*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,11	[W/m²K]	Σ	64,6	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,048*	*W/mK*
3-dimensionale Kennwerte		
X-Wert innen / außen	*0,033*	*W/K*
f_{RSi} - Ecke	*0,92*	*-*

Eignung:

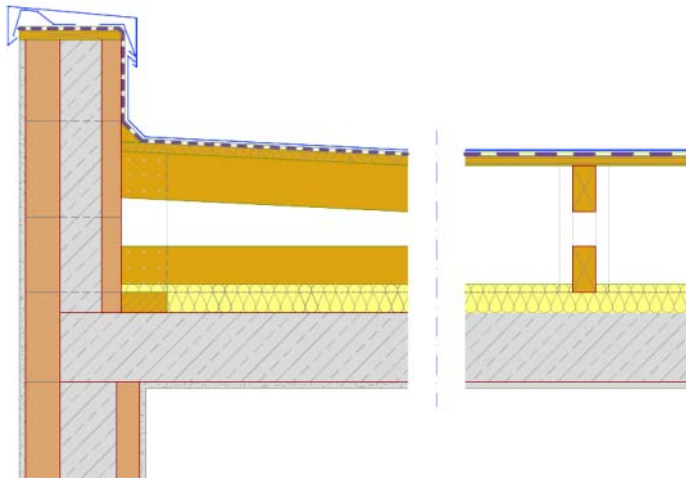
- Wenn Rohdecke statisch geeignet

Ausführungshinweise:

- Dachaufbau entfernen, Attika bis auf Niveau Oberkante Rohdecke entfernen
- Außenputz Außenwand reinigen, fehlende Teile ausbessern. Der Außenputz stellt die luftdichte Ebene dar. An Betonrost anschließen.
- Bituminöse Dampfbremse / Notabdichtung verlegen, wenn erforderlich, davor Ausgleichsschicht aufbringen. An Außenputz strömungsdicht anschließen.
- Geländer auf druckfester thermischer Entkopplung aus Purenit befestigen
- Dämmplatten im Bereich Betonrost vollflächig verkleben, um eine Dampfentspannung Trennschicht Bestandsputz – Dämmplatten nach oben sicher auszuschließen
- Lochblech im äußeren Bereich unter Abdichtung verlegen, um stehendes Wasser im Anschlussbereich EPS-platten zu Holzbrett sicher zu vermeiden.

4.4.8.2 Holzspanbetonsteine mit WDVS, Flachdachdämmung mit Glaswolle unter dampfentspanntem Blechdach

Bestand: AW-Holzspanbetonsteine, Blechdach auf Nagelbinder



Dachaufbau					
Blecheindeckung				*0,2*	*cm*
Abdichtung, 3-lagig				*1*	*cm*
Schalung				*2,4*	*cm*
Dachstuhl, Luftraum, Nagelbinder				*~40*	*cm*
Glaswolle, Balken				*7,5*	*cm*
Stahlbetondecke				*18*	*cm*
Gipsputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,47	[W/m²K]	Σ	70,6	cm

Wandaufbau					
Kalkzement-Außenputz				*2,5*	*cm*
Holzspanteil				*9*	*cm*
Beton				*15*	*cm*
Holzspanteil				*6*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,75	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,131*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,65*	-

Charakterisierung Bestand:

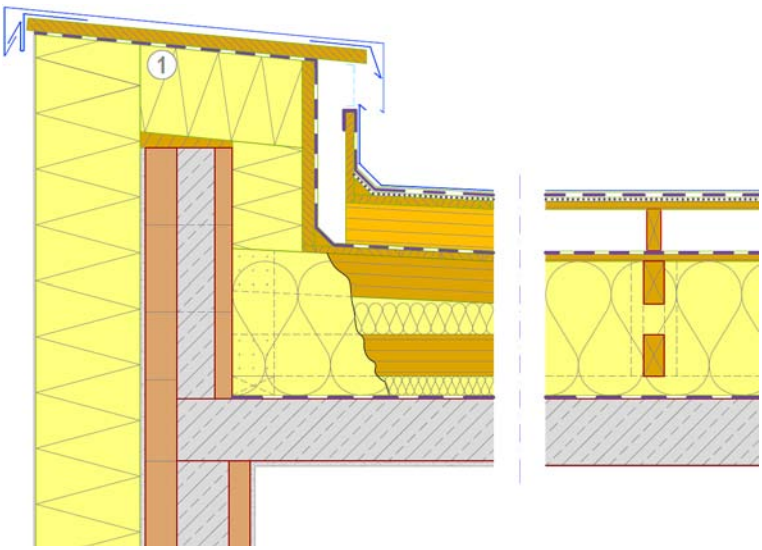
- Holzkonstruktion Dach weiterverwendbar?
- Stahlbetondecke strömungsdicht?

Sanierung Holzspanbetonsteine mit WDVS, Stahlbetondach zu Terrasse Holzrost

Beschreibung:

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch ein Wärmedämmverbundsystem
- Die Holzkonstruktion des Daches wird erhalten, partiell geöffnet und ausgedämmt. Das Blechdach wird durch eine dampfentspannte/hinterlüftete Abdichtung ersetzt.
- Luftdichte Ebene ist der Bestands-Außenputz, die bituminöse Dampfsperre auf der Rohdecke wird mit diesem strömungsdicht verbunden

Sanierung: Holzspanbetonsteine mit WDVS, Flachdachdämmung mit Glaswolle unter dampfentspannten Blechdach



Dachaufbau		
Blecheindeckung	*0,2*	*cm*
PE-Dichtungsbahn	*1,8*	*cm*
Vlies (PP)	*0,2*	*cm*
Hinterlüftung, Latten 4/12	*12*	*cm*
Abdichtung	*0,2*	*cm*
Schalung	*2,4*	*cm*
Glaswolle, Doppel-T-Träger (Holz-Gurt + OSB-Träger)	*40*	*cm*
Dampfdruck-Ausgleichsschicht	*0,2*	*cm*
Stahlbetondecke	*18*	*cm*
Gipsputz	*1,5*	*cm*
U-Wert 0,12 [W/m²K]	Σ 76,5	cm

Wandaufbau		
Silikatputz	*0,6*	*cm*
EPS - Polystyrol expandiert	*30*	*cm*
Kalkzement-Außenputz	*2,5*	*cm*
Holzspanteil	*9*	*cm*
Beton	*15*	*cm*
Holzspanteil	*6*	*cm*
Kalkzementputz	*1,5*	*cm*
U-Wert 0,11 [W/m²K]	Σ 64,6	cm

2-dimensionalr Kennwert		
Ψ-Wert innen / außen	*0,020*	*W/mK*
3-dimensionale Kennwerte		
X-Wert innen / außen	*0,038*	*W/K*
f_{RSi}	*0,91*	*-*

Eignung:

- Holzkonstruktion Dach weiterverwendbar?
- Stahlbetondecke strömungsdicht?

Ausführungshinweise:

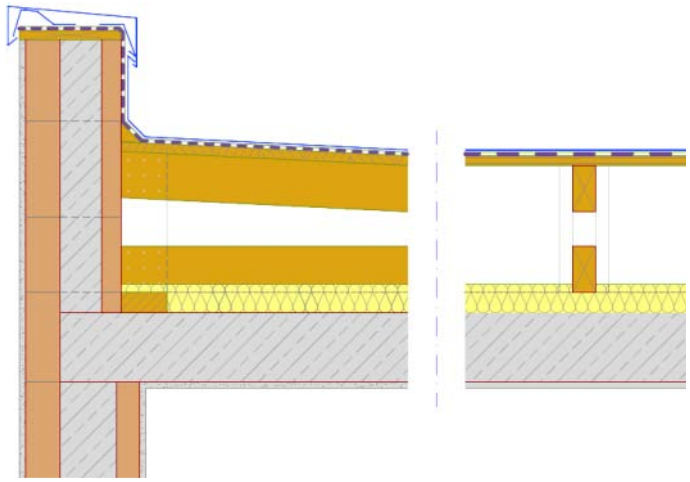
- Blechdach entfernen, Holzschalung in Teilen öffnen.
- Außenputz Außenwand reinigen, fehlende Teile ausbessern. Der Außenputz stellt die luftdichte vertikale Ebene dar. Über Attika bis Oberkante Holzschalung grob verputzen.
- Bestehende Wärmedämmung belassen wenn möglich, Zwischenraum mit Faserdämmstoff ausdämmen, Öffnungen wieder schließen, Holzkonstruktion um Attika befestigen und mit Steinwolle ausdämmen
- Diffusionsoffene Dachauflegebahn verlegen, Stöße verschweißen
- Konterlattung verlegen, Holzschalung annageln, Dachabdichtung und Verblechung ausführen
- Dämmplatten im Bereich Attika vollflächig verkleben, um eine Dampfentspannung Trennschicht Bestands-putz – Dämmplatten nach oben sicher auszuschließen

Diskussion:

Alternativ Attika abtragen und Leichtbauattika ausführen.

4.4.8.3 Holzspanbetonwand mit Zellulose zwischen Holzkonstruktion hinterlüftet, Flachdach mit Duo-Dachdämmung

Bestand: AW-Holzspanbetonsteine, Blechdach auf Nagelbinder



Dachaufbau					
Blecheindeckung				*0,2*	*cm*
Abdichtung, 3-lagig				*1*	*cm*
Schalung				*2,4*	*cm*
Dachstuhl, Luftraum, Nagelbinder				*~40*	*cm*
Glaswolle, Balken				*7,5*	*cm*
Stahlbetondecke				*18*	*cm*
Gipsputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,47	[W/m²K]	Σ	70,6	cm

Wandaufbau					
Kalkzement-Außenputz				*2,5*	*cm*
Holzspanteil				*9*	*cm*
Beton				*15*	*cm*
Holzspanteil				*6*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,75	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,131*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,65*	*-*

Charakterisierung Bestand:

- Holzkonstruktion Dach weiterverwendbar?
- Stahlbetondecke strömungsdicht?

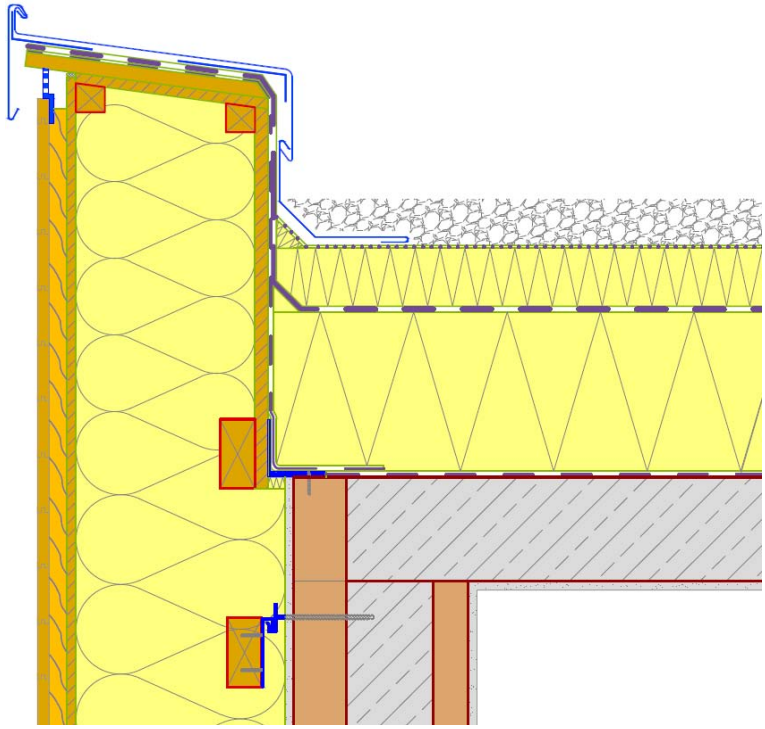
•

Sanierung Holzspanbetonwand mit Zellulose zwischen Holzkonstruktion hinterlüftet, Flachdach mit Duo-dach-Dämmung

Beschreibung :

- Attika und Holzkonstruktion Dach werden abgetragen
- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch eine vorgefertigte Holzkonstruktion, die bauseits mit Zellulosedämmung ausgeblasen wird
- Das Dach wird mit einem Duodach saniert

Sanierung: Holzspanbetonwand mit Zellulose zwischen Holzkonstruktion hinterlüftet, Flachdach mit Duodach-Dämmung



Dachaufbau					
Kies				*8*	*cm*
Vlies (PP)				*0,2*	*cm*
Polystyrol extrudiert CO2-geschäumt (XPS)				*10*	*cm*
Polymerbitumen-Dichtungsbahn				*0,2*	*cm*
Dampfdruck-Ausgleichsschicht				*0,2*	*cm*
Polystyrol expandiert (EPS)-W25-Dämmplatte				*28*	*cm*
Alu-Bitumendichtungsbahn				*0,3*	*cm*
Dampfdruck-Ausgleichsschicht				*0,2*	*cm*
Stahlbetondecke				*18*	*cm*
Gipsputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,09	[W/m²K]	Σ	66,6	cm

Wandaufbau					
Lärchenfassade				*2*	*cm*
Lattung, Hinterlüftung				*3*	*cm*
MDF-Platte NF, imprägniert				*1,6*	*cm*
Zellulosefaserflocken zwischen Holzriegel				*36*	*cm*
Kalkzement-Außenputz				*2,5*	*cm*
Holzspanteil				*9*	*cm*
Beton				*15*	*cm*
Holzspanteil				*6*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,10	[W/m²K]	Σ	76,6	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,046*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,94*	*-*

Eignung:

- Wenn Rohbaudecke geeignet

Ausführungshinweise:

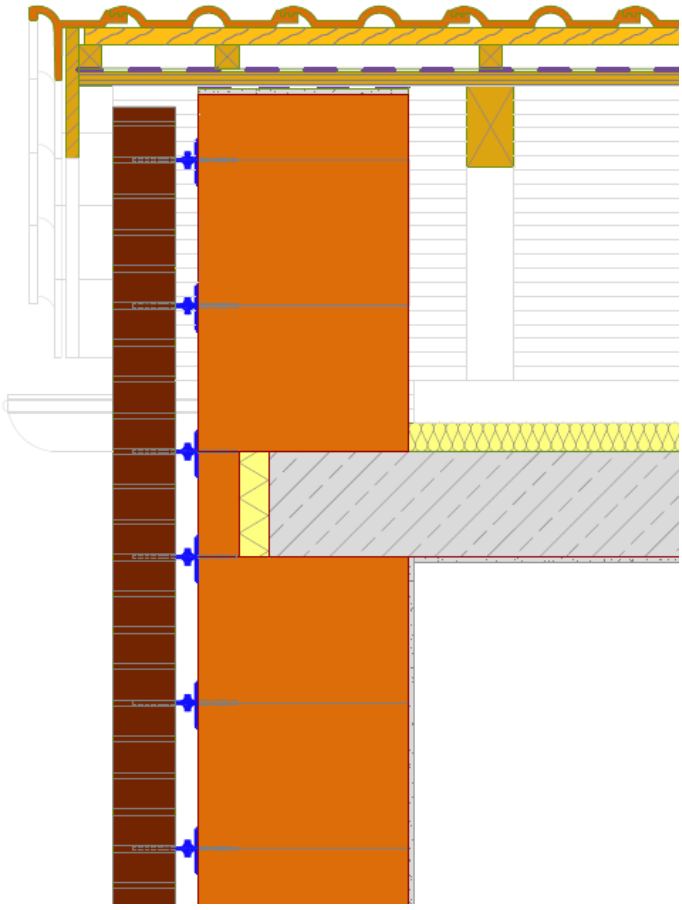
- Außenputz Außenwand reinigen, fehlende Teile ausbessern. Der Außenputz stellt die luftdichte Ebene dar. Mit Klebeband an Betonrost luftdicht anschließen.
- Bituminöse Dampfbremse / Notabdichtung verlegen, wenn erforderlich davor Ausgleichsschicht aufbringen. An Außenputz strömungsdicht anschließen.
- Holzkonstruktion versetzen, Notabdichtung bis nach außen ziehen und Hohlräume ausblasen
- Dämmplatten im Bereich Attika/Betonrost vollflächig verkleben, um eine Dampfentspannung Trennschicht Bestandsputz – Dämmplatten nach oben sicher auszuschließen

Diskussion:

Alternativ auch Dach mit einer vorgefertigten Holzkonstruktion und Zellulose mit dampfentspannter Abdichtung sanieren

4.4.8.4 Ziegelwand 2-schalig mit Klinkerfassade verfüllt, Innendämmung, Oberste Geschoßdecke gedämmt unter Ziegeldach, Ortgang

Bestand: Hochlochziegel hochporosiert mit Klinkerziegelverblendung, Ziegeldach



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung				*3*	*cm*
Konterlattung				*4*	*cm*
Bitumenbahn				*0,5*	*cm*
Schalung				*2,4*	*cm*
Sparren 14/8, Luft				*14*	*cm*
U-Wert	1,83	[W/m²K]	Σ	25,9	cm

Wandaufbau					
Klinkerziegelverblendung				*10,5*	*cm*
Hinterlüftung, Stahlanker				*4*	*cm*
Hochlochziegel				*36*	*cm*
Kalkzementputz				*1*	*cm*
U-Wert	0,77	[W/m²K]	Σ	51,5	cm

Deckenaufbau					
Glaswolle				*5*	*cm*
Stahlbeton				*18*	*cm*
Kalkzementputz				*1*	*cm*
U-Wert	0,64	[W/m²K]	Σ	24,0	cm

2-dimensionaler Kennwert		
Ψ-Wert innen / außen	*0,009*	*W/mK*
3-dimensionale Kennwerte		
X-Wert innen / außen	*0,000*	*W/K*
f_{RSi}	*0,65*	-

Charakterisierung Bestand:

- Holzkonstruktion Dach weiterverwendbar?
- Stahlbetondecke strömungsdicht?

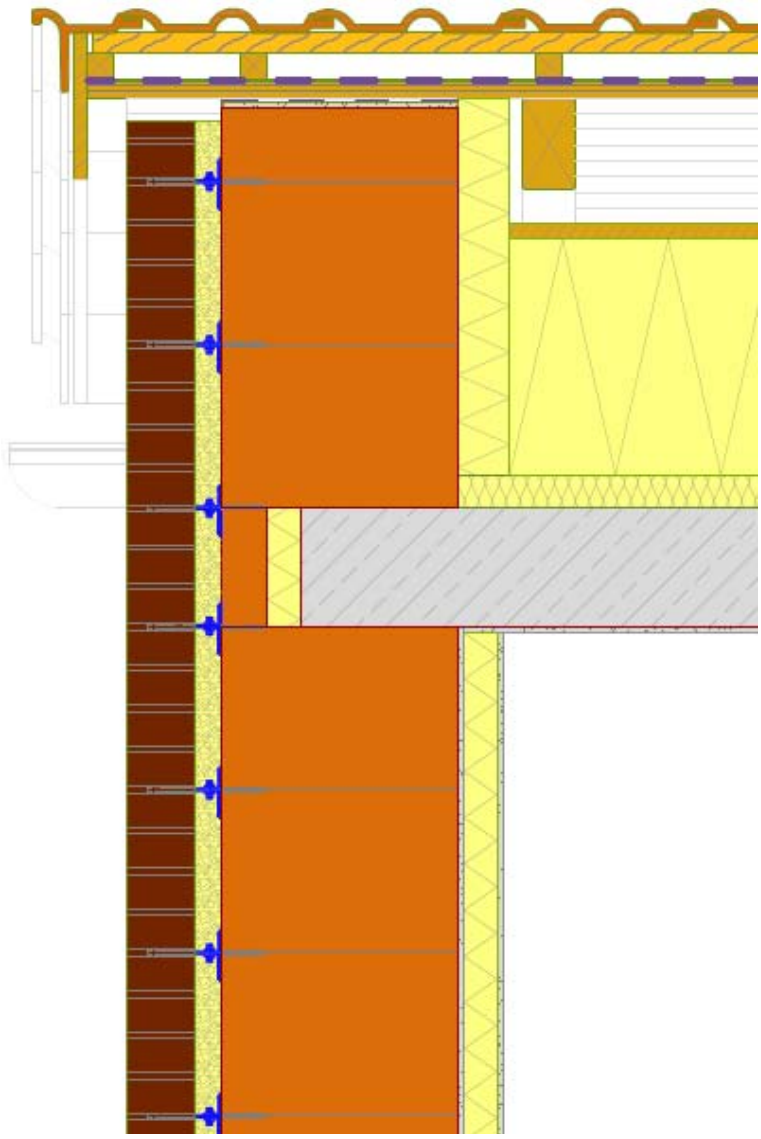
Sanierung Außenwand mit Innendämmung und Kerndämmung, Dach mit Steinwolle und EPV-Abdeckung

Beschreibung :

Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch eine Innendämmung und die Verfüllung des Hohlraums mit einer Perlitedämmung

Die oberste Geschoßdecke wird mit druckfester Steinwolle belegt, die mit einer EPV-Platte belegt wird. Der Dachraum muss hinterlüftet bleiben.

Sanierung: 2-schalige Ziegelwand mit Kerndämmung und Innendämmung, oberste Geschoßdecke mit Steinwolle und EPV-Abdeckung



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung				*3*	*cm*
Konterlattung				*4*	*cm*
Bitumenbahn				*0,5*	*cm*
Schalung				*2,4*	*cm*
Sparren 14/8, Luft				*14*	*cm*
U-Wert	1,83	[W/m²K]	Σ	25,9	cm

Deckenaufbau					
EPV-Platte				*2,5*	*cm*
Steinwolle				*36*	*cm*
Glaswolle				*5*	*cm*
Stahlbeton				*18*	*cm*
Kalkzementputz				*1*	*cm*
U-Wert	0,09	[W/m²K]	Σ	62,5	cm

Wandaufbau					
Klinkerziegelverblendung				*10,5*	*cm*
Perlite expandiert, Stahlanker				*4*	*cm*
Hochlochziegel				*36*	*cm*
Kalkzementputz				*1*	*cm*
Calciumsilikatdämmplatte				*5*	*cm*
Kalkzementputz				*1*	*cm*
U-Wert	0,32	[W/m²K]	Σ	57,5	cm

2-dimensionaler Kennwert		
Ψ-Wert innen / außen	*0,084*	*W/mK*
3-dimensionale Kennwerte		
X-Wert innen / außen	*-0,001*	*W/K*
f_{RSi}	*0,79*	*-*

Eignung:

Wenn Schlagregenschutz vorhanden ist oder hergestellt werden kann.

Ausführungshinweise:

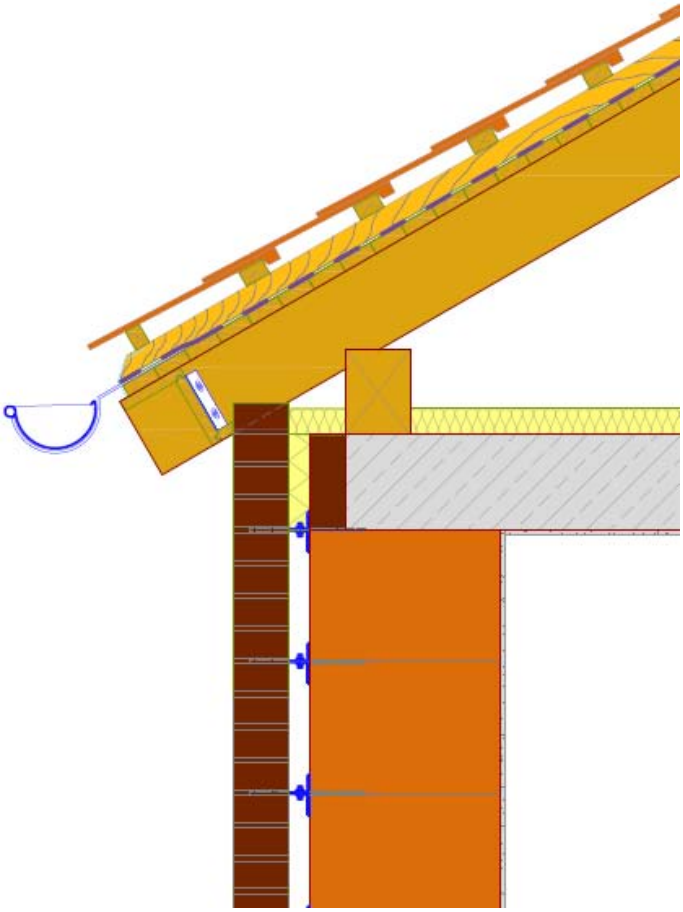
- Außenfassade reinigen, Fassade hydrophobieren. Auf ausreichend trockenes Bestandsmauerwerk achten.
- Zwischenraum der 2-schaligen Konstruktion mit Perliten füllen
- Innenseite von Farbresten etc. reinigen, Innendämmung vollflächig verkleben, verspachteln
- Steinwolle dicht an dicht verlegen, EPV-Platte auflegen

Diskussion:

Auf eine Windsperre wird verzichtet. Auf ausreichende Hinterlüftung des Dachraums achten.

4.4.8.5 Ziegelwand 2-schalig mit Klinkerfassade verfüllt, Innendämmung, Oberste Geschoßdecke gedämmt unter Ziegeldach, Traufe

Bestand: Hochlochziegel hochporosiert mit Klinkerziegelverblendung, Ziegeldach



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung				*3*	*cm*
Konterlattung				*4*	*cm*
Bitumenbahn				*0,5*	*cm*
Schalung				*2,4*	*cm*
Sparren 14/8, Luft				*14*	*cm*
U-Wert	1,83	[W/m²K]	Σ	25,9	cm

Wandaufbau					
Klinkerziegelverblendung				*10,5*	*cm*
Hinterlüftung, Stahlanker				*4*	*cm*
Hochlochziegel				*36*	*cm*
Kalkzementputz				*1*	*cm*
U-Wert	0,83	[W/m²K]	Σ	51,5	cm

Deckenaufbau					
Glaswolle				*5*	*cm*
Stahlbeton				*18*	*cm*
Kalkzementputz				*1*	*cm*
U-Wert	0,64	[W/m²K]	Σ	24,0	cm

2-dimensionaler Kennwert		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,039*	*W/mK*
3-dimensionale Kennwerte		
X-Wert innen / außen	*0,001*	*W/K*
f_{RSi}	*0,66*	*-*

Charakterisierung Bestand:

- Holzkonstruktion Dach weiterverwendbar?
- Stahlbetondecke strömungsdicht?

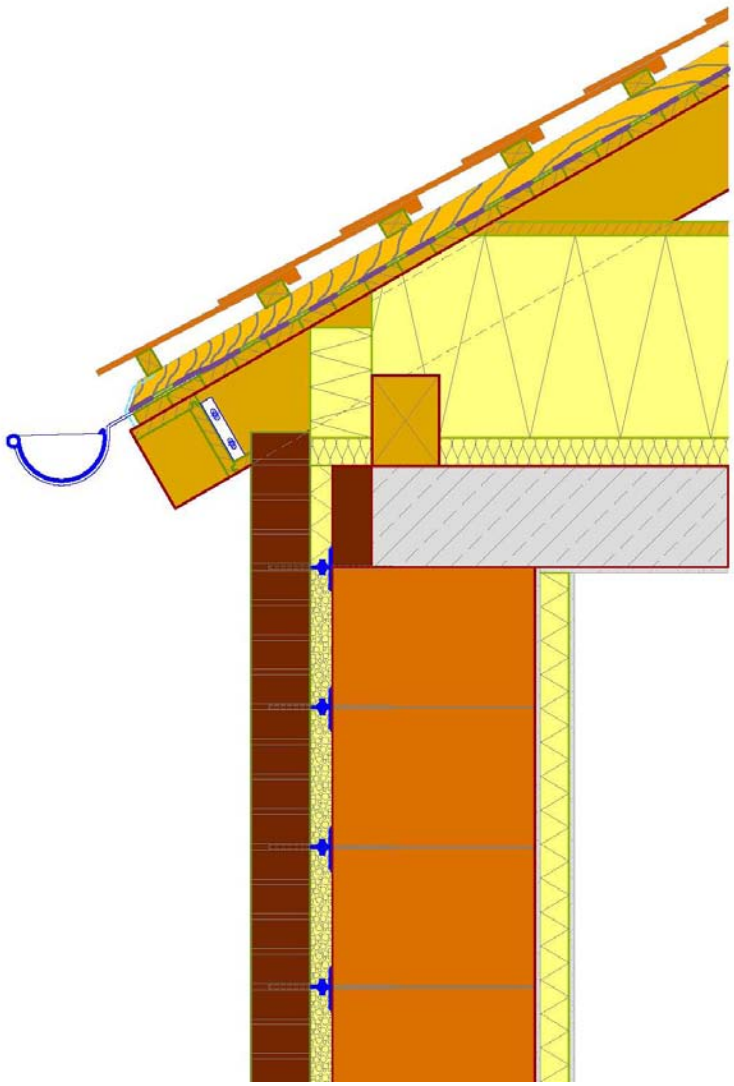
Sanierung Außenwand mit Innendämmung und Kerndämmung, Dach mit Steinwolle und EPV-Abdeckung

Beschreibung :

Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch eine Innendämmung und die Verfüllung des Hohlraums mit einer Perlitedämmung

Die oberste Geschoßdecke wird mit druckfester Steinwolle belegt, die mit einer EPV-Platte belegt wird. Der Dachraum muss gut hinterlüftet bleiben

Sanierung: 2-schalige Ziegelwand mit Kerndämmung und Innendämmung, oberste Geschoßdecke mit Steinwolle und EPV-Abdeckung



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung				*3*	*cm*
Konterlattung				*4*	*cm*
Bitumenbahn				*0,5*	*cm*
Schalung				*2,4*	*cm*
Sparren 14/8, Luft				*14*	*cm*
U-Wert	1,83	[W/m²K]	Σ	25,9	cm

Deckenaufbau					
EPV-Platte				*2,5*	*cm*
Steinwolle				*36*	*cm*
Glaswolle				*5*	*cm*
Stahlbeton				*18*	*cm*
Kalkzementputz				*1*	*cm*
U-Wert	0,09	[W/m²K]	Σ	62,5	cm

Wandaufbau					
Klinkerziegelverblendung				*10,5*	*cm*
Perlite expandiert, Stahlanker				*4*	*cm*
Hochlochziegel				*36*	*cm*
Kalkzementputz				*1*	*cm*
Calciumsilikatdämmplatte				*5*	*cm*
Kalkzementputz				*1*	*cm*
U-Wert	0,32	[W/m²K]	Σ	57,5	cm

2-dimensionaler Kennwert		
Ψ-Wert innen / außen	*0,080*	*W/mK*
3-dimensionale Kennwerte		
X-Wert innen / außen	*0,002*	*W/K*
f_{RSi}	*0,79*	*-*

Eignung:

Wenn Schlagregenschutz vorhanden ist oder hergestellt werden kann.

Ausführungshinweise:

- Außenfassade reinigen, Fassade hydrophobieren. Auf ausreichend trockenes Bestandsmauerwerk achten.
- Zwischenraum der 2-schaligen Konstruktion mit Perliten füllen
- Innenseite von Farbresten etc. reinigen, Innendämmung vollflächig verkleben, verspachteln
- Steinwolle dicht an dicht verlegen, EPV-Platte auflegen

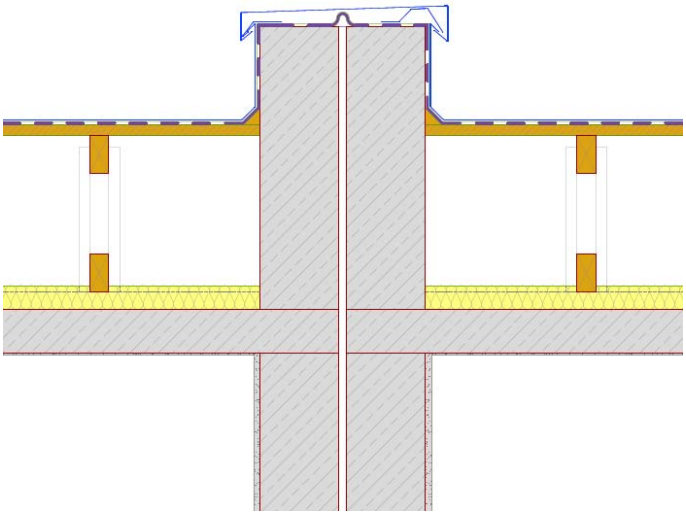
Diskussion:

- Auf eine Windsperre wird verzichtet. Auf ausreichende Hinterlüftung des Dachraums achten

4.4.9 Dach: Innenwand – Dach

4.4.9.1 Betonsteininnenwand, Flachdachdämmung mit Glaswolle

Bestand: Betonsteininnenwand, Stahlbeton-Flachdach mit Blechdach, nach innen entwässert



Deckenaufbau					
Blecheindeckung				*0,2*	*cm*
Abdichtung, 3-lagig				*1*	*cm*
Schalung				*3,5*	*cm*
Dachstuhl/Nagelbinder				*~40*	*cm*
Wärmedämmung				*7,5*	*cm*
Stahlbeton				*14*	*cm*
Innenputz				*0,6*	*cm*
U-Wert	0,48	[W/m²K]	Σ	66,8	cm

Wandaufbau					
Kalkzementputz				*2*	*cm*
Schlackenbetonmauerwerk				*25*	*cm*
Luftschicht				*2,5*	*cm*
Schlackenbetonmauerwerk				*25*	*cm*
Kalkzementputz				*2*	*cm*
U-Wert	0,68	[W/m²K]	Σ	56,5	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,436*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,79*	-

Charakterisierung Bestand:

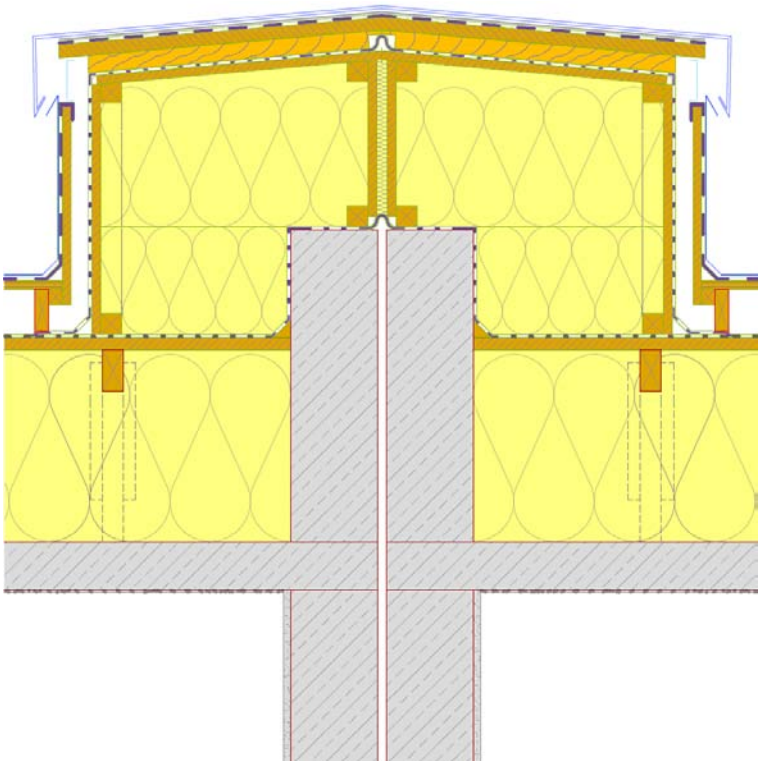
- Holzkonstruktion Dach weiterverwendbar?
- Stahlbetondecke strömungsdicht?

Sanierung Betonsteininnenwand, dampfentspannte Flachdachdämmung

Beschreibung:

- Die Holzkonstruktion des Daches wird erhalten, partiell geöffnet und ausgedämmt. Das Blechdach wird durch eine dampfentspannte/hinterlüftete Abdichtung ersetzt.
- Luftdichte Ebene ist die Rohdecke

Sanierung: Betonsteininnenwand, dampfentspannte Flachdachdämmung



Deckenaufbau					
Blecheindeckung				*0,2*	*cm*
PE-Dichtungsbahn				*1,8*	*cm*
Vlies (PP)				*0,5*	*cm*
Schalung				*2,4*	*cm*
Hinterlüftung, Schnittholz				*12*	*cm*
Polyethylenbahn				*0,2*	*cm*
Schalung				*3,5*	*cm*
Glaswolle, Doppel-T-Träger (Holz-Gurt + OSB-Träger)				*40*	*cm*
Stahlbeton				*14*	*cm*
Innenputz				*0,6*	*cm*
U-Wert	0,10	[W/m²K]	Σ	75,2	cm

Wandaufbau					
Kalkzementputz				*2*	*cm*
Schlackenbetonmauerwerk				*25*	*cm*
Luftschicht				*2,5*	*cm*
Schlackenbetonmauerwerk				*25*	*cm*
Kalkzementputz				*2*	*cm*
U-Wert	0,68	[W/m²K]	Σ	56,5	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,063*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,97*	-

Eignung:

- Wenn bestehende Holzkonstruktion statisch und in der Höhe geeignet
- Wenn Stahlbetondecke strömungsdicht (z.B. Ortbeton)

Ausführungshinweise:

- Blechdach entfernen, Holzschalung in Teilen öffnen
- Bestehende Wärmedämmung wenn möglich belassen, Zwischenraum mit Faserdämmstoff ausdämmen, Öffnungen wieder schließen
- Diffusionsoffene Dachauflegebahn verlegen, Stöße verschweißen
- Konterlattung verlegen, Holzschalung annageln, Dachabdichtung und Verblechung ausführen

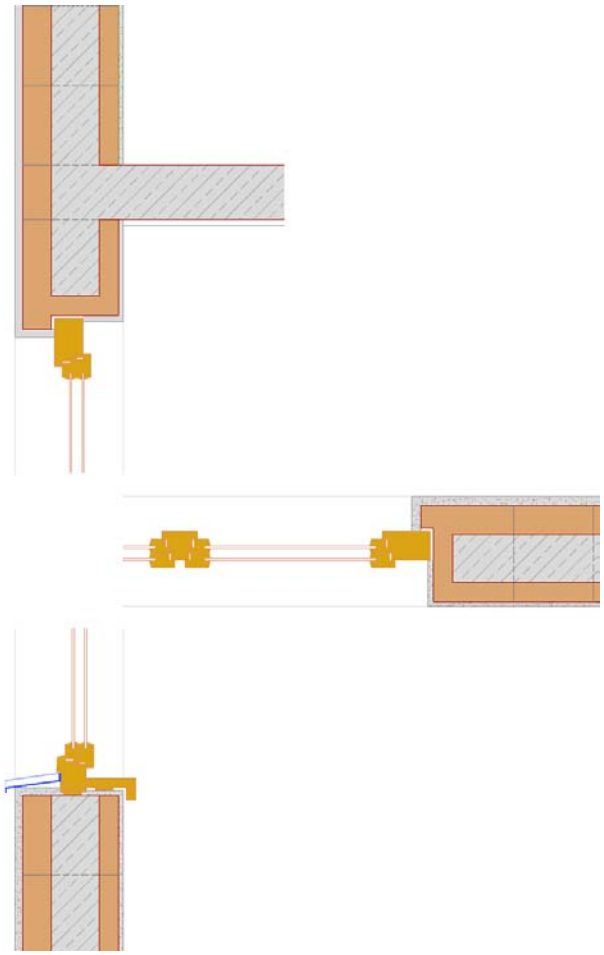
Diskussion:

Alternativ Attika abtragen und schallentkoppelte Überdämmung ausführen.

4.4.10 Fenster: Außenwand – Fenster

4.4.10.1 Außenwand mit WDVS, Passivhaus-Holzalufenster

Bestand: AW-Holzspanbetonsteine, Holzverbundfenster



Fenster U-Werte		
Fenster	*2,6*	*W/m²K*
Verglasung	*2,6*	*W/m²K*
Rahmen	*2,6*	*W/m²K*

Wandaufbau					
Kalkzement-Außenputz				*2,5*	*cm*
Holzspanteil				*9*	*cm*
Beton				*15*	*cm*
Holzspanteil				*6*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,75	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert Sturz	*0,32*	*W/mK*
Ψ-Wert Laibung	*0,032*	*W/mK*
Ψ-Wert Parapet	*0,120*	*W/mK*
f_{RSi} *Sturz*	*0,71*	-
f_{RSi} *Laibung*	*0,71*	-
f_{RSi} *Parapet*	*0,64*	-

Charakterisierung Bestand:

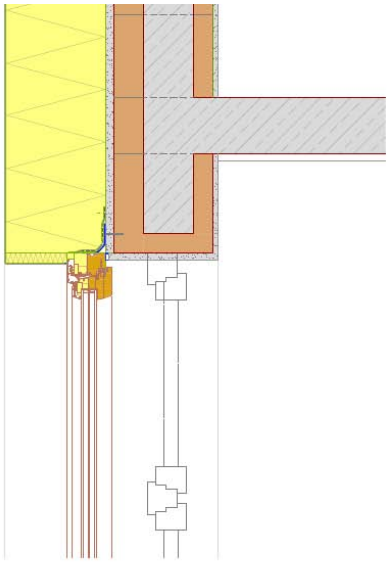
- Anschlag Außenwand vorhanden
- Position Fenster in Laibung

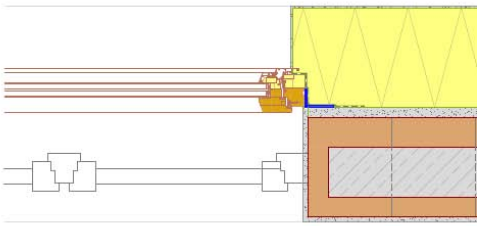
Sanierung Außenwand mit WDVS, Passivhaus-Holzalufenster

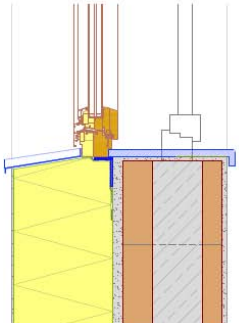
Beschreibung :

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch ein Wärmedämmverbundsystem
- Die Fenster werden durch Holzalu-Passivhausfenster ersetzt, die in die Dämmebene versetzt werden
- Durchgängige luftdichte Ebene ist der Bestands-Außenputz, dieser wird mit dem Innenputz luftdicht angeschlossen. Die Überschlagdichtung des Fensters wird an den Glattstrich / Putz angeschlossen.

Sanierung: Außenwand mit WDVS, Passivhaus-Holzalufenster







Fenster U-Werte		
Fenster	*0,80*	*W/m²K*
Verglasung	*0,60*	*W/m²K*
Rahmen	*0,75*	*W/m²K*

Wandaufbau					
Silikatputz				*0,6*	*cm*
EPS - Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkzement-Außenputz				*2,5*	*cm*
Holzspanteil				*9*	*cm*
Beton				*15*	*cm*
Holzspanteil				*6*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,11	[W/m²K]	Σ	64,6	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert Sturz	*0,015*	*W/mK*
Ψ-Wert Laibung	*0,015*	*W/mK*
Ψ-Wert Parapet	*0,030*	*W/mK*
f_{RSi} *. Sturz*	*0,87*	-
f_{RSi} *. Laibung*	*0,87*	-
f_{RSi} *. Parapet*	*0,85*	-

Eignung:

- Wenn aus Denkmalschutzgründen möglich.

Ausführungshinweise:

- Luftdichte Ebene ist der Bestands-Außenputz, Risse schließen bzw. bei Erfordernis vollflächig verspachteln
- Saubere/luftdichte Oberfläche an Ausbruchstelle Bestandfenster mittels Glattstrich / Putzmörtel herstellen, dieser verbindet luftdicht Bestandsaußenputz und Innenputz
- Die Fenster werden über eine vlieskaschiertes Butylkautschukband umflaufend dicht auf dem „Laibungs-„Putz verklebt und überputzt

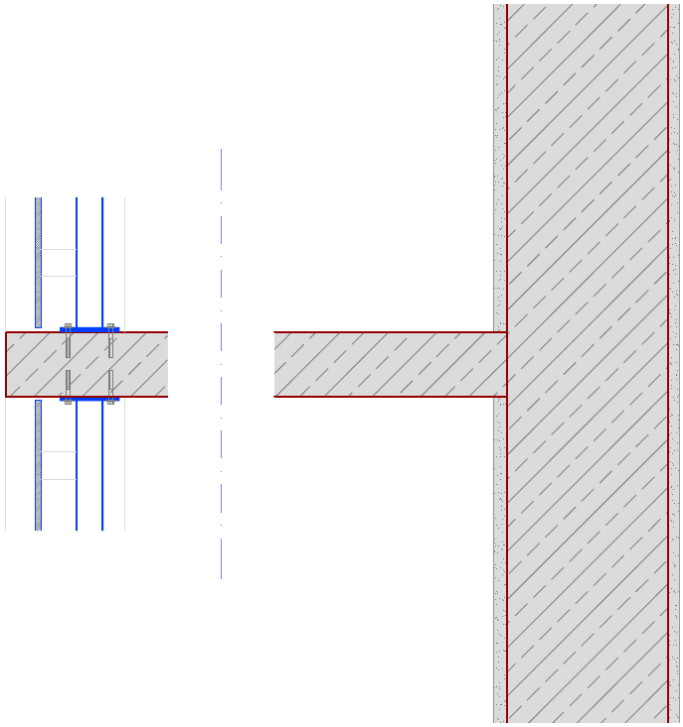
Diskussion:

Gekürzte Alu-Schalen und eine stärkere Überdämmung verringern den Wärmebrückenverlust

4.4.11 Balkon: Außenwand – Balkon

4.4.11.1 Holzspanbetonsteine mit WDVS , Loggia (Horizontalschnitt)

Bestand: Betonsteinaußenwand, Stahlbetonloggiawand



Wandaufbau					
Kalkzementputz, außen				*2,5*	*cm*
Betonsteine				*30*	*cm*
Kalkzementputz, innen				*2*	*cm*
U-Wert	1,21	[W/m²K]	Σ	34,5	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,009*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,74*	-

Charakterisierung Bestand:

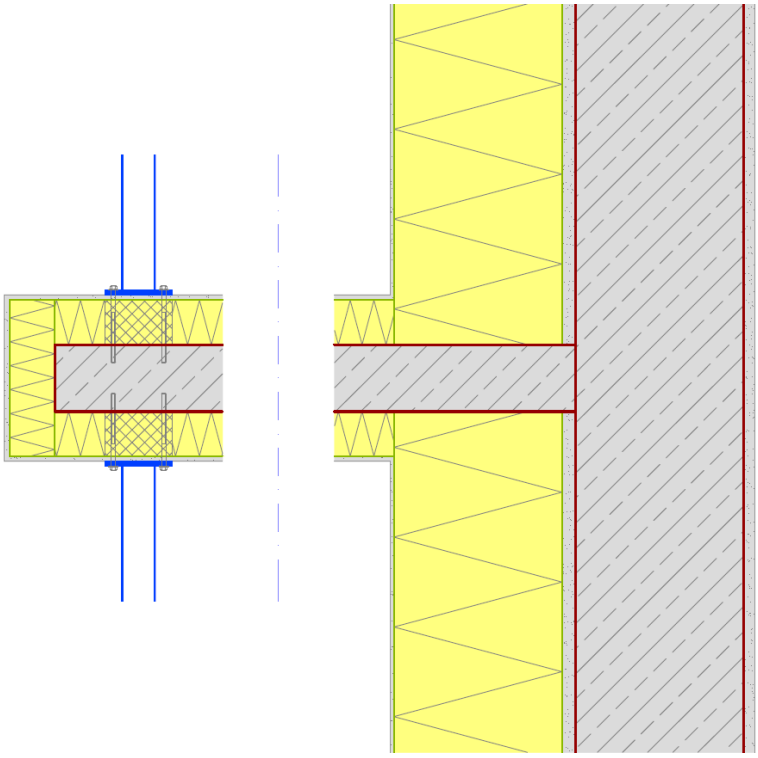
- Tiefe und Breite Loggia?

Sanierung Holzspanbetonsteine mit WDVS , Loggia horizontal

Beschreibung:

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch ein Wärmedämmverbundsystem
- Loggia-Seitenwände werden durch ein WDVS gedämmt

Sanierung: Holzspanbetonsteine mit WDVS , Loggia horizontal



Wandaufbau					
Silikatputz				*0,6*	*cm*
EPS – Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkzementputz, außen				*2,5*	*cm*
Betonsteine				*30*	*cm*
Kalkzementputz, innen				*2*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ	65,1	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,066*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,95*	-

Eignung:

- Wenn Verringerung der Loggiafläche akzeptabel

Ausführungshinweise:

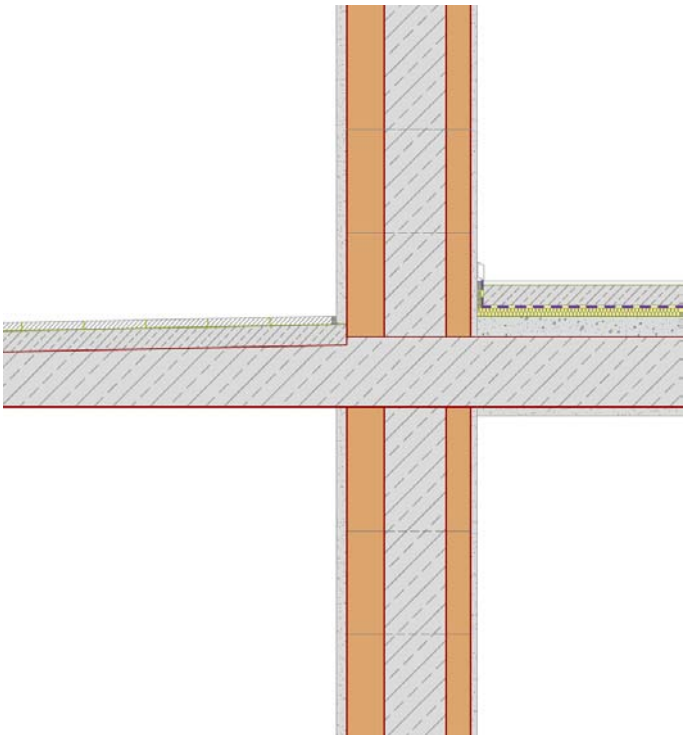
- Luftdichte Ebene ist der Außenputz, bei Erfordernis vollflächig verspachtelt an Loggiatrennwände anschließen
- Geländer auf druckfesten Dämmblöcken verschrauben
- Ecken mechanisch sichern

Diskussion:

Dickputz ist wegen deutlich verbesserter mechanischer Stabilität von Vorteil.

4.4.11.2 Holzspanbetonsteine mit WDVS , Balkon/Loggia umdämmt (Vertikalschnitt)

Bestand: Betonsteinaußenwand, Stahlbetonloggiawand



Wandaufbau					
Kalkzement-Außenputz				*2,5*	*cm*
Holzspanteil				*9*	*cm*
Beton				*15*	*cm*
Holzspanteil				*6*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,75	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

Bodenaufbau Loggia					
Fliesen				*2*	*cm*
Verbundbeton				*5*	*cm*
Stahlbetonplatte				*17*	*cm*
U-Wert	4,85	[W/m²K]	Σ	24,0	cm

Bodenaufbau					
Bodenbelag				*1*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
PE-Folie/Trennlage				*0,2*	*cm*
Trittschalldämmplatte				*2*	*cm*
Schüttung				*5*	*cm*
Stahlbetondecke				*17*	*cm*
Innenputz				*2*	*cm*
U-Wert	1,07	[W/m²K]	Σ	32,2	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,464*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,69*	-

Charakterisierung Bestand:

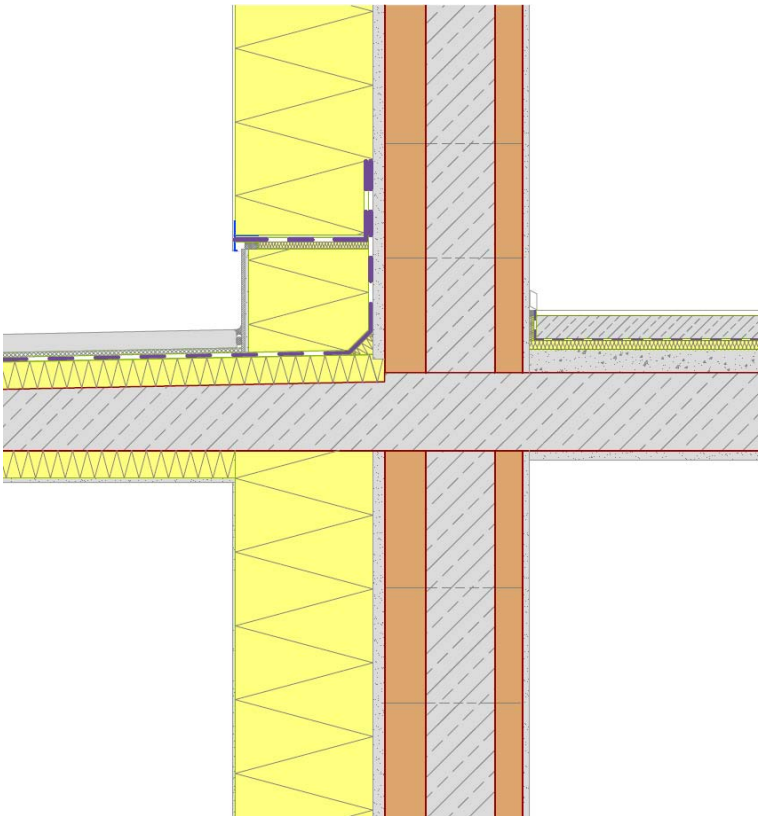
- Wand feucht, Abdichtung vorhanden, bzw. intakt?
- Tiefe und Breite Loggia/Balkon?

Sanierung Holzspanbetonsteine mit WDVS , Balkon/Loggia umdämmt

Beschreibung:

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch ein Wärmedämmverbundsystem
- Die Balkonplatte wird umlaufend gedämmt

Sanierung: Holzspanbetonsteine mit WDVS , Balkon/Loggia umdämmt



Wandaufbau					
Silikatputz				*0,6*	*cm*
EPS - Polystyrol expandiert				*30*	*cm*
Kalkzement-Außenputz				*2,5*	*cm*
Holzspanteil				*9*	*cm*
Beton				*15*	*cm*
Holzspanteil				*6*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,11	[W/m²K]	Σ	64,6	cm

Bodenaufbau Loggia					
Betonplatten				*4*	*cm*
Gummiauflage				*1*	*cm*
Vlies				*0,2*	*cm*
Abdichtung				*0,3*	*cm*
EPS - Polystyrol expandiert				*6*	*cm*
Stahlbetonplatte				*17*	*cm*
EPS - Polystyrol expandiert				*6*	*cm*
Silikatputz				*0,6*	*cm*
U-Wert	0,31	[W/m²K]	Σ	35,1	cm

Bodenaufbau					
Bodenbelag				*1*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
PE-Folie/Trennlage				*0,2*	*cm*
Trittschalldämmplatte				*2*	*cm*
Schüttung				*5*	*cm*
Stahlbetondecke				*17*	*cm*
Innenputz				*2*	*cm*
U-Wert	1,07	[W/m²K]	Σ	32,2	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,295*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,89*	*-*

Eignung:

- Wenn Verringerung Loggiafläche akzeptabel

Ausführungshinweise:

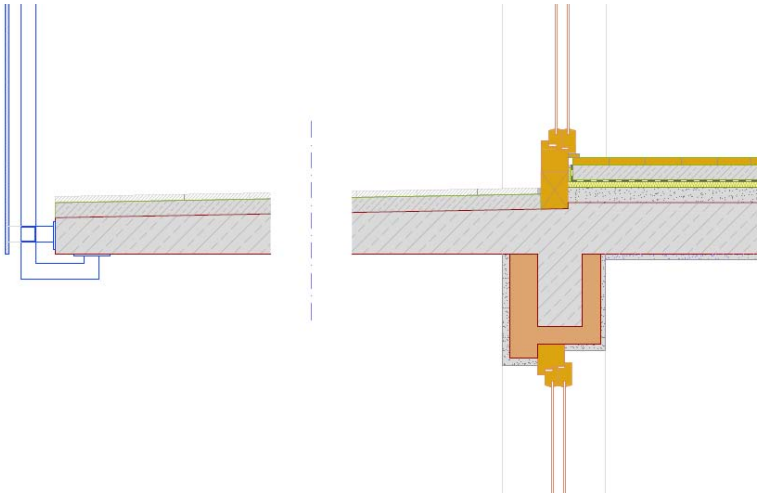
- Fliesen und Estrich entfernen
- Luftdichte Ebene ist der Außenputz, bei Erfordernis vollflächig verspachtelt, an Balkon-Rohplatte anschließen
- Druckfeste Wärmedämmung verlegen, Abdichtung verlegen und an Außenwand hochziehen
- Gummigranulatmatte für Verbesserung Trittschallschutz und Schutz Abdichtung verlegen

Diskussion:

Dickputz wegen deutlich verbesserter mechanischen Stabilität von Vorteil. Auf geringe dynamische Steifigkeit der Wärmedämmung achten. Im mehrgeschoßigen Wohnbau eventuell Trittschalldämmung unter Abdichtung erforderlich.

4.4.11.3 Balkontür als Holz-Alu-Passivhaustür, Stahlbetonbalkon/-loggia umdämmt

Bestand: AW-Holzspanbetonsteine, Stahlbetonbalkon/-loggia, Holzverbundfenster oben und unten



Fenster U-Werte		
Fenster	*2,6*	*W/m²K*
Verglasung	*1,04*	*W/m²K*
Rahmen	*1,04*	*W/m²K*

Wandaufbau					
Kalkzement-Außenputz				*2,5*	*cm*
Holzspanteil				*9*	*cm*
Beton				*15*	*cm*
Holzspanteil				*6*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,75	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

Bodenaufbau Loggia					
Fliesen				*2*	*cm*
Verbundbeton				*5*	*cm*
Stahlbetonplatte				*17*	*cm*
U-Wert	4,85	[W/m²K]	Σ	24,0	cm

Deckenaufbau					
Bodenbelag				*2*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
PE-Folie/Trennlage				*0,2*	*cm*
Trittschalldämmplatte				*2*	*cm*
Schüttung				*5*	*cm*
Stahlbetondecke				*17*	*cm*
Innenputz				*2*	*cm*
U-Wert	0,96	[W/m²K]	Σ	33,2	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,572*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,71*	*-*

Charakterisierung Bestand:

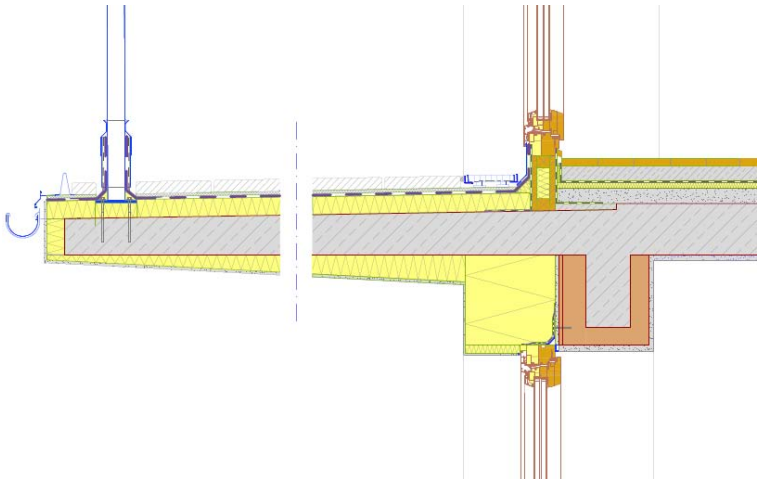
- Wand feucht, Abdichtung vorhanden, bzw. intakt?
- Tiefe und Breite Loggia?

Sanierung Balkontür als Holz-Alu-Passivhaustür, Stahlbetonbalkon/-loggia umdämmt

Beschreibung:

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch ein Wärmedämmverbundsystem
- Die Balkonplatte wird umlaufend gedämmt

Sanierung: Balkontür als Holz-Alu-Passivhaustür, Stahlbetonbalkon/-loggia umdämmt



Fenster U-Werte		
Fenster	0,80	W/m²K
Verglasung	0,60	W/m²K
Rahmen	0,75	W/m²K

Wandaufbau		
Silikatputz	0,6	cm
EPS - Polystyrol expandiert	30	cm
Kalkzement-Außenputz	2,5	cm
Holzspanteil	9	cm
Beton	15	cm
Holzspanteil	6	cm
Kalkzementputz	1,5	cm
U-Wert 0,11 [W/m²K]	Σ 64,6	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	0,436	W/mK
f_{RSi}	0,79	-

Bodenaufbau Loggia		
Betonplatten	4	cm
Gummiauflage	1	cm
Vlies	0,2	cm
Abdichtung	0,3	cm
EPS - Polystyrol expandiert	6	cm
Stahlbetonplatte	17	cm
EPS - Polystyrol expandiert	6	cm
Silikatputz	0,6	cm
U-Wert 0,31 [W/m²K]	Σ 35,1	cm

Deckenaufbau		
Bodenbelag	2	cm
Estrich	5	cm
PE-Folie/Trennlage	0,2	cm
Trittschalldämmplatte	2	cm
Schüttung	5	cm
Stahlbetondecke	17	cm
Innenputz	2	cm
U-Wert 0,96 [W/m²K]	Σ 33,2	cm

Eignung:

- Wenn Verringerung Loggiafläche akzeptabel

Ausführungshinweise:

- Fliesen und Estrich entfernen
- Luftdichte Ebene ist der Außenputz, bei Erfordernis vollflächig verspachtelt, an Balkon-Rohplatte anschließen
- Druckfeste Wärmedämmung verlegen, Abdichtung verlegen und an Balkontürstock hochziehen.
- Gummigranulatmatte für Verbesserung Trittschallschutz und Schutz Abdichtung verlegen.
- Rigol für Absenkung der Schwelle notwendig

Diskussion:

Für barrierefreien Ausgang neben geeigneten Fensterprofil Vordach gemäß ÖNORM B 7220 erforderlich. Auf geringe dynamische Steifigkeit der Wärmedämmung achten. Im mehrgeschoßigen Wohnbau eventuell Trittschalldämmung unter Abdichtung erforderlich

4.5 Massive Gebäude der 80er Jahre

Die Bauweisen ab den 80er Jahren gleicht derjenigen der 70er Jahre, die Qualität des Wärme- und Schallschutzes wird weiter erhöht, gegenüber dem Passivhausstandard allerdings immer noch äußerst gering.

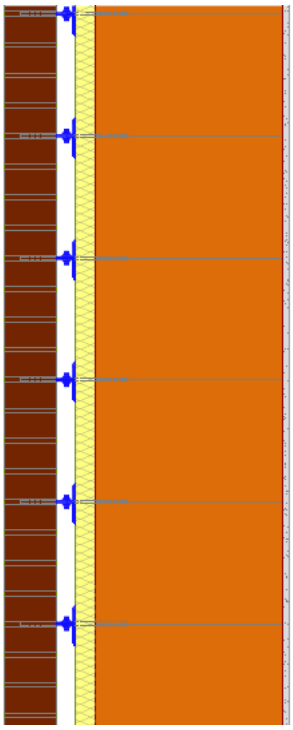
4.5.1 Charakterisierung des Bestandes:

Im großvolumigen Wohnbau setzt sich die Stahlbetonbauweise (in Ortbeton oder Fertigteilen) endgültig durch. Im Bereich Einfamilienhäuser wird eine Vielfalt an gut gedämmten monolithischen Außenwänden eingesetzt. Zunehmend werden in Wänden und Dach Dämmstoffe eingesetzt. Die Dämmstoffstärken sind allerdings immer noch verhältnismäßig gering.
Einfamilienhäuser in Holz-Fertigteilbauweise beginnen ihre bis heute große Verbreitung.

4.5.1.1 Außenwände und erdberührte Wände

Stahlbetonwände erhalten außenseitig ca. 4 bis 6 cm Wärmedämmung, als sogenannter „Vollwärmeschutz“ oder hinter hinterlüfteten Faserzement- oder Blechfassaden.

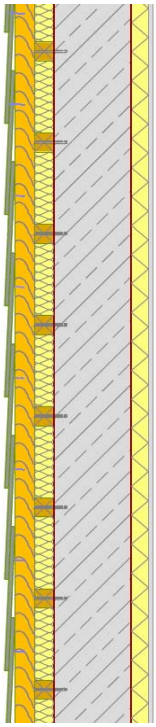
Ziegelmauerwerk mit Klinkerziegelverblendung



Wandaufbau					
Klinkerziegel, außen				*10,5*	*cm*
Hinterlüftung				*4*	*cm*
Glaswolle, Stahlanker				*4*	*cm*
Ziegel porosiert				*38*	*cm*
Kalkzementputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,40	[W/m²K]	Σ	58,0	cm

- Der Luftraum ist nach außen hinterlüftet. Verhältnismäßig häufig wird auch 2-schaliges Mauerwerk mit Kerndämmung ausgeführt.

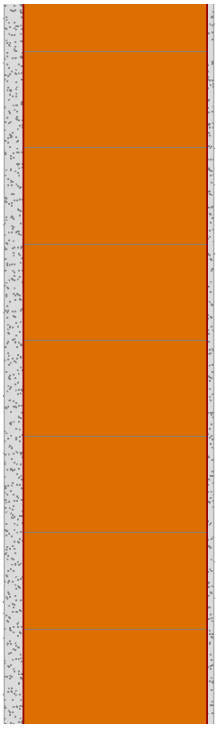
Stahlbeton mit hinterlüfteter Vorsatzschale aus Faserzementplatten



Wandaufbau					
Faserzementplatten kleinteilig				*0,8*	*cm*
Hinterlüftung, Lattung				*4*	*cm*
Glaswolle, Holzprofile4/4 horizontal				*4*	*cm*
Stahlbeton				*16*	*cm*
Holzwolleleichtbauplatte, „Heraklith“				*3,5*	*cm*
Gipsputz, innen				*1*	*cm*
U-Wert	0,70	[W/m²K]	Σ	29,3	cm

- Die innere Schicht mit Holzwolleleichtbauplatten dient auch als Installationsschale

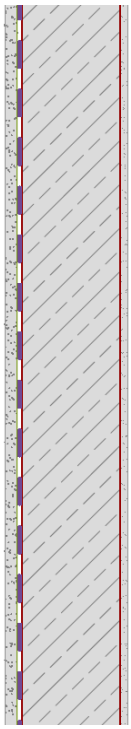
Ziegelmauerwerk



Wandaufbau					
Dämmputz, außen				*4*	*cm*
Ziegel porosiert				*38*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,43	[W/m²K]	Σ	43,5	cm

- Der Grad der Porosierung beeinflusst den Wärmeschutz in erheblicher Weise

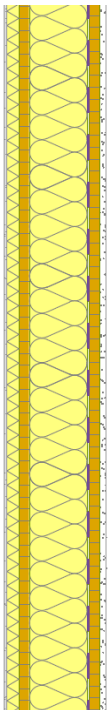
Stahlbetonwand erdberührt



Wandaufbau, erdberührt					
Kalkzementputz				*2,5*	*cm*
Abdichtung				*0,02*	*cm*
Stahlbeton				*20*	*cm*
Gipsputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	3,59	[W/m²K]	Σ	24,0	cm

- Bituminöse Abdichtungen sind nunmehr Stand der Technik

Leichtbauaußenwand



Wandaufbau					
Kunstharzputz, außen				*0,5*	*cm*
Holzwolle, Heraklith				*2,8*	*cm*
Pressspanplatte				*2,2*	*cm*
Glaswolle, Pfosten				*12*	*cm*
Dampfbremse				*0,02*	*cm*
Pressspanplatte				*2,2*	*cm*
Gipskartonplatte				*1,3*	*cm*
U-Wert	0,30	[W/m²K]	Σ	21,0	cm

- Fertigteilaußenwand verputzt mit verhältnismäßig guten Wärmeschutz

4.5.1.2 Kellerdecke

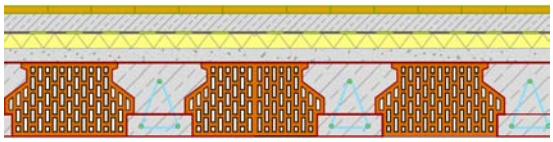
Die Kellerdecken ähneln denjenigen aus den 70er Jahren bis auf leicht erhöhte Dämmstärken.

Stahlbetonfertigteildecke



Deckenaufbau					
Bodenbelag				*2*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
PE-Folie/ Trennlage				*0,02*	*cm*
Mineralwolle				*4*	*cm*
Schüttung				*5*	*cm*
Stahlbetondecke				*20*	*cm*
U-Wert	0,60	[W/m²K]	Σ	36,0	cm

Ziegeldecke



Deckenaufbau					
Holzboden, verklebt				*2*	*cm*
Zementestrich				*5*	*cm*
PE-Folie/ Trennbahn				*0,02*	*cm*
EPS				*4*	*cm*
Aufbeton				*4*	*cm*
Ziegeldecke				*20*	*cm*
U-Wert	0,54	[W/m²K]	Σ	35,0	cm

Formatgröße der Vollziegel und Verbände unterscheiden sich je nach Region.

4.5.1.3 Erdberührter Fußboden

Eine Unterkellerung war üblich, in vielen Fällen wurde der Keller höherwertig als Wohnraum, Partykeller etc. verwendet. Standard ist eine Betonplatte von mindestens 10 cm Stärke, die auf einer Rollierung betoniert wurde. Bituminöse Abdichtung wurde standardmäßig eingesetzt. In Fertigteilhäusern wurde häufig auf den Keller verzichtet.

4.5.1.4 Innenwände

Die tragenden Innenwände werden meist wie die Außenwände ausgeführt.

Nicht neu, aber verstärkt eingesetzt werden Leichtbauwände aus mehrschaligen Gipskarton/faserwänden oder Gipsdielen.

4.5.1.5 Geschoßdecken

Im mehrgeschoßigen Wohnbau werden fast nur noch Stahlbetondecken eingesetzt. Im Einfamilienhausbau werden auch Einhängedecken ausgeführt.

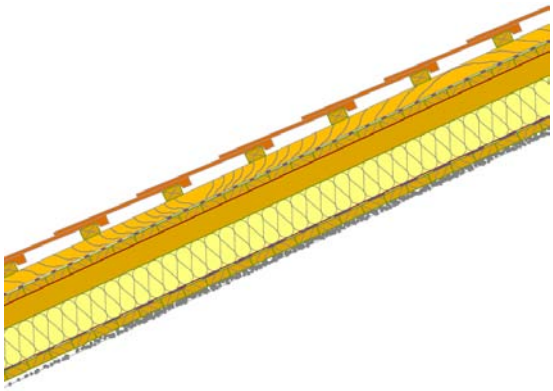
4.5.1.6 Oberste Geschoßdecke

Die oberste Geschoßdecke als wärmedämmende Hülle wurde zunehmend durch ausgebaute Dachgeschoße ersetzt.

4.5.1.7 Dach

Die Dächer sind nunmehr häufig Teil der wärmedämmenden Hülle. Sie werden entsprechend gedämmt und werden als Kaltdächer mit hinterlüfteter Bitumenpappe ausgeführt. Dacheindeckungen wie in den 70er Jahre, innenseitig kommen vermehrt Gipskarton- und Gipsfaserplatten zum Einsatz.

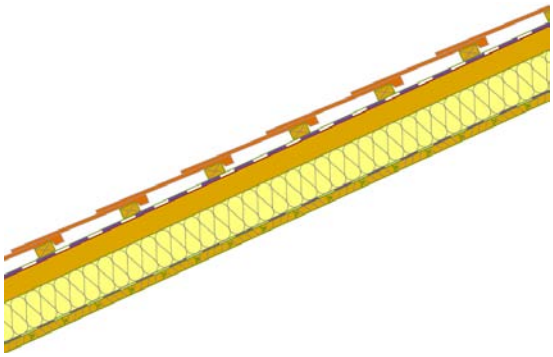
Ziegeldach zimmermannsmäßig



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung				*3*	*cm*
Konterlattung				*4*	*cm*
Bitumenbahn				*0,5*	*cm*
Holzschalung				*2,4*	*cm*
Luftraum, Hinterlüftung, Sparren				*6*	*cm*
Glaswolle, Sparren 10/16				*10*	*cm*
Dampfbremse				*0,02*	*cm*
Sparschalung				*2,4*	*cm*
Gipskartonplatte				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,41	[W/m²K]	Σ	31,8	cm

- Im Unterschied zu älteren Gebäude wird eine Schalung realisiert und eine bituminöse Deckung ausgeführt.

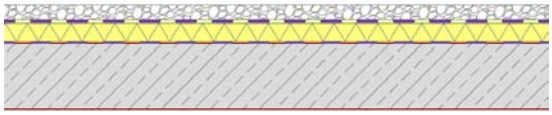
Ziegeldach vorgefertigt



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung				*3*	*cm*
Bitumenbahn				*0,5*	*cm*
Hinterlüftung				*6*	*cm*
Glaswolle, Sparren				*10*	*cm*
Dampfbremse				*0,02*	*cm*
Schalung				*2,2*	*cm*
U-Wert	0,46	[W/m²K]	Σ	23,7	cm

- Auf alle nicht unbedingt notwendigen Schichten (Vollschalung außen) wird aus ökonomischen Gründen verzichtet

Stahlbetonbitumenflachdach



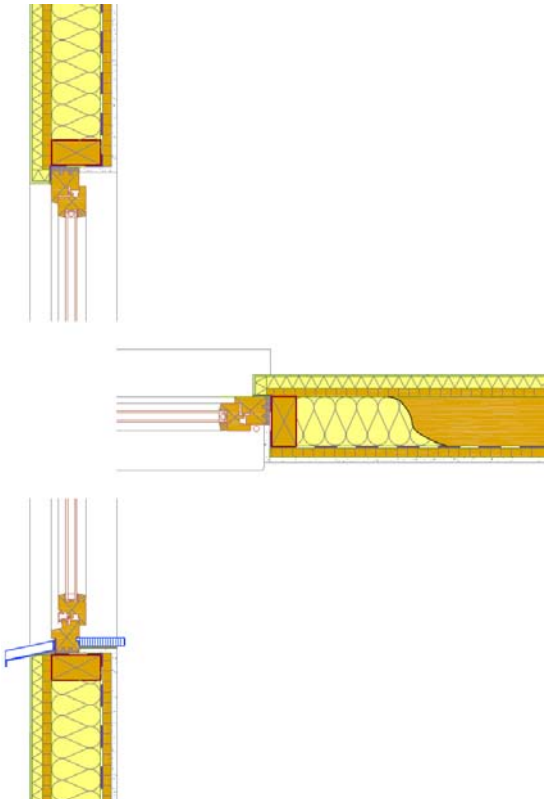
Dachaufbau					
Kies				*4*	*cm*
Bitumenabdichtung				*1*	*cm*
EPS				*5*	*cm*
Bitumendampfsperre				*0,5*	*cm*
Stahlbeton				*18*	*cm*
Gipsspachtel				*0,5*	*cm*
U-Wert	0,65	[W/m²K]	Σ	29,0	cm

- Flachdächer verbreiten sich rasch und werden verstärkt auch als Umkehrdächer ausgeführt

4.5.1.8 Fenster

Neben Holzrahmen kommen verstärkt PVC- und Alufenster auf den Markt. Der Wärmeschutz ist meist schlechter als bei den Holzfenstern. Verstärkt werden auch 3-Scheiben-Isolierverglasungen eingesetzt, beschichtete Scheiben oder Füllungen mit Edelgasen kommen erst in den 90er Jahren auf den Markt.

Holz-Isolierglasfenster



Fenster U-Werte		
Fenster	*2,6*	*W/m²K*
Verglasung	*2,6*	*W/m²K*
Rahmen	*1,8*	*W/m²K*

- Standardformat wird das 68er Profil

4.5.2 Typische Schadensbilder

Folgende Schäden sind für Gebäude der 70er Jahre typisch:

- Geringer Schallschutz
- Feuchteschäden an Flachdächern, fehlender Dampfdruckausgleich, Schimmelschäden innen an Gebäudeecken wegen dichter Fenster
- Fassade: abplatzende Putze wegen wärmedämmender Fassade oder zu dempfdichten Außenputzen mit Rissen.

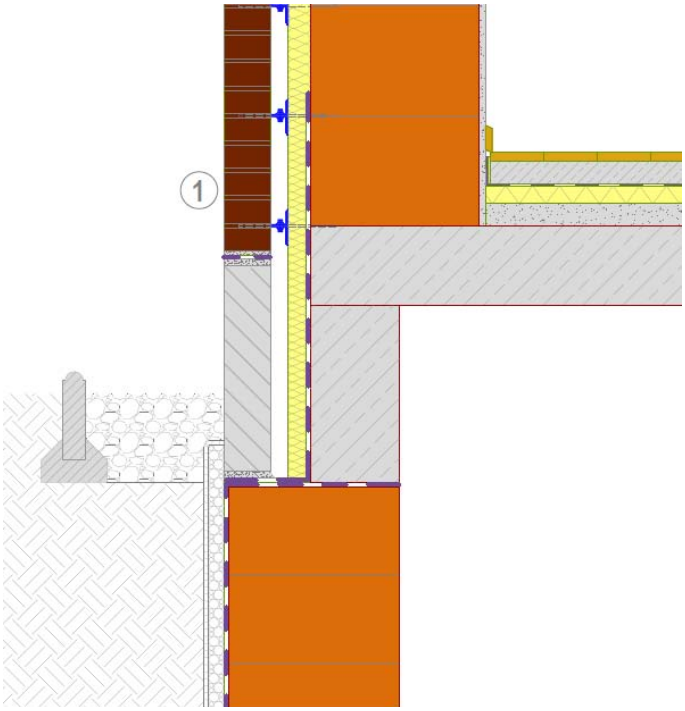
4.5.3 Sanierungsaufgaben

- Außendämmung, wegen nicht vorhandener Ornamentik unproblematisch; gegebenenfalls Abfräsen bestehender Kunstharzputze erforderlich.
- Flachdachsanierung
- Eventuell Dachausbau, Terrassen neu
- Fenstersanierung: Austausch der Verglasungen, bzw., je nach Zustand und Material des Rahmens, auch der Rahmen.
- Dämmung Kellerdecke, Minimierung der Wärmebrücken über Außenwände und Innenwände, Stiegenhaus
- Verbesserung Luftdichtigkeit
- Verbesserung Schallschutz nach außen (Fenster und Fensteranschlüsse)
- Verbesserung Schallschutz zwischen Wohneinheiten (Wände, Decken)
- Verbesserung Brandschutz zwischen den Wohneinheiten
- Optimierte Wohnraumlüftung

4.5.4 Details Sanierung Gebäude 80er Jahre

4.5.4.1 Sockel: Außenwand mit WDVS innen - Kellerdecke mit WDVS unterseitig - Schirmdämmung

Bestand: Ziegelmauerwerk mit Klinkerziegelverblendung, Stahlbetondecke mit Rost



Wandaufbau					
Klinkerziegel, außen				*10,5*	*cm*
Hinterlüftung				*4*	*cm*
Glaswolle, Aluminiumanker				*4*	*cm*
Ziegel porosiert				*38*	*cm*
Kalkzementputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,40	[W/m²K]	Σ	58,0	cm

Deckenaufbau					
Bodenbelag				*2*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
PE-Folie/ Trennlage				*0,02*	*cm*
Mineralwolle				*4*	*cm*
Schüttung				*5*	*Cm*
Stahlbetondecke				*18*	*cm*
U-Wert	0,59	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

Wandaufbau, erdberührt					
Ziegel porosiert				*38*	*cm*
Abdichtung				*0,3*	*cm*
U-Wert	0,49	[W/m²K]	Σ	38,3	cm

① *Belüftungsöffnungen durch offene vertikale Fugen*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,247*	*W/mK*
Ψ-Wert Innen/ Keller	*-0,096*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,80*	*-*

Charakterisierung Bestand:

- Aufsteigende Feuchtigkeit, aufsteigende Salze?
- Nutzung des Kellers: Lagerraum, ungenutzt?
- Art Oberfläche Erdreich: Gras, Kies, Gehsteig dicht; geneigt nach außen?

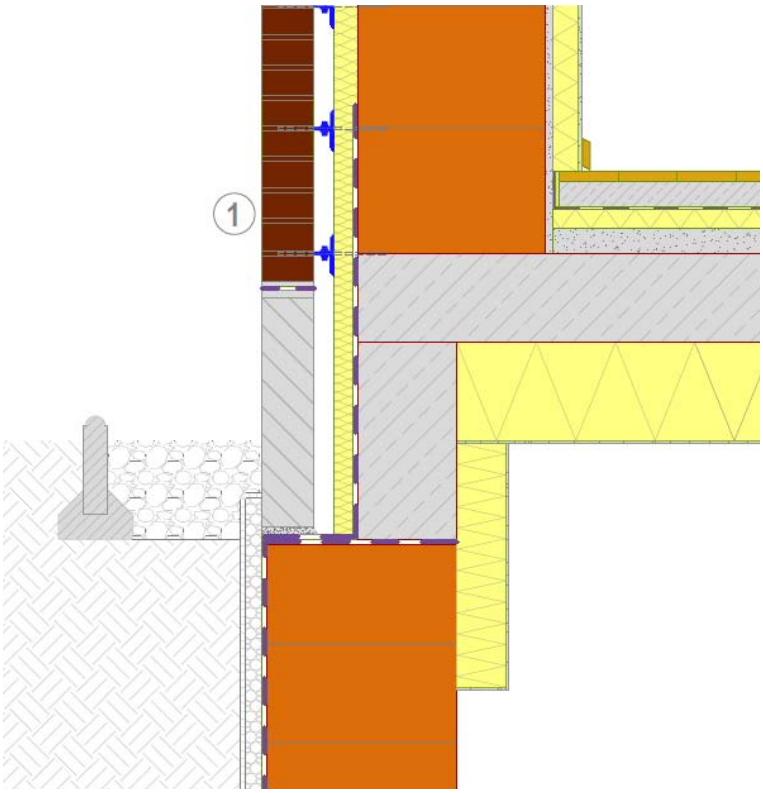
Sanierung

Außenwand mit WDVS innen, erdberührte Außenwand innen gedämmt, Kellerdecke WDVS unten

Beschreibung:

- Thermische Sanierung der Außenwand mit WDVS innen. Kellerdecke WDVS unten und Halsdämmung der Kellerwand innen
- Die Temperatur des Kellerraumes wird im Winter reduziert, damit ergibt sich bei gleichbleibenden Feuchtequellen eine höhere relative Feuchte.

Sanierung: Außenwand mit WDVS innen, erdberührte Außenwand gedämmt, Kellerdecke mit WDVS unterseitig



① *Belüftungsöffnungen durch offene vertikale Fugen*

Wandaufbau					
Klinkerziegel, außen				*10,5*	*cm*
Hinterlüftung				*4*	*cm*
Glaswolle, Aluminiumanker				*4*	*cm*
Ziegel porosiert				*38*	*cm*
Kalkzementputz, innen				*1,5*	*cm*
Klebespachtel				*0,2*	*cm*
Calciumsilikatdämmplatten				*5*	*cm*
Kalkputz				*1*	*cm*
U-Wert	0,26	[W/m²K]	Σ	64,2	cm

Deckenaufbau					
Bodenbelag				*2*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
PE-Folie/ Trennlage				*0,02*	*cm*
Mineralwolle				*4*	*cm*
Schüttung				*5*	*cm*
Stahlbetondecke				*18*	*cm*
EPS Dämmplatten				*20*	*cm*
Kalkputz				*0,4*	*cm*
U-Wert	0,15	[W/m²K]	Σ	54,4	cm

Wandaufbau, erdberührt					
Ziegel porosiert				*38*	*cm*
Abdichtung				*0,3*	*cm*
U-Wert	0,49	[W/m²K]	Σ	38,3	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,009*	*W/mK*
Ψ-Wert innen/ Keller	*-0,053*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,88*	*-*

Eignung:

- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit
- Wenn eindringende Feuchte von außen (Schlagregen) sicher ausgeschlossen werden kann (Hydrophobierung)
- Wenn außenseitige Sanierung nicht möglich (Denkmalschutz etc.).

Ausführungshinweise:

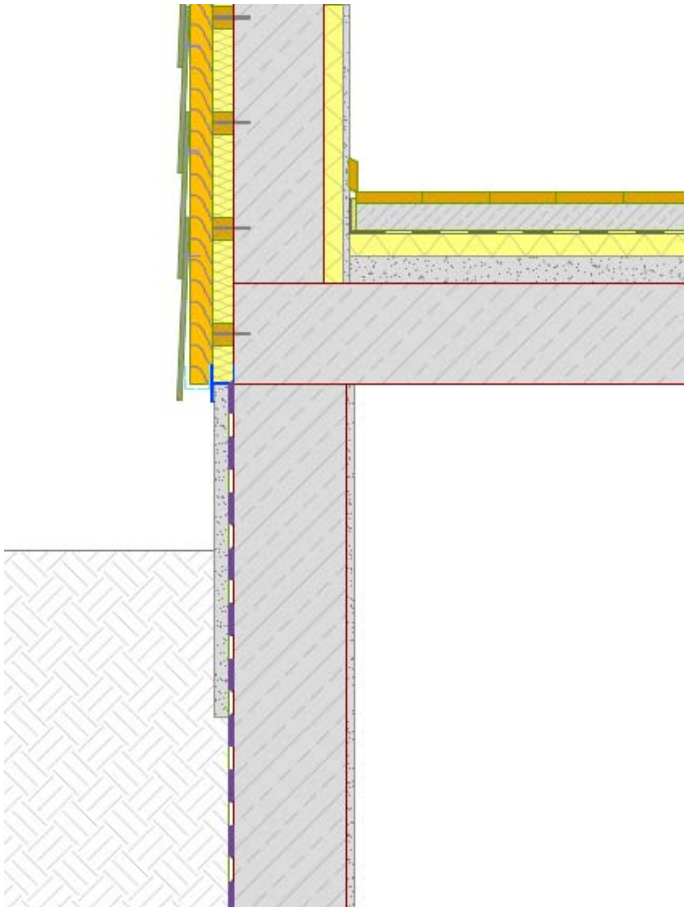
- Den Innenputz des Bestandes als luftdichte Ebene bis Rohdecke führen, wenn nur in Teilen vorhanden
- Dämmplatten an Kellerdecke verkleben und je nach Untergrund zusätzlich verdübeln.

Diskussion:

Innendämmungen vor allem im Außenwandbereich nur bei nachgewiesener Eignung realisieren (siehe Kapitel Innendämmung von Außenwänden). Vor allem für „trockene“ Keller mit Feuchtereserven geeignet, an deren Feuchteverhalten keine hohen Anforderungen gestellt werden.

4.5.4.2 Stahlbetonwand mit vorgefertigtem Mineralwolledämmkasten, Kellerwand außen gedämmt, Kellerdecke mit abgehängter Decke und Mineralwolledämmung

Bestand: AW-Stahlbetonmauerwerk, Holzlattung, Stahlbetondecke



Wandaufbau					
Faserzementplatten kleinteilig				*0,8*	*cm*
Hinterlüftung, Lattung				*4*	*cm*
Glaswolle, Holzprofile4/4 horizontal				*4*	*cm*
Stahlbeton				*16*	*cm*
Holzwolle, Heraklith				*3,5*	*cm*
Gipsputz, innen				*1*	*cm*
U-Wert	0,70	[W/m²K]	Σ	29,3	cm

Deckenaufbau					
Bodenbelag				*2*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
PE-Folie, Trennlage				*0,02*	*cm*
Mineralwolle				*4*	*cm*
Schüttung				*5*	*cm*
Stahlbetondecke				*18*	*cm*
U-Wert	0,59	[W/m²K]	Σ	34,0	cm

Wandaufbau, erdberührt					
Kalkzementputz				*2,5*	*cm*
Abdichtung				*0,02*	*cm*
Stahlbeton				*20*	*cm*
Gipsputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	3,59	[W/m²K]	Σ	24,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,065*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*-0,035*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,72*	-

Charakterisierung Bestand:

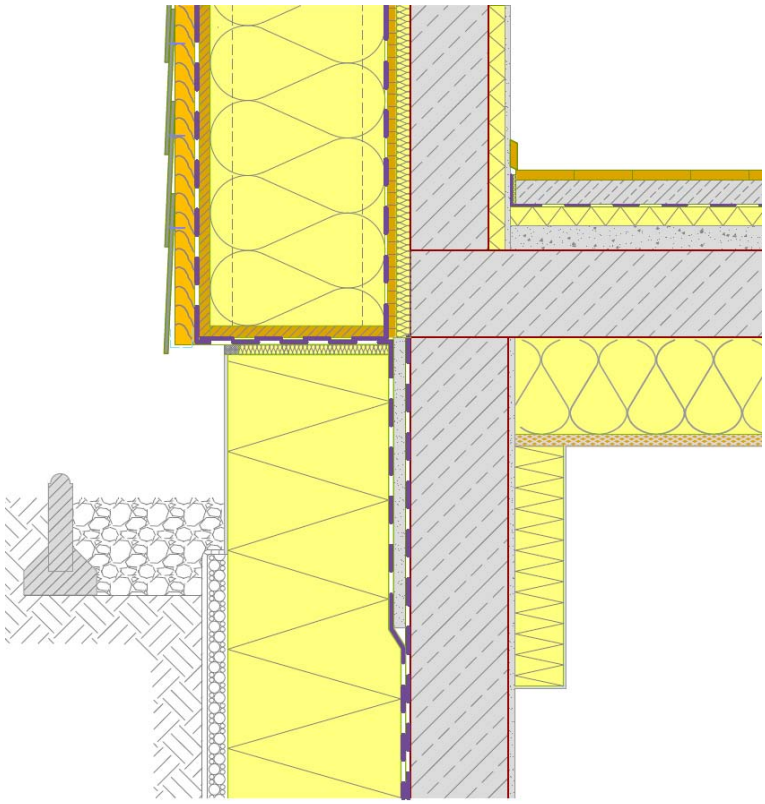
- Aufsteigende Feuchtigkeit, aufsteigende Salze?
- Nutzung des Kellers: Lagerraum, ungenutzt?
- Art Oberfläche Erdreich: Gras, Kies, Gehsteig dicht; geneigt nach außen?

Sanierung Stahlbetonwand mit vorgefertigtem Mineralwolledämmkasten, Kellerwand außen gedämmt, Kellerdecke mit abgehängter Decke und Mineralwolledämmung

Beschreibung:

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch das außenseitige Aufbringen eines vorgefertigten Mineralwolledämmkastens
- Die Kellerdecke wird unterseitig mit einer abgehängten Decke und Glaswolledämmung gedämmt, die Kellerwand außen gedämmt (Schirmdämmung)
- Die Temperatur des Kellerraumes wird im Winter erhöht, damit ergibt sich bei gleichbleibenden Feuchtequellen eine niedrigere relative Feuchte: Vorteile für Lagerung. Im Sommer abgesenkt, daher Kombination mit intelligenter Kellerlüftung sinnvoll (siehe Kap. erdberührte Bauteile)

Sanierung: Stahlbetonwand mit vorgefertigtem Mineralwolledämmkasten, Kellerwand außen gedämmt, Kellerdecke mit abgehängter Decke und Mineralwolledämmung



Wandaufbau					
Faserzementplatten, kleinteilig				*0,8*	*cm*
Hinterlüftung, Lattung				*4*	*cm*
Windsperre				*0,02*	*cm*
Holzfaserplatte				*2,2*	*cm*
Glaswolle zwischen Träger				*30*	*cm*
Dampfbremse				*0,02*	*cm*
OSB Platte				*1,8*	*cm*
Mineralwolle Ausgleichsschicht				*3*	*cm*
Spachtelung (luftdichte Ebene)				*0,5*	*cm*
Stahlbeton				*16*	*cm*
Holzwolle, Heraklith				*3,5*	*cm*
Gipsputz, innen				*1*	*cm*
U-Wert	0,12	[W/m²K]	Σ	62,8	cm

Deckenaufbau					
Bodenbelag				*2*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
PE-Folie, Trennlage				*0,02*	*cm*
Mineralwolle				*4*	*cm*
Schüttung				*5*	*cm*
Stahlbetondecke				*18*	*cm*
Glaswolledämmung				*20*	*cm*
Holzwolleleichtbauplatte auf Konstr.				*2,5*	*cm*
U-Wert	0,14	[W/m²K]	Σ	56,5	cm

Wandaufbau, erdberührt					
EPS				*36*	*cm*
Windsperre				*0,02*	*cm*
Abdichtung				*0,02*	*cm*
Stahlbeton				*20*	*cm*
Gipsputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,11	[W/m²K]	Σ	57,5	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,040*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*0,171*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,91*	*-*

Eignung:

- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit geeignet
- Vor Aufbringen der vertikalen Abdichtung saubere Oberfläche herstellen (Grobputz)

Ausführungshinweise:

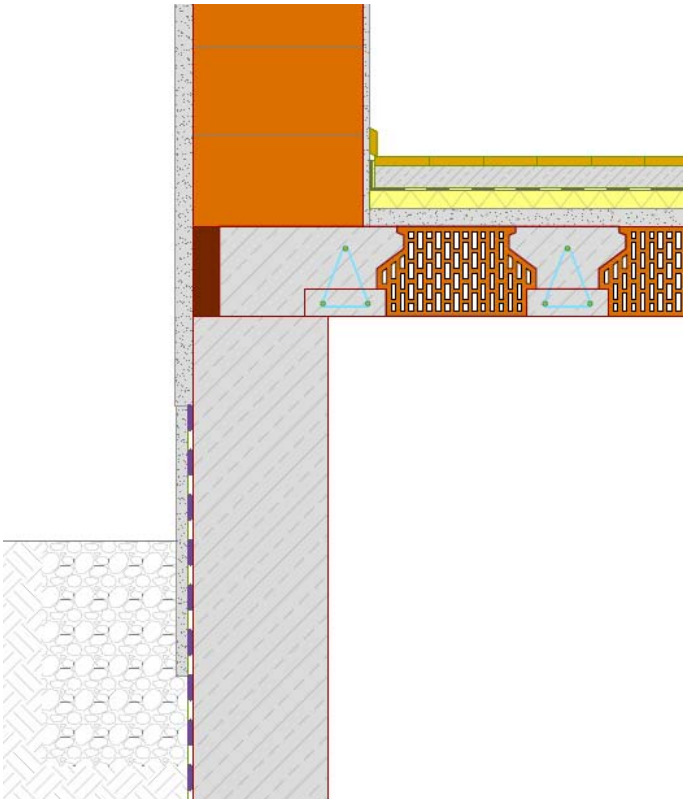
- Luftdichte Ebene (Außenputz, bei Erfordernis vollflächig verspachtelt) bis Unterkante Abdichtung führen, diese stellt auch die saubere Oberfläche für Aufbringen der vertikalen Abdichtung dar. Im Abdichtungsbereich ist eine bituminöse Schlämme zu verwenden
- Abdichtung vollflächig dicht verkleben bis mindestens 30 cm über Geländeniveau (Spritzwasserbereich)
- Den Streifen aus Polymerbitumen zwischen oberem Rand der Sockeldämmung und Dämmung des aufgehenden Mauerwerks mit der Wandoberfläche dicht verkleben (z.B. anflämmen), unterseitig an Fassadendämmplatte und Tropfkantenprofil verkleben.

Diskussion:

Vor allem bei höheren Anforderungen an die Qualität der Raumluftkonditionen im Keller gut geeignet.

4.5.4.3 Ziegelwand mit vorgefertigtem Mineralwolledämmkasten, Kellerwand außen gedämmt, Kellerdecke mit abgehängter Decke und Mineralwolledämmung

Bestand: AW-Ziegelmauerwerk, Ziegeldecke



Wandaufbau					
Dämmputz, außen				*4*	*cm*
Ziegel porosiert				*38*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,43	[W/m²K]	Σ	43,5	cm

Deckenaufbau					
Holzboden, verklebt				*2*	*cm*
Zementestrich				*5*	*cm*
PE-Folie/ Trennbahn				*0,02*	*cm*
EPS				*4*	*cm*
Aufbeton				*4*	*cm*
Ziegeldecke				*20*	*cm*
U-Wert	0,54	[W/m²K]	Σ	35,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,073*	*W/mK*
Ψ-Wert innen/ Keller	*0,021*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,76*	*-*

Charakterisierung Bestand:

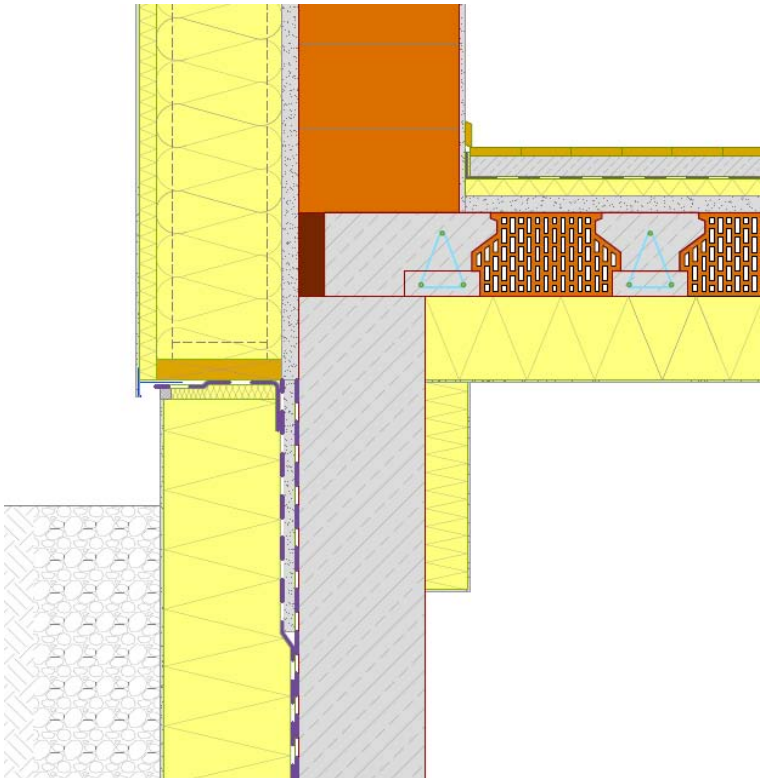
- Aufsteigende Feuchtigkeit, aufsteigende Salze?
- Nutzung des Kellers: Lagerraum, ungenutzt?
- Art Oberfläche Erdreich: Gras, Kies, Gehsteig dicht; geneigt nach außen?

Sanierung Ziegelwand mit vorgefertigtem Mineralwolledämmkasten, Kellerwand außen gedämmt, Kellerdecke mit abgehängter Decke und Mineralwolledämmung

Beschreibung:

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch das außenseitige Aufbringen eines vorgefertigten Mineralwollekastens
- Die Kellerdecke wird unterseitig gedämmt, die Wände des Kellers werden außen und innen gedämmt (Schirmdämmung).
  - Die Temperatur des Kellerraumes wird im Winter verringert, damit ergibt sich bei gleichbleibenden Feuchtequellen eine höhere relative Feuchte

Sanierung: Ziegelwand mit vorgefertigtem Mineralwolledämmkasten, Kellerwand außen gedämmt, Kellerdecke mit abgehängter Decke und Mineralwolledämmung



Wandaufbau					
Silikatputz				*0,6*	*cm*
Holzfaserplatte				*4*	*cm*
Glaswolle zwischen Träger				*30*	*cm*
Spachtelung (luftdichte Ebene)				*0,5*	*cm*
Dämmputz, außen				*4*	*cm*
Ziegel porosiert				*38*	*cm*
Kalkzementputz				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,10	[W/m²K]	Σ	78,6	cm

Deckenaufbau					
Holzboden, verklebt				*2*	*cm*
Zementestrich				*5*	*cm*
PE-Folie/ Trennbahn				*0,02*	*cm*
EPS				*4*	*cm*
Aufbeton				*4*	*cm*
Ziegeldecke				*20*	*cm*
EPS Dämmplatte				*20*	*cm*
Kalkputz				*0,4*	*cm*
U-Wert	0,14	[W/m²K]	Σ	55,4	cm

Wandaufbau, erdberührt					
Kalkzementputz				*1*	*cm*
EPS				*30*	*cm*
Windsperre				*0,02*	*cm*
Abdichtung				*0,02*	*cm*
Stahlbeton				*20*	*cm*
U-Wert	0,13	[W/m²K]	Σ	51,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,036*	*W/mK*
Ψ-Wert innen/ Keller	*0,195*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,87*	-

Eignung:

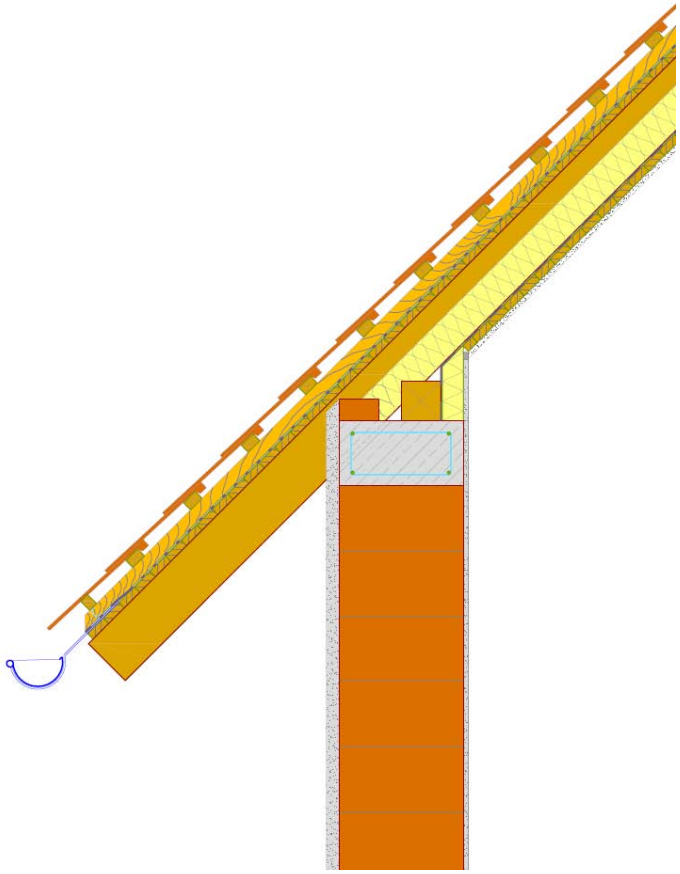
- Bei geringer Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit geeignet
- Vor Aufbringen der vertikalen Abdichtung saubere Oberfläche herstellen (Grobputz)

Ausführungshinweise:

- Luftdichte Ebene (Außenputz, bei Erfordernis vollflächig verspachtelt) bis Unterkante Abdichtung führen, diese stellt auch die saubere Oberfläche für Aufbringen der vertikalen Abdichtung dar. Im Abdichtungsbereich ist eine bituminöse Schlämme zu verwenden
- Abdichtung vollflächig dicht verkleben bis mindestens 30 cm über Geländeniveau (Spritzwasserbereich)
- Perimeterdämmplatten mit vorkomprimiertem Dichtungsband und angeheftetem Faserdämmstoff-Streifen knirsch nach oben drücken, oberste Dämmplatte sollte vollflächig verklebt werden.
- Den Streifen aus Polymerbitumen zwischen oberem Rand der Sockeldämmung und Dämmung des aufgehenden Mauerwerks mit der Wandoberfläche dicht verkleben (z.B. anflämmen), unterseitig an Fassadendämmplatte und Tropfkantenprofil verkleben.

4.5.4.4 Attika: Außenwand mit WDVS– Ziegeldach mit Aufsparrendämmung

Bestand: Außenwand Ziegel verputzt – Ziegeldach



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung				*3*	*cm*
Konterlattung				*4*	*cm*
Bitumenbahn				*0,5*	*cm*
Holzschalung				*2,4*	*cm*
Luftraum, Hinterlüftung, Sparren				*6*	*cm*
Glaswolle, Sparren 10/16				*10*	*cm*
Dampfbremse				*0,02*	*cm*
Sparschalung				*2,4*	*cm*
Gipskartonplatte				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,41	[W/m²K]	Σ	31,8	cm

Wandaufbau					
Dämmputz, außen				*4*	*cm*
Ziegel porosiert				*38*	*cm*
Kalkzementputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,66	[W/m²K]	Σ	43,5	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,258*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,64*	-

Charakterisierung Bestand:

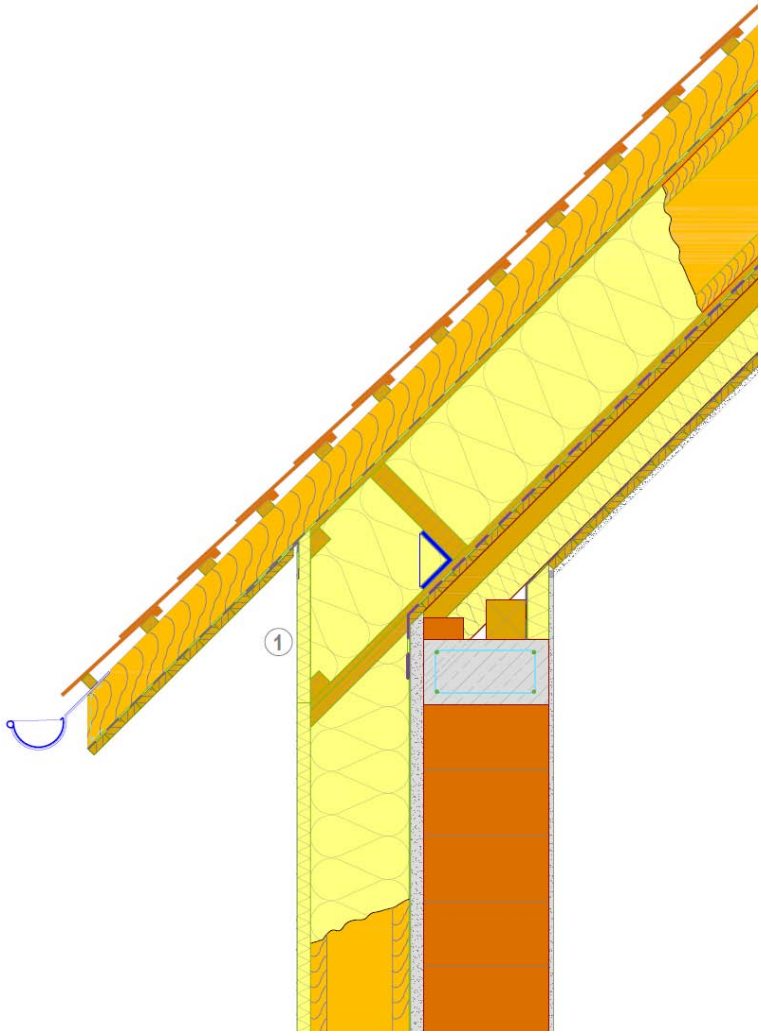
- Dachsparren statisch ausreichend?

Sanierung Hochlochziegel porosiert mit WDVS, Ziegeldach mit Aufsparrendämmung

Beschreibung:

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch ein Wärmedämmverbundsystem.
- Das Dach wird von außen geöffnet, die Ebene zwischen den Sparren wird ausgedämmt, darüber wird eine Aufsparrendämmung ausgeführt.
- Die luftdichte Ebene ist der Außenputz, der mit der Dampfbremse im Dach strömungsdicht verklebt wird.

Sanierung: Hochlochziegel porosiert mit WDVS, Ziegeldach mit Aufsparrendämmung



Dachaufbau		
Dachziegel	*2*	*cm*
Lattung 3/5	*3*	*cm*
Konterlattung, Hinterlüftung	*12*	*cm*
PE-Folie, diffusionsoffen	*0,02*	*cm*
MDF-Platte	*1,6*	*cm*
Glaswolle, Doppel-T-Träger	*36*	*cm*
OSB-Platte	*1,8*	*cm*
Bitumenbahn, neu verklebt	*0,5*	*cm*
Holzschalung	*2,4*	*cm*
Luftraum geschlossen, Sparren	*6*	*cm*
Glaswolle, Sparren 10/16	*10*	*cm*
Dampfbremse	*0,02*	*cm*
Sparschalung	*2,4*	*cm*
Gipskartonplatte	*1,5*	*cm*
U-Wert 0,09 [W/m²K]	Σ 79,2	cm

Wandaufbau		
Silikatputz, außen	*0,6*	*cm*
Holzfaserplatte	*4*	*cm*
Zelluloseflocken, Doppel-T-Träger	*30*	*cm*
Spachtelung, luftdichte Ebene	*0,5*	*cm*
Dämmputz	*4*	*cm*
Ziegelmauerwerk	*38*	*cm*
Kalkzementputz, innen	*1,5*	*cm*
U-Wert 0,11 [W/m²K]	Σ 78,6	cm

① *Montageöffnung*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,027*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,93*	*-*

Eignung:

- Für statisch ausreichend dimensionierte Dächer

Ausführungshinweise:

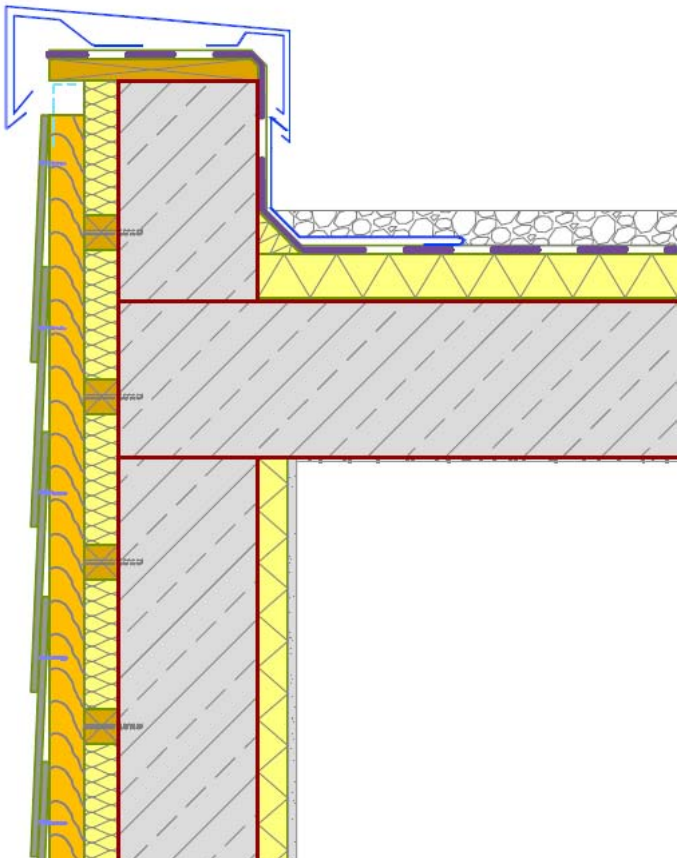
- Abdeckung Dach, Dämmung Luftraum zwischen Bestandssparren, Montage Schalung, Dampfbremse wird mit Bestandsaußenputz Wand luftdicht verklebt.
- Befestigung Montageholz im Traufenbereich, Montage Aufschieblinge im Randbereich für großzügig dimensioniertes Vordach wie im Bestand, Versetzung Aufsparrendämmung, Holzfaserplatte und Windsperre
- Oberste Lage Dämmplatten vollflächig verkleben, um eine Dampfentspannung Trennschicht Bestandsputz – Dämmplatten nach oben sicher auszuschließen.

Diskussion:

Die Ausführung des nachgebildeten Dachabschlusses der Fassade auf derselben Höhe wie im Original erhält die Proportionen der Fassade.

4.5.4.5 Attika: Außenwand mit vorgefertigtem Mineralwolledämmkasten – Stahlbetonbitumendach Duodach

Bestand: Außenwand Stahlbeton, Holzlattung – Stahlbetonbitumenflachdach



Dachaufbau					
Kies				*4*	*cm*
Bitumenabdichtung				*1*	*cm*
EPS				*5*	*cm*
Bitumendampfsperre				*0,5*	*cm*
Stahlbeton				*18*	*cm*
Gipsspachtel				*0,5*	*cm*
U-Wert	0,65	[W/m²K]	Σ	29,0	cm

Wandaufbau					
Faserzementplatten kleinteilig				*0,8*	*cm*
Hinterlüftung, Lattung				*4*	*cm*
Glaswolle, Holzprofile4/4 horizontal				*4*	*cm*
Stahlbeton				*16*	*cm*
Holzwolle, Heraklith				*3,5*	*cm*
Gipsputz, innen				*1*	*cm*
U-Wert	0,70	[W/m²K]	Σ	29,3	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,414*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,55*	-

Charakterisierung Bestand:

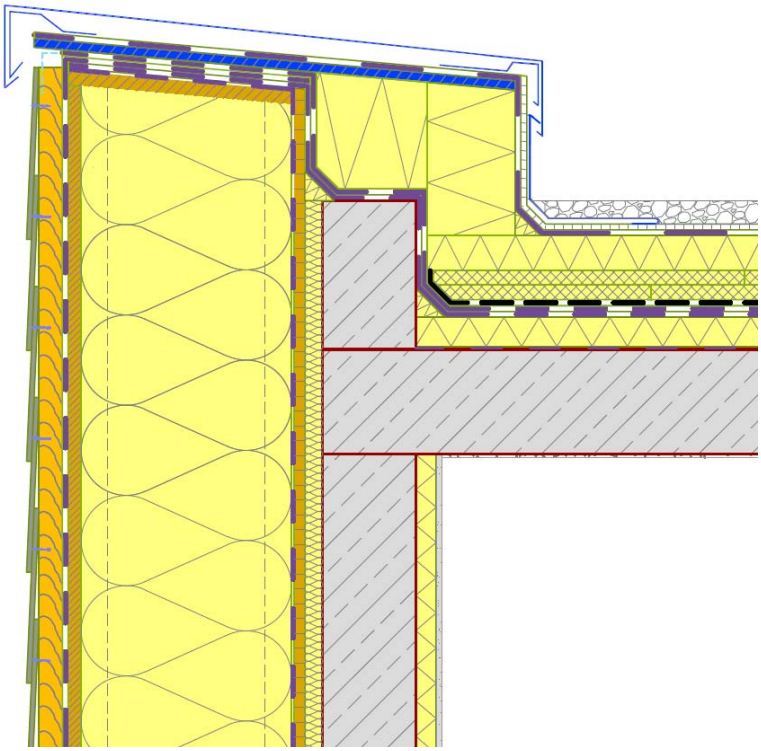
- Deckenkonstruktion statisch verwendbar

Sanierung Außenwand mit vorgefertigtem Mineralwolledämmkasten – Stahlbetonbitumen - Duodach

Beschreibung:

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch einen vorgefertigten Mineralwollekasten
- Am Dach wird die bestehende Kiesschicht entfernt, eine neue Abdichtungsebene aufgebracht und danach die übrigen Bauteilschichten aufgebracht
- Die luftdichte Ebene ist der Außenputz, der mit der Dampfbremse im Dach strömungsdicht verklebt wird.

Sanierung: Außenwand mit vorgefertigtem Mineralwolledämmkasten– Stahlbetonbitumen Duodach



Dachaufbau		
Kies	*4*	*cm*
Vlies	*1*	*cm*
Polymerbitumen Abdichtung	*1*	*cm*
XPS Gefälleplatte	*10*	*cm*
Vskuumdämmung, 2-lagig	*5*	*cm*
PE-Weichschaum	*1*	*cm*
Abdichtung, neu	*1*	*cm*
Bitumenabdichtung	*1*	*cm*
EPS	*5*	*cm*
Bitumendampfsperre	*0,5*	*cm*
Stahlbeton	*18*	*cm*
Gipsspachtel	*0,5*	*cm*
U-Wert 0,08 [W/m²K]	Σ 48	cm

Wandaufbau		
Faserzementplatten, kleinteilig	*0,8*	*cm*
Hinterlüftung, Lattung	*4*	*cm*
Windsperre	*0,02*	*cm*
Holzfaserplatte	*2,2*	*cm*
Glaswolle zwischen Träger	*30*	*cm*
Dampfbremse	*0,02*	*cm*
OSB Platte	*1,8*	*cm*
Mineralwolle Ausgleichsschicht	*3*	*cm*
Spachtelung (luftdichte Ebene)	*0,5*	*cm*
Stahlbeton	*16*	*cm*
Holzwolle, Heraklith	*3,5*	*cm*
Gipsputz, innen	*1*	*cm*
U-Wert 0,12 [W/m²K]	Σ 62,8	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,056*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,91*	*-*

Eignung:

- Für statisch ausreichend dimensionierte Dächer

Ausführungshinweise:

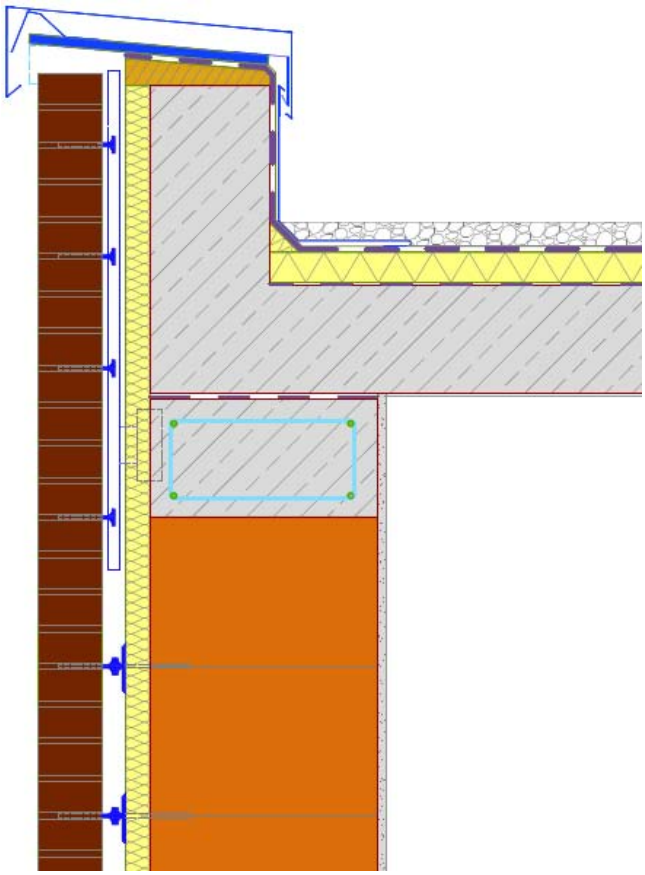
- Am Dach wird die bestehende Kiesschicht entfernt, eine neue Abdichtungsebene aufgebracht und danach die übrigen Bauteilschichten aufgebracht

Diskussion:

- Für einen wärmebrückenoptimierten Anschluß Stahlbetonattika wenn statisch möglich entfernen.

4.5.4.6 Attika: Ziegelwand mit WDVS innen – Stahlbetonbitumen-Duodach

Bestand: Ziegelmauerwerk mit Klinkerziegelverblendung –Stahlbetondach



Dachaufbau					
Kies				*4*	*cm*
Bitumenabdichtung				*1*	*cm*
EPS				*5*	*cm*
Bitumendampfsperre				*0,5*	*cm*
Stahlbeton				*18*	*cm*
Gipsspachtel				*0,5*	*cm*
U-Wert	0,65	[W/m²K]	Σ	29,0	cm

Wandaufbau					
Klinkerziegel, außen				*10,5*	*cm*
Hinterlüftung				*4*	*cm*
Glaswolle, Aluminiumanker				*4*	*cm*
Ziegel porosiert				*38*	*cm*
Kalkzementputz, innen				*1,5*	*cm*
U-Wert	0,62	[W/m²K]	Σ	58,0	cm

2-dimensionaler Kennwert		
Ψ-Wert innen / außen	*0,359*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,61*	-

Charakterisierung Bestand:

- Deckenkonstruktion statisch verwendbar

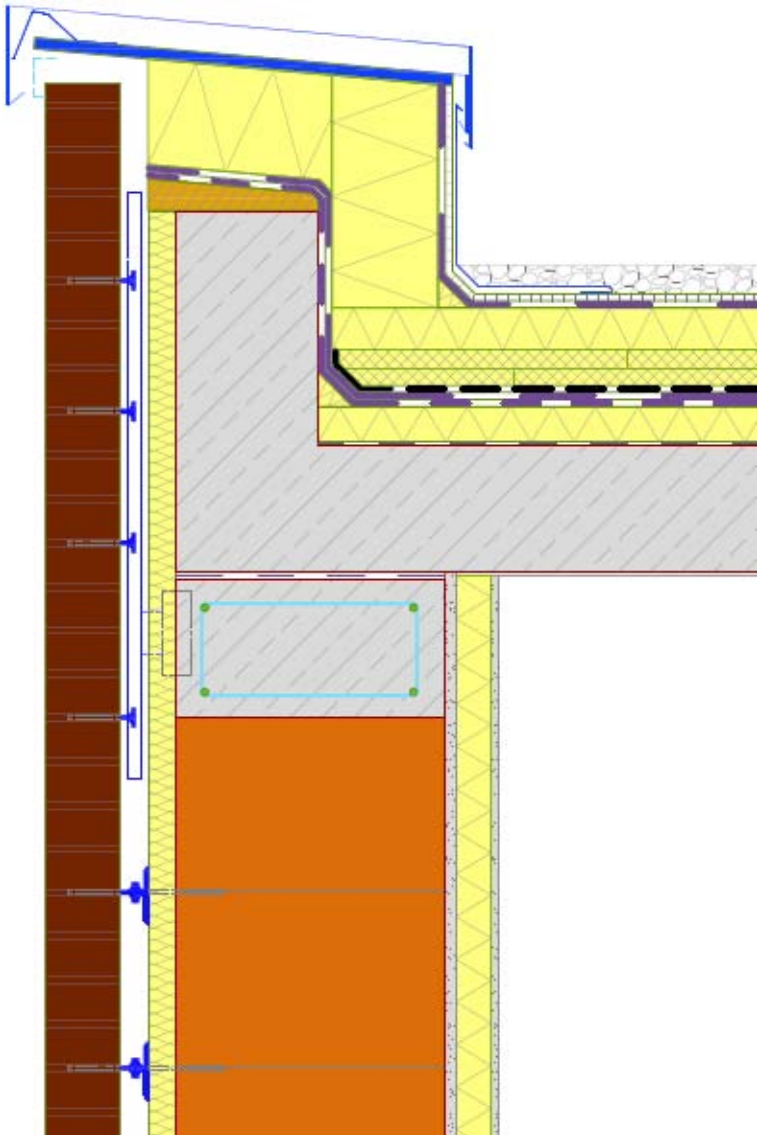
Sanierung Außenwand mit WDVS innen – Stahlbetonbitumen-Duodach

Beschreibung:

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch ein innenliegendes WDVS
- Am Dach wird die bestehende Kiesschicht entfernt, eine neue Abdichtungsebene aufgebracht und danach die übrigen Bauteilschichten aufgebracht

Die luftdichte Ebene ist der Außenputz, der mit der Dampfbremse im Dach strömungsdicht verklebt wird.

Sanierung: Ziegelwand mit WDVS innen – Stahlbetonbitumen-Duodach



Dachaufbau					
Kies				*4*	*cm*
Vlies				*1*	*cm*
Polymerbitumen Abdichtung				*1*	*cm*
XPS Gefälleplatte				*10*	*cm*
Vakuumdämmung, 2-lagig				*5*	*cm*
PE-Weichschaum				*1*	*cm*
Abdichtung, neu				*1*	*cm*
Bitumenabdichtung				*1*	*cm*
EPS				*5*	*cm*
Bitumendampfsperre				*0,5*	*cm*
Stahlbeton				*18*	*cm*
Gipsspachtel				*0,5*	*cm*
U-Wert	0,08	[W/m²K]	Σ	48	cm

Wandaufbau					
Klinkerziegel, außen				*10,5*	*cm*
Hinterlüftung				*4*	*cm*
Glaswolle, Aluminiumanker				*4*	*cm*
Ziegel porosiert				*38*	*cm*
Kalkzementputz, innen				*1,5*	*cm*
Klebespachtel				*0,2*	*cm*
Calciumsilikatdämmplatten				*5*	*cm*
Kalkputz				*1*	*cm*
U-Wert	0,33	[W/m²K]	Σ	64,2	cm

2-dimensionaler Kennwert		
Ψ-Wert innen / außen	*0,226*	*W/mK*
3-dimensionale Kennwerte		
χ-Wert innen / außen	*0,008*	*W/K*
f_{RSi}	*0,74*	*-*

Eignung:

- Für statisch ausreichend dimensionierte Dächer

Ausführungshinweise:

- Die Klinkerfassade wird um 3 Steine erhöht
- Am Dach wird die bestehende Kiesschicht entfernt, eine neue Abdichtungsebene aufgebracht und danach die übrigen Bauteilschichten aufgebracht

Diskussion:

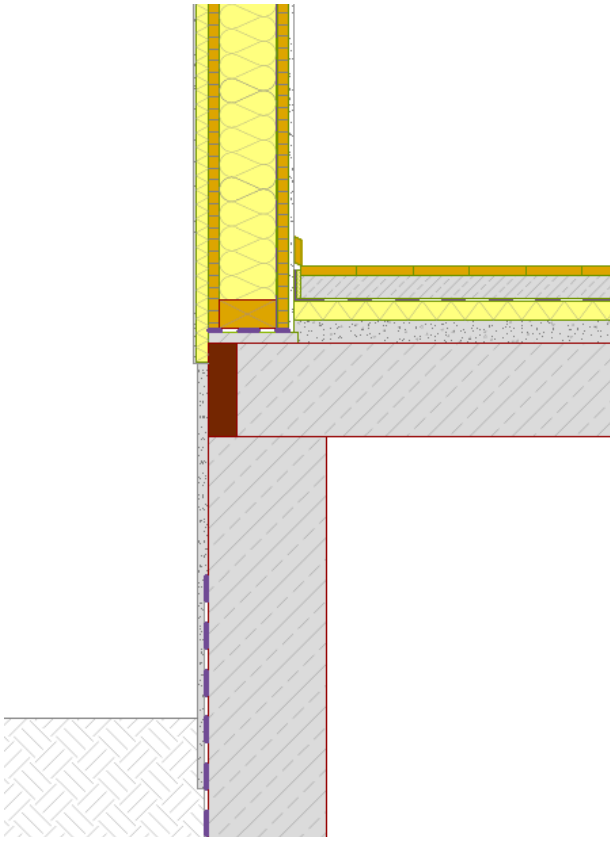
Für einen wärmebrückenoptimierten Anschluß Stahlbetonattika wenn statisch möglich entfernen

4.6 Gebäude der 80er Jahre – Fertigteil-Leichtbau

4.6.1 Sockel: Außenwand – Kellerdecke

4.6.1.1 Außenwand mit Leichtbau-Fertigteildämmelement, Kellerdecke mit unterseitigem WDVS

Bestand: Außenwand Leichtbau verputzt - Stahlbetonfertigteildecke



Wandaufbau					
Kunstharzputz, außen				*0,5*	*cm*
Holzwolle, Heraklith				*2,8*	*cm*
Pressspanplatte				*2,2*	*cm*
Glaswolle, Pfosten				*12*	*cm*
Dampfbremse				*0,02*	*cm*
Pressspanplatte				*2,2*	*cm*
Gipskartonplatte				*1,3*	*cm*
U-Wert	0,30	[W/m²K]	Σ	21,0	cm

Deckenaufbau					
Bodenbelag				*2*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
PE-Folie/ Trennlage				*0,02*	*cm*
Mineralwolle				*4*	*cm*
Schüttung				*5*	*cm*
Stahlbetondecke				*20*	*cm*
U-Wert	0,60	[W/m²K]	Σ	36,0	cm

Wandaufbau, erdberührt					
Stahlbeton				*25,0*	*cm*
Abdichtung				*0,2*	*cm*
U-Wert	4,04	[W/m²K]	Σ	25,2	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,047*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*-0,192*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,81*	*-*

Charakterisierung Bestand:

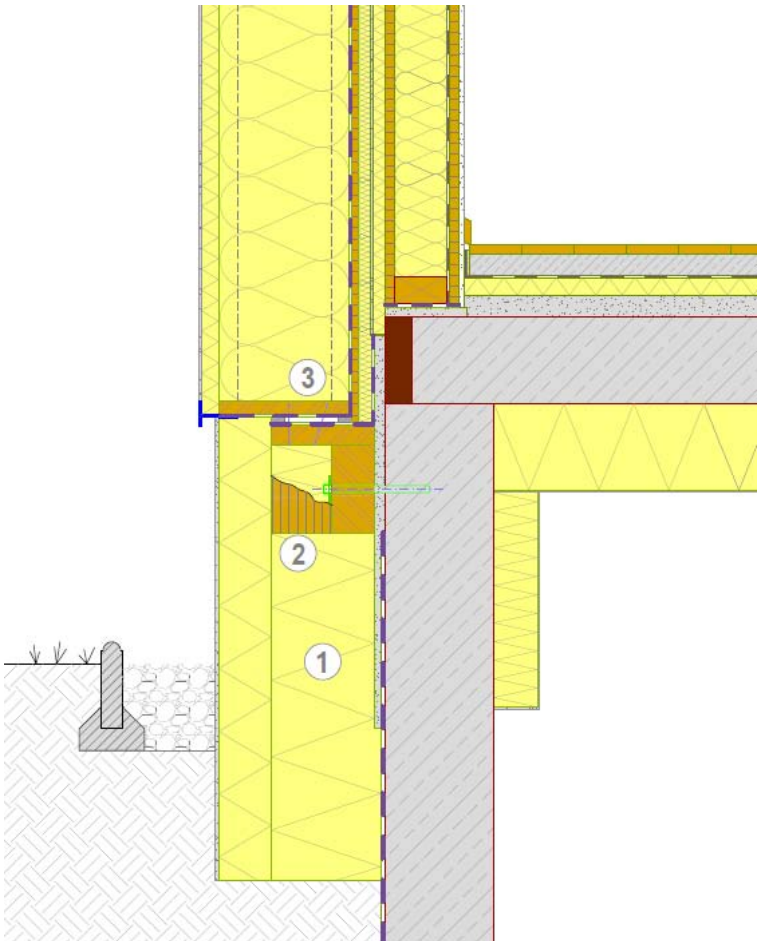
- Keller feucht, Abdichtung vorhanden, bzw. intakt?
- Nutzung des Kellers: Lagerraum, ungenutzt?

Sanierung Außenwand mit Leichtbau-Fertigteildämmelement, Kellerdecke mit unterseitigem WDVS

Beschreibung:

- Die thermische Sanierung der Außenwand erfolgt durch vorgefertigte Leichtbauteile, die an der Keller- und Außenwand befestigt werden.
- Die Kellerdecke bleibt ungedämmt, die außenliegenden Wände des Kellers werden gedämmt (Schirmdämmung).
- Die Temperatur des Kellerraumes wird im Vergleich zum Bestand im Winter erhöht, damit ergibt sich bei gleichbleibenden Feuchtequellen eine niedrigere relative Feuchte.

Sanierung: Außenwand mit Leichtbau-Fertigteildämmelement, Kellerdecke mit unterseitigem WDVS



① *XPS*
② *XPS*
③ *Schwelldichtungsprofil*

Wandaufbau					
Silikatputz				*0,6*	*cm*
Holzfaserplatte				*4*	*cm*
Zellulose, Doppel-T-Träger				*30*	*cm*
Dampfbremse				*0,02*	*cm*
OSB				*1,8*	*cm*
Mineralwolle, Ausgleichsleiste				*3*	*cm*
Kunstharzputz, Ausgleichsleiste				*0,5*	*cm*
Holzwolle, Heraklith, Ausgleichsleiste				*2,8*	*cm*
Pressspanplatte				*2,2*	*cm*
Glaswolle, Pfosten				*12*	*cm*
Dampfbremse				*0,02*	*cm*
Pressspanplatte				*2,2*	*cm*
Gipskartonplatte				*1,3*	*cm*
U-Wert	0,09	[W/m²K]	Σ	60,4	cm

Deckenaufbau					
Bodenbelag				*2*	*cm*
Estrich				*5*	*cm*
PE-Folie/ Trennlage				*0,02*	*cm*
Mineralwolle				*4*	*cm*
Schüttung				*5*	*cm*
Stahlbetondecke				*20*	*cm*
EPS Dämmplatte				*20*	*cm*
Kalkputz				*0,4*	*cm*
U-Wert	0,15	[W/m²K]	Σ	56,4	cm

Wandaufbau, erdberührt					
Stahlbeton				*25,0*	*cm*
Abdichtung				*0,2*	*cm*
U-Wert	4,04	[W/m²K]	Σ	25,2	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,012*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / Keller	*0,091*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,91*	*-*

Eignung:

- Wenn vertikale Steher lokalisierbar und statisch geeignet
- Aufgrabetiefe je nach statischen Möglichkeiten

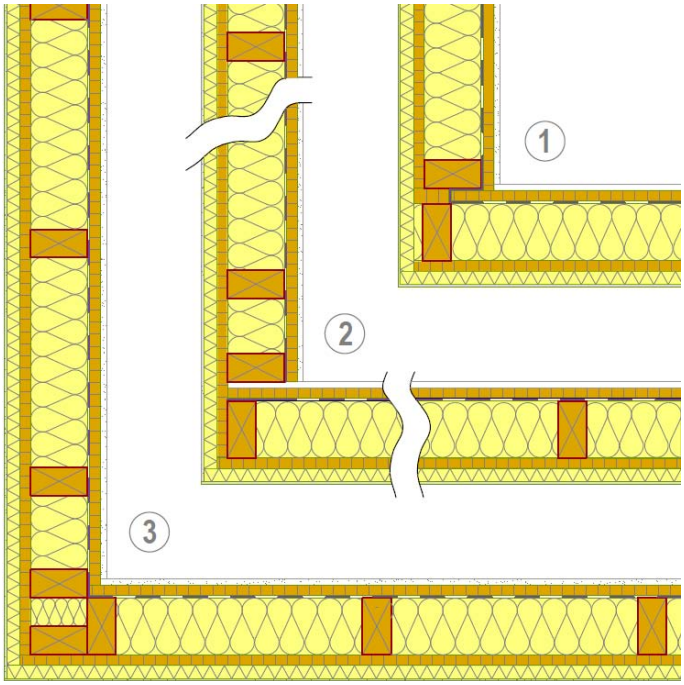
Ausführungshinweise:

- Luftdichte Ebene ist der Außenputz der Kellerwand, bzw. die Abdichtung. Darüber übernimmt die Dampfbremse die Sicherung der strömungsdichten Baustoffschicht.
- Montageschwelle an Kellerwand verdübeln, ca. alle 60 cm mit Furnierschichtholz aussteifen
- Dampfbremsstreifen auf Außenputz verkleben, auf Montageschwelle anheften, darauf Schwellen-Dichtungsprofil verkleben
- Dämmmatte innenseitig auf vorgefertigtes Leichtbaudämmelement anheften, auf Montageschwelle versetzen, von unten, seitlich an vorbereiteten Montagehölzern und oben am Bestand verschrauben (siehe Traufen/Ortgangdetail)

4.6.2 Zwischengeschoße: Außenwand – Außenwand

4.6.2.1 Außenwandecke, Wand mit Leichtbau vorgefertigt verputzt

Bestand: Außenwandecke Leichtbau verputzt



Wandaufbau					
Kunstharzputz, außen				*0,5*	*cm*
Holzwolle, Heraklith				*2,8*	*cm*
Pressspanplatte				*2,2*	*cm*
Glaswolle, Pfosten				*12*	*cm*
Dampfbremse				*0,02*	*cm*
Pressspanplatte				*2,2*	*cm*
Gipskartonplatte				*1,3*	*cm*
U-Wert	0,30	[W/m²K]	Σ	21,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen Grundriss 1	*-0,008*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / außen Grundriss 2	*-0,001*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / außen Grundriss 3	*0,001*	*W/mK*
f_{RSi} – Grundriss 1	*0,80*	-
f_{RSi} – Grundriss 2	*0,79*	-
f_{RSi} – Grundriss 3	*0,77*	-

Charakterisierung Bestand:

- Wandsteher statisch weiterverwendbar?

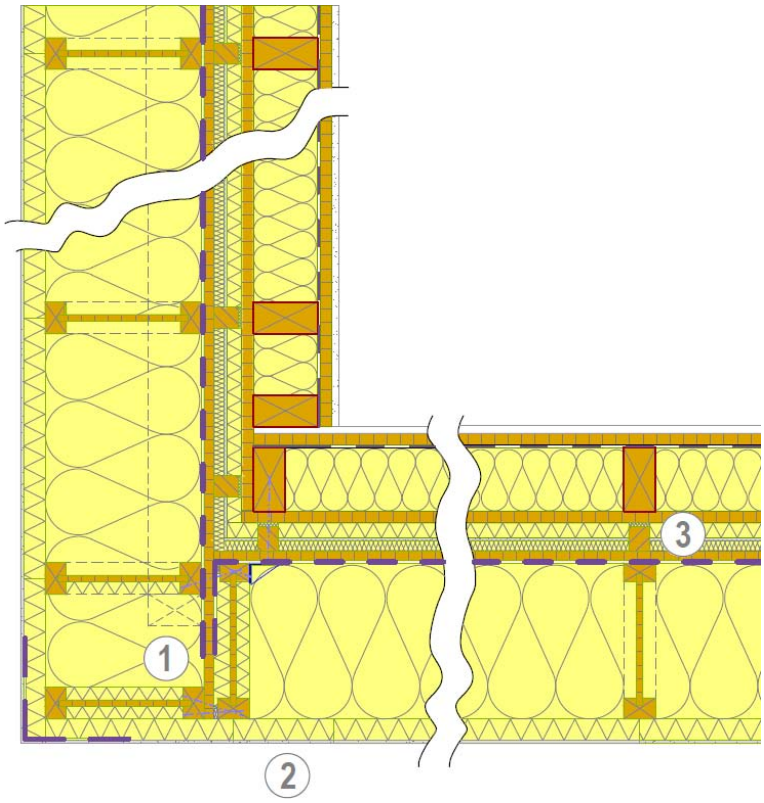
Sanierung Außenwandecke, Wand mit Leichtbau-Fertigteil, verputzt

Beschreibung:

- Die Sanierung der Außenwand wird mit ausgedämmten vorgefertigten Wandbauteilen ausgeführt, die innenseitig eine strömungsdichte Ebene bereitstellen.

Die luftdichte Ebene ist die neu verlegte Dampfbremse in den beiden Fertigteilen, die über eine Montageöffnung strömungsdicht miteinander verschlossen werden.

Sanierung: Außenwandecke, Wand mit Leichtbau-Fertigteil, verputzt



Wandaufbau		
Silikatputz	*0,6*	*cm*
Holzfaserplatte	*4,0*	*cm*
Glaswolle, Doppel-T-Träger	*30*	*cm*
Dampfbremse	*0,02*	*cm*
OSB	*1,8*	*cm*
Mineralwolle, Ausgleichsleiste	*3*	*cm*
Kunstharzputz, Ausgleichsleiste	*0,5*	*cm*
Holzwolle, Heraklith, Ausgleichsleiste	*2,8*	*cm*
Pressspanplatte	*2,2*	*cm*
Glaswolle, Pfosten	*12*	*cm*
Dampfbremse	*0,02*	*cm*
Pressspanplatte	*2,2*	*cm*
Gipskartonplatte	*1,3*	*cm*
U-Wert 0,09 [W/m²K]	Σ 60,4	cm

① *Anordnung von Zusatzstützen für Fenster falls Fensteröffnung in der Ecke anschließt*

② *Montageöffnung*

③ *Ausgleichsleiste*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,043*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,91*	*-*

Eignung:

- Für außenseitig dämmbare Fassaden

Ausführungshinweise:

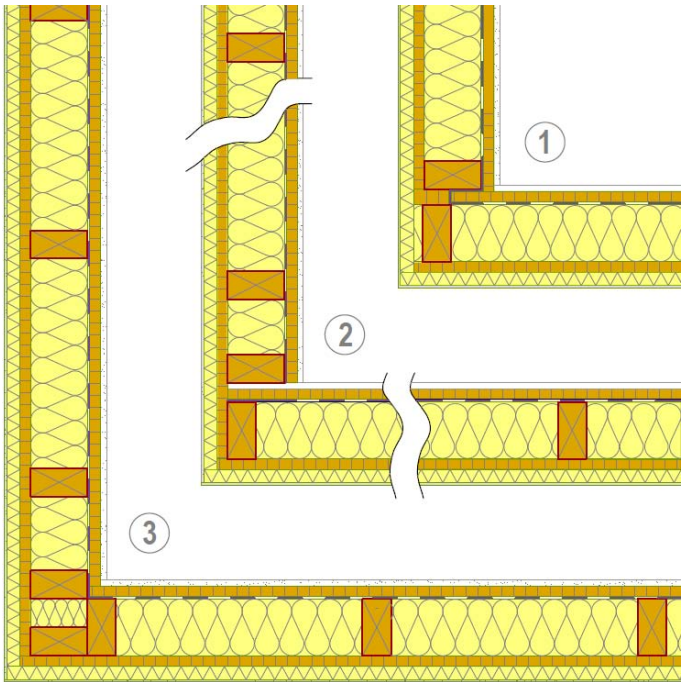
- Tragstruktur der Wand ermitteln, Raster für Fertigteile festlegen
- Versetzung Wandelement, Fixierung gegen Windsog etc. über punktuelle Winkel
- strömungsdichte Verklebung der Dampfbremse eines Wandelementes an in sich strömungsdichte OSB-Platte des anderen Wandelementes
- Ausstopfen des offenen Bereichs, Verschließen Montageöffnung, Verputzen der Außenwand mit System-Eckprofil

Diskussion:

Auch direkte Verklebung der Dampfbremsen der beiden Elemente über Eck möglich, dann allerdings im Eckbereich als strömungsdichte, diffusionsoffene Folie ausführen.

4.6.2.2 Außenwandecke, Wand mit Leichtbau vorgefertigt verputzt, Variante 2

Bestand: Außenwandecke Leichtbau verputzt



Wandaufbau					
Kunstharzputz, außen				*0,5*	*cm*
Holzwolle, Heraklith				*2,8*	*cm*
Pressspanplatte				*2,2*	*cm*
Glaswolle, Pfosten				*12*	*cm*
Dampfbremse				*0,02*	*cm*
Pressspanplatte				*2,2*	*cm*
Gipskartonplatte				*1,3*	*cm*
U-Wert	0,30	[W/m²K]	Σ	21,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen Grundriss 1	*-0,008*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / außen Grundriss 2	*-0,001*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / außen Grundriss 3	*0,001*	*W/mK*
f_{RSi} – Grundriss 1	*0,80*	*-*
f_{RSi} – Grundriss 2	*0,79*	*-*
f_{RSi} – Grundriss 3	*0,77*	*-*

Charakterisierung Bestand:

- Wandsteher statisch weiterverwendbar?

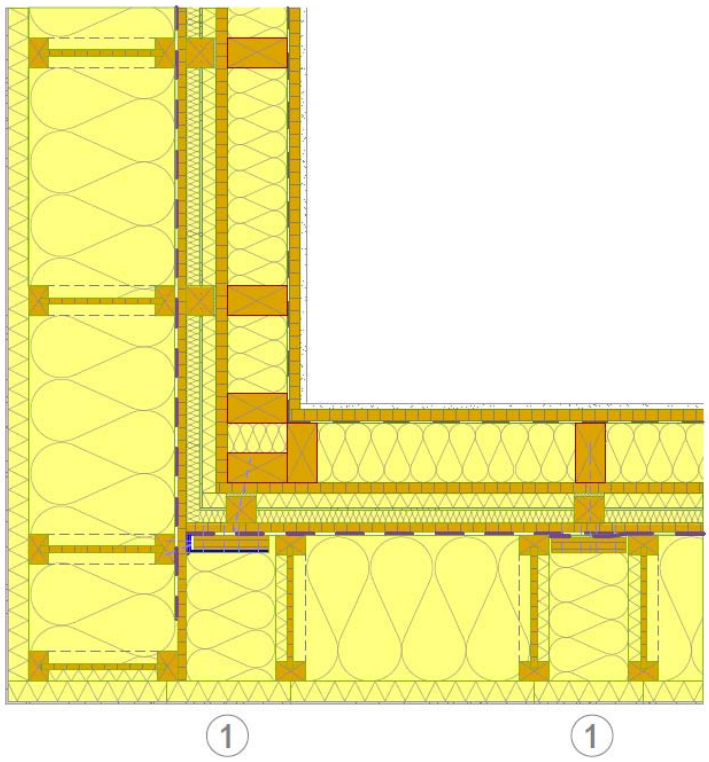
Sanierung Außenwandecke, Wand mit Leichtbau-Fertigteil, verputzt, Variante 2

Beschreibung:

- Die Sanierung der Außenwand wird mit ausgedämmten vorgefertigten Wandbauteilen ausgeführt, die innenseitig eine strömungsdichte Ebene bereitstellen.

Die luftdichte Ebene ist die neu verlegte Dampfbremse in den beiden Fertigteilen, die über eine Montageöffnung strömungsdicht miteinander verschlossen werden.

Sanierung: Außenwandecke, Wand mit Leichtbau-Fertigteil, verputzt, Variante 2



Wandaufbau				
Silikatputz			*0,6*	*cm*
Holzfaserplatte			*4*	*cm*
Glaswolle, Doppel-T-Träger			*30*	*cm*
Dampfbremse			*0,02*	*cm*
OSB			*1,8*	*cm*
Mineralwolle, Ausgleichsleiste			*3*	*cm*
Kunstharzputz, Ausgleichsleiste			*0,5*	*cm*
Holzwolle, Heraklith, Ausgleichsleiste			*2,8*	*cm*
Pressspanplatte			*2,2*	*cm*
Glaswolle, Pfosten			*12*	*cm*
Dampfbremse			*0,02*	*cm*
Pressspanplatte			*2,2*	*cm*
Gipskartonplatte			*1,3*	*cm*
U-Wert	0,09	[W/m²K]	Σ 60,4	cm

① *Montageöffnung*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,035*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,91*	*-*

Eignung:

- Für außenseitig dämmbare Fassaden

Ausführungshinweise:

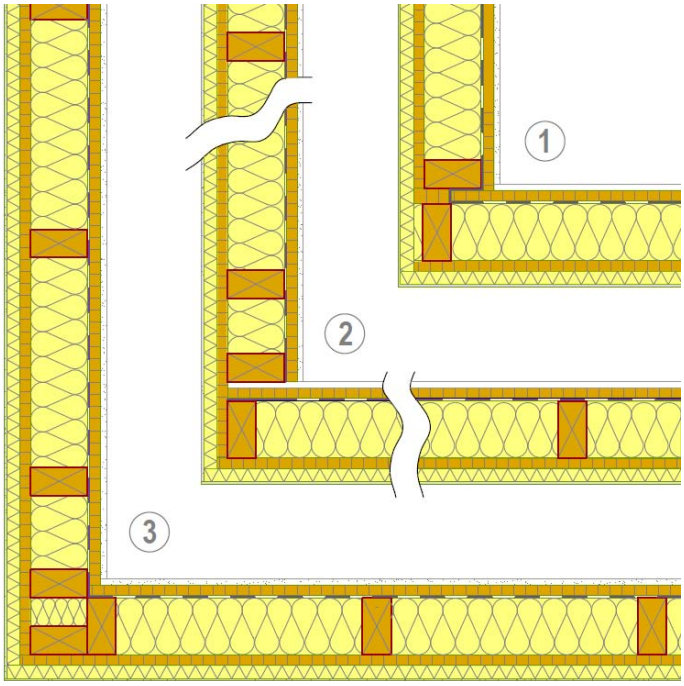
- Tragstruktur der Wand ermitteln, Raster für Fertigteile festlegen
- Versetzung Wandelement (links), Fixierung gegen Windsog etc. über punktuelle Winkel
- Ankleben eines Dampfbremslappen an der in sich luftdichten OSB-Platte (Achtung Plattenstöße)
- Versetzung des zweiten Wandelementes, Montage über Winkel, strömungsdichte Verklebung der Dampfbremse mit vorhandenen Dampfbremslappen des anderen Elements
- Ausstopfen des offenen Bereichs, Verschließen Montageöffnung, Verputzen der Außenwand mit System-Eckprofil

Diskussion:

Auch direkte Verklebung der Dampfbremsen der beiden Elemente über Außenseite möglich, dann allerdings strömungsdichte Folie im Eckbereich als diffusionsoffene Folie ausführen.

4.6.2.3 Außenwandecke, Wand mit Holzfertigteil an WDVS mit Vakuumpaneelen

Bestand: Außenwandecke Leichtbau verputzt



Wandaufbau				
Kunstharzputz, außen			*0,5*	*cm*
Holzwolle, Heraklith			*2,8*	*cm*
Pressspanplatte			*2,2*	*cm*
Glaswolle, Pfosten			*12*	*cm*
Dampfbremse			*0,02*	*cm*
Pressspanplatte			*2,2*	*cm*
Gipskartonplatte			*1,3*	*cm*
U-Wert	0,30	[W/m²K]	Σ 21,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen Grundriss 1	*-0,008*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / außen Grundriss 2	*-0,001*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / außen Grundriss 3	*0,001*	*W/mK*
f_{RSi} – Grundriss 1	*0,80*	*-*
f_{RSi} – Grundriss 2	*0,79*	*-*
f_{RSi} – Grundriss 3	*0,77*	*-*

Charakterisierung Bestand:

- Wandsteher statisch weiterverwendbar?

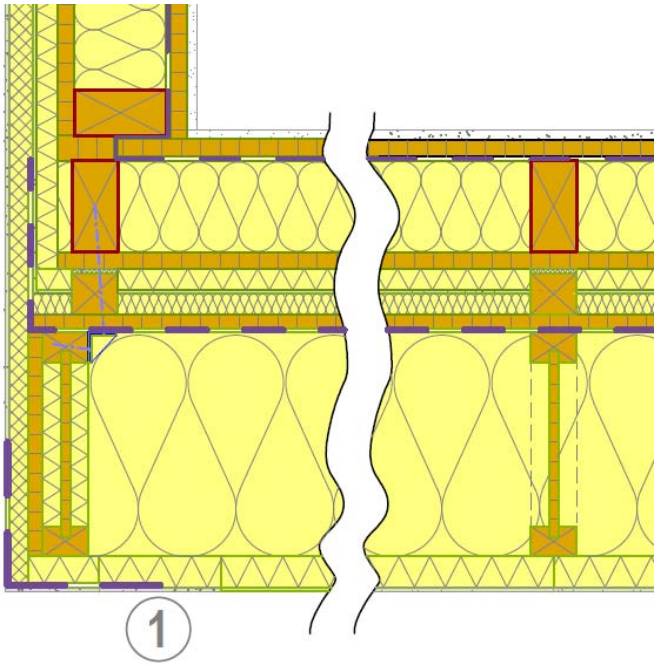
Sanierung Außenwandecke, Wand mit Holzfertigteil an WDVS mit Vakuumpaneelen

Beschreibung:

- Die Sanierung der Standard-Außenwand wird mit ausgedämmten vorgefertigten Wandbauteilen ausgeführt, die innenseitig eine strömungsdichte Ebene besitzen.

Die andere Außenwandseite wird aus Platzgründen mit einer kaschierten Vakuumdämmung saniert (Eingangstürbereich).

Sanierung: Außenwandecke, Wand mit Holzfertigteil an WDVS mit Vakuumpaneelen



Wandaufbau		
Silikatputz auf Mittelbett armiert	*0,6*	*cm*
Vakuum-Isolationspaneel (Vakuum-dämmung beidseitig mit EPS kaschiert)	*3*	*cm*
Kunstharzputz, Ausgleichsleiste	*0,5*	*cm*
Holzwolle, Heraklith, Ausgleichsleiste	*2,8*	*cm*
Pressspanplatte	*2,2*	*cm*
Glaswolle, Pfosten	*12*	*cm*
Dampfbremse	*0,02*	*cm*
Pressspanplatte	*2,2*	*cm*
Gipskartonplatte	*1,3*	*cm*
U-Wert 0,12 [W/m²K]	Σ 24,6	cm

Wandaufbau		
Silikatputz	*0,6*	*cm*
Holzfaserplatte	*4*	*cm*
Glaswolle, Doppel-T-Träger	*30*	*cm*
Dampfbremse	*0,02*	*cm*
OSB	*1,8*	*cm*
Mineralwolle, Ausgleichsleiste	*3*	*cm*
Kunstharzputz, Ausgleichsleiste	*0,5*	*cm*
Holzwolle, Heraklith, Ausgleichsleiste	*2,8*	*cm*
Pressspanplatte	*2,2*	*cm*
Glaswolle, Pfosten	*12*	*cm*
Dampfbremse	*0,02*	*cm*
Pressspanplatte	*2,2*	*cm*
Gipskartonplatte	*1,3*	*cm*
U-Wert 0,09 [W/m²K]	Σ 60,4	cm

① *Montageöffnung*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,034*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,91*	*-*

Eignung:

- Für außenseitig dämmbare Fassaden

Ausführungshinweise:

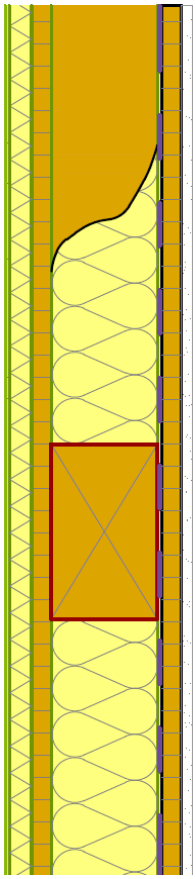
- Tragstruktur der Wand ermitteln, Raster für Fertigteile festlegen
- Außenputz im Wandbereich Vakuumdämmung vollflächig verspachteln und ebene Fläche herstellen
- Versetzung Wandelement (rechts), Fixierung gegen Windsog etc. über punktuelle Winkel
- Ankleben des Dampfbremslappen an den verspachtelten Außenputz
- Verkleben der kaschierten Vakuumdämmung
- Ausstopfen des offenen Bereichs, Verschließen Montageöffnung, Verputzen der Außenwand mit System-Eckprofil

Diskussion:

Ein mechanischer Schutz der Vakuumdämmung mit einer Blechkaschierung ist überlegenswert.

4.6.2.4 Außenwandanschluss vertikal verputzt hinterlüftet, Sanierung mit Leichtbau-Fertigteil

Bestand: Außenwand Leichtbau verputzt



Wandaufbau		
Kunstharzputz, außen	*0,5*	*cm*
Holzwolle, Heraklith	*2,8*	*cm*
Pressspanplatte	*2,2*	*cm*
Glaswolle, Pfosten	*12*	*cm*
Dampfbremse	*0,02*	*cm*
Pressspanplatte	*2,2*	*cm*
Gipskartonplatte	*1,3*	*cm*
U-Wert 0,30 [W/m²K]	Σ 21,0	cm

Charakterisierung Bestand:

- Wandsteher statisch weiterverwendbar?

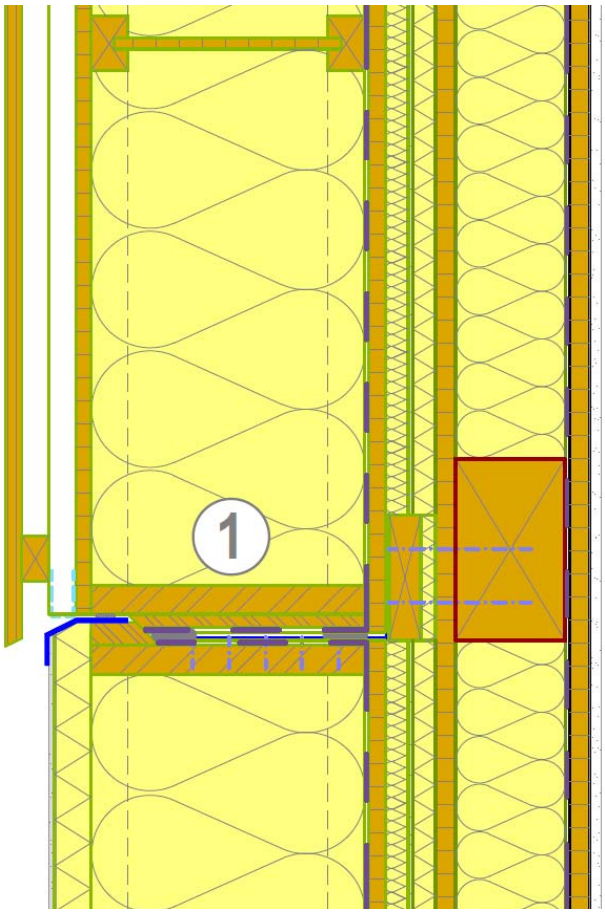
Sanierung Außenwandanschluss vertikal verputzt hinterlüftet, Sanierung mit Leichtbau-Fertigteil

Beschreibung:

- Die Sanierung der Außenwand wird mit ausgedämmten vorgefertigten Wandbauteilen ausgeführt, die innenseitig eine strömungsdichte Ebene besitzen.
- Diese Elemente sind außenseitig im unteren Bereich verputzt, im oberen mit einer Sichtschalung ausgeführt, um den ursprünglichen Zustand herzustellen

Die luftdichte Ebene ist die neu verlegte Dampfbremse in den beiden Fertigteilen, die über eine Schwellendichtung strömungsdicht miteinander verschlossen werden.

Sanierung: Außenwandanschluss vertikal verputzt hinterlüftet, Sanierung mit Leichtbau-Fertigteil



Wandaufbau oben		
Holzschalung	*1,8*	*cm*
Lattung	*3*	*cm*
Konterlattung, Hinterlüftung	*3*	*cm*
MDF-Platte	*1,6*	*cm*
Glaswolle, Doppel-T-Träger	*30*	*cm*
Dampfbremse	*0,02*	*cm*
OSB	*1,8*	*cm*
Mineralwolle (Ausgleich)	*3*	*cm*
Kunstharzputz, Ausgleichsleiste	*0,5*	*cm*
Holzwolle, Heraklith, Ausgleichsleiste	*2,8*	*cm*
Pressspanplatte	*2,2*	*cm*
Glaswolle, Pfosten	*12*	*cm*
Dampfbremse	*0,02*	*cm*
Pressspanplatte	*2,2*	*cm*
Gipskartonplatte	*1,3*	*cm*
U-Wert 0,09 [W/m²K]	Σ 65,2	cm

Wandaufbau unten		
Silikatputz	*0,6*	*cm*
Holzfaserplatte	*4*	*cm*
Glaswolle, Doppel-T-Träger	*30*	*cm*
Dampfbremse	*0,02*	*cm*
OSB	*1,8*	*cm*
Mineralwolle, Ausgleichsleiste	*3*	*cm*
Kunstharzputz, Ausgleichsleiste	*0,5*	*cm*
Holzwolle, Heraklith, Ausgleichsleiste	*2,8*	*cm*
Pressspanplatte	*2,2*	*cm*
Glaswolle, Pfosten	*12*	*cm*
Dampfbremse	*0,02*	*cm*
Pressspanplatte	*2,2*	*cm*
Gipskartonplatte	*1,3*	*cm*
U-Wert 0,09 [W/m²K]	Σ 60,4	cm

① *Verklebung durch Butyl-Klebeschnur*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,057*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,95*	*-*

Eignung:

- Für außenseitig dämmbare Fassaden

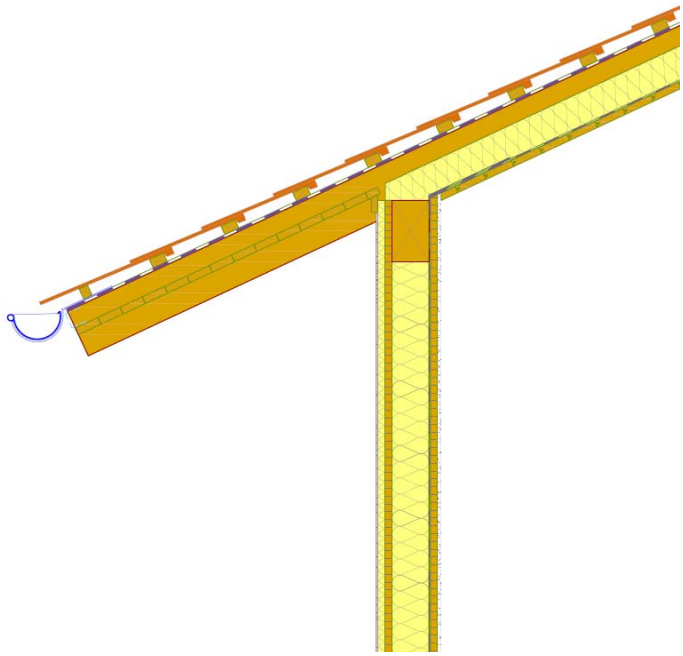
Ausführungshinweise:

- Tragstruktur der Wand ermitteln, Raster für Fertigteile festlegen, Montagehölzer versetzen
- Versetzung Wandelement unten, Fixierung gegen Windsog etc. über punktuelle Winkel
- Versetzung des oberen Wandelementes, Montage an seitlich über Winkel, strömungsdichtes Verschließen der Dampfbremsen über Schwellendichtung
- Winddichter Zusammenschluss von Außenputz und Winddichtung über diffusionsoffenes Klebeband, das in Außenputz über eine Armierungsfahne eingeputzt ist.

4.6.3 Attika: Außenwand – Dach beheizt

4.6.3.1 Traufe: Wand mit Leichtbau vorgefertigt verputzt, Dach vorgefertigt mit Ziegeleindeckung

Bestand: Außenwand Leichtbau – Leichtbaudach mit Ziegeleindeckung, Traufe



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung				*3*	*cm*
Bitumenbahn				*0,5*	*cm*
Hinterlüftung				*6*	*cm*
Glaswolle, Sparren				*10*	*cm*
Dampfbremse				*0,02*	*cm*
Schalung				*2,2*	*cm*
U-Wert	0,46	[W/m²K]	Σ	23,7	cm

Wandaufbau					
Kunstharzputz, außen				*0,5*	*cm*
Holzwolle, Heraklith				*2,8*	*cm*
Pressspanplatte				*2,2*	*cm*
Glaswolle, Pfosten				*12*	*cm*
Dampfbremse				*0,02*	*cm*
Pressspanplatte				*2,2*	*cm*
Gipskartonplatte				*1,3*	*cm*
U-Wert	0,30	[W/m²K]	Σ	21,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,017*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,83*	-

Charakterisierung Bestand:

- Dachsparren und Wandsteher statisch weiterverwendbar?

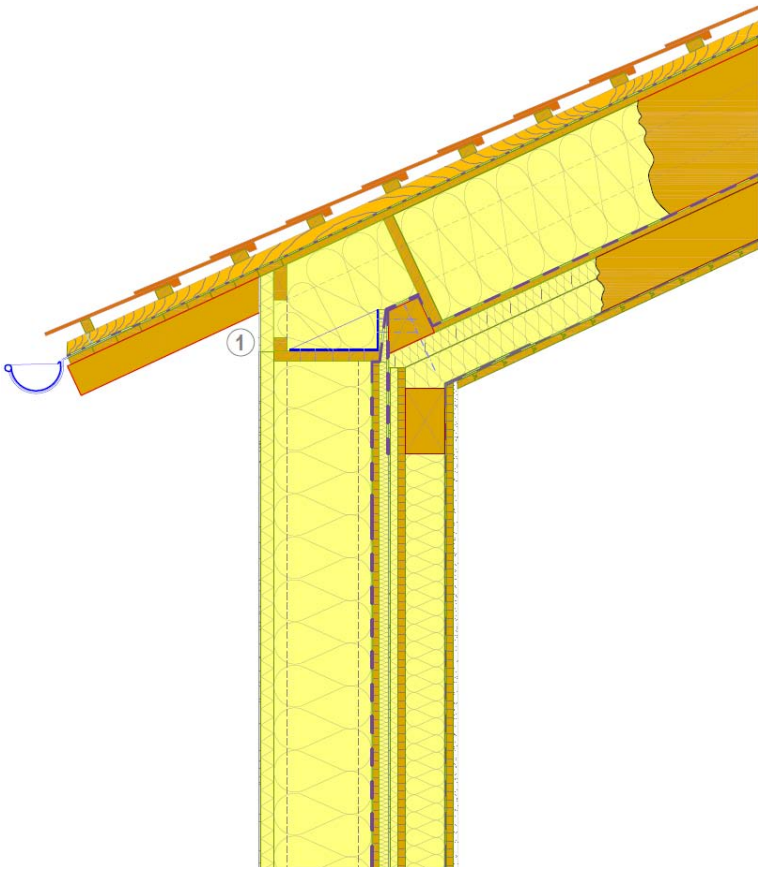
Sanierung Wand mit Leichtbau vorgefertigt verputzt, Dach vorgefertigt mit Ziegeleindeckung (Traufe)

Beschreibung:

- Die Sanierung der Außenwand wird mit ausgedämmten vorgefertigten Wandbauteilen ausgeführt, die innenseitig eine neue strömungsdichte Ebene besitzen.
- Das Dach wird von außen geöffnet, die bestehende Wärmedämmung wird üblicherweise entsorgt, da nicht mehr weiterverwendbar, die Ebene zwischen den Sparren wird ausgedämmt, die Dämmung erfolgt über vorgefertigte Dachelemente (bis Windsperre).

Die luftdichte Ebene sind die neu verlegten Dampfbremsen in Wand und Dach, die im Traufenbereich miteinander strömungsdicht verschlossen werden.

Sanierung: Wand mit Leichtbau vorgefertigt verputzt, Dach vorgefertigt mit Ziegeleindeckung (Traufe)



Dachaufbau		
Dachziegel	2	cm
Lattung 3/5	3	cm
Konterlattung, Hinterlüftung	4	cm
PE-Dachauflegebahn diffusionsoffen	0,02	cm
Unterdachbahn	2,2	cm
Glaswolle, Boxträger	36	cm
Dampfbremse	0,02	cm
OSB	1,8	cm
Glaswolle, Sparren 10/16	16	cm
Dampfbremse	0,02	cm
Schalung	2,2	cm
U-Wert 0,09 [W/m²K]	Σ 67,3	cm

Wandaufbau		
Silikatputz	0,6	cm
Holzfaserplatte	4	cm
Glaswolle, Doppel-T-Träger	30	cm
Dampfbremse	0,02	cm
OSB	1,8	cm
Mineralwolle, Ausgleichsleiste	3	cm
Kunstharzputz, Ausgleichsleiste	0,5	cm
Holzwolle, Heraklith, Ausgleichsleiste	2,8	cm
Pressspanplatte	2,2	cm
Glaswolle, Pfosten	12	cm
Dampfbremse	0,02	cm
Pressspanplatte	2,2	cm
Gipskartonplatte	1,3	cm
U-Wert 0,09 [W/m²K]	Σ 60,4	cm

① *Montageöffnung*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	-0,029	W/mK
f_{RSi}	0,94	-

Eignung:

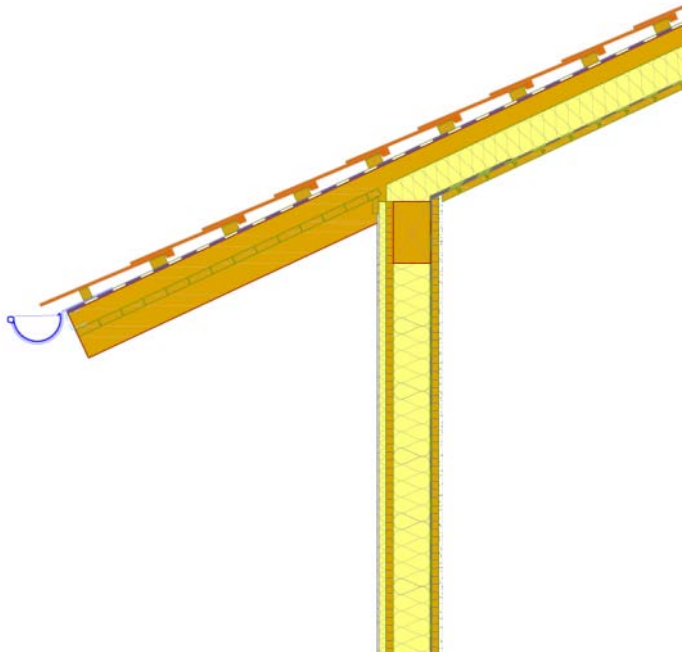
- Für außenseitig dämmbare Fassaden und Dächer

Ausführungshinweise:

- Tragstruktur in Dach und Wand ermitteln, Raster für Fertigteile festlegen
- Abdeckung Dach, Weiterverwendung Glaswolle wenn möglich, sonst Entsorgung, anschließend Dämmung Luftraum zwischen Bestandssparren
- Befestigung Montageholz im Traufenbereich, Versetzung Wandelement, Fixierung gegen Windsog etc. über punktuelle Winkel im Traufenbereich
- Versetzung Dachelement inklusive Ziegeldeckung, strömungsdichte Verklebung Dampfbremse Dach und Wand
- Ausstopfen Eckbereich, Verschließen Montageöffnung, Verputzen der Außenwand mit winddichtem Anschluss im Traufenbereich (Systemanschluss)

4.6.3.2 Wand mit Leichtbau vorgefertigt verputzt, Dach vorgefertigt mit Ziegeleindeckung (Ortgang)

Bestand: Außenwand Leichtbau – Ziegeldach



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung				*3*	*cm*
Bitumenbahn				*0,5*	*cm*
Hinterlüftung				*6*	*cm*
Glaswolle, Sparren				*10*	*cm*
Dampfbremse				*0,02*	*cm*
Schalung				*2,2*	*cm*
U-Wert	0,46	[W/m²K]	Σ	23,7	cm

Wandaufbau					
Kunstharzputz, außen				*0,5*	*cm*
Holzwolle, Heraklith				*2,8*	*cm*
Pressspanplatte				*2,2*	*cm*
Glaswolle, Pfosten				*12*	*cm*
Dampfbremse				*0,02*	*cm*
Pressspanplatte				*2,2*	*cm*
Gipskartonplatte				*1,3*	*cm*
U-Wert	0,30	[W/m²K]	Σ	21,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,660*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,83*	-

Charakterisierung Bestand:

- Dachsparren und Wandsteher statisch weiterverwendbar?

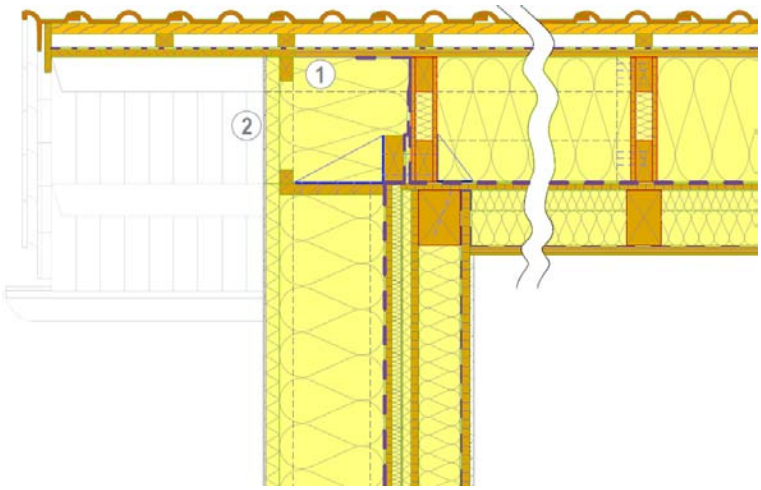
Sanierung Wand mit Leichtbau vorgefertigt verputzt, Dach vorgefertigt mit Ziegeleindeckung (Ortgang)

Beschreibung:

- Die Sanierung der Außenwand wird mit ausgedämmten vorgefertigten Wandbauteilen ausgeführt, die innenseitig eine neue strömungsdichte Ebene besitzen.
- Das Dach wird von außen geöffnet, die bestehende Wärmedämmung wird üblicherweise entsorgt, da nicht mehr weiterverwendbar, die Ebene zwischen den Sparren wird ausgedämmt, die Dämmung erfolgt über vorgefertigte Dachelemente (bis Windsperre).

Die luftdichte Ebene sind die neu verlegten Dampfbremsen in Wand und Dach, die im Traufenbereich miteinander strömungsdicht verschlossen werden.

Sanierung: Wand mit Leichtbau vorgefertigt verputzt, Dach vorgefertigt mit Ziegeleindeckung (Ortgang)



Dachaufbau				
Dachziegel			*2*	*cm*
Lattung 3/5			*3*	*cm*
Konterlattung, Hinterlüftung			*4*	*cm*
PE-Dachauflegebahn diffusionsoffen			*0,02*	*cm*
Unterdachbahn			*2,2*	*cm*
Glaswolle, Boxträger			*36*	*cm*
Dampfbremse			*0,02*	*cm*
OSB			*1,8*	*cm*
Glaswolle, Sparren 10/16			*16*	*cm*
Dampfbremse			*0,02*	*cm*
Schalung			*2,2*	*cm*
U-Wert	0,09	[W/m²K]	Σ 67,3	cm

Wandaufbau				
Silikatputz			*0,6*	*cm*
Holzfaserplatte			*4*	*cm*
Glaswolle, Doppel-T-Träger			*30*	*cm*
Dampfbremse			*0,02*	*cm*
OSB			*1,8*	*cm*
Mineralwolle, Ausgleichsleiste			*3*	*cm*
Kunstharzputz, Ausgleichsleiste			*0,5*	*cm*
Holzwolle, Heraklith, Ausgleichsleiste			*2,8*	*cm*
Pressspanplatte			*2,2*	*cm*
Glaswolle, Pfosten			*12*	*cm*
Dampfbremse			*0,02*	*cm*
Pressspanplatte			*2,2*	*cm*
Gipskartonplatte			*1,3*	*cm*
U-Wert	0,09	[W/m²K]	Σ 60,4	cm

① *Durchgesteckter, auskragender Boxträger*
② *Montageöffnung*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,040*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,90*	*-*

Eignung:

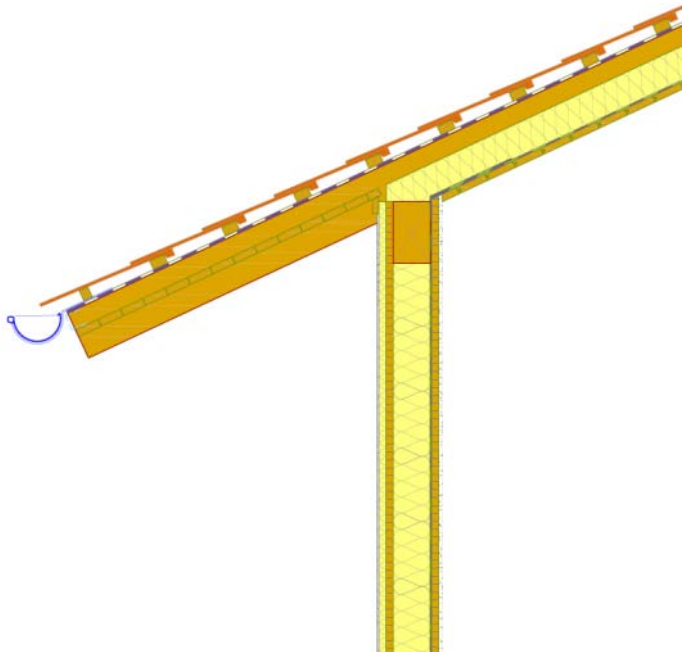
- Für außenseitig dämmbare Fassaden und Dächer

Ausführungshinweise:

- Tragstruktur in Dach und Wand ermitteln, Raster für Fertigteile festlegen
- Abdeckung Dach, Weiterverwendung Glaswolle wenn möglich, sonst Entsorgung, anschließend Dämmung Luftraum zwischen Bestandssparren
- Befestigung Montageholz im Traufenbereich, Versetzung Wandelement, Fixierung gegen Windsog etc. über punktuelle Winkel im Traufenbereich
- Versetzung Dachelement inklusive Ziegeldeckung, strömungsdichte Verklebung Dampfbremse Dach und Wand
- Ausstopfen Eckbereich, Verschließen Montageöffnung, Verputzen der Außenwand mit winddichtem Anschluss im Traufenbereich (Systemanschluss)

4.6.3.3 Dach mit Holzfertigteil gedämmt, Ziegeleindeckung, Elementstoß

Bestand: Leichtbau Ziegeldach



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung				*3*	*cm*
Bitumenbahn				*0,5*	*cm*
Hinterlüftung				*6*	*cm*
Glaswolle, Sparren				*10*	*cm*
Dampfbremse				*0,02*	*cm*
Schalung				*2,2*	*cm*
U-Wert	0,46	[W/m²K]	Σ	23,7	cm

Wandaufbau					
Kunstharzputz, außen				*0,5*	*cm*
Holzwolle, Heraklith				*2,8*	*cm*
Pressspanplatte				*2,2*	*cm*
Glaswolle, Pfosten				*12*	*cm*
Dampfbremse				*0,02*	*cm*
Pressspanplatte				*2,2*	*cm*
Gipskartonplatte				*1,3*	*cm*
U-Wert	0,30	[W/m²K]	Σ	21,0	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,660*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,83*	-

Charakterisierung Bestand:

- Dachsparren statisch weiterverwendbar?

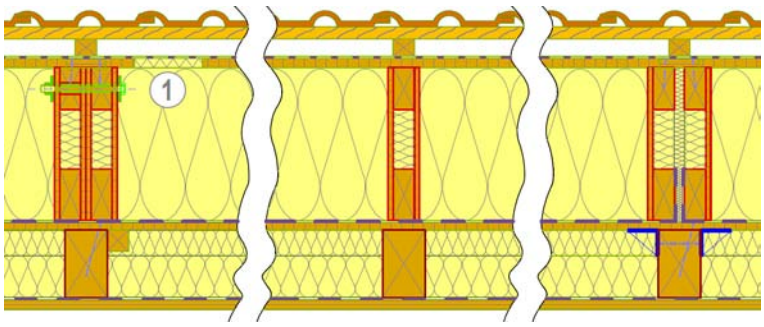
Sanierung Dach mit Holzfertigteil gedämmt, Ziegeleindeckung, Elementstoß

Beschreibung:

- Das Dach wird von außen geöffnet, die bestehende Wärmedämmung wird üblicherweise entsorgt, da nicht mehr weiterverwendbar, die Ebene zwischen den Sparren wird ausgedämmt, die vorgefertigten Dachelemente inkl. Dampfbremse und Windsperre garantieren eine passivhaustaugliche Dämmung.

Die luftdichte Ebene ist die neu verlegte Dampfbremse im Dach, die im Traufenbereich strömungsdicht verschlossen wird.

Sanierung: Dach mit Holzfertigteil gedämmt, Ziegeleindeckung, Elementstoß



Dachaufbau				
Dachziegel			*2*	*cm*
Lattung 3/5			*3*	*cm*
Konterlattung, Hinterlüftung			*4*	*cm*
PE-Dachauflegebahn diffusionsoffen			*0,02*	*cm*
Unterdachbahn			*2,2*	*cm*
Glaswolle, Boxträger			*36*	*cm*
Dampfbremse			*0,02*	*cm*
OSB			*1,8*	*cm*
Glaswolle, Sparren 10/16			*16*	*cm*
Dampfbremse			*0,02*	*cm*
Schalung			*2,2*	*cm*
U-Wert	0,09	[W/m²K]	Σ 67,3	cm

① *Montageöffnung*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen, Element 1	*0,015*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / außen, Element 2	*0,009*	*W/mK*
Ψ-Wert innen / außen, Element 3	*0,014*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,96*	-

Eignung:

- Für statisch geeignete Dächer

Ausführungshinweise:

- Tragstruktur im Dach ermitteln. Eine statische Verstärkung von Firstpfette ist meist erforderlich
- Raster für Fertigteile festlegen
- Abdeckung Dach, Weiterverwendung Glaswolle wenn möglich, sonst Entsorgung, anschließend Dämmung Luftraum zwischen Bestandssparren
- Versetzung Dachelemente, Sicherstellung strömungsdichte Ebene durch komprimierbare Dichtungsbänder. Verklebung Winddichtung und Sicherung mittels Konterlattung, Ziegeleindeckung

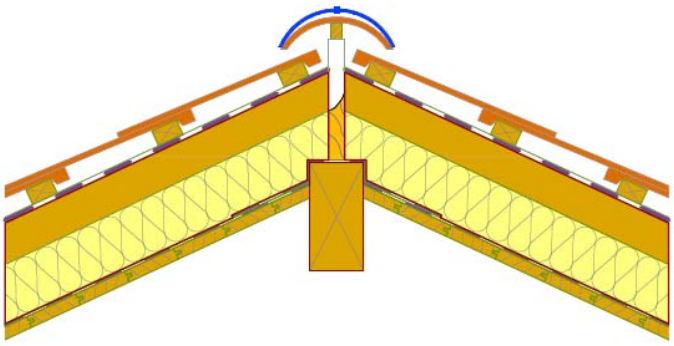
Diskussion:

Die vorgefertigten Elemente werden meist über eine Geschoßhöhe versetzt.

4.6.4 Dach – Dach

4.6.4.1 Dach mit Holzfertigteil gedämmt, Ziegeleindeckung, Elementstoß

Bestand: Ziegeldach First



Dachaufbau					
Dachziegel				*2*	*cm*
Lattung				*3*	*cm*
Bitumenbahn				*0,5*	*cm*
Hinterlüftung				*6*	*cm*
Glaswolle, Sparren				*10*	*cm*
Dampfbremse				*0,02*	*cm*
Schalung				*2,2*	*cm*
U-Wert	0,46	[W/m²K]	Σ	23,7	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,107*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,86*	*-*

Charakterisierung Bestand:

- Dachsparren statisch weiterverwendbar?

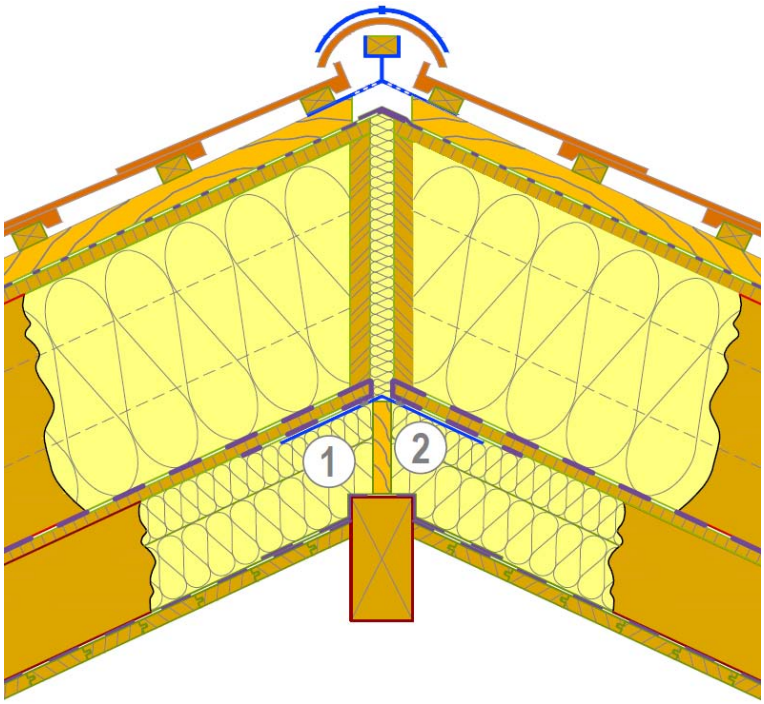
Sanierung Dach mit Holzfertigteil gedämmt, Ziegeleindeckung, Elementstoß

Beschreibung:

- Das Dach wird von außen geöffnet, die bestehende Wärmedämmung wird üblicherweise entsorgt, da nicht mehr weiterverwendbar, die Ebene zwischen den Sparren wird ausgedämmt, die vorgefertigten Dachelemente inkl. Dampfbremse und Windsperre garantieren eine passivhaustaugliche Dämmung.

Die luftdichte Ebene ist die neu verlegte Dampfbremse im Dach, die im Traufenbereich strömungsdicht verschlossen wird.

Sanierung Dach mit Holzfertigteil gedämmt, Ziegeleindeckung, Elementstoß



Dachaufbau				
Dachziegel			*2*	*cm*
Lattung 3/5			*3*	*cm*
Konterlattung, Hinterlüftung			*4*	*cm*
PE-Dachauflegebahn diffusionsoffen			*0,02*	*cm*
Unterdachbahn			*2,2*	*cm*
Glaswolle, Boxträger			*36*	*cm*
Dampfbremse			*0,02*	*cm*
OSB			*1,8*	*cm*
Glaswolle, Sparren 10/16			*16*	*cm*
Dampfbremse			*0,02*	*cm*
Schalung			*2,2*	*cm*
U-Wert	0,09	[W/m²K]	Σ 67,3	cm

① *Blech*
② *Lager luft- und dampfdicht*

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*-0,018*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,96*	*-*

Eignung:

- Für statisch geeignete Dächer

Ausführungshinweise:

- Tragstruktur im Dach ermitteln.
- Eine statische Verstärkung von Firstpfette und anderen Tragteilen ist meist erforderlich
- Raster für Fertigteile festlegen
- Abdeckung Dach, Weiterverwendung Glaswolle wenn möglich, sonst Entsorgung, anschließend Dämmung Luftraum zwischen Bestandssparren
- Ausführung von Montageblech im Firstbereich
- Versetzung Dachelemente, Sicherstellung strömungsdichte Ebene durch komprimierbares Dichtungsband im Firstbereich. Verklebung Winddichtung und Sicherung mittels Konterlattung, Ziegeleindeckung

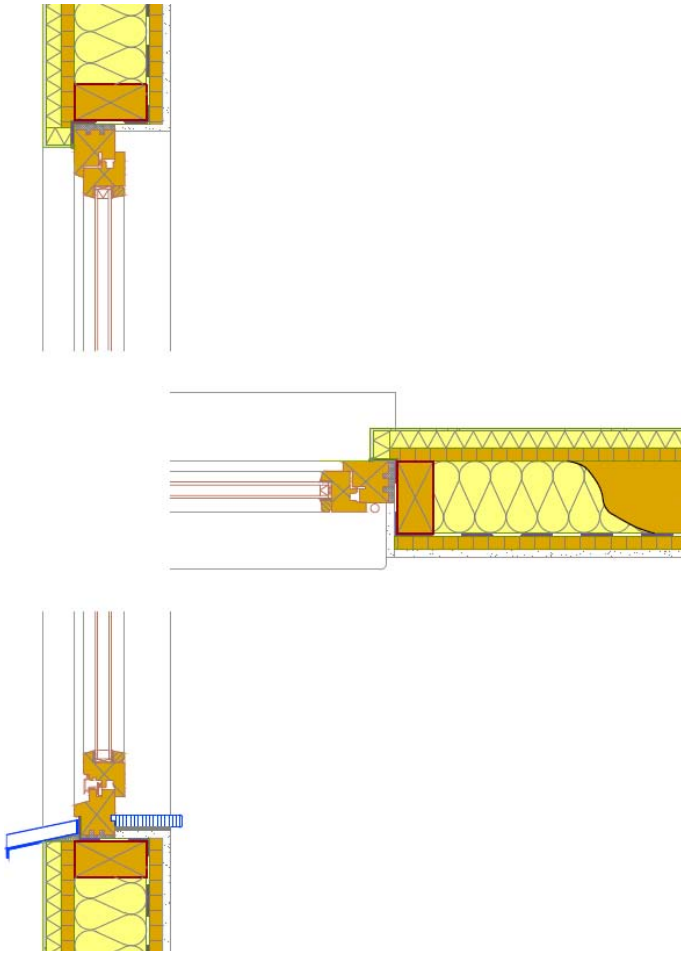
Diskussion:

Alternativ ist für den strömungsdichten Zusammenschluss im Firstbereich auch eine Montageöffnung im Firstbereich möglich, allerdings arbeitstechnisch aufwändiger.

4.6.5 Fenster: Außenwand – Fenster

4.6.5.1 Wand mit Leichtbau vorgefertigt verputzt, Holz-Alufenster überdämmbar

Bestand: Außenwand Leichtbau verputzt – Holz-Isolierglasfenster



Fenster U-Werte		
Fenster	*2,6*	*W/m²K*
Verglasung	*2,6*	*W/m²K*
Rahmen	*1,8*	*W/m²K*

Wandaufbau					
Kunstharzputz, außen				*0,5*	*cm*
Holzwolle, Heraklith				*2,8*	*cm*
Pressspanplatte				*2,2*	*cm*
Glaswolle, Pfosten				*12,0*	*cm*
Dampfbremse				*0,2*	*cm*
Pressspanplatte				*2,2*	*cm*
Gipskartonplatte				*1,3*	*cm*
U-Wert	0,30	[W/m²K]	Σ	21,2	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert Sturz	*0,027*	*W/mK*
Ψ-Wert Laibung	*0,027*	*W/mK*
Ψ-Wert Parapet	*0,053*	*W/mK*
f_{RSi} *. Sturz*	*0,69*	-
f_{RSi} *. Laibung*	*0,69*	-
f_{RSi} *. Parapet*	*0,64*	-

Charakterisierung Bestand:

- Position Fenster in Laibung

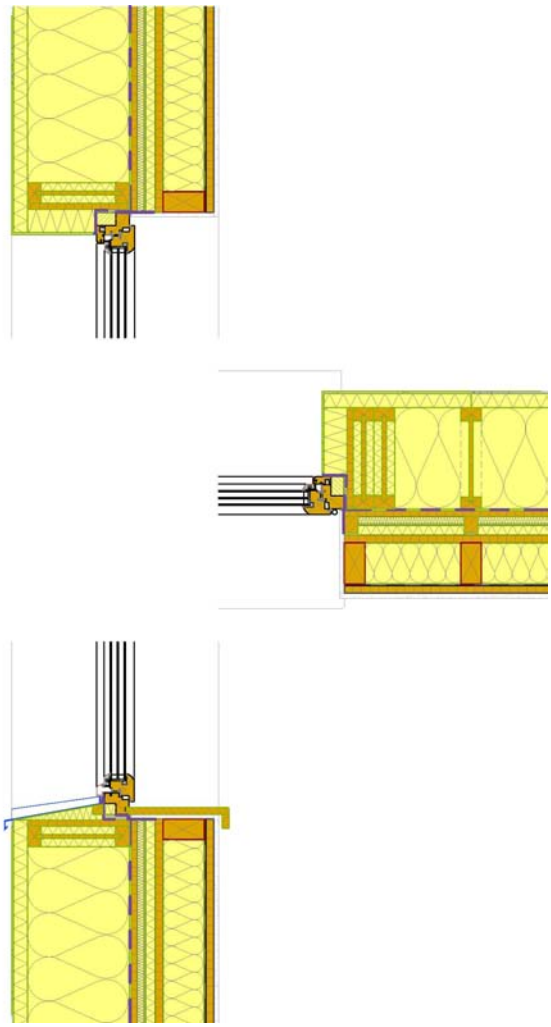
Sanierung Wand mit Leichtbau vorgefertigt verputzt, Holz-Alufenster überdämmbar

Beschreibung:

- Die Sanierung der Außenwand wird mit ausgedämmten vorgefertigten Wandbauteilen ausgeführt, die innenseitig eine neue strömungsdichte Ebene besitzen.
- Die Fenster werden bereits im Werk raumseitig in den Fertigteilelementen montiert und außenseitig mit Holzfaserdämmstoff überdämmt.

Die luftdichte Ebene ist die neu verlegte Dampfbremse in der Wand, die dampf- und strömungsdicht an den Fensterrahmen angeschlossen wird.

Sanierung: Wand mit Leichtbau vorgefertigt verputzt, Holz-Alufenster überdämmbar



Fenster U-Werte		
Fenster	*0,8*	*W/m²K*
Verglasung	*0,6*	*W/m²K*
Rahmen	*1,04*	*W/m²K*

Wandaufbau		
Silikatputz	*0,6*	*cm*
Holzfaserplatte	*4*	*cm*
Glaswolle, Doppel-T-Träger	*30*	*cm*
Dampfbremse	*0,02*	*cm*
OSB	*1,8*	*cm*
Mineralwolle, Ausgleichsleiste	*3*	*cm*
Kunstharzputz, Ausgleichsleiste	*0,5*	*cm*
Holzwolle, Heraklith, Ausgleichsleiste	*2,8*	*cm*
Pressspanplatte	*2,2*	*cm*
Glaswolle, Pfosten	*12*	*cm*
Dampfbremse	*0,02*	*cm*
Pressspanplatte	*2,2*	*cm*
Gipskartonplatte	*1,3*	*cm*
U-Wert 0,09 [W/m²K]	Σ 60,4	cm

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert Sturz	*0,021*	*W/mK*
Ψ-Wert Laibung	*0,024*	*W/mK*
Ψ-Wert Parapet	*0,023*	*W/mK*
f_{RSi} *- Sturz*	*0,78*	*-*
f_{RSi} *- Laibung*	*0,78*	*-*
f_{RSi} *- Parapet*	*0,74*	*-*

Eignung:

- Wenn Hinausrücken der Fensterebene tolerierbar

Ausführungshinweise:

- Tragstruktur in Wand ermitteln, Raster für Fertigteile festlegen
- Fenster in Fertigteilen werkseitig dicht einbauen, Fertigteile liefern und montieren.
- Luftdichte Ebene ist die Dampfbremse im Wandelement, die über ein Butylkautschukband umlaufend dicht an den Fensterrahmen angeschlossen wird.
- Winddichte Ebene Putz mit Kompriband/Apuschiene an Fensterrahmen anschließen.

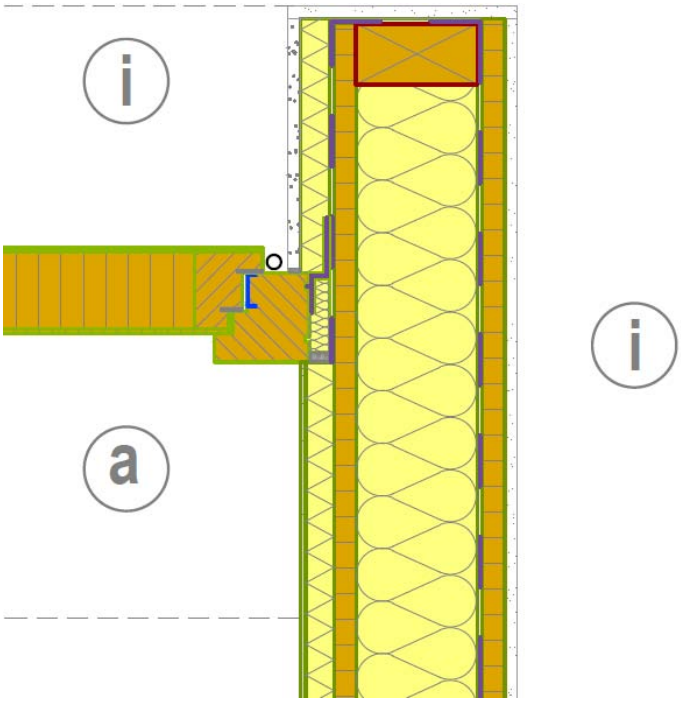
Diskussion:

Gekürzte Alu-Schalen und eine stärkere Überdämmung verringert den Wärmebrückenverlust.

4.6.6 Tür: Außenwand – Tür

4.6.6.1 Wand mit Leichtbau vorgefertigt verputzt, Passivhaus-Holztür überdämmbar

Bestand: Außenwand Leichtbau verputzt – Holz-Eingangstür



Tür U-Werte		
Fenster	*2,6*	*W/m²K*
Verglasung	*2,6*	*W/m²K*
Rahmen	*2,6*	*W/m²K*

Wandaufbau					
Kunstharzputz, außen				*0,5*	*cm*
Holzwolle, Heraklith				*2,8*	*cm*
Pressspanplatte				*2,2*	*cm*
Glaswolle, Pfosten				*12*	*cm*
Dampfbremse				*0,02*	*cm*
Pressspanplatte				*2,2*	*cm*
Gipskartonplatte				*1,3*	*cm*
U-Wert	0,30	[W/m²K]	Σ	21,0	cm

i…..innen
a….außen

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,037*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,72*	*-*

Charakterisierung Bestand:

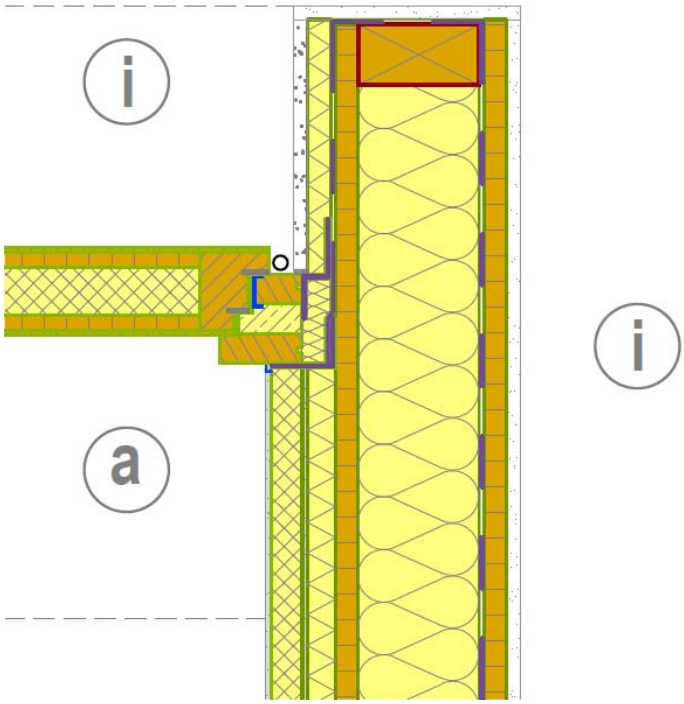
- Position Tür in Wandebene

Sanierung Wand mit Leichtbau vorgefertigt verputzt, Passivhaus-Holztür überdämmbar

Beschreibung:

- Die Sanierung der Außenwand wird mit ausgedämmten vorgefertigten Wandbauteilen ausgeführt, die innenseitig eine neue strömungsdichte Ebene besitzen.
- Die Passivhaustür wird bauseits raumseitig in den Fertigteilelementen montiert und außenseitig mit Holzfaserdämmstoff überdämmt.
- Die luftdichte Ebene ist die neu verlegte Dampfbremse in der Wand, die dampf- und strömungsdicht an die Tür angeschlossen wird.

Sanierung: Wand mit Leichtbau vorgefertigt verputzt, Passivhaus-Holztür überdämmbar



Tür U-Werte		
Fenster	*???*	*W/m²K*
Verglasung	*???*	*W/m²K*
Rahmen	*???*	*W/m²K*

Wandaufbau		
Silikatputz auf Mittelbett armiert	*0,6*	*cm*
Vakuum-Isolationspaneel (Vakuum-dämmung beidseitig mit EPS kaschiert)	*3*	*cm*
Kunstharzputz, Ausgleichsleiste	*0,5*	*cm*
Holzwolle, Heraklith, Ausgleichsleiste	*2,8*	*cm*
Pressspanplatte	*2,2*	*cm*
Glaswolle, Pfosten	*12*	*cm*
Dampfbremse	*0,02*	*cm*
Pressspanplatte	*2,2*	*cm*
Gipskartonplatte	*1,3*	*cm*
U-Wert 0,12 [W/m²K]	Σ 24,6	cm

i…..innen
a….außen

2-dimensionale Kennwerte		
Ψ-Wert innen / außen	*0,016*	*W/mK*
f_{RSi}	*0,79*	*-*

Eignung:

- Wenn Position Tür nicht veränderbar.

Ausführungshinweise:

- Außenputz reinigen, Glattstrich im Anschlussbereich Tür ausführen
- Tür versetzen, dampf- und strömungsdicht mit vlieskaschiertem Butylkautschukband an Glattstrich anschließen
- Außenputz und Klebeband vollflächig verspachteln und ebene Fläche herstellen
- Mit EPS kaschierte Vakuumdämmung versetzen (schlagregendichtes Kompriband im Anschlussbereich), Armierung im Mittelbett versetzen, mit Silikatputz verputzen
- Winddichte Ebene Putz mit Kompriband/Apuschiene an Tür anschließen.

Diskussion:

Gekürzte Alu-Schalen und eine stärkere Überdämmung verringert den Wärmebrückenverlust.

5 Regelquerschnitte und funktionale Einheiten

5.1 Bewertungskriterien

Die vorgeschlagenen funktionalen Einheiten sollen geeignet sein, das primäre Sanierungsziel zu erreichen, dazu aber energetisch, bauökologisch und wohnhygienisch optimierten und bauphysikalisch soliden Wohnraum zu schaffen.

Die folgenden Kriterien werden zur Bewertung herangezogen

Anpassungsfähigkeit auf Bestandssituation :

- Unebenheit,
- Beschichtung Bestand,
- Schmutz etc.

Bautechnische Eigenschaften:

- Vorfertigungsgrad
- Notwendige Kenntnis des Bestandes (Vorfertigung sehr genau)
- Befestigung von leichten (Lampen) oder schweren Gegenständen (PV-Module, Solarkollektoren)

Bauphysikalische Eigenschaften:

- Wärmeschutz
- Einfluss auf das Feuchteverhalten
- Eventuell Luftdichtigkeit
- Winddichtigkeit
- Schallschutz
- Brandschutz

Ökologische Eigenschaften; Wirkung auf Raumklima:

- Hinweise zu problematischen Inhaltsstoffen
- Ressourcenaufwand und Emissionen während Einbau, Arbeitsbelastungen
- Emissionen während Nutzung, Nutzungsdauer
- Rückbaubarkeit, Wiederverwendung und -verwertung, Entsorgung

5.2 Dämmstoffe: Überblick und ökologische Bewertung

5.2.1 Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen

5.2.1.1 Mineralschaumplatten

Beschreibung

Mineralschaumplatten sind dampfgehärtete Dämmplatten für den Einsatz in Wärmedämmverbundsystemen. Ein besonderes Einsatzgebiet ist der Einsatz von faserdotierten Mineralschaumplatten als Innendämmung für Sanierungen („Calciumsilikatplatten“). Die Herstellung erfolgt aus ➔ Quarzsand, Kalk, Zement, Wasser und einem porenbildenden Zusatzstoff (Proteinschaum oder (Recycling-)Aluminiumpulver). Die Platten sind massehydrophobiert und beschichtet. Aus den Rohstoffen wird eine leichte, ultraporöse Mischung hergestellt. Die Schaummasse (Kuchen) reift in Formen. Anschließend werden die halbsteifen Rohblöcke mit Drähten in einzelne Platten zerteilt und im Autoklaven gehärtet. Nach dem Schneiden und Beschichten werden die Platten bei 50–60 °C auf 5 % Feuchte getrocknet.

Umwelt- und Gesundheitsaspekte

Mineralschaumplatten werden in einem vergleichsweise emissions- und energiearmen Verfahren ohne Produktionsabfälle hergestellt und weisen gute Ökobilanzergebnisse auf. Umweltbelastungen stammen vorwiegend aus den Vorprodukten Zement und Branntkalk. Im Vordergrund der ökologischen Diskussion stehen der Einsatz von Aluminiumpulver sowie Risiken durch silikogene Stäube:

- Während der Reaktion wird das Aluminiumpulver in Tonerde umgesetzt und dadurch einem höherwertigen Stoffrecycling entzogen. Bei Umgang mit Aluminiumpulver besteht erhöhte Brand- und Explosionsgefahr. Wird das Aluminiumpulver in Pasten und Pellets eingebunden, kann die Bildung eines explosiblen Aluminiumpulver-Luft-Gemisches nicht mehr stattfinden. Mineralschaumplatten können auch ohne Aluminium-Treibmittel hergestellt werden.
- Das Unternehmen hat dafür zu sorgen, dass die Atemluft an den Arbeitsplätzen möglichst frei von silikogenem Staub (Gefahr an Steinstaublunge oder Siliko-Tuberkulose zu erkranken) ist.

Bei der Verarbeitung sollten die üblichen Vorkehrungen zum Staubschutz gesetzt werden. Während der Nutzung werden keine gesundheitsschädlichen Stoffe in die Raumluft abgegeben.
Die Produkte sind nicht unzerstört rückbaubar und daher ausschließlich stofflich verwertbar. Die Wiedernutzung von Mineralschaumplatten im Werk ist mehrfach im Kreislauf möglich. Beträgt der Anteil an mineralischen Fremdstoffen, wie Putz- und Mörtelresten, im aufbereiteten Porenbeton max. 10 M%, ist eine Zugabe bis zu 15 M% der Trockenrezeptur möglich. Darüber hinaus kann Bruchmaterial als Granulat für Schüttungen oder als Sekundärrohstoff für Öl- und Flüssigkeitsbinder, Hygienestreu, Abdeckmaterial, Ölbinder, Klärschlammkonditionierung etc. weiterverarbeitet werden. Mineralschaumplatten bestehen zu fast 100 % aus mineralischen Rohstoffen und sind daher aus ökologischer Sicht besonders für die Dämmung von mineralischen Tragkonstruktionen geeignet, da die Recyclingfähigkeit und Deponierbarkeit nicht durch Vermischen von organischen und anorganischen Materialien beeinträchtigt wird. Ein Verwertungskonzept für Mineralschaumplatten selbst gibt es derzeit noch nicht. Die Deponierung erfolgt auf Inertstoffdeponie gemäß EU-Deponie-Richtlinie bzw. Baurestmassendeponie gemäß Österr. Deponieverordnung.

Empfehlung

Für die Verklebung von Mineralschaumplatten als Innendämmung sollten lösemittelfreie Kleber verwendet werden.

5.2.1.2 Mineralwolle-Dämmstoffe

Glaswolle

Zur Herstellung von Glaswolle werden die Grundstoffe der Glaserzeugung eingesetzt: Quarzsand, Feldspat, Soda, Borsalze, Dolomit, Kalk, Natriumnitrat, Flussspat und Manganoxid. Diese Primärrohstoffe werden zunehmend durch Altglas ersetzt. Zur Formstabilisierung wird Glaswolle üblicherweise mit 3–9 M% harnstoffmodifiziertem Phenol-Formaldehyd-Harz gebunden (➔ formaldehydhältige Harze). Als Feuchteschutz werden zusätzliche Hydrophobierungsmittel auf Silikon- oder Mineralölbasis (ca. 1 M%) eingesetzt. Diese Öle binden gleichzeitig die Faserstäube. Die Rohstoffe werden gemischt und bei 1350 °C geschmolzen. Die Schmelze wird auf einer sich drehenden Spinnscheibe durch kleine Öffnungen am Scheibenrand gedrückt, nach außen geschleudert, von ringförmig angeordneten Gasbrennerdüsen nach unten abgeleitet und so zu 4–6 µm feinen Glasfäden gesponnen. Im nächsten Prozessschritt wird das Bindemittel auf die Fasern gesprüht. Das Bindemittel polymerisiert im Härteofen.

Steinwolle

Steinwolle besteht aus zu Fasern aufbereiteten mineralischen Rohstoffen wie Diabas, Basalt, Dolomit, etc. Zur Formstabilisierung wird Steinwolle üblicherweise mit ➔ Phenol-Formaldehyd-Harz gebunden. Zum Feuchteschutz werden zusätzliche Hydrophobierungsmittel auf Silikon- oder Mineralölbasis (ca. 1 M%) eingesetzt, welche gleichzeitig die Faserstäube binden. Die mineralischen Rohstoffe werden zusammen mit Koks, Recyclingwolle und geringen Mengen von Kalk im Kupolofen bei einer Temperatur von ca. 1500 °C geschmolzen. Die Schmelze fließt anschließend über schnell rotierende Scheiben, wird dadurch zerfasert und kühlt gleichzeitig ab. Die Wolle wird gesammelt und als Vlies gleichmäßig auf ein Fließband geschichtet. Walzen pressen die Wolle auf die gewünschte Dicke und Dichte. Die Steinwolle wird anschließend im Härteofen erhitzt, sodass das Bindemittel polymerisiert.
Mineralwolle-Dämmstoffe sollten unter möglichst trockenen Bedingungen eingebaut und mit einem dauerhaften Feuchteschutz versehen werden.

Umwelt- und Gesundheitsaspekte

Die hohen erforderlichen Temperaturen für die Schmelze erfordern einen hohen Energiebedarf, der sich vor allem bei schweren Produktqualitäten (z.B. MW-PT für Wärmedämmverbundsysteme) ökologisch negativ auswirkt. Bei Tätigkeiten mit Mineralwolle-Produkten können ➔ Künstliche Mineralfasern (KMF) freigesetzt werden. Durch luftdichte Konstruktionen wird der Eintrag der feinen Fasern in die Raumluft vermieden. Aus dem Bindemittel wird Formaldehyd abgespalten. Bei großflächiger raumseitiger Verlegung von Mineralwolle ist es sinnvoll, eine Formaldehydmessung analog der Formaldehydverordnung für Holzwerkstoffe zu verlangen. Nicht verklebte und saubere Mineralwolle lässt sich weiterverwenden oder als Stopfwolle weiterverwerten. Abbruchmaterial wird von den meisten Herstellern nicht zurückgenommen. Mineralwolle enthält durch die Beigabe des Bindemittels einen organischen Anteil. Eine eindeutige Zuordnung zu Baurestmassen- und Massenabfalldeponie ist daher erst nach einer Analyse der Stoffgehalte und Eluate des Produkts möglich

(verschieden hohe Bindemittelanteile, eluierbare Schwermetalle etc.). Als krebsverdächtig eingestufte Mineralwolle der alten Generation (siehe ➔ Künstliche Mineralfasern) muss sachgerecht ausgebaut und als gefährlicher Abfall entsorgt werden.

5.2.1.3 Perlite-Dämmschüttung

Beschreibung

Perlite finden Verwendung als Ausgleichs- oder Dämmschüttung in Wänden, Decken, Dächern und als innenliegende Dämmung auf Bodenplatten. Perlite sind eine Familie von wasserhaltigen, glasigen Gesteinen. Sie entstehen durch Vulkantätigkeit mit Wasserkontakt (unterseeisch oder unter Eis). Perlite werden bergmännisch gewonnen. Im europäischen Raum gibt es Vorkommen in Ungarn, Griechenland, der Türkei, Sizilien, Rumänien, Bulgarien und der Ukraine. Für Dämmschüttungen wird Blähperlite verwendet. Dabei wird Perlit kurzzeitig auf über 1000 °C erhitzt, wodurch schlagartig das chemisch gebundene Wasser des Gesteins entweicht und das Rohmaterial auf das 15- bis 20fache seines Volumens expandiert wird. Sie werden je nach Anwendungszweck rein, mit Silikonen hydrophobiert oder mit Bitumen, Naturharzen und Ähnlichem ummantelt, hergestellt.

Umwelt- und Gesundheitsaspekte

Perlite sind ausreichend verfügbar. Die Umweltbelastungen durch den Abbau sind mit jenen für den Trockenabbau von Splitt vergleichbar. Der Expandiervorgang wird mit den verschiedensten Verfahren und Energieeinsätzen durchgeführt, daher entsteht eine große Vielfalt an ökologischen Profilen. Das größte gesundheitliche Risiko bei der Verarbeitung geht von Staubexpositionen aus, deshalb sind Staubschutzmaßnahmen erforderlich. Aus bituminierten Perliten können ev. organische Substanzen ausgasen. Ungeziefer und Nagetiere können in der losen Schüttung weder Gänge noch Nester bauen. Das anorganische Material ist außerdem resistent gegen Chemikalien, Verrottung und Mikroorganismen. Als Schüttmaterial ist die Rückgewinnung von Perliten problemlos. Das Material kann nach Reinigung und Trocknung als Schüttmaterial oder Zuschlagstoff wiederverwendet werden. Die Deponierung erfolgt auf Inertstoffdeponie gemäß EU-Deponie-Richtlinie bzw. Baurestmassendeponie gemäß Österr. Deponieverordnung. Durch die Zugabe von Bitumen als Hydrophobierungsmittel geht der Vorteil einer hochwertigen Entsorgung des rein mineralischen Produktes verloren.

5.2.1.4 Schaumglasplatte

Beschreibung

Schaumglasplatten sind gas- und dampfdichte, wasserundurchlässige und vollkommen feuchteunempfindliche Wärmedämmplatten für erdberührte Bauteile, innen und außen, sowie für alle druckbelasteten Anwendungen. Schaumglas besteht wie Glas aus den Rohstoffen Quarzsand (ca. 50 %), Feldspat (ca. 25 %), Kalkstein oder Dolomit (ca. 15 %) und Soda (ca. 15 %). Als Zusatzstoffe können Eisen- und Manganoxid verwendet werden, als Blähmittel wird Kohlenstoff z.B. in Form von Koks, Magnesium- oder Calciumcarbonat zugefügt. Die Glasrohstoffe werden zunehmend durch Altglas und Verschnitt ersetzt (mehr als 50 % nach Herstellerangaben). Aus den Glasrohstoffen wird eine Schmelze hergestellt, die extrudiert, zerkleinert und zu Glaspulver vermahlen wird. Das Blähmittel Kohlenstoff kann in Form von Koks, Magnesiumcarbonat, Calciumcarbonat, Zucker, Glycerin und Glykol zugegeben werden. Danach wird das Gemisch auf ca. 1000

°C erhitzt. Beim Oxidieren des Kohlenstoffs entstehen Gasblasen. Die Abkühlung erfolgt auf genau definierte Weise. Die Platten werden entweder mit mineralischem Klebemörtel, mit Bitumenkaltklebern oder in Heißbitumen vollflächig und vollfugig mit dem Baukörper verklebt oder trocken direkt in Feinsplitt, Sand oder Frischbeton verlegt.

Umwelt- und Gesundheitsaspekte

Die Herstellung erfordert einen hohen Energiebedarf. Damit verbunden sind Emissionen in die Atmosphäre. Durch die Verwendung von Altglas konnte der Energiebedarf für die Produktion aber kontinuierlich gesenkt werden, da der Schmelzpunkt des Altglases unter jenem des Rohstoffgemisches liegt. Beim Verlegen von Schaumglas in Heißbitumen treten Emissionen von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen und anderen flüchtigen organischen Verbindungen aus Bitumendämpfen auf. Beim Schneiden des Schaumglases sind Augenreizungen durch den freigesetzten Glasstaub möglich und werden Nebenbestandteile der Gasfüllung wie Schwefelwasserstoffe und Stickstoff freigesetzt, die zwar einen starken, unangenehmen Geruch verströmen, aber aufgrund der äußerst geringen Mengen gesundheitlich unbedenklich sind. In Sandbett verlegte Platten können bei gutem Zustand weiterverwendet werden. Normalerweise ist ein hochwertiges Recycling verklebter Platten jedoch aufgrund der Verunreinigung mit Bitumen und anderen Klebern nicht möglich (ev. Downcycling als Grabenfüllmaterial). Die Deponierung erfolgt auf Inertstoffdeponie gemäß EU-Deponie-Richtlinie bzw. Baurestmassendeponie gemäß Österr. Deponieverordnung.

Empfehlung

Falls der Einsatzbereich dies erlaubt, sollte zur Verlegung der Platte ein mineralischer Kleber verwendet werden. Andernfalls sollten lösemittelfreie Kleber verwendet werden (GISCODE BBP10).

5.2.1.5 Glasschaumgranulat

Beschreibung

Im Hochbau kann Glasschaumgranulat als Leichtzuschlag für Beton, als Perimeterdämmung unter Bodenplatten bzw. seitlich zur Kellerwand und auf unterkellerten, befahr- oder begehbaren Gebäudeteilen eingesetzt werden. Für das Glasschaumgranulat wird reines Altglas als Ausgangstoff eingesetzt. Die weiteren Produktionsschritte sind identisch mit der Schaumglasplattenproduktion. Die fertige Platte bricht auf Grund der thermischen Spannung bei der definierten Abkühlung oder wird aktiv in die entsprechende Körnung gebrochen. Der Luftporenanteil kann je nach gewünschter Produktqualität variiert werden. Ein höherer Luftanteil führt zu guten Dämmeigenschaften und wenig Gewicht, senkt aber auch die Druckfestigkeit. Die Wärmeleitfähigkeit von Glasschaumgranulat liegt je nach Spezifizierung zwischen 0,06–0,17 W/m K. Weil die Luftkammern in sich geschlossen sind, nehmen die Schottersteine kein Wasser auf. Zwischen den Steinen kann Wasser aber ungehindert durchsickern. Glasschaumgranulat ist feuer- und hitzebeständig und resistent gegen Salze, Säuren, Bakterien und weitere Umwelteinflüsse.

Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit

Durch die Verwendung von Altglas werden mineralische Ressourcen geschont und die energieaufwändige Glasproduktion entfällt. Glasschaumgranulat ist faserfrei, es werden keine Schadstoffe abgegeben. Beim Verarbeiten ist auf Staubentwicklung zu achten. Die Deponierung erfolgt auf Inertstoffdeponie gemäß EU-Deponie-Richtlinie bzw. Baurestmassendeponie gemäß Österr. Deponieverordnung.

5.2.2 Dämmstoffe aus Kunststoffen

5.2.2.1 Dämmstoffe aus Polystyrol

Grundlagen

Zur Herstellung des Ausgangsstoffes Polystyrol werden Ethen und ➔ Benzol in einer Friedl-Crafts-Alkylierungsreaktion zu Ethylbenzol umgesetzt und im darauffolgenden Herstellungsschritt unter Anwesenheit von Festbettreaktoren, in denen Eisenoxidkatalysatoren verschiedener Zusammensetzung zum Einsatz kommen, zu ➔ Styrol dehydriert. Durch Polymerisation von Styrol entsteht Polystyrol.

Expandierbares Polystyrol (EPS) setzt sich aus 91–94 M% Polystyrol, 4–7 M% Pentan, knapp 1 M% Brandschutzmittel Hexabromcyclododecan und Dicumylperoxid sowie aus kleinen Mengen von PE-Wachsen, Paraffinen und Metallsalzen von Fettsäuren zusammen. Durch Suspensions- oder Perlpolymerisation von Styrol entsteht Polystyrolgranulat. Dafür werden zuerst die Additive, Initiatoren (Dibenzoylperoxid, Dicumylperoxid) und Wiederauflöser (z. B. innerbetriebliche Polystyrolabfälle oder Fehlchargen) in Styrol gelöst und danach diese organische Phase durch ein Rührwerk in der wässrigen Phase dispergiert. Durch Erhöhung der Temperatur zerfallen die Initiatoren und lösen damit die Polymerisation aus. Damit der dispergierte Zustand erhalten bleibt, werden entweder Extender (Tenside) in Kombination mit wasserunlöslichen feinverteilten anorganischen Feststoffen oder leicht hydrophile Polymere (z. B. Polyvinylpyrrolidon) oder eine Kombination der beiden eingesetzt. Bei höheren Umsätzen wird das Treibmittel – in der Regel eine Kombination aus Normalpentan und Isopentan – zugegeben. Nach ca. 10 bis 16 Stunden wird die Polymerisation durch die Zugabe einer geeigneten Stopperlösung (z.B. 20 %ige Lösung von tert-Butylbrenzkatechin) abgebrochen. Bei der Aufarbeitung wird das EPS-Perlpolymerisat in einem Schleuderprozess vom Suspensionsmedium getrennt. Die EPS-Perlen werden gewaschen, im Luftstrom bei moderaten Temperaturen getrocknet (Wassergehalt < 0,5 M%) und mit Gleit- und Verarbeitungshilfsmitteln (z. B. Metallsalzen von Fettsäuren oder Fettsäureestern) bzw. Antistatika beschichtet.

Extrudiertes Polystyrol (XPS) wird aus Polystyrolgranulat (Standardpolystyrol, General Purpose Polystyrene), das eine Reihe von Zusatzstoffen enthält, durch Extrudieren unter Zusetzung eines Treibmittels (0–12 M% ➔ HFKW oder CO_2) hergestellt. Weitere Zusatzstoffe sind Flammschutzmittel (➔ Hexabromcyclododecan und Dicumylperoxid), Farbpigmente und weitere Hilfsstoffe wie Antioxidationsmittel, Lichtstabilisatoren oder Keimbildner. Das Flammschutzmittel HBCDD (➔ Hexabromcyclododecan) ist persistent, bioakkumulierend und toxisch und somit wesentlich für die aktuelle ökologische Bewertung von Polystyrol. Die Einsatzstoffe (Polystyrolgranulat, Brandschutzmittel, Verarbeitungshilfsmittel) werden in einem Extruder dosiert und in der Verdichtungszone zu einer Schmelze verarbeitet. Danach wird das flüssige Treibmittel eingemischt. Durch die Extrusion wird die Schmelze aufgeschäumt, ein Teil des Treibgases wird emittiert und abgesaugt, der Rest verbleibt in den Zellen des XPS und gast langsam im Verlauf von Jahren aus. Die Platten werden abgelängt und durch mechanische Bearbeitung in die gewünschte geometrische Form gebracht. Die dabei anfallenden XPS-Reste werden zerkleinert, in einem Extruder aufgeschmolzen, entgast, filtriert und zu Granulat verarbeitet, das wieder im Schäumprozess verwendet werden kann.

Umwelt- und Gesundheitsaspekte

Herstellung

Die Herstellung ist mit einem hohen Aufwand an Energie, Chemikalien und Infrastruktur, insbesondere zur Herstellung des Ethylbenzols, verbunden. Prozessbedingt dominieren Emissionen von Kohlenwasserstoffen in die Luft. ➔ Benzol ist als „beim Menschen krebserzeugend“ eingestuft. Styrol ist ein Nervengift, jedoch nach heutigem Kenntnisstand wahrscheinlich nicht krebsauslösend. Grenzwerte für Styrol-, Ethylbenzol- und Benzol-Konzentrationen werden in westeuropäischen Werken im Normalbetrieb deutlich unterschritten, bei Störfällen sind allerdings Überschreitungen möglich. In den Werken kommt es zu Geruchsbelästigung durch Styrol und z.T. zu erhöhten Lärmbelastungen.

Verarbeitung und Nutzung

Bei der Verarbeitung treten nur bei Erhitzung der Platten (z. B. Schneiden mit Glühdraht) relevante Styrolemissionen auf. Allenfalls sind Emissionen aus Kunstharzkleber, Grundierung etc. relevant.
In der Nutzungsphase wird aus EPS-Platten Styrol emittiert. Der Styrolgehalt im Fertigprodukt liegt in westeuropäischen Ländern unter 1000 ppm, Ausgasungsraten klingen exponentiell ab. Wie [Hoffmann 1994] und [Münzenberg 2003] nachgewiesen haben, kann auch aus außenseitig aufgebrachten EPS-Platten Styrol in die Raumluft gelangen. Die Styrolkonzentrationen in Innenräumen sind jedoch so gering, dass das toxikologische Risiko der Styrolemissionen unter den heute allgemein akzeptierten Risiken für Wohnräume liegt (nach einigen Monaten deutlich unter 1/10 des WHO-Grenzwertes). Für XPS liegen keine Messwerte für Styrolemissionen vor, es ist allerdings von einem dem expandierten Polystyrol (EPS) ähnlichen Verhalten auszugehen. Das Treibmittel Pentan emittiert aus den Platten und trägt zur bodennahen Ozonbildung (Photosmog) und bei raumseitiger Verlegung zur Verschlechterung der Raumluft bei. Im Niedrigdosisbereich gibt es noch keine Daten zur toxikologischen Wirkung von Pentan [Münzenberg 2003], vorsorglich sollte in der Anfangsphase besonders gut gelüftet werden. HFKW-Treibmittel emittieren während der Nutzungsphase und tragen wegen ihres hohen Treibhauspotentials zum Treibhauseffekt bei. Die 2002 erlassene österreichische Verordnung (HFKW-FKW-SF6-VO: BGBl. 447/2002) sieht daher ein Verbot für die mengenmäßig wichtigsten HFKW-Anwendungen vor.
Die starke Qualmbildung im Brandfall erschwert die Orientierung. Durch den Einsatz bromierter Flammschutzmittel kann es zudem zur Bildung von gesundheitsschädlichen Verbindungen (u.a. Dioxine, Furane) kommen.

Wartung/Lebensdauer

EPS und XPS sind gegenüber organischen Lösemitteln wie Klebern, Anstrichstoffen, Trennmitteln auf ölhaltiger Basis, Teerprodukten, Fluxmitteln sowie konzentrierten Dämpfen dieser Stoffe empfindlich. Bei direktem Kontakt mit PVC-Folien können Weichmacher in den Dämmstoff wandern und Schaden anrichten. EPS und XPS sind biologisch nicht abbaubar. Sie können aber Insekten und Nagetieren als Nistplatz, zur Ablage von Eiern oder zum Anlegen von Futtervorräten dienen.

Entsorgung

Nicht verklebtes, nur leicht verschmutztes Material (z.B. EPS-Trittschalldämmung) kann weiterverwendet werden. Unverschmutzte Abfälle (saubere Baustellenabfälle) sind in den Herstellungsprozess rückführbar oder können zur Herstellung von PS-Extrusionsgegenständen (z. B. Helme) über Entgasung, Aufschmelzen und Wiederbegasung und Extrusion verwendet werden. Bei leichter Verschmutzung kann das Material zu Granulat zerkleinert und als Schüttung, Zuschlagsstoff oder Porosierungsmittel für Leichtbeton oder Ziegel verwendet werden. Eine noch nicht marktreife Verwertungsmöglichkeit besteht in der Zerlegung von XPS in die niedermolekularen Ausgangsrohstoffe Ethen und Benzol (Pyrolyse). EPS und XPS haben einen hohen Heizwert (ca. 40 MJ/kg bzw. 47 MJ/kg), jedoch ein sehr geringes Gewicht und dadurch bezogen auf einen m³ Material nur einen geringen Heizwert. Neben den üblichen Verbrennungsgasen entstehen auch Bromwasserstoff und bromierte Furane und Dioxine in geringen Mengen. Nur in modernen Müllverbrennungsanlagen ist eine geordnete Verbrennung mit Überwachung und Nutzung der Abwärme möglich. Bei Wärmedämmverbundsystemen müssen vor der Verbrennung EPS und mineralische Bestandteile aufwändig getrennt werden. Das Deponieren ist im Allgemeinen nicht mehr bzw. nur in Ausnahmefällen (als geringer Anteil von Bauschutt) erlaubt.

Empfehlung

Keine HFKW-geschäumten XPS-Platten verwenden. Für Dämmstoffe und Schäume gibt es eine Reihe von Anbietern für HFKW-freie Produkte.

EPS-Platten

EPS-Platten werden als Wärmedämmstoff und Trittschalldämmung in allen nicht feuchtebelasteten Bereichen eingesetzt. Zur Erzeugung werden EPS-Perlen, die das Treibmittel bereits enthalten, in Vorschäumgeräten bei ca. 100 °C auf das 20–50fache expandiert und kontinuierlich zu Platten oder diskontinuierlich zu Schalungssteinen geschäumt. EPS-Automatenplatten sind Stück für Stück gefertigte, hydrophobierte EPS-Platten. Sie werden als Perimeter-, Sockel- und Umkehrdachdämmung eingesetzt.

XPS-Platten

XPS-Platten sind feuchteunempfindliche Platten, die kaum Wasser aufnehmen und deshalb vor allem für Perimeter- und Sockeldämmungen sowie für Umkehr- und Terrassendächer eingesetzt werden. Die Platten bestehen aus überwiegend geschlossenzelligem harten Schaumstoff aus Polystyrol oder Mischpolymerisaten mit überwiegendem Polystyrol-Anteil. Im Unterschied zu den EPS-Platten wird das Treibmittel erst bei der Fertigung der Platten zugegeben.

5.2.2.2 Polyurethanplatten

Polyurethanplatten werden aus Diphenylmethandiisocyanat (MDI) und Polyolen (Alkohole mit mehr als 2 OH-Gruppen) hergestellt (➔ Polyurethan). Als Treibmittel wird für Hartschaumplatten Pentan eingesetzt. Im Weiteren sind als Zusatzstoffe Katalysatoren, Aktivatoren, Flammschutzmittel, Stabilisatoren, Antioxidationsmittel und Farbmittel enthalten. Polyurethanplatten sollten aufgrund der human- und ökotoxikologisch höchst relevanten Grundstoffe nur in Sonderfällen wie z.B. bei Treppenauflagern eingesetzt werden.

Umwelt- und Gesundheitsaspekte

Bei der Herstellung der Polyurethan-Rohstoffe handelt es sich um einen komplexen mehrstufigen Prozess, der mit einer Reihe von gesundheitsgefährdenden Zwischen- und Nebenprodukten verbunden ist. Risiken gibt durch die Verwendung von toxikologisch problematischen Stoffen wie Phosgen, Diphenylmethandiisocyanat (MDI), Diphenylmethandiamin (MDA), Benzol, Anilin, Chlorgas. Phosgen ist ein starkes Atemgift. MDI wirkt auf das Immunsystem toxisch, auf die Atemwege sensibilisierend und ist als möglicherweise krebserregend (nur in Form von atembaren Aerosolen) eingestuft, MDA kann Krebs auslösen. Benzol wirkt knochenmarkschädigend und hemmt die Blutbildung. Anilin ist mutagen und möglicherweise teratogen. Chlor ist akut giftig. Pentan ist leichtentzündlich, daher gelten strenge Sicherheitsvorschriften (Ökologie der Dämmstoffe, Springer 2000).

Das Endprodukt Polyurethan selbst ist als toxikologisch unbedenklich einzustufen. Bei nichtbeschichteten Polyurethanplatten können allenfalls Zusatzstoffe und die Treibmittel im Spurenbereich gemessen werden. Bei der Verbrennung von Polyurethanabfällen entsteht neben den üblichen Verbrennungsprodukten Salzsäure, die stark korrosiv wirkt und daher besonders schädlich für Pflanzen ist. Die Ökotoxizität der Rauchgase kann auch durch die Entstehung von halogenierten Dioxinen und Furanen verstärkt werden, die langfristig stabil bleiben. Aufgrund des hohen Stickstoffgehalts können bei der Verbrennung von Polyurethan außerdem hochgiftige Blausäure und Isocyanate in Spuren entstehen. In Müllverbrennungsanlagen werden diese Emissionen im normalen Betriebszustand durch die Rauchgasreinigung fast vollständig aus der Abluft entfernt, die Grenzwerte werden eingehalten. Energetische Verwertung hoher Stickstoffgehalt.

5.2.3 Dämmstoffe aus Pflanzenfasern und Tierhaaren

5.2.3.1 Grundlagen

Pflanzenfasern und Tierhaare

Pflanzenfasern und Tierhaare sind Erzeugnisse aus nachwachsenden Rohstoffen, die sich über kurze Zeit in natürlichen Kreisläufen erneuern. Die zur Herstellung von Dämmstoffen genutzten Fasern sind Nebenprodukte der Landwirtschaft, die durch ihren Rohstoffeinsatz in Dämmstoffen einer hochwertigen Verwertung zugeführt werden:

- Die Kurzfaser für Flachsdämmstoffe ist ein Nebenprodukt der Leinenfasergewinnung für die Textilindustrie. Lein, im allgemeinen Sprachgebrauch Flachs genannt, ist eine der ältesten Kulturpflanzen.
- Die Hanffasern und Schäben sind Nebenprodukte des Hanfanbaus für Textilien und Hanfölgewinnung. Hanf ist eine äußerst robuste und anspruchslose Kulturpflanze der gemäßigten Breiten. Für den Anbau in der EU wurde der Gehalt an der Rauschsubstanz THC begrenzt.
- In Mitteleuropa ist Schafwolle ein Abfall- bzw. Nebenprodukt der Mutterschafhaltung. Die Nachfrage an Schafwolle aus der Textilindustrie ist in den letzten Jahrzehnten drastisch gesunken. In mehreren Ländern Europas wurde daher Schafwolle als unerwünschtes Nebenprodukt verbrannt. Im deutschsprachigen Raum werden mittlerweile hauptsächlich Schafwolle-Dämmstoffe mit überwiegend Schafwolle europäischer Provenienz erzeugt. Extensive Schafhaltung, wie sie in Europa üblich ist, trägt wesentlich zur Erhaltung der Kulturlandschaft bei.

Umwelt- und Gesundheitsaspekte

Herstellung

Pflanzen entziehen der Atmosphäre bei der Photosynthese Kohlendioxid. Werden daraus hergestellte nachwachsende Rohstoffe als Baustoffe genutzt, so bleibt der darin enthaltene Kohlenstoff auf lange Zeit gebunden. Durch den Einsatz in der Dämmstoffherstellung werden zudem Abfallprodukte einer sinnvollen Verwertung zugeführt. Trotz konventionellen Anbaus verursacht die landwirtschaftliche Produktion der eingesetzten Hanf-, Flachs- und Strohfasern verglichen mit anderen landwirtschaftlichen Produkten relativ geringe Umweltbelastungen. Ein Umstieg auf organisch-biologischen Anbau wird zurzeit als wirtschaftlich nicht tragbar angesehen. Die Herstellungsverfahren sind einfach und weitestgehend umweltschonend. Die eingesetzten Zusatzstoffe sind bei sachgemäßem Umgang humantoxisch überwiegend unproblematisch. Werden Borate als Flammschutzmittel eingesetzt, sollte deren Gehalt jedenfalls unterhalb der für die Einstufung als reproduktionstoxisch relevanten Konzentrationsgrenzen liegen (siehe dazu ➔ Borsalze). Die eingesetzten Mengen an Kunststofffasern und Flammschutzmittel bei Hanf- und Flachsdämmstoffen haben noch Verringerungspotential.

Verarbeitung und Nutzung

Beim Schneiden entsteht Feinstaub. Entsprechende Staubschutzmaßnahmen sind zu treffen. Die je nach Produkt eingesetzten Zusatzstoffe haben einen niedrigen Dampfdruck und gasen daher aus dem Dämmstoff nicht aus. Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Schadstoffabgabe aus den Dämmstoffen während der Nutzung sind daher nicht zu erwarten. Es gibt noch keine Erfahrungswerte bezüglich der Lebensdauer von Dämmstoffen aus Pflanzenfasern und Tierhaaren, anzunehmen ist bei fachgerechtem Einbau eine mit konventionellen Produkten vergleichbare Lebensdauer. Zugelassene Produkte sind auf Resistenz gegen Fäulnis, Ungeziefer und Schimmelpilzbefall geprüft.

Entsorgung

Sauberes Material kann weiterverwendet werden, ev. sollten die Zusatzstoffe erneuert werden. Die Beseitigung erfolgt in Müllverbrennungsanlagen. Die Deponierung von organischen Abfällen und damit von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen ist nur mehr in Ausnahmefällen (als geringer Anteil von Bauschutt) erlaubt.

5.2.3.2 Rohholz

Holz wird als Stamm- und Durchforstungsholz aus dem Wald gewonnen und zur weiteren Verarbeitung ins Sägewerk gebracht. Aus dem Rundholz entstehen unterschiedliche Produkte (Schnittholz, Furniere, Späne und Fasern), die Ausgangsprodukte für verschiedene Werkstoffe bzw. Holzwerkstoffe sind.

Umwelt- und Gesundheitsaspekte

Herstellung

Holz ist ein Rohstoff, der weltweit in großen Mengen nachwächst. Neben ihrer Funktion als Rohstofflieferanten erfüllen Wälder vielfältige Aufgaben: Lebensraum, Förderung der Biodiversität, Schutzwald, Sauerstoff-

produzent, Wasserrückhaltung, Erholungsgebiet. In den deutschsprachigen Ländern sind weitgreifende ökologische Belastungen durch die Forstwirtschaft weitestgehend gesetzlich unterbunden, d.h. es darf nur so viel Holz eingeschlagen werden, wie in einem Durchschnittsjahr nachwächst; großflächige Kahlschläge sind verboten, um Bodenerosion zu vermeiden. Die Holzwirtschaft kann aber auch schwere Umweltbeeinträchtigungen verursachen. Anpflanzungen in Monokulturen machen den Wald anfällig gegen Umwelteinflüsse. Die Schlägerung geschieht unter Einsatz schwerer Maschinen, die Schäden an Baumbestand und Waldboden verursachen können. Durch die Gewinnung von Tropenholz werden oft schwerste Umweltschäden verursacht. Ein zunehmendes Problem ist illegal geschlägertes Holz, das in Mitteleuropa auf den Markt gelangt. Fortschrittliche Waldbausysteme (z. B. Plenterwald, FSC-zertifizierter Wald) werden dem Ökosystem Wald gerecht und ermöglichen trotzdem eine effiziente

Holznutzung

Durch die biologische Produktion von Holzmasse wird der Atmosphäre Kohlendioxid entzogen (negatives Treibhauspotential), das bis zur Zersetzung oder Verbrennung des Holzes gespeichert bleibt; relevanter Energiebedarf für die technische Trocknung (je nach Anfangsfeuchte ca. 3 MJ/kg), jedoch meist relativ umweltfreundliche Erzeugung mit Hackschnitzelheizung aus den im Sägewerk anfallenden Abfällen; durch materialspezifische Schlägerung und natürliche Trocknung minimierbar; Arbeitsplatzbelastung durch Lärm und Staub. Gem. MAK-Liste sind Buchen- und Eichenfeinstaub als krebsauslösend eingestuft, alle anderen Holzstäube stehen im Verdacht, krebserzeugend zu sein.

Nutzung

Holz kann flüchtige organische Verbindungen emittieren, insbesondere Terpene. Besonders bedeutsam sind alpha- und beta-Pinen, D-Limonen und delta-3-Caren. Im Vergleich zu anderen heimischen Holzarten weist Kiefernholz die höchsten VOC-Emissionen auf.

Entsorgung

Mechanisch verbundene Holzteile lassen sich meist einfach rückbauen. Bei zerstörungsfreiem Ausbau ist eine Wiederverwendung möglich. Unbehandeltes Altholz ist als Rohstoff für verschiedenste Anwendungen, z.B. in der Zellstoffindustrie, für Holzwerkstoffe oder als Porosierungsmittel, verwertbar. Holz besitzt einen hohen Heizwert (zwischen 12,5 MJ/kg und 20,1 MJ/kg), die thermische Verwertung von unbehandeltem und unbeschichtetem Holz ist problemlos. Behandelte Hölzer können in Verbrennungsanlagen entsorgt werden. Vor allem aus kunstharzbeschichteten Hölzern können bei niedrigen Verbrennungstemperaturen polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffverbindungen (tw. kanzerogen) bzw. polycyclische Biphenyle freigesetzt werden. Umweltverträgliche Oberflächenbeschichtungen wie natürliche Öle und Wachse verursachen keine erhöhten Schadstoffemissionen. Die Deponierung von organischen Abfällen ist nach der österreichischen Deponieverordnung (BGBl. 1996/164) nicht mehr erlaubt. Ausnahme: als geringer Anteil von Bauschutt, das gilt auch für alle Formen des Werkstoffes Holz.

Empfehlung

Holz aus nachhaltig genutzten und regionalen Wäldern verwenden (Zertifikat verlangen). Tropenhölzer nur verwenden, wenn ihre nachhaltige Gewinnung durch ein FSC-Zertifikat oder gleichwertiges Zertifikat nachgewiesen ist. Natürlich getrocknete Hölzer bevorzugen.

5.2.3.3 Flachsdämmstoffe

Flachsdämmstoffe werden vorwiegend zur Dämmung von Holzkonstruktionen (Steildachdämmung, Dämmung im Leichtelement, abgehängte Decke usw.) eingesetzt. Sie werden aus den Kurzfasern der Flachspflanze erzeugt. Die Fasern werden entweder mit ➔ Kunststoff-Stützfasern aus Polyethen und Polyester (bis zu 18 M%) oder mit Kartoffelstärke schichtweise gebunden. Als Flammschutzmittel werden ➔ Ammoniumpolyphosphate oder ➔ Borsalze (ca. 10 M%) eingesetzt. Es werden die üblichen Feldaufbereitungsarbeiten (Pflügen, Eggen, Säen etc.) durchgeführt. Auf Dünger wird in der Regel verzichtet, weil Flachs sehr sensibel auf Nährstoff-Überangebot reagiert. Die Pflanzen werden mit Spezialmaschinen geerntet und in Schwaden zur Tauröste auf dem Feld abgelegt. Dabei verrotten unter Einfluss von Wärme und Feuchtigkeit die Pflanzenleime, die Holzteile und Faserbündel zusammenhalten. Der Röstflachs wird von den Fruchtkapseln befreit, gebrochen und in einer Turbine geschwungen, um die Holzteile vollständig zu entfernen. Anschließend werden die Fasern über ein Nagelbrett parallel ausgerichtet (kardiert) und dabei die Lang- und Kurzfasern getrennt. Die Kurzfasern werden in einer Kardiermaschine verarbeitet und danach schichtenweise mit Flammschutzmittel besprüht.

5.2.3.4 Hanfdämmstoffe

Hanfdämmstoffe können für die unterschiedlichsten Wärmedämmzwecke eingesetzt werden. Meist werden sie in Holzkonstruktionen (Steildachdämmung, Dämmung im Leichtelement, abgehängte Decke usw.) eingebaut. Es sind aber auch Wärmedämmverbundsysteme mit Hanfdämmplatten möglich. Die Kurzfasern oder Schäben aus Hanf werden mit ca. 15 M% Kunststoff-Stützfasern aus Polyethen und Polyester gebunden. Es ist technisch möglich, die Hanffasern mit Stärkefasern zu binden. Aufgrund höherer Kosten wird der Einsatz von Stärkefasern derzeit nur von wenigen Herstellern verfolgt. Als brandhemmende Mittel wirken ➔ Ammoniumpolyphosphate oder Sodalösungen. Im Hanfanbau werden die üblichen Feldaufbereitungsarbeiten (Pflügen, Eggen, Säen etc.) durchgeführt. Hanf gilt als Pflanze mit Beikraut unterdrückender Wirkung, der Einsatz von Pflanzenschutzmittel ist daher unter guten Bedingungen nicht notwendig. Die Fasern verbleiben nach der Ernte 10 bis 20 Tage am Feld zur Röste. Dabei verrotten unter Einfluss von Wärme und Feuchtigkeit die Pflanzenleime, welche die Holzteile und Faserbündel zusammenhalten. Im Werk wird das Hanfstroh in einer Hammermühle in die Bestandteile Hanffaser, Schäben und Staub getrennt und die Hanffaser mit Flammschutzmittel behandelt. Die Hanf- und Kunststofffasern werden gemischt und durch zwei Vliesbildner befördert. Im darauf folgenden Thermobondierofen schmilzt der PE-Mantel der Kunststofffaser und verbindet so die Hanffasern. Der innere Polyester-Kern schmilzt nicht und gibt der Platte Festigkeit.

5.2.3.5 Holzfaserdämmplatten, poröse Holzfaserplatten und Holzwolleplatten

Beschreibung

Holzfaserdämmplatten (WF nach EN 13171) werden für Wärme- und Schalldämmung in Boden-, Wand-, Decken- und Dachkonstruktionen und auch als Putzträger eingesetzt. Holzfaserplatten haben eine hohe Wärmespeicherfähigkeit bei gleichzeitig guten Wärmedämmeigenschaften, sind diffusionsoffen und können winddicht eingebaut werden. Poröse Faserplatten (SB nach EN 622-4: < 400 kg/m³) sind üblicherweise dünner und schwerer als Holzfaserdämmplatten und werden z. B. für Trittschalldämmungen und als Unterdachplatten eingesetzt. Bituminierte Holzfaserdämmplatten werden für wasserabweisende Unterdächer und Schutzschichten auf der Außenseite von Holzständerwänden bei gleichzeitiger Verbesserung der Wärme- und Schalldämmung eingesetzt. Rohstoffe sind Resthölzer der Sägeindustrie und Durchforstungshölzer (meist Fichte, Tanne und Kiefer). Bei der Herstellung unterscheidet man Nass- oder Trockenverfahren.

- Nassverfahren: Aufschluss der Hackschnitzel mit Wasserdampf, Mahlen, Vermengen mit Wasser und evtl. Zusatzstoffen, Absaugen des Produktionswassers aus dem Faserstoff mittels Vakuumsaugern; Trocknen im Etagentrockner über mehrere Tage bei 120–190 °C von 40 % auf ca. 2 % Restfeuchte; Ablängen und Kantenausbilden. Als Bindemittel dienen lediglich die holzeigenen Harze. Zur Aktivierung des holzeigenen Harzes Lignin wird Aluminiumsulfat (1–3 M %) beigegeben, die Hydrophobierung erfolgt mit Wachsemulsionen (max. 1 M %). Dickere Platten werden aus dünneren Platten mit Weißleim geklebt (ca. 0,8 M %). Durch den Trocknungsprozess ist der Energiebedarf bei der Herstellung gegenüber dem Trockenverfahren vergleichsweise hoch.
- Trockenverfahren: Hackschnitzeln werden im Refiner zu Fasern aufgeschlossen. Die Fasern werden mit Polyurethanharzen (siehe ➔ Polyurethan) benetzt oder mit Bikomponenten-Kunststofffasern vermischt und unter Druck und Hitze zu homogenen Platten gebunden. Dickere Platten können in einem Arbeitsgang gefertigt werden.

Holzwolleplatten (WW nach EN 13168) werden als Putzträger für Wand- und Deckenaufbauten sowohl innen als auch außen eingesetzt. Sie bestehen aus einem schwach verdichteten Gemisch aus längsgehobelter Holzwolle und mineralischem Bindemittel (rund 65 M% Portlandzement oder Magnesitbinder). Als Mineralisierungsmittel können geringe Mengen anorganischer Salze zugegeben werden. Holz wird zu möglichst langen Spänen gehobelt. Die Späne werden gewogen und auf dem Förderband mit einem Mineralisierungsmittel (z. B. Calciumchloridlösung) befeuchtet. Zur Herstellung zementgebundener Platten wird dann Zement zugegeben und die Masse in Form gepresst. Zur Herstellung der magnesitgebundenen Platten wird Magnesiumsulfat (getrocknetes Bittersalz) in heißem Wasser gelöst und in einem Mischer auf die Holzwolle aufgebracht. Danach wird eine aus Magnesiumsulfat und Magnesiumoxid bestehende Suspension in den Mischer gegeben. Das Holzwolle-Magnesit-Gemisch wird anschließend gepresst. Nach zwei Tagen werden Platte und Form getrennt, die Platten gestapelt und gelagert. Holzwolleplatten mit einseitig mineralisch gebundener, trittfester Oberfläche werden als Porenverschlussplatten bezeichnet. Holzwolleplatten werden auch im Verbund mit Dämmstoffen (EPS-Dämmplatten, Polyurethan-Dämmplatten, Mineralwolle-Dämmplatten) hergestellt.

Umwelt- und Gesundheitsaspekte

Herstellung

Der ökologische Vorteil von Holzfaserplatten und Holzfaserdämmplatten liegt in der guten Ausnutzung des eingeschlagenen Holzes. Dem geringeren Energiebedarf bei der Herstellung im Trockenverfahren steht der Einsatz synthetischer Bindemittel gegenüber. Die Herstellung der Kunstharze ist energieintensiv und umweltbelastend, zum Teil treten sehr problematische Zwischenprodukte auf. Die ökologischen Kennwerte von Holzwerkstoffen werden daher großteils über die Menge des zugegebenen Bindemittels bestimmt. Bei Platten, die ohne Bindemittel auskommen und im Nassverfahren hergestellt werden, ist der Energiebedarf für den Trocknungsprozess ausschlaggebend für die ökologischen Kennwerte. Beim Zerkleinern der Hölzer kommt es zu Staubentwicklung.
Zur Herstellung der Holzwolleplatten werden Resthölzer aus der holzverarbeitenden Industrie, Durchforstungshölzer oder Gebrauchtholz verwendet. Die Mineralisierungsmittel besitzen (auch bezüglich der eingesetzten Menge) keine Umweltrelevanz. Das Ablängen und Hobeln der Späne erfolgt mit relativ geringem Energieaufwand. Starker Staubanfall ist beim Zerspanen, Hobeln oder Besäumen möglich (durch Absauganlagen verringert). Die Gewinnung der mineralischen Rohstoffe verursacht lokale Umweltbelastungen. Die ökologischen Kennwerte werden vor allem durch die Brennprozesse bei der Herstellung der Bindemittel bestimmt.

Verarbeitung und Nutzung

Zur Vermeidung von Gesundheitsbelastungen durch Holzstaub sind beim Bearbeiten persönliche Schutzmaßnahmen notwendig.
Neben Formaldehyd emittieren Holzfaserplatten und Holzfaserdämmplatten Terpene aus Holzinhaltsstoffen, kurzkettige Carbonsäuren und weitere Aldehyde. Aldehyde wie Hexanal, Pentanal, Benzaldehyd, Heptanal und Furfural bilden sich durch Oxidationsvorgänge bei der Trocknung von Spänen und Fasern aus Bestandteilen des Holzes. Die höchsten Emissionen weisen Holzwerkstoffe aus Kiefernholz auf. [Zwiener/Mötzl 2006].
Für Holzwolleplatten sind keine gesundheitsbeeinträchtigenden Emissionen während der Nutzungsphase zu erwarten.

Entsorgung

Je nach Zustand der Platten und der Verlegungsmethode lassen sich Holzwerkstoffe rückbauen und weiterverwenden. Sie lassen sich rezyklieren als Rohstoff für neue Holzwerkstoffplatten oder in der Zellstoffindustrie. Organisch gebundene Holzwerkstoffe besitzen wie Holz einen hohen Heizwert. Sie sollten nur in Verbrennungsanlagen mit Rauchgasreinigung verbrannt werden, sodass Emissionen von problematischen Kohlenwasserstoffverbindungen unterbunden werden können. Die Deponierung von organischen Abfällen und damit von organisch gebundenen Holzwerkstoffplatten ist nur mehr in Ausnahmefällen (als geringer Anteil von Bauschutt) erlaubt.
Bei der üblichen Einbausituation ist von einer Wiederverwendung der Holzwolleplatten nicht auszugehen. Eine stoffliche Verwertung ist wegen des anorganisch-organischen Verbunds nur in geringem Ausmaß mög-

lich. Sortenreine, saubere Abbruchmaterialien könnten wieder in die Produktion rückgeführt werden (Anteil am Neuprodukt bis zu ca. 10 %). Eine thermische Beseitigung ist aufgrund der dafür notwendigen hohen Temperaturen nicht sinnvoll. Magnesit- und zementgebundene Holzwerkstoffe sind in Österreich gem. BGBl. II - 39. Verordnung vom 30.01.2008 in der Aufzählung in Anhang 2 der Deponieverordnung 2008 (BGBl. II Nr. 39/2008 - Deponieverordnung 2008) angefügt. Die Platten können somit trotz des hohen Anteils organischer Bestandteile auf Baurestmassendeponien beseitigt werden, da das Holz mineralisiert und damit in einer für die Deponierung unbedenklichen Form vorliegt. Ein Verbund mit organischen Dämmstoffen (EPS oder Polyurethan) erschwert die Deponierung, da vorher die organischen Bestandteile abgetrennt werden müssen.

Empfehlung

Ein hoher Leimanteil beeinflusst die ökologischen Kennwerte wesentlich. Besonders bei großflächigem Einsatz auf Platten mit niedrigen Schadstoff- und Geruchsemissionen (z. B. natureplus-geprüft) achten.

5.2.3.6 Korkdämmplatten

Beschreibung

Korkdämmplatten werden als Wärmedämmstoffe vor allem in Wärmedämmverbundsystemen eingesetzt. Die Dämmplatten werden aus niedrig expandiertem Backkork (dunkler Kork) aus der Rinde der Korkeiche erzeugt. Für die Produktion von Backkork werden die Äste der Korkeiche (Falca) oder die Rinde aus der ersten Ernte im Baumalter von 25–40 Jahren (Virges) verwendet. Das Hauptanbaugebiet für Korkeiche liegt in Portugal (ca. 51 %), in Spanien liegen 28 % der Anbaugebiete. Der Kork wird zu Korkschrot gemahlen und mit Wasserdampf in Druckbehältern bei 350–380 °C expandiert – durch Heißaktivierung der korkeigenen Harze bildet sich beim Pressen Backkork. Dieser wird nach Ablüften und Abkühlen (ca. 14 Tage) in Platten zerschnitten.

Umwelt- und Gesundheitsaspekte

Korkdämmplatten bestehen zu 100 % aus einem nachwachsenden Rohstoff. Der Korkan- und -abbau ist in Portugal strengen gesetzlichen Regeln unterworfen, deren Einhaltung von der Korkbehörde überwacht wird. Dank der wachsenden Nachfrage nach Kork wurde die Abholzung der artenreichen Korkeichenwälder eingestellt und die Wälder werden wieder maßvoll bewirtschaftet. Korkeichenwälder sind widerstandsfähig bei Waldbränden, erosionsmindernd durch tiefes Wurzelwerk, schattengebend und wasserspeichernd. Das Abrinden der Korkeiche ist für den Baum unschädlich. Nachteilig ist aus mitteleuropäischer Sicht der weite Transportweg aus Portugal (in den ökologischen Kennwerten nicht berücksichtigt, da Systemgrenze Werkstor für alle Bauprodukte gilt). Der Expansionsprozess kann mit Geruchsemissionen verbunden sein. Es werden Wasserdampf, Kohlendioxid und flüchtige Kohlenwasserstoffe an die Luft abgegeben. Von minderwertigen Backkorkprodukten, die bei zu hohen Prozesstemperaturen erzeugt wurden oder von denen die äußere, verkohlte Schicht nicht entfernt wurde, können Verschwelungsprodukte wie z.B. Furfural abgegeben werden. Minderwertige Qualitäten sind meist am unangenehmen Geruch erkennbar. Korkplatten sollten nicht nass angeliefert und vor länger einwirkender Nässe geschützt in belüfteten Räumen gelagert werden, da sich sonst allergener Schimmel bilden kann (Suberinose). Bei ausreichendem Schutz vor dauernder Durchfeuchtung ist die Alterungsbeständigkeit sehr hoch. Kork ist unempfindlich gegen Insekten (außer Wespen),

ungeeignet als Nistplatz für Nagetiere und schwer verrottbar. Bei länger einwirkender Nässe kann er von Pilzen befallen werden. Lose verlegter, trockener und sauberer Korkabbruch kann zerkleinert zu Korkgranulat als Dämmschüttung oder Zuschlagstoff verwertet werden. Die Beseitigung erfolgt in Müllverbrennungsanlagen. Problematischer ist die Entsorgung von Korkdämmplatten aus Wärmedämmverbundsystemen. Wegen der Verunreinigung mit Putzen und Kleber ist keine Verwertung möglich. Vor der Beseitigung in Müllverbrennungsanlagen müssen Kork und mineralische Bestandteile getrennt werden oder die Platten werden bei sehr hohen Temperaturen (z.B. in der Zementindustrie) mitverbrannt. Die Deponierung von organischen Abfällen und damit von Korkdämmplatten ist nur mehr in Ausnahmefällen (als geringer Anteil von Bauschutt) erlaubt. Bei Anwendung mit Innenraumkontakt sollten nur hochwertige, geruchs- und emissionsarme bis -freie Produkte verwendet werden.

Schafwolle-Dämmstoffe

Schafwolle-Dämmstoffe sind Dämmstoffe für die unterschiedlichsten Wärme- und Schallschutzzwecke, die in der Regel mit einer vor Mottenbefall schützenden Imprägnierung ausgerüstet sind. Als Mottenschutzmittel kann ein anorganisches Salz aus Kaliumfluorotitanat (IV) eingesetzt werden, das nicht ausgast. Da Schafwolle sehr gute Brandschutzwerte aufweist (Entzündung erst bei ca. 560 °C), kann B2-Qualität („normal brennbar“) ohne Brandschutzmittel erreicht werden. Nur bei sehr leichten Produkten, die auch geringeren Wärmeschutz aufweisen, finden daher ➔ Borsalze als Flammschutzmittel Einsatz. Die Schafe werden ein- bis zweimal pro Jahr geschoren. Pro Schaf und Jahr werden ca. 7 kg Rohwolle gewonnen. Für Dämmstoffe wird meist regional anfallende Schafwolle verwertet. Die geschorene Wolle wird zu Ballen komprimiert und der Wäscherei zugeführt, wo die Verunreinigungen wie Wollfett, Schmutz und Schweiß mit Kernseife und Soda entfernt werden und üblicherweise das Mottenschutzmittel aufgebracht wird. Die Wolle wird über einen Reißwolf geleitet, Knäuel entfernt, in einer Kardiermaschine entflochten und danach zu sehr feinen Vliesen verarbeitet. Die Vliese werden bis zur gewünschten Dicke übereinandergelegt und anschließend vernadelt. Die in der Kardiermaschine anfallende Feinwolle wird entstaubt und als Stopfwolle verwendet. Erfahrungen der vergangenen Jahre zeigen, dass ein Schutz der Wolle unbedingt notwendig ist, um Mottenfraß zu vermeiden. Der Mottenschutz dient vor allem als Schutz in der Zeit vor dem Einbau. Das Einwandern von keratinverdauenden Insektenlarven in die Schafwolldämmung wird bei Passivhäusern durch die winddichte und luftdichte Gebäudehülle verhindert. Schafwolle-Dämmstoffe können wiederverwendet oder als Stopfwolle recycliert werden, ev. sollte der Mottenschutz erneuert werden.

5.2.3.7 Strohballendämmung

Strohballen werden zur Wärmedämmung in Wand- und Dachkonstruktionen eingesetzt. Stroh ist ein Nebenprodukt der Landwirtschaft und fällt bei der Getreideernte an. Eine Zugabe von Zusatzstoffen ist nicht erforderlich. Das Stroh wird direkt bei der Ernte zu Rohballen gepresst, für den Einsatz als Wärmedämmung zu quaderförmigen Ballen weiterverarbeitet und auf das gewünschte Endformat geschnürt. Stroh enthält noch verrottbare Bestandteile und es besteht daher die Gefahr für Pilz- und Insektenfall. Entsprechend der bautechnischen Zulassung wird der Feuchtegehalt der Strohballendämmung im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle überwacht. Dem Pilz- und Insektenbefall kann zudem durch feuchtetechnisch korrekten Einsatz entgegengewirkt werden. Da das Stroh nicht behandelt wird, kann es nach Ablauf der Lebenszeit dem natürlichen Kreislauf wieder zurückgegeben werden.

5.2.3.8 Zellulosefaser-Dämmflocken und -Dämmplatten

Beschreibung

Zellulosefaser-Dämmflocken werden mit Hilfe einer Verarbeitungsmaschine pneumatisch in das zu dämmende Bauteil eingebracht. Dies geschieht durch offenes Aufblasen, Einblasen oder Aufsprühen. Zellulosefaser-Dämmflocken werden überwiegend aus Altpapier (Druckereiabfälle) hergestellt. Hochglanz- und verunreinigtes Papier werden händisch aussortiert. Seltener bestehen die Flocken aus Rohcellulose (Holz). Als Brandschutz werden ➔ Borsalze oder ➔ Ammoniumpolyphosphate/sulfate zugegeben (ca. 14–20 M%). Das Papier wird in einem mehrstufigen Zerreiß- und Mahlverfahren zerfasert und trocken mit dem Flammschutzmittel vermengt. Zur Herstellung von Zellulosefaserplatten wird das Altpapier mit Kunststofffasern oder Stärkefasern verstärkt und gebunden.

Umwelt- und Gesundheitsaspekte

Die Herstellung verursacht nur sehr geringe Umweltbelastungen. Der Einsatz eines ausreichend vorhandenen Sekundärrohstoffes vermeidet Umweltbelastungen. Bei der Einbringung kann es zu sehr hohen Staubbelastungen kommen. Alle sich im Baustellenbereich aufhaltenden Personen müssen geeignete Staubfilter oder Frischlufthelme benutzen. Bei der Innenanwendung muss auch die Staubübertragung in umliegende Räume verhindert und der Arbeitsbereich nach Abschluss der Einblasarbeiten sorgfältig gereinigt werden. Für Zellulosefasern existieren in arbeitsmedizinischer Hinsicht keine besonderen Einstufungen. Hinweise für eine krebserzeugende Wirkung von natürlichen organischen Fasern wie z.B. Zellulosefasern gibt es in der Literatur bisher keine. Hingegen sind berufsbedingte gutartige Lungenerkrankungen als Folge des Einatmens von organischen Stäuben bekannt (z.B. Byssinose durch Baumwollstaub, Berufsasthma, allergische Alveolitis). Bei luftdichten Konstruktionen können keine Fasern in den Innenraum gelangen. Bei sortenreiner Rückgewinnung können die Zellulosefasern verwertet werden, indem die Fasern abgesaugt, getrocknet und neu eingeblasen werden. Beim Ausbau ohne Absaugmaschinen können hohe Staubkonzentrationen auftreten. Zellulosefaserplatten sind wiederverwendbar, vom Hersteller wurde dafür auch eine Rücknahmelogistik aufgebaut. Die Beseitigung erfolgt in Müllverbrennungsanlagen. Die Deponierung von organischen Abfällen wie Zellulose-Dämmflocken ist nur mehr in Ausnahmefällen (als Teil von Bauschutt in geringem Ausmaß) erlaubt. Selbstbausysteme sind nicht zu empfehlen. Geschulte Fachbetriebe wissen über Verarbeitungsschritte zur optimalen Verdichtung und zur Vermeidung von Hohlstellen in der Konstruktion Bescheid. Mit einer Thermokamera kann die vollständige Verfüllung der Hohlräume überprüft werden.

5.3 Außenseitige Wärmedämmung von Außenwänden

5.3.1 Eigenschaften des Bestands und Vorbereitung der Sanierung

Als Bestandwände sind die folgenden typisch:

- Mauerwerk verputzt und unverputzt (beispielsweise hinter Faserzementplatten)
- Stahlbeton in Sicht oder verputzt, meist mit Innenvorsatzschale aus Holzwolleleichtbauplatte
- Mantelbetonsteine oder Mantelsysteme verputzt
- Ziegelmauerwerk mit Klinker- oder Steinverblendung

- Zweischaliges Ziegelmauerwerk mit Luftspalt
- Wände in Leichtbauweise verputzt oder hinterlüftet
- Wände in Blockbauweise
- Gebäude mit bestehendem Wärmedämmverbundsystem

Für das Aufbringen von Außendämmungen in Passivhausqualität sind vorab die folgenden Fragen in einer Bestandsanalyse zu klären:

- Liegen Risse in Außenschicht oder in Wand, Abplatzungen oder Putzschäden vor?
- Treten eine Anreicherung von Feuchtigkeit oder Ausblühungen auf?
- Können die zusätzlichen Lasten durch das Dämmsystem über die entsprechenden Befestigungen abgetragen werden?
- Wo befinden sich die Träger bei inhomogenen Tragsystemen (z.B. Holzständerwände)?
- Art der Bestandsbeschichtung (Klärung erforderlich bei Sanierung mit aufgeklebten Dämmsystemen)

Üblicherweise sind die statischen Reserven für die Anbringung einer Außendämmung leicht ausreichend.

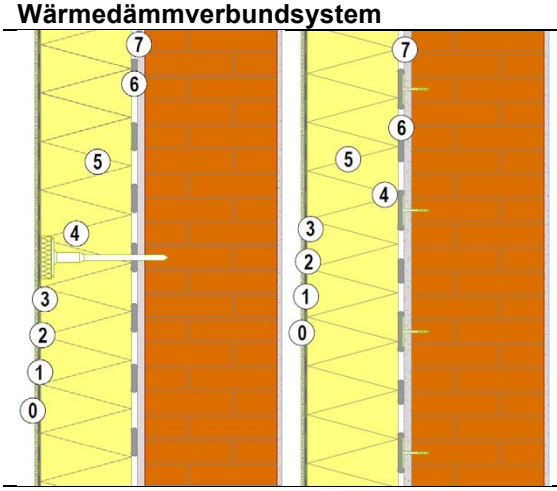
Als Vorbereitungsmaßnahmen sind üblicherweise die folgenden Maßnahmen erforderlich (in Anlehnung an ÖNORM B 6410):

- Nicht tragfähige Putzstellen sind abzuklopfen, Putz-Fehlstellen sind mit geeignetem Putzmörtel auszugleichen, Risse sind zu verspachteln
- Im Falle einer Verklebung des Dämmsystems (Wärmedämmverbundsystem)
- muss der Putz mit klarem Wasser gewaschen werden (inkl. nachfolgender Austrocknung), schmutzige und fettige Fassaden müssen vorab mit Reinigungsmittel hochdruckgestrahlt werden.
- müssen Ausblühungen und Sinterschichten trocken abgebürstet bzw. abgekehrt werden
- Feuchte Außenwandteile austrocknen lassen. Handelt es sich um aufsteigende Feuchte, sind weitere Maßnahmen erforderlich (siehe Kapitel aufsteigende Feuchte, Einleitung)
- Ist der bestehende Außenputz die wesentliche luftdichte Schicht, so kann bei Mängeln (Feinrisse etc.) das Aufbringen einer vollflächigen Spachtelung erforderlich sein.

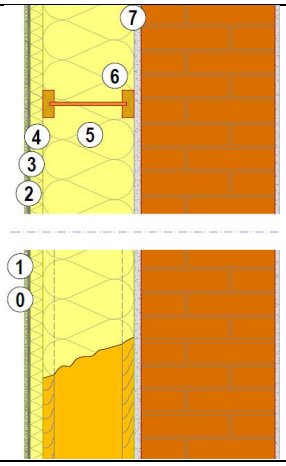
5.3.2 Übersicht Systeme

Für die Wärmedämmung der Außenwand außenseitig kommen hinterlüftete und nicht hinterlüftete, verputzte und nicht verputzte Systeme in Frage:

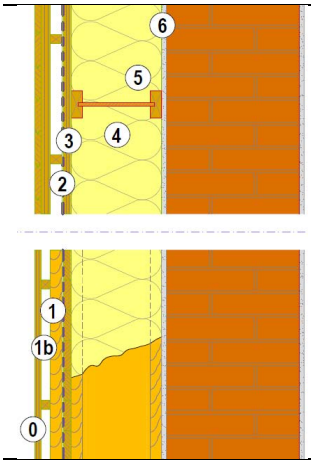
Wärmedämmverbundsystem



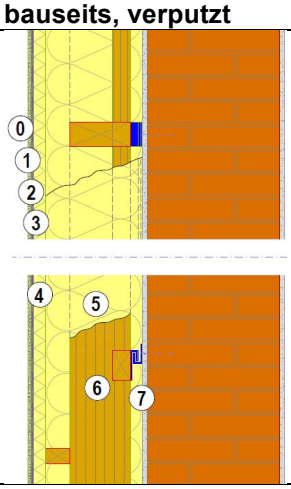
Holzkonstruktion bauseits, verputzt



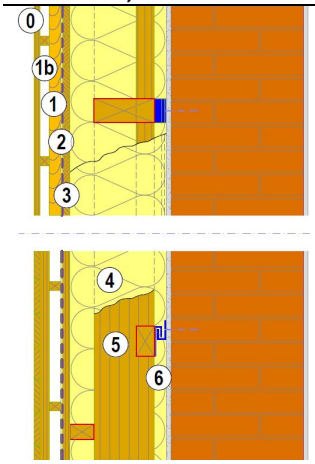
Holzkonstruktion bauseits, hinterlüftet



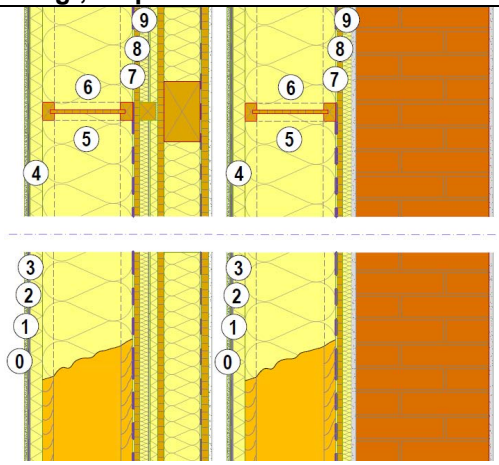
Holzkonstruktion vorgefertigt, Dämmstoff bauseits, verputzt

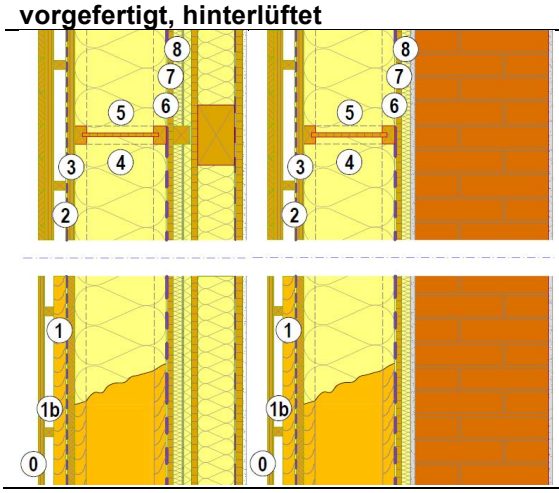
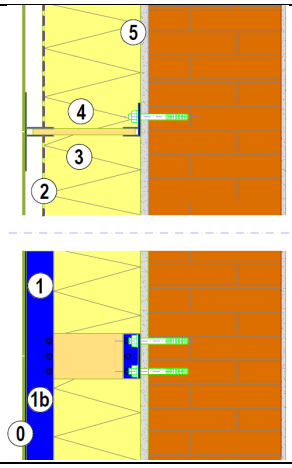


Holzkonstruktion vorgefertigt, Dämmstoff bauseits, hinterlüftet

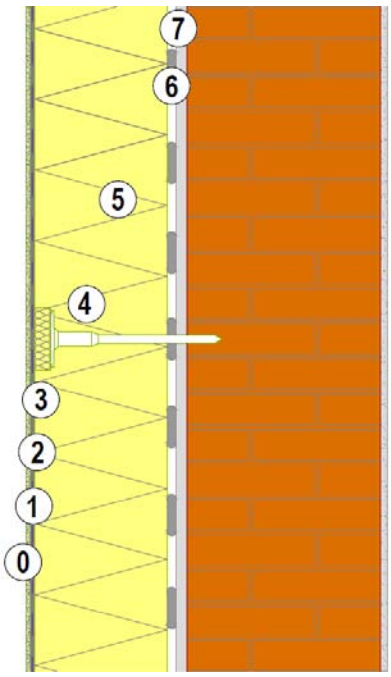


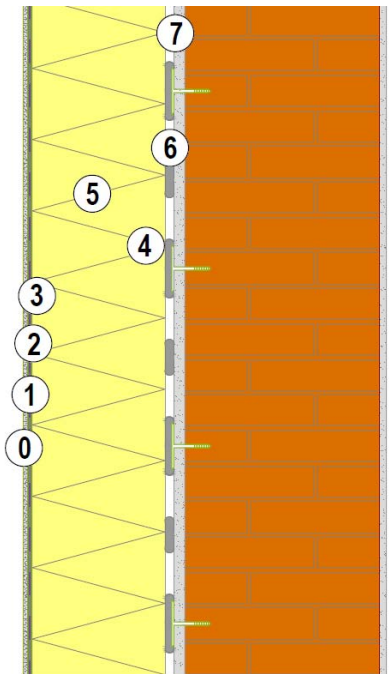
Holzkonstruktion inkl. Dämmstoff vorgefertigt, verputzt



Holzkonstruktion inkl. Dämmstoff vorgefertigt, hinterlüftet	Punktuelle Anker bauseits
	

5.3.3 Wärmedämmverbundsystem





5.3.3.1 Beschreibung

Dämmstoffe:

Organisch biogen: Backkork, Hanf, Holzfaser –

Organisch fossil: Polystyrol expandiert, Polyurethan, Phenolformaldeydschaum

Mineralisch: Blähglas, Mineralschaum, Schaumglas, Steinwolle Lamelle, Steinwolle konventionell, Vakuum-dämmung

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
0-Außenputz	▪ *Silikatputz,* ▪ *Silikonharzputz* ▪ *Grobputz/Feinputz à la Heraklith* ▪ *Nanoputz* ▪ *Lotuseffekt* ▪ *Putz mit PCM-Granulat* ▪ *Putz mit low e Beschichtung*	*ca. 2 mm*
1-Putzgrund	▪ *Putzgrund (Silikat)*	
2-Armierung	▪ *Glasfaserarmierung*	
3-Klebespachtel	▪ *Dünnbett,* ▪ *Mittelbett,* ▪ *Dickbett*	*2 bis 10 mm*
4-Dübel	▪ *Dübel mit Dämmkappe* ▪ *Klebedübel*	
5-Dämmstoff	▪ *einlagig* ▪ *mit Stufenfalz* ▪ *2-lagig*	*30 cm (λ = 0,040 W/mK)*
6-Kleber	▪ *Mineralischer Kleber* ▪ *Kunststoffkleber*	
7-Ausgleich	▪ *Mineralische Ausgleichsschicht wenn erforderlich*	

In der folgenden Tabelle werden die verwendeten Dämmstärken für die unterschiedlichen Dämmungen angegeben:

Dämmung	Stärke [m]
Mineralschaumplatte	0,34
Steinwolle	0,30
Schaumglas	0,30
Blähglas	0,30
Vakuumdämmung	0,05
Backkork	0,34
Holzfaser	0,30
Schilf	0,38
Expandiertes Polystyrol	0,30
Expandiertes Polystyrol grau	0,24
Polyurethan	0,23
Phenolformaldehydschaum	0,17

5.3.3.2 Ausführung

- Untergrund säubern (üblicherweise Reinigung mit Hochdruckstrahler)
- Ebener Untergrund gemäß ÖNORM B 6410 erforderlich, wenn nicht gegeben, mittels Ausgleichsschicht herstellen
- Verklebung des Dämmstoffs auf Untergrund (Haftung >= 40 % der Fläche)
- Befestigung des Dämmstoffs mit Dübeln mit Dämmkappen, wenn 2lagig meist nur Verdübelung der ersten Dämmstoffschicht erforderlich
- Einlegen der Armierung in Klebeschicht, Außentemperaturen >= 5 °C erforderlich
- Endbeschichtung mit diffusionsoffenen, wasserabweisenden Putzsystem
- Siehe auch einschlägige Normen und Verarbeitungsrichtlinien
- Schutzmaßnahmen sind besonders beim Schleifen der Wärmedämmung erforderlich, da dabei die Staubemission beträchtlich ist.
- Grundierungen können hohe Lösemittelgehalte aufweisen.

5.3.3.3 Bauphysikalische Eigenschaften

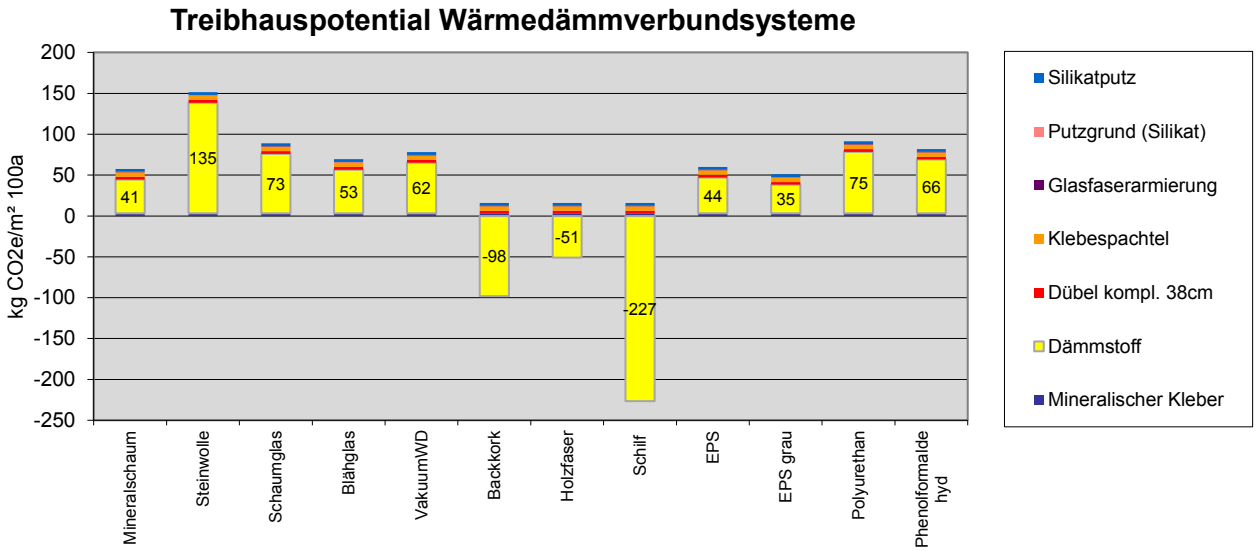
- Wärmeschutz: Dübel mit Dämmkappen verwenden, Dämmplatten mit Stufenfalz oder zweilagig verlegen, ansonsten wenn erforderlich Stöße ausschäumen (siehe z.B. ÖNORM B 6410)
- Hinterlüftung des Dämmstoffs durch entsprechende Verklebung und Anschlussdetails sicher vermeiden
- Winddichtigkeit: Winddichte Ebene ist der Außenputz, diesen an Fenster und sonstige anschließende winddichte Ebenen in Dach etc. winddicht anschließen.

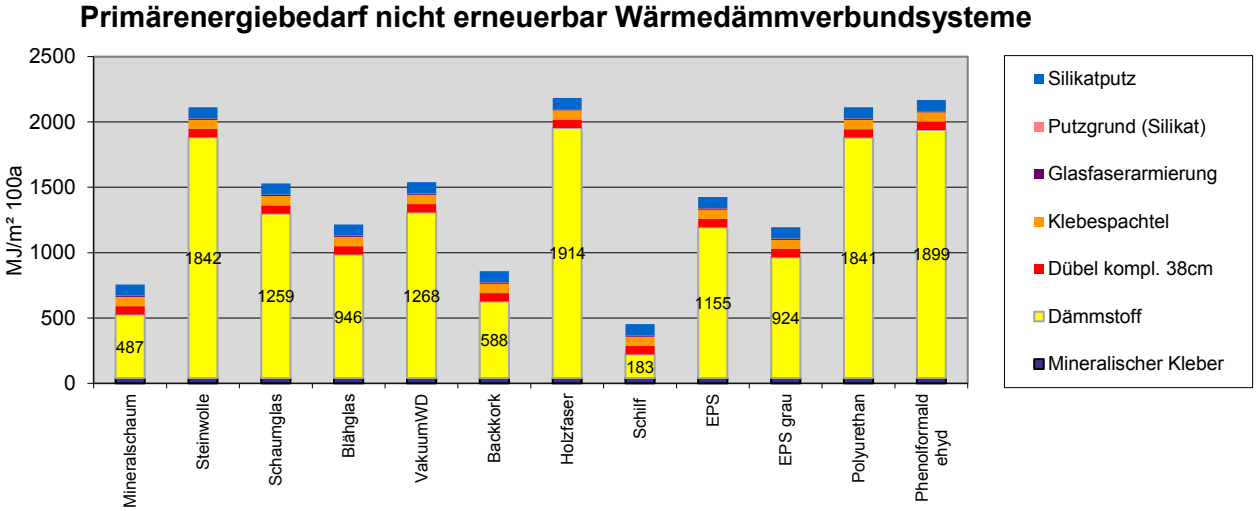
- Feuchteschutz: Aufsteigende Feuchtigkeit sicher ausschließen; Fehlertoleranz auf Grund von diffusionsoffenen Dämmstoffen deutlich günstiger
- Schallschutz: Verbesserung oder Verschlechterung je nach Bestandswand, Steifigkeit des Dämmstoffs und Stärke des Außenputzes. Vor allem bei Bestandswänden mit schlechtem Schallschutz sind biegeweiche Dämmstoffe mit dicken Außenputzschichten von Vorteil.

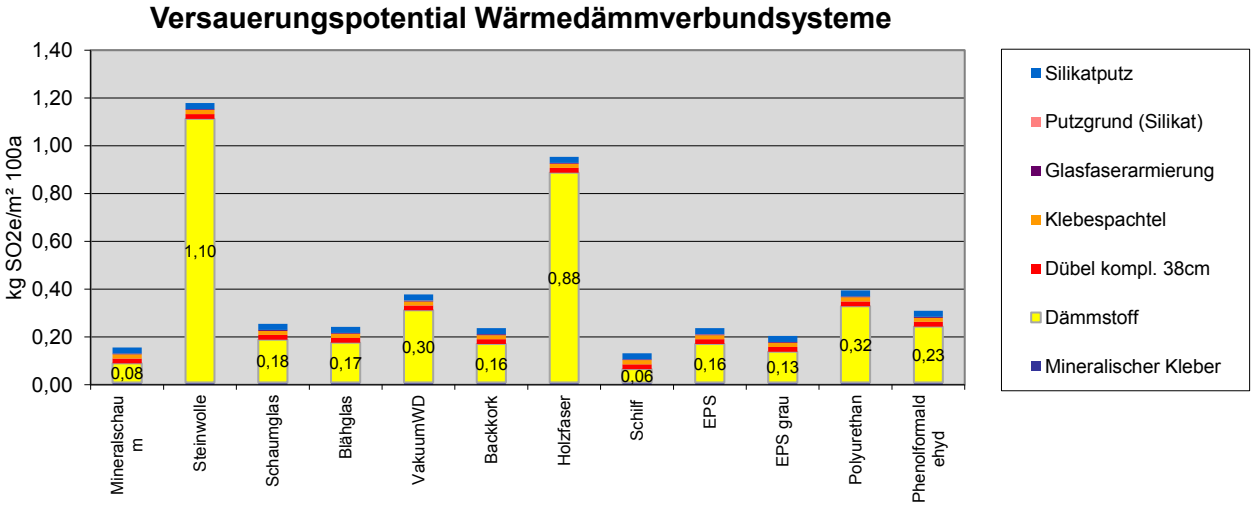
5.3.3.4 Nutzungsphase

- Mit Dickputzsystemen Wahrscheinlichkeit von mechanischen Beschädigungen wie Spechtlöchern reduziert
- Biozidanstriche oder -zusätze in Putzsystemen gegen Algen- und Schimmelbefall sind technisch und ökologisch fragwürdig. Konstruktive Maßnahmen und bauphysikalisch optimierte Putzsysteme sind zu bevorzugen.

5.3.3.5 Ökologisches Profil Herstellung und Instandhaltung







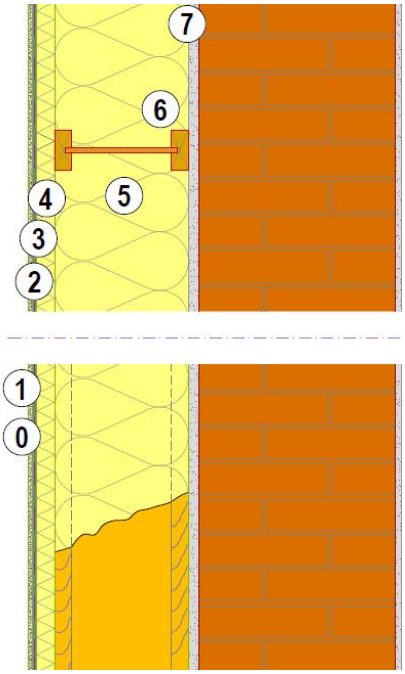
5.3.3.6 Entsorgung

Durch die Verklebung aller Schichten ist eine sortenreine Trennung mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand nicht möglich. Von Vorteil sind rein mineralische Systeme, da diese mit dem meist mineralischen Bestand gemeinsam deponiert werden können.

Eine Wiederverwendung ist nicht möglich.

Organische Dämmstoffe können der thermischen Verwertung zugeführt werden. Eine hochwertige Abgasreinigung ist erforderlich.

5.3.4 Holzkonstruktion bauseits, verputzt



5.3.4.1 Beschreibung

Dämmstoffe:

Organisch biogen: Flachs, Hanf, Holzfaser, Holzspäne, Stroh, Schafwolle, Zellulose -

Organisch fossil:

Mineralisch: Glaswolle, Perlite, Steinwolle

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
0-Außenputz	▪ *Silikatputz,* ▪ *Silikonharzputz* ▪ *Grobputz/Feinputz à la Heraklith* ▪ *Nanoputz* ▪ *Lotuseffekt* ▪ *Putz mit PCM-granulat* ▪ *Putz mit low e Beschichtung*	*ca. 2 mm*
1-Putzgrund	▪ *Putzgrund (Silikat)*	
2-Armierung	▪ *Glasfaserarmierung*	
3-Klebespachtel	▪ *Dünnbett,* ▪ *Mittelbett,* ▪ *Dickbett*	*2 bis 10 mm*
4-Putzträger	▪ *Holzfaserplatte* ▪ *Holzwolleleichtbauplatte* ▪ *Holzschalung/Kork*	*4 cm* *5 cm* *2/3 cm*
5-Dämmstoff	▪ *Einblasdämmstoff* ▪ *mehrlagig* ▪ *hochwärmedämmend*	*30cm (λ = 0,040 W/mK)**
6-Holzsteher	▪ *Holz-C-Steher* ▪ *Doppel T-Träger* ▪ *Latten kreuzweise, z.B. 18cm/12cm* ▪ *in Bestandswand gedübelt, bzw. geschraubt*	
7-Ausgleich	▪ *Holzklötze wenn erforderlich*	

*Dämmstärken mit Holz-C-Träger

5.3.4.2 Ausführung

- Untergrund abkehren, wenn erforderlich
- Wenn Ebenheit nicht gegeben, Steher entsprechend unterklotzen
- Einblasdämmstoffe: Steher in der Bestandswand und Putzträger auf Steher befestigen, anschließend Hohlräume ausblasen
- Klemmfilze: Steher in der Bestandswand befestigen, Dämmplatten einklemmen, Putzträger auf Steher befestigen. Die Stärke der Dämmstoffe ist an der Mindestdämmstärke auszurichten und entsprechend auszugleichen. Überstände werden mittels Putzträgerplatte eingepresst.
- Anschließend Aufbringen des Klebespachtels oder des Grobputzes, Einlegen der Armierung in Klebeschicht, Außentemperaturen >= 5°C erforderlich
- Endbeschichtung mit diffusionsoffenem, wasserabweisendem Putzsystem
- Schutzmaßnahmen sind besonders beim Einblasen von Dämmstoffen erforderlich, da dabei die Staubemission beträchtlich ist.

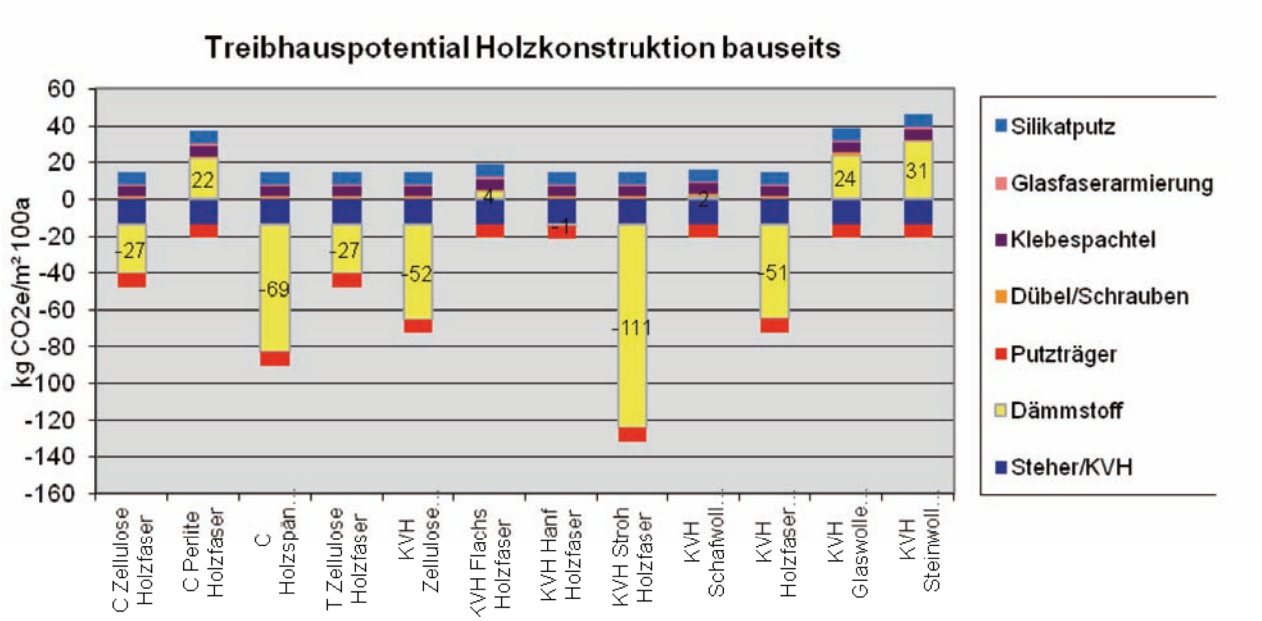
5.3.4.3 Bauphysikalische Eigenschaften

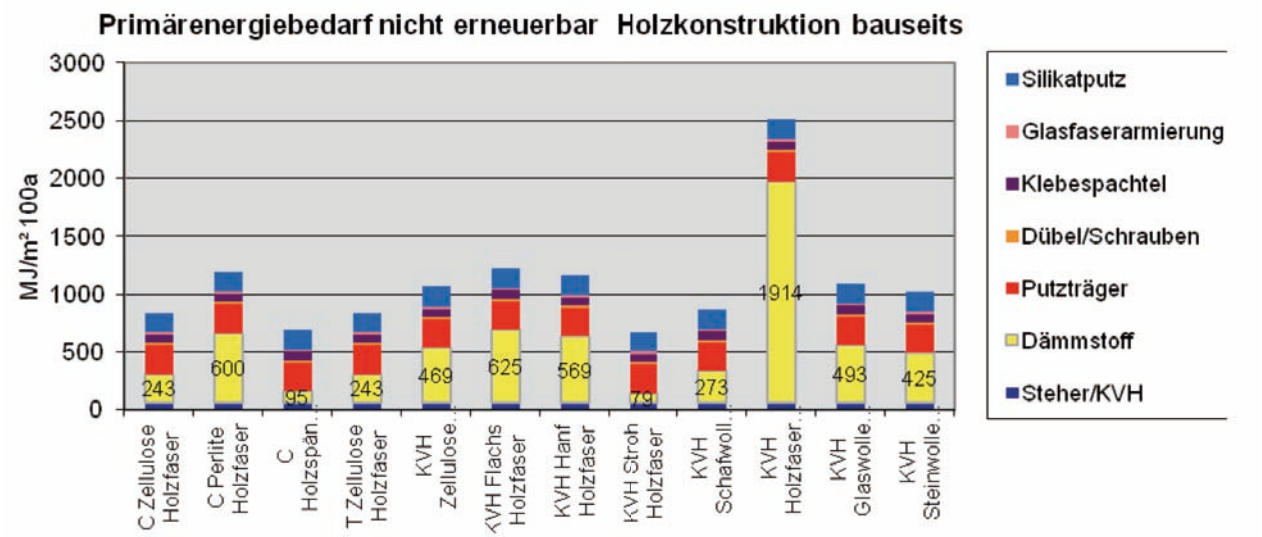
- Wärmeschutz: Einblasdämmstoffe können Unebenheiten der Bestandswand gut ausgleichen. Befestigung von PV-Modulen, Außenlampen einfach und annähernd wärmebrückenfrei möglich
- Hinterlüftung der Dämmung: kann vor allem bei Nichteinblas-Dämmstoffen auftreten; durch entsprechend winddichte Ausführung des Außenputzes und der Anschlussdetails zu vermeiden.
- Winddichtigkeit: Winddichte Ebene ist der Außenputz, diesen an Fenster und sonstige angrenzende winddichte Ebenen im Dach etc. winddicht anschließen.
- Feuchteschutz: Aufsteigende Feuchtigkeit sicher ausschließen; Fehlertoleranz bei diffusionsoffenen Dämmstoffen deutlich günstiger
- Schallschutz: Verbesserung des Bestandes. Vor allem bei Bestandswänden mit schlechtem Schallschutz relevant

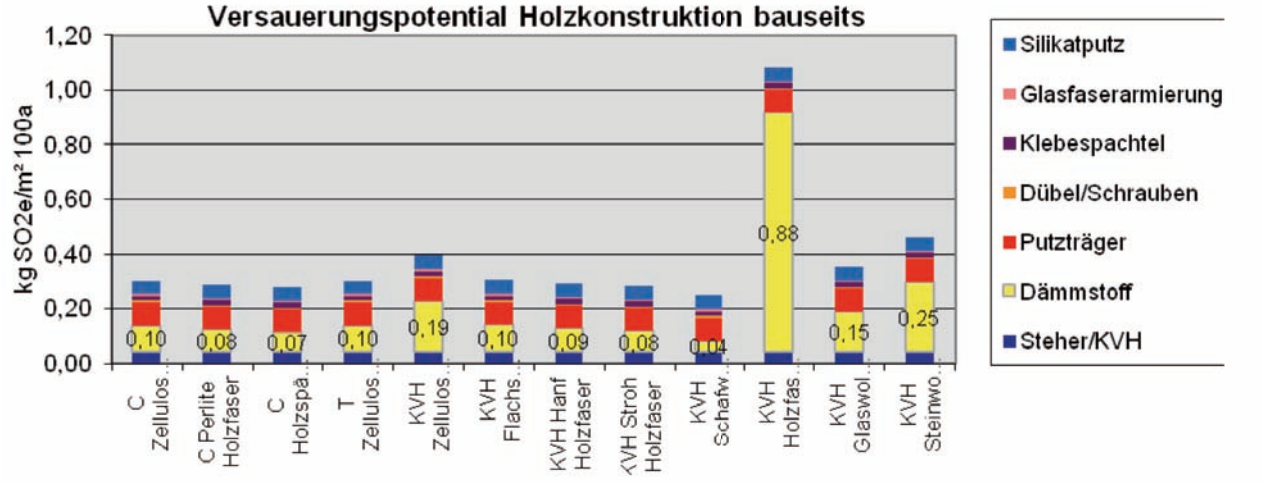
5.3.4.4 Nutzungsphase

- Mit Dickputzsystemen Wahrscheinlichkeit von mechanischen Beschädigungen reduziert
- Algen- und Schimmelpilzrisiko: Biozidanstriche oder –zusätze in Putzsystemen sind technisch und ökologisch fragwürdig, da nur begrenzte Wirkungsdauer und materialökologisch ungünstig. Konstruktive Maßnahmen wie Dachüberstände, Spritzwasserschutz sind zu bevorzugen. Manche Putzarten erhöhen Widerstandsfähigkeit gegen Algenbefall durch PCM-Putze oder durch ihre Rauigkeit („Nanoputze“).

5.3.4.5 Ökologisches Profil Herstellung und Instandhaltung



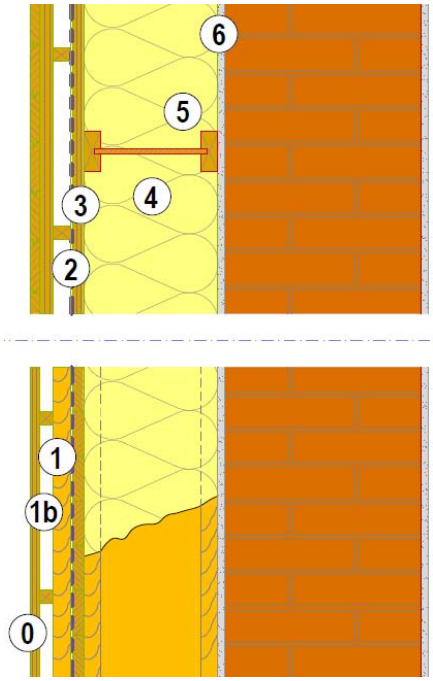




5.3.4.6 Entsorgung

Der Großteil der Baustoffschichten ist trennbar. Einzig die Verbindung Putzträger/Putz/Armierung ist nicht sortenrein trennbar.
Eine Wiederverwendung von Dämmstoffen und Holzträger ist möglich.
Organische Dämmstoffe und Holzträger können der thermischen Verwertung zugeführt werden. Eine hochwertige Abgasreinigung ist erforderlich.

5.3.5 Holzkonstruktion bauseits, hinterlüftet



5.3.5.1 Beschreibung

Dämmstoffe:

Organisch biogen: Flachs, Hanf, Holzfaser, Holzspäne, Stroh, Schafwolle, Zellulose

Organisch fossil:

Mineralisch: Glaswolle, Perlite, Steinwolle

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
0-Fassade	▪ *Holzschalung horizontal* ▪ *Holzschalung vertikal* ▪ *Stülpschalung* ▪ *Faserzementplatten* ▪ *Aluminium* ▪ *Stahlblech beschichtet* ▪ *Zementgebundene Spanplatte* ▪ *Kunststoffplatte*	*ca. 2 cm* *ca. 2 cm* *ca. 2 cm* *ca. 0,8 cm* *ca. 0,2 cm* *ca. 0,2 cm* *ca. 2 cm* *ca. 1,5 cm*
1b-Traglattung	▪ *Traglattung wenn erforderlich (z.B. kleinteilige Formate)*	*3,5 cm*
1-Lattung	▪ *Holzlatten und Hinterlüftung* ▪ *Alulatten und Hinterlüftung*	*4 cm*
2-Windsperre	▪ *Windsperre, UV-beständig nach Erfordernis*	*0,2 mm*
3-Platte	▪ *Holzschalung* ▪ *Gipsfaserplatte* ▪ *Holzfaserplatte NF*	*2 cm* *1,5 cm* *1,5 cm*
4-Dämmstoff	▪ *Einblasdämmstoff* ▪ *mehrlagig* ▪ *hochwärmedämmend*	*30cm (λ = 0,040 W/mK)** *34cm (λ = 0,045 W/mK)** *26cm (λ = 0,032 W/mK)**
5-Holzsteher	▪ *Holz-C-Steher* ▪ *Doppel T-Träger* ▪ *Latten kreuzweise, z.B. 18cm/12cm* ▪ *in Bestandswand gedübelt, bzw. geschraubt*	
6-Ausgleich	▪ *Holzklötze wenn erforderlich*	

*Dämmstärken mit Holz-C-Träger

5.3.5.2 Ausführung

- Statische Anforderungen an Bestand prüfen
- Untergrund abkehren, wenn erforderlich
- Wenn Ebenheit nicht gegeben, Steher entsprechend unterklotzen
- Einblasdämmstoffe: Steher in der Bestandswand und Platte auf Steher befestigen, anschließend Hohlräume ausblasen
- Klemmfilze: Steher in der Bestandswand befestigen, Einklemmen der Dämmplatten, Platte auf Steher befestigen. Die Stärke der Dämmstoffe ist an der Mindestdämmstärke auszurichten und entsprechend auszugleichen. Überstände werden mittels Platte eingepresst.
- Anschließend Aufbringen der Windsperre, die auch als zweite wasserableitende Schicht dient. Verklebung der Stöße dauerhaft. UV-Beständigkeit der Windsperre erforderlich, wenn Fassadenmaterial nicht lichtundurchlässig.
- wenn erforderlich – Montagelattung
- Befestigung der Fassade mit korrosionsgeschützten Schrauben
- Schutzmaßnahmen sind besonders beim Einblasen von Dämmstoffen erforderlich, da dabei die Staubemission beträchtlich ist. Staub entsteht auch beim Ablängen von Fassadenmaterialien.

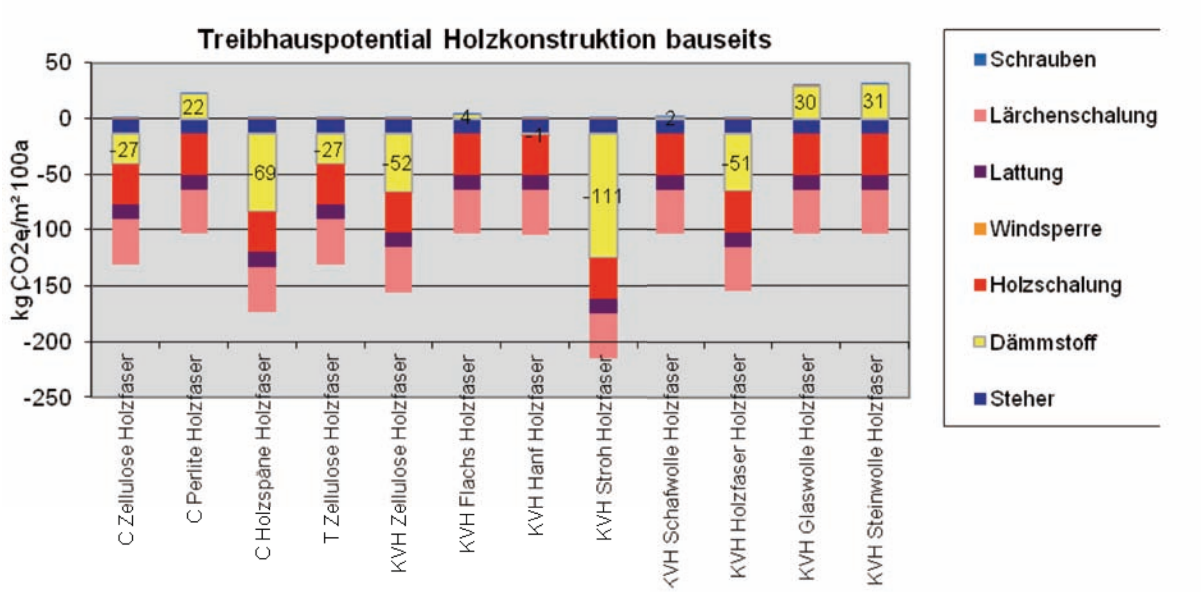
5.3.5.3 Bauphysikalische Eigenschaften

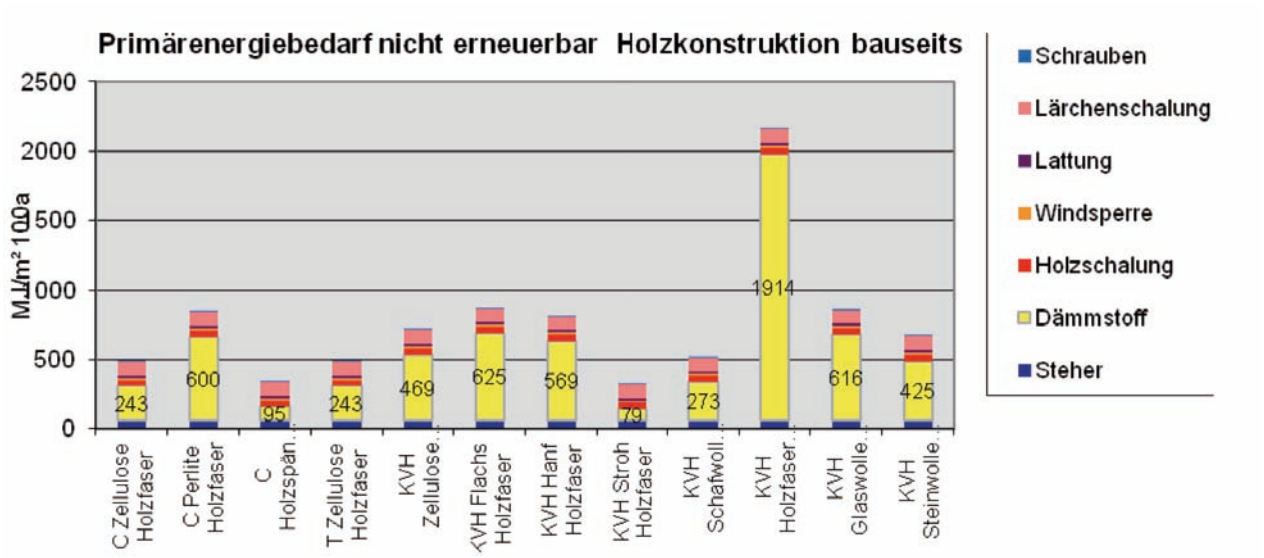
- Wärmeschutz: Einblasdämmstoffe können Unebenheiten der Bestandswand gut ausgleichen. Befestigung von PV-Modulen, Außenlampen einfach und annähernd wärmebrückenfrei möglich
- Hinterlüftung der Dämmung kann vor allem bei Nichteinblas-Dämmstoffen auftreten, durch entsprechende Führung der Windsperre und Anschlussdetails sicher vermeiden
- Winddichtigkeit: Winddichte Ebene ist die Windsperre, diese an Fenster und sonstige angrenzende winddichte Ebenen im Dach etc. dauerhaft winddicht anschließen.
- Feuchteschutz: Aufsteigende Feuchtigkeit sicher ausschließen; Fehlertoleranz auf Grund von diffusionsoffenen Dämmstoffen und Hinterlüftung günstig
- Schallschutz: Verbesserung des Bestandes. Vor allem bei Bestandswänden mit schlechtem Schallschutz relevant
- Brandschutz: Hinterlüftungsebene bei höheren Gebäuden meist ungünstig, Brandüberschlag etc. beachten.

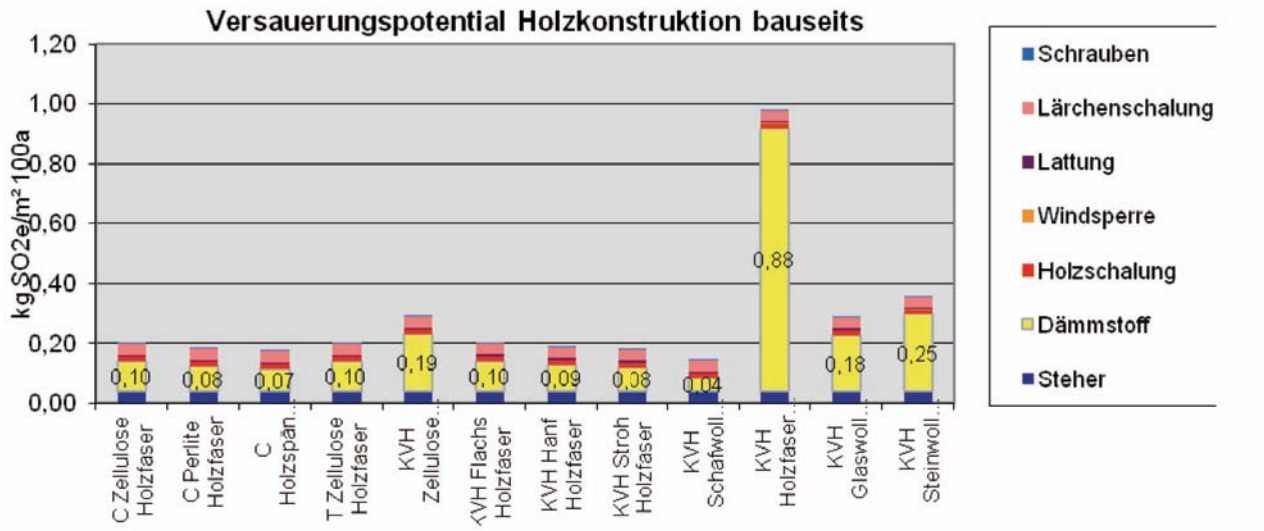
5.3.5.4 Nutzungsphase

- Meist auch kleinteiliger Ersatz einfach möglich (je nach Fassade)
- Algen- und Schimmelpilzrisiko gering

5.3.5.5 Ökologische Profil Herstellung und Instandhaltung


Treibhauspotential Holzkonstruktion bauseits
kg CO2e/m² 100a
50
0
-50
-100
-150
-200
-250
-27
22
-69
-27
-52
4
-1
-111
2
-51
30
31
C Zellulose Holzfaser
C Perlite Holzfaser
C Holzspäne Holzfaser
T Zellulose Holzfaser
KVH Zellulose Holzfaser
KVH Flachs Holzfaser
KVH Hanf Holzfaser
KVH Stroh Holzfaser
KVH Schafwolle Holzfaser
KVH Holzfaser Holzfaser
KVH Glaswolle Holzfaser
KVH Steinwolle Holzfaser
Schrauben
Lärchenschalung
Lattung
Windsperre
Holzschalung
Dämmstoff
Steher


Primärenergiebedarf nicht erneuerbar Holzkonstruktion bauseits
MJ/m² 100a
2500
2000
500
000
500
0
243
600
95
243
469
625
569
79
273
1914
616
425
C Zellulose Holzfaser
C Perlite Holzfaser
C Holzspän...
T Zellulose Holzfaser
KVH Zellulose...
KVH Flachs Holzfaser
KVH Hanf Holzfaser
KVH Stroh Holzfaser
KVH Schafwoll...
KVH Holzfaser...
KVH Glaswolle...
KVH Steinwolle...
Schrauben
Lärchenschalung
Lattung
Windsperre
Holzschalung
Dämmstoff
Steher


Versauerungspotential Holzkonstruktion bauseits
kg SO2e/m² 100a
1,20
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0,10
0,08
0,07
0,10
0,19
0,10
0,09
0,08
0,04
0,88
0,18
0,25
C Zellulose Holzfaser
C Perlite Holzfaser
C Holzspän...
T Zellulose Holzfaser
KVH Zellulose...
KVH Flachs Holzfaser
KVH Hanf Holzfaser
KVH Stroh Holzfaser
KVH Schafwoll...
KVH Holzfaser...
KVH Glaswoll...
KVH Steinwoll...
Schrauben
Lärchenschalung
Lattung
Windsperre
Holzschalung
Dämmstoff
Steher

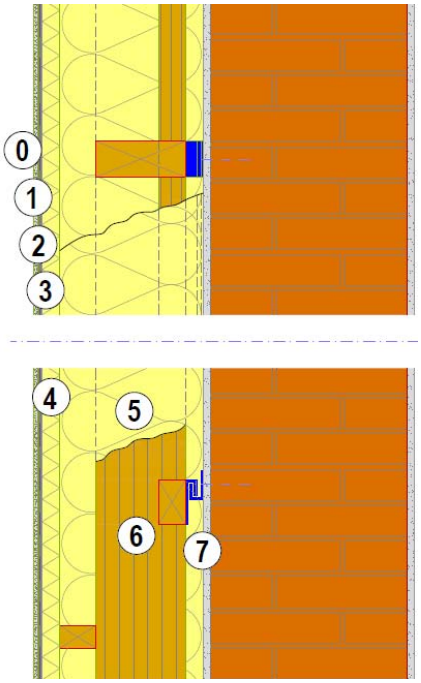
5.3.5.6 Entsorgung

Alle Baustoffe sind im Prinzip trennbar.

Eine Wiederverwendung von Dämmstoffen, Holzträgern und Fassadenmaterialien ist möglich.

Organische Dämmstoffe und Holzträger können der thermischen Verwertung zugeführt werden. Eine hochwertige Abgasreinigung ist erforderlich.

5.3.6 Holzkonstruktion vorgefertigt, Dämmstoff bauseits, verputzt



5.3.6.1 Beschreibung

Dämmstoffe:

Organisch biogen: Zellulose

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
0-Außenputz	▪ *Silikatputz,* ▪ *Silikonharzputz* ▪ *Grobputz/Feinputz a la Heraklith* ▪ *Nanoputz* ▪ *Lotuseffekt* ▪ *Putz mit PCM-granulat* ▪ *Putz mit low e Beschichtung*	*ca. 2 mm*
1-Putzgrund	▪ *Putzgrund (Silikat)*	
2-Armierung	▪ *Glasfaserarmierung*	
3-Klebespachtel	▪ *Dünnbett,* ▪ *Mittelbett,* ▪ *Dickbett*	*2 bis 10 mm*
4-Putzträger	▪ *Holzfaserplatte* ▪ ***Holzwolleleichtbauplatte*** ▪ *Holzschalung/Kork*	*4 cm* *5 cm* *2/3 cm*
5-Dämmstoff	▪ *Einblasdämmstoff*	*30 cm (λ = 0,040 W/mK)*
6-Holzkonstruktion	▪ *KVH 8/20* ▪ *Latten 6/10 innen / 5/8 außen*	
7-Aufhängung	▪ *punktuelle Haken*	

*Dämmstärken mit Holz-C-Träger

5.3.6.2 Ausführung

- Eine exakte Vermessung der Bestandswand und der Öffnungen ist unerlässlich. Ebener Untergrund ist nicht unbedingt erforderlich
- Untergrund abkehren, wenn erforderlich

- Holzkonstruktion und Putzträger werden im Werk vorgefertigt.
- Montage des Fertigteils (Holzkonstruktion und Putzträger, eventuell bereits vorverputzt) an die Bestandswand. Für die Montage an der Bestandswand sind unterschiedliche Systeme (punktuell, lineare Auflager) in Verwendung.
- Unebenheit des Untergrunds über Montagetiefe der Aufhängungen ausgleichen. In Anschlussfugen zum Bestand oder zwischen den Elementen, vertikal und horizontal weichen Faserdämmstoff vorab einlegen (z.B. Schafwolle, Flachs, Glaswolle), siehe Anschlussdetails.
- Dehnfugen an Elementstößen je nach Bestandswand, Fertigteil und statischen Voraussetzungen erforderlich.
- Ausblasen der einzelnen Kammern mit Wärmedämmung, winddichtes Verschließen der Einblas-Öffnungen
- Grobputz und Armierung können bauseits oder schon im Werk aufgebracht werden, bei vorverputzter Fläche müssen Elementstöße armiert werden. Für Außenputzaufbringung Außentemperaturen >= 5 °C erforderlich.
- Endbeschichtung mit diffusionsoffenem, wasserabweisendem Putzsystem
- Konstruktion vor allem für Fassaden mit regelmäßigen Öffnungen gut geeignet. Vorfertigung von Fenster/Türen in der Holzkonstruktion möglich.
- Schutzmaßnahmen sind besonders beim Einblasen von Dämmstoffen erforderlich, da dabei die Staubemission beträchtlich ist.

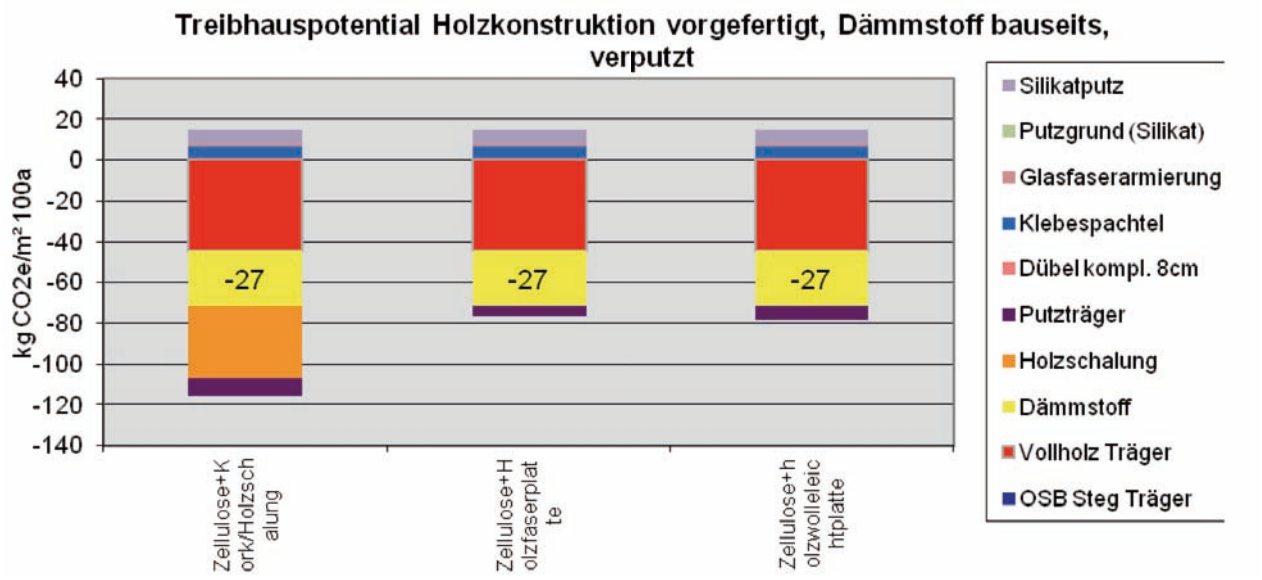
5.3.6.3 Bauphysikalische Eigenschaften

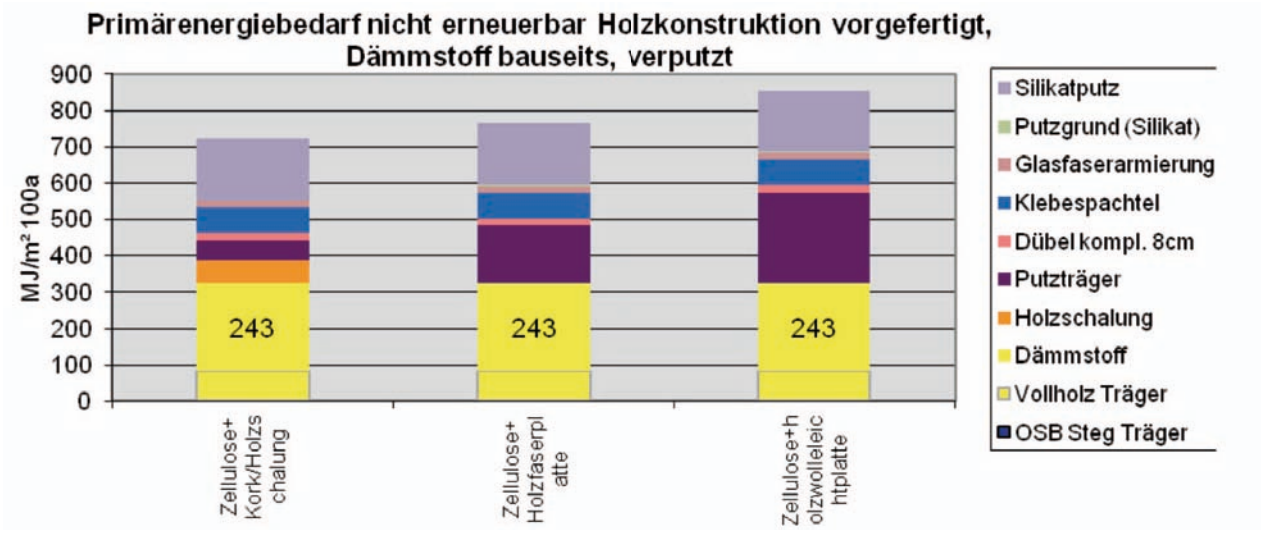
- Wärmeschutz: Einblasdämmstoffe können Unebenheiten der Bestandswand gut ausgleichen. Befestigung von PV-Modulen, Außenlampen einfach und annähernd wärmebrückenfrei möglich
- Hinterlüftung der Dämmstoffe mit Außenluft kaum möglich, trotzdem winddichte Ausführung des Außenputzes anzuraten.
- Winddichtigkeit: Winddichte Ebene ist der Außenputz, diesen an Fenster und sonstige angrenzende winddichte Ebenen im Dach etc. winddicht anschließen.
- Feuchteschutz: Aufsteigende Feuchtigkeit sicher ausschließen; Fehlertoleranz auf Grund von diffusionsoffenen Dämmstoffen deutlich günstiger
- Schallschutz: Verbesserung des Bestandes. Vor allem bei Bestandswänden mit schlechtem Schallschutz relevant. Biegeweichheit der Außenschale und höhere Putzstärke von Vorteil. Schallnebenwege vor allem bei Montage der Fenster in Holzkonstruktion beachten.

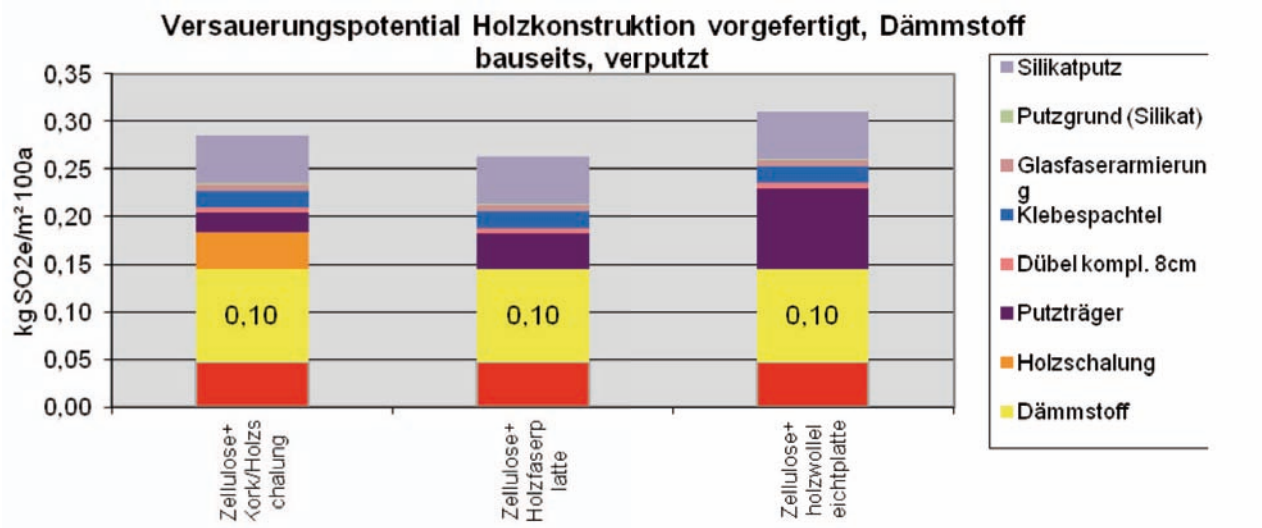
5.3.6.4 Nutzungsphase

- Mit Dickputzsystemen Wahrscheinlichkeit von mechanischen Beschädigungen reduziert
- Algen- und Schimmelpilzrisiko: Biozidanstriche oder –zusätze in Putzsystemen sind technisch und ökologisch fragwürdig, da nur begrenzte Wirkungsdauer und materialökologisch ungünstig. Konstruktive Maßnahmen wie Dachüberstände, Spritzwasserschutz sind zu bevorzugen. Manche Putzarten erhöhen Widerstandfähigkeit gegen Algenbefall durch PCM-Putze oder durch ihre Rauigkeit („Nanoputze“).

5.3.6.5 Ökologische Profil Herstellung und Instandhaltung



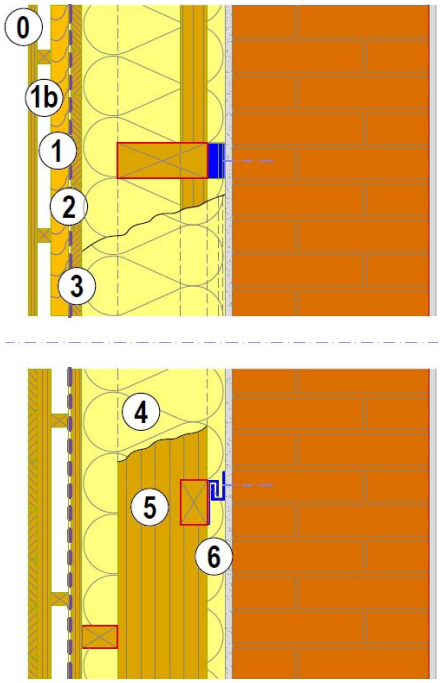




5.3.6.6 Entsorgung

Der Großteil der Baustoffschichten ist trennbar. Einzig die Verbindung Putzträger/Putz/Armierung ist nicht sortenrein trennbar.
Eine Wiederverwendung der Dämmstoffe und der Holzträger ist möglich.
Organische Dämmstoffe und Holzträger können der thermischen Verwertung zugeführt werden. Eine hochwertige Abgasreinigung ist erforderlich.

5.3.7 Holzkonstruktion vorgefertigt, Dämmstoff bauseits, hinterlüftet



5.3.7.1 Beschreibung

Organisch biogen: Zellulose

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
0-Fassade	▪ ***Holzschalung horizontal*** ▪ *Holzschalung vertikal* ▪ *Stülpschalung* ▪ *Faserzementplatten* ▪ *Aluminium* ▪ *Stahlblech beschichtet* ▪ *Zementgebundene Spanplatte* ▪ *Kunststoffplatte*	*ca. 2 cm* *ca. 2 cm* *ca. 2 cm* *ca. 0,8 cm* *ca. 0,2 cm* *ca. 0,2 cm* *ca. 2 cm* *ca. 1,5 cm*
1b-Traglattung	▪ *Traglattung wenn erforderlich (z.B. kleinteilige Formate)*	*3,5 cm*
1-Lattung	▪ ***Holzlatten und Hinterlüftung*** ▪ *Alulatten und Hinterlüftung*	*4 cm*
2-Windsperre	▪ ***Windsperre**, UV-beständig nach Erfordernis*	*0,2 mm*
3-Platte	▪ ***Holzschalung*** ▪ *Gipsfaserplatte* ▪ *Holzfaserplatte NF*	*2 cm* *1,5 cm* *1,5 cm*
4-Dämmstoff	▪ ***Einblasdämmstoff***	*30 cm*
5-Holzkonstruktion	▪ ***KVH 8/20*** ▪ *Latten 6/10 innen/ 5/8 außen*	*je nach Dämmstoffstärke*
6-Aufhängung	▪ ***punktuelle Haken***	*je nach Statik*

*Dämmstärken mit Holz-C-Träger

5.3.7.2 Ausführung

- Eine exakte Vermessung der Bestandswand und der Öffnungen ist unerlässlich. Ebener Untergrund ist nicht unbedingt erforderlich.

- Untergrund abkehren, wenn erforderlich
- Holzkonstruktion und Beplankung werden im Werk vorgefertigt.
- Montage des Fertigteils (Holzkonstruktion und Beplankung) an Bestandswand. Für die Montage an der Bestandswand sind unterschiedliche Systeme (punktuell, lineare Auflager) in Verwendung.
- Unebenheit des Untergrunds über Montagetiefe der Aufhängungen ausgleichen. In Anschlussfugen zum Bestand oder zwischen den Elementen, vertikal und horizontal weichen Faserdämmstoff vorab einlegen (z.B. Schafwolle, Flachs, Glaswolle), siehe Anschlussdetails.
- Dehnfugen an Elementstößen je nach Bestandswand, Fertigteil und statischen Voraussetzungen erforderlich.
- Ausblasen der einzelnen Kammern mit Wärmedämmung, winddichtes Verschließen der Einblas-Öffnungen
- Anschließend Aufbringen der Windsperre, die auch als zweite wasserableitende Schicht dient. Verklebung der Stöße dauerhaft. UV-Beständigkeit der Windsperre erforderlich, wenn Fassadenmaterial nicht lichtundurchlässig.
- Montage der Lattung und – wenn erforderlich – der Montagelattung
- Befestigung der Fassade mit korrosionsgeschützten Schrauben
- Konstruktion vor allem für Fassaden mit regelmäßigen Öffnungen gut geeignet.
- Schutzmaßnahmen sind besonders beim Einblasen von Dämmstoffen erforderlich, da dabei die Staubemission beträchtlich ist. Staub entsteht auch beim Ablängen von Fassadenmaterialien.

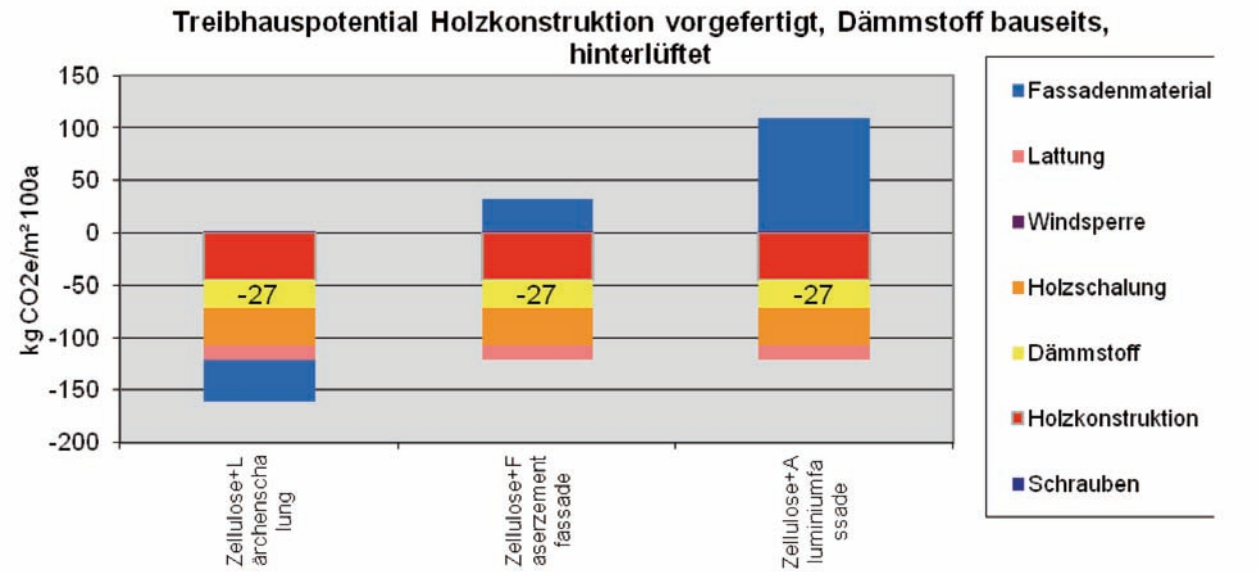
5.3.7.3 Bauphysikalische Eigenschaften

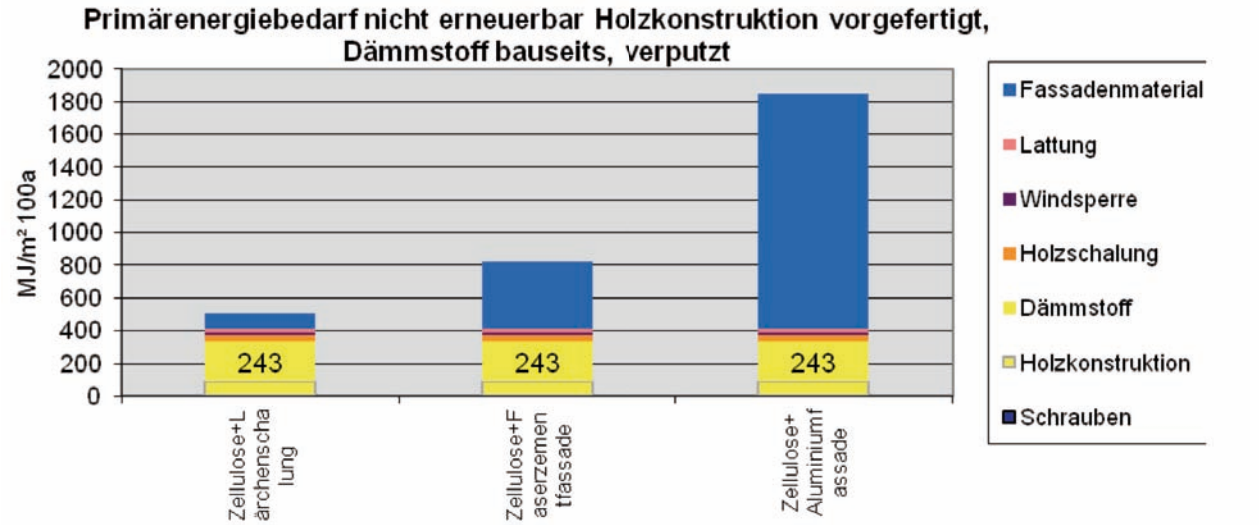
- Wärmeschutz: Einblasdämmstoffe können Unebenheiten auf der Bestandswand gut ausgleichen. Befestigung von PV-Modulen, Außenlampen einfach und annähernd wärmebrückenfrei möglich.
- Hinterlüftung der Dämmstoffe mit Außenluft kaum möglich, trotzdem winddichte Ausführung der Elementstöße und Anschlüsse anzuraten
- Winddichtigkeit: Winddichte Ebene ist die Windsperre, diese an Fenster und sonstige angrenzende winddichte Ebenen im Dach etc. winddicht anschließen.
- Feuchteschutz: Aufsteigende Feuchtigkeit sicher ausschließen; Fehlertoleranz auf Grund von diffusionsoffenen Dämmstoffen deutlich günstiger
- Schallschutz: Verbesserung des Bestandes. Vor allem bei Bestandswänden mit schlechtem Schallschutz relevant. Biegeweichheit der Außenschale von Vorteil. Schallnebenwege vor allem bei Montage der Fenster in Holzkonstruktion beachten.

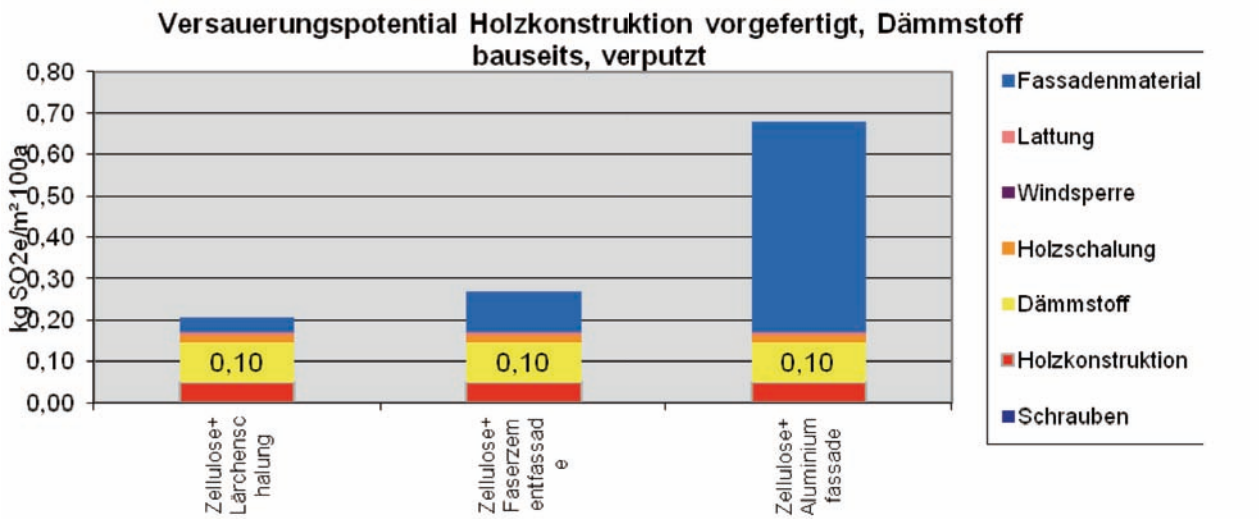
5.3.7.4 Nutzungsphase

- Meist auch kleinteiliger Ersatz einfach möglich (je nach Fassade)
- Algen- und Schimmelpilzrisiko gering

5.3.7.5 Ökologisches Profil Herstellung und Instandhaltung







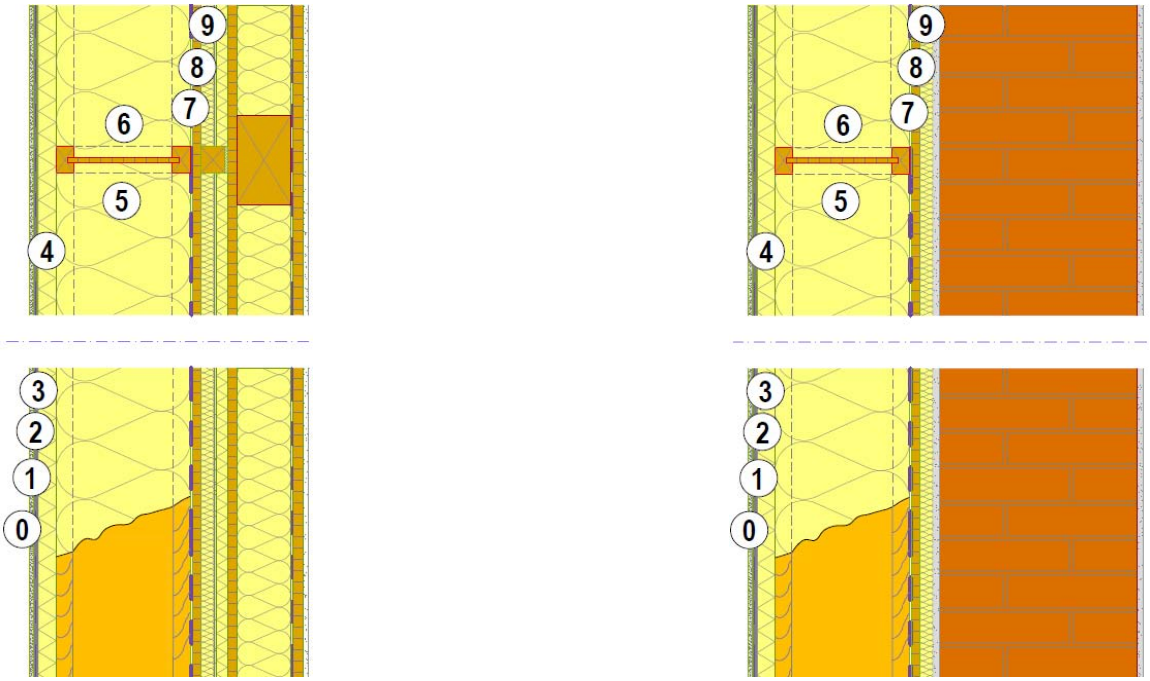
5.3.7.6 Entsorgung

Alle Baustoffe sind im Prinzip trennbar.

Eine Wiederverwendung von Dämmstoffen, Holzträgern und Fassadenmaterialien ist möglich.

Organische Dämmstoffe und Holzträger können der thermischen Verwertung zugeführt werden. Eine hochwertige Abgasreinigung ist erforderlich.

5.3.8 Holzkonstruktion inkl. Dämmstoff vorgefertigt, verputzt



5.3.8.1 Beschreibung

Dämmstoffe:

Organisch biogen: Flachs, Hanf, Holzfaser, Holzspäne, Stroh, Schafwolle, Zellulose

Organisch fossil:

Mineralisch: Glaswolle, Perlite, Steinwolle

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
0-Außenputz	▪ *Silikatputz,* ▪ *Silikonharzputz* ▪ *Grobputz/Feinputz a la Heraklith* ▪ *Nanoputz* ▪ *Lotuseffekt* ▪ *Putz mit PCM-granulat* ▪ *Putz mit low e Beschichtung*	*ca. 2 mm*
1-Putzgrund	▪ *Putzgrund (Silikat)*	
2-Armierung	▪ *Glasfaserarmierung*	
3-Klebespachtel	▪ *Dünnbett,* ▪ *Mittelbett,* ▪ *Dickbett*	*2 bis 10 mm*
4-Putzträger	▪ *Holzfaserplatte* ▪ *Holzwolleleichtbauplatte* ▪ *Holzschalung/Kork*	*4 cm* *5 cm* *2/3 cm*
5-Dämmstoff	▪ *Einblasdämmstoff* ▪ *Stroh* ▪ *hochwärmedämmend*	*30 cm (λ = 0,040 W/mK)**
6-Holzkonstruktion	▪ *Holz-C-Steher* ▪ *Doppel T-Träger* ▪ *KVH-Rippen* ▪ *Boxträger*	
7-Dampfbremse	▪ *PE-Dampfbremse*	*0,02 cm*
8-Holzwerkstoffpl.	▪ *OSB-Platte*	*ca 1,8 cm*
9-Ausgleich	▪ *Dämmstoff auf Fertigteil getackert, z.B. Flachs, Hanf, Glaswolle* ▪ *Alternativ mit weichem Dämmstoff ausstopfen (> 50 cm)*	*≥ 3 cm (je nach Untergrund)*

5.3.8.2 Ausführung

- Eine exakte Vermessung der Bestandswand und der Öffnungen ist unerlässlich
- Ebener Untergrund ist nicht unbedingt erforderlich
- Holzkonstruktion wird im Werk vorgefertigt, mit Dämmstoff gefüllt und mit Putzträger versehen.
- Untergrund abkehren, wenn erforderlich
- Montage des Fertigteils (Holzkonstruktion und Putzträger, eventuell bereits vorverputzt) an Bestandswand. Für die Montage an der Bestandswand sind unterschiedliche Systeme (punktuell, lineare Auflager) in Verwendung.
- Unebenheit des Untergrunds über Montagetiefe der Aufhängungen ausgleichen. In Anschlussfugen zum Bestand oder zwischen den Elementen, vertikal und horizontal weichen Faserdämmstoff vorab einlegen (z.B. Schafwolle, Flachs, Glaswolle), siehe Anschlussdetails. Wesentlich ist die Wärmedämmung des Luftspalts zwischen Fertigteil und Bestandswand, bewährt hat sich das Auftackern eines weichen Dämmstoffs am Fertigteil vor Montage.
- Dehnfugen an Elementstößen je nach Bestandswand, Fertigteil und statischen Voraussetzungen erforderlich.
- Grobputz und Armierung können bauseits oder schon im Werk aufgebracht werden, Bei vorverputzter Fläche müssen Elementstöße armiert werden. Für Außenputzaufbringung Außentemperaturen >= 5°C erforderlich
- Endbeschichtung mit diffusionsoffenem, wasserabweisendem Putzsystem
- Konstruktion vor allem für Fassaden mit regelmäßigen Öffnungen gut geeignet. Vorfertigung von Fenster/Türen in der Holzkonstruktion möglich.
- Schutzmaßnahmen sind besonders beim Einblasen von Dämmstoffen erforderlich, da dabei die Staubemission beträchtlich ist.

5.3.8.3 Bauphysikalische Eigenschaften

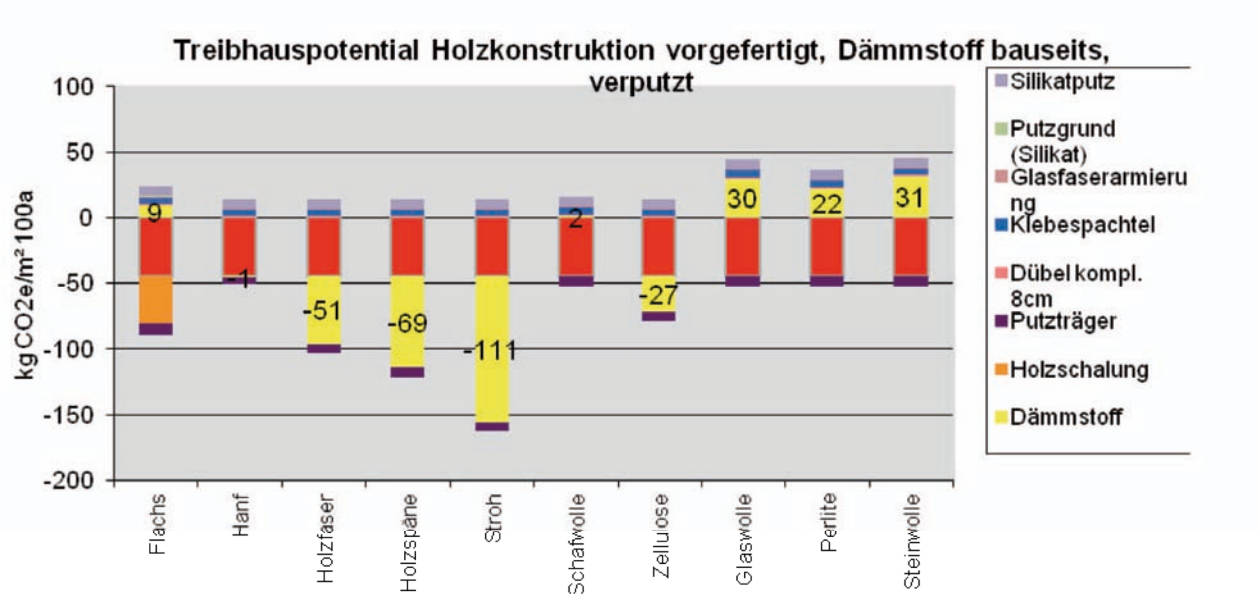
- Wärmeschutz: Einblasdämmstoffe können Unebenheiten auf Bestandswand gut ausgleichen. Befestigung von PV-Modulen, Außenlampen einfach und annähernd wärmebrückenfrei möglich.
- Hinterlüftung der Dämmstoffe mit Außenluft kaum möglich, trotzdem winddichte Ausführung des Außenputzes anzuraten
- Winddichtigkeit: Winddichte Ebene ist der Außenputz, diesen an Fenster und sonstige angrenzende winddichte Ebenen in Dach etc. winddicht anschließen
- Feuchteschutz: Aufsteigende Feuchtigkeit sicher ausschließen; Fehlertoleranz auf Grund von diffusionsoffenen Dämmstoffen deutlich günstiger
- Schallschutz: Verbesserung des Bestandes. Vor allem bei Bestandswänden mit schlechtem Schallschutz relevant. Biegeweichheit der Außenschale und höhere Putzstärke von Vorteil.

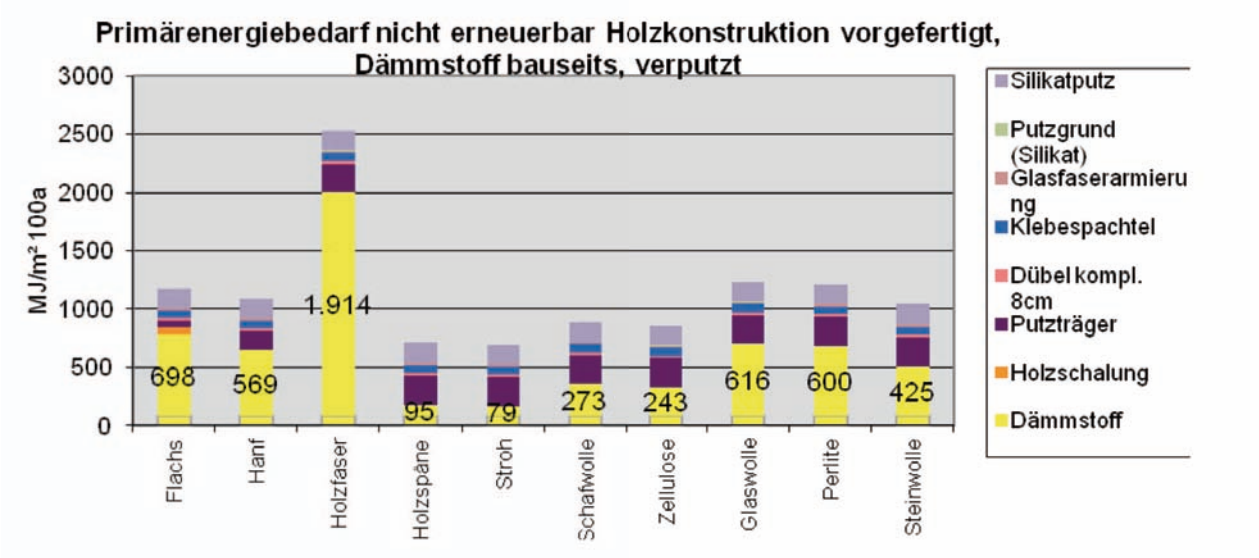
5.3.8.4 Nutzungsphase

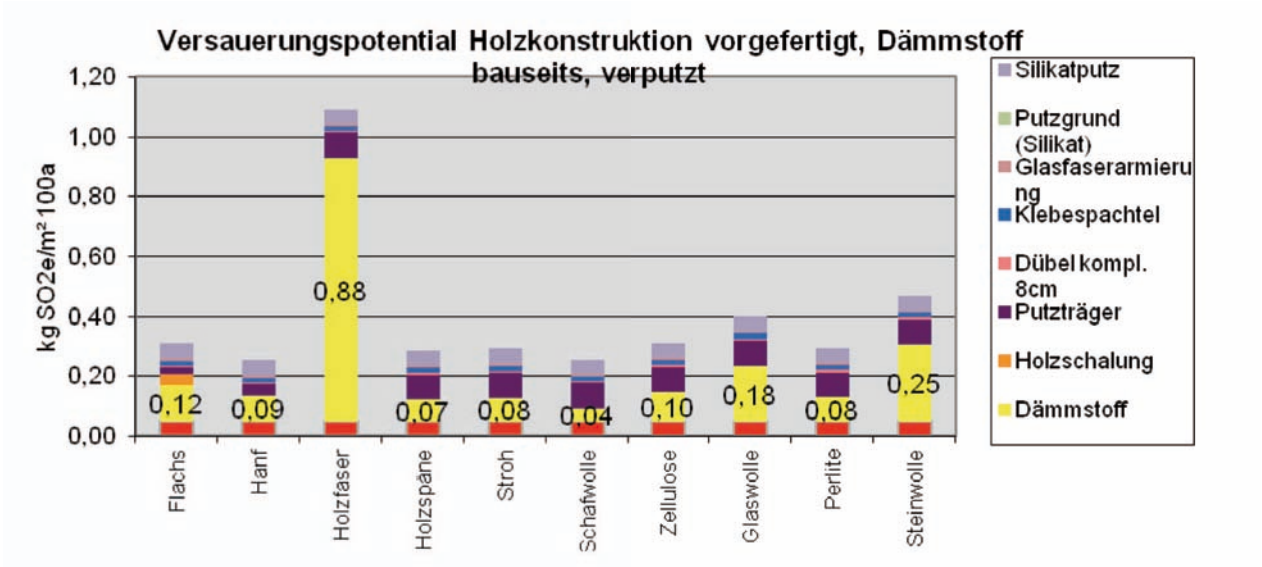
- Mit Dickputzsystemen Wahrscheinlichkeit von mechanischen Beschädigungen reduziert

- Algen- und Schimmelpilzrisiko: Biozidanstriche oder –zusätze in Putzsystemen sind technisch und ökologisch fragwürdig, da nur begrenzte Wirkungsdauer und materialökologisch ungünstig. Konstruktive Maßnahmen wie Dachüberstände, Spritzwasserschutz sind zu bevorzugen. Manche Putzarten erhöhen Widerstandfähigkeit gegen Algenbefall durch PCM-Putze oder durch ihre Rauigkeit („Nanoputze“).

5.3.8.5 Ökologisches Profil Herstellung und Instandhaltung







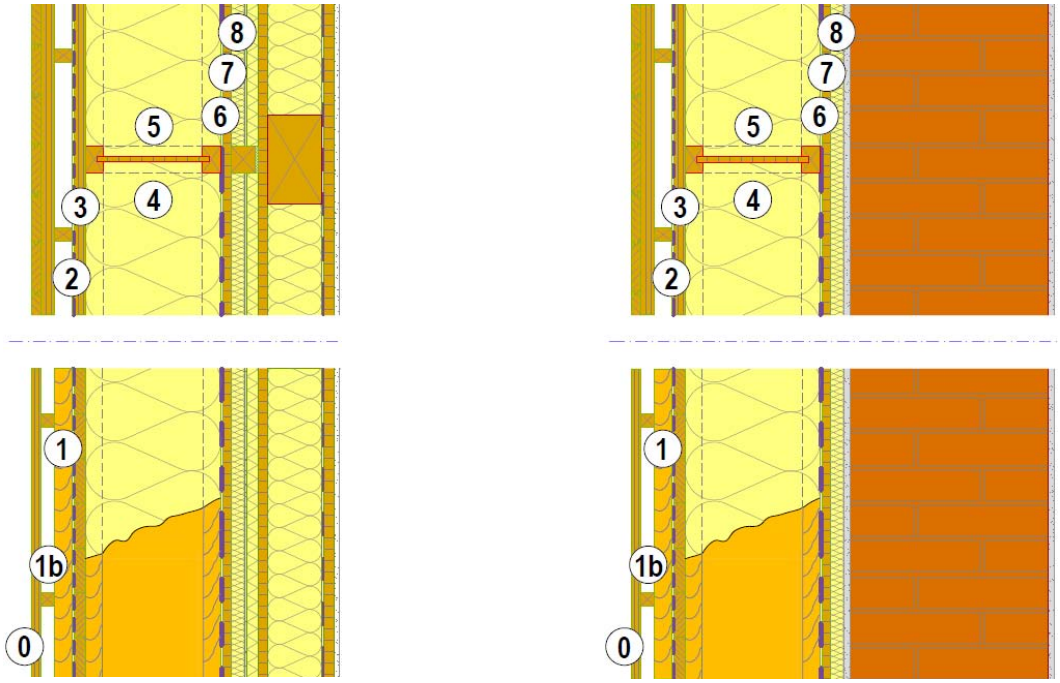
5.3.8.6 Entsorgung

Der Großteil der Baustoffschichten ist trennbar. Einzig die Verbindung Putzträger/Putz/Armierung ist nicht sortenrein trennbar.

Eine Wiederverwendung der Dämmstoffe und der Holzträger ist möglich

Organische Dämmstoffe und Holzträger können der thermischen Verwertung zugeführt werden. Eine hochwertige Abgasreinigung ist erforderlich.

5.3.9 Holzkonstruktion inkl. Dämmstoff vorgefertigt, hinterlüftet



5.3.9.1 Beschreibung

Organisch biogen: Flachs, Hanf, Holzfaser, Holzspäne, Stroh, Schafwolle, Zellulose

Mineralisch: Glaswolle, Perlite, Steinwolle

Schicht Nr.	▪	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
0-Fassade	▪	*Holzschalung horizontal*	*ca. 2 cm*
	▪	*Holzschalung vertikal*	*ca. 2 cm*
	▪	*Stülpschalung*	*ca. 2 cm*
	▪	*Faserzementplatten*	*ca. 0,8 cm*
	▪	*Aluminium*	*ca. 0,2 cm*
	▪	*Stahlblech beschichtet*	*ca. 0,2 cm*
	▪	*Zementgebundene Spanplatte*	*ca. 2 cm*
	▪	*Kunststoffplatte*	*ca. 1,5 cm*
1b-Traglattung	▪	*Traglattung wenn erforderlich (z.B. kleinteilige Formate)*	*3,5 cm*
1-Lattung	▪	*Holzlatten und Hinterlüftung*	*4 cm*
	▪	*Alulatten und Hinterlüftung*	
2-Windsperre	▪	*Windsperre, UV-beständig nach Erfordernis*	*0,2 mm*
3-Platte	▪	*Holzschalung*	*2 cm*
	▪	*Gipsfaserplatte*	*1,5 cm*
	▪	*Holzfaserplatte NF*	*1,5 cm*
4-Dämmstoff	▪	*Einblasdämmstoff*	*30cm (λ = 0,040 W/mK)**
	▪	*mehrlagig*	*34cm (λ = 0,045 W/mK)**
	▪	*hochwärmedämmend*	*26cm (λ = 0,032 W/mK)**
5-Holzkonstruktion	▪	*Holz-C-Steher*	*je nach Dämmstoffstärke*
	▪	*Doppel T-Träger*	
	▪	*KVH-Rippen*	
	▪	*Boxträger*	
6-Dampfbremse	▪	*PE-Dampfbremse*	*0,02 cm*
7-Holzwerkstoffpl.	▪	*OSB-Platte*	*ca 1,8cm*
8-Ausgleich	▪	*Dämmstoff auf Fertigteil, z.B. Flachs, Hanf, Glaswolle getackert*	*≥ 3cm (je nach Untergrund)*
	▪	*Alternativ weichem Dämmstoff ausstopfen (>50cm)*	

5.3.9.2 Ausführung

- Ebener Untergrund ist nicht unbedingt erforderlich
- Holzkonstruktion wird im Werk vorgefertigt, mit Dämmstoff gefüllt und mit Beplankung versehen.
- Untergrund abkehren, wenn erforderlich
- Montage des Fertigteils (Holzkonstruktion und Beplankung) an Bestandswand. Für die Montage an der Bestandswand sind unterschiedliche Systeme (punktuell, lineare Auflager) in Verwendung.
- Unebenheit des Untergrunds über Montagetiefe der Aufhängungen ausgleichen. In Anschlussfugen zum Bestand oder zwischen den Elementen, vertikal und horizontal weichen Faserdämmstoff vorab einlegen (z.B. Schafwolle, Flachs, Glaswolle), siehe Anschlussdetails. Wesentlich ist die Wärmedämmung des Luftspalts zwischen Fertigteil und Bestandswand, bewährt hat sich das Auftackern eines weichen Dämmstoffs am Fertigteil vor Montage.
- Dehnfugen an Elementstößen je nach Bestandswand, Fertigteil und statischen Voraussetzungen erforderlich.
- Anschließend Aufbringen der Windsperre, die auch als zweite wasserableitende Schicht dient. Verklebung der Stöße dauerhaft. UV-Beständigkeit der Windsperre erforderlich, wenn Fassadenmaterial nicht lichtundurchlässig.
- Montage der Lattung und – wenn erforderlich – der Montagelattung
- Befestigung des Fassade mit korrosionsgeschützten Schrauben
- Konstruktion vor allem für Fassaden mit regelmäßigen Öffnungen gut geeignet.
- Schutzmaßnahmen sind besonders beim Einblasen von Dämmstoffen erforderlich, da dabei die Staubemission beträchtlich ist. Staub entsteht auch beim Ablängen von Fassadenmaterialien.

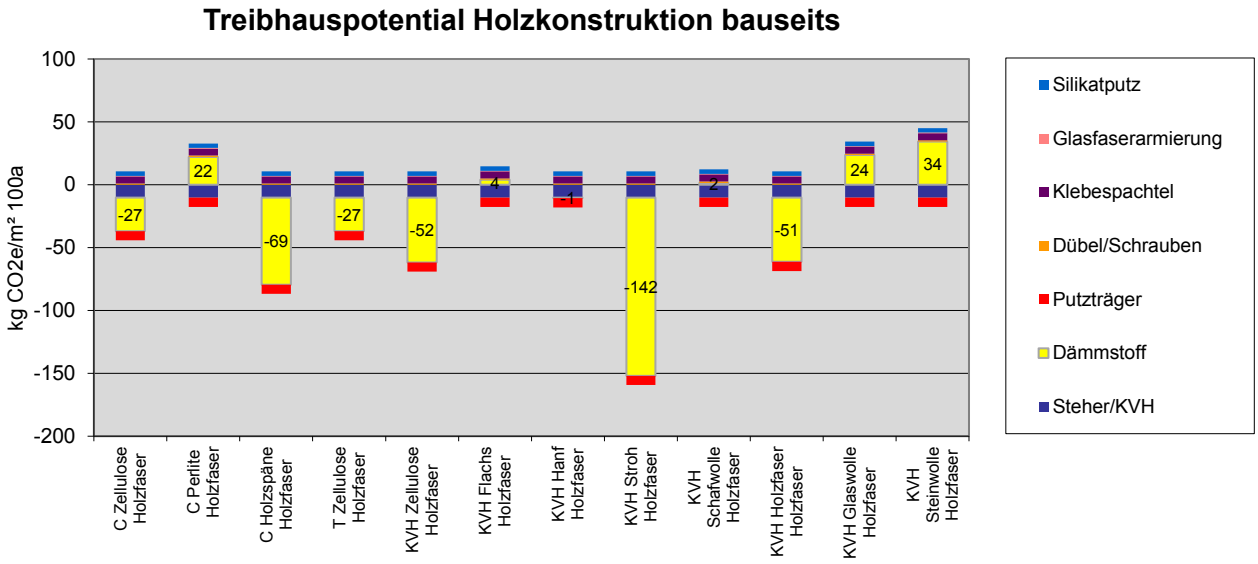
5.3.9.3 Bauphysikalische Eigenschaften

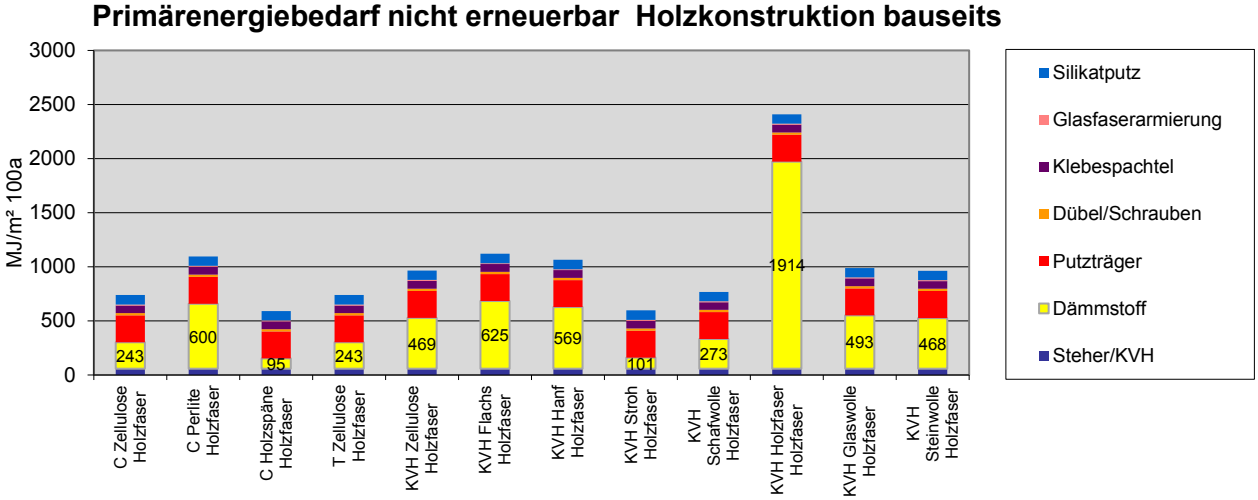
- Wärmeschutz: Einblasdämmstoffe können Unebenheiten der Bestandswand gut ausgleichen. Befestigung von PV-Modulen, Außenlampen einfach und annähernd wärmebrückenfrei möglich.
- Hinterlüftung der Dämmstoffe mit Außenluft kaum möglich, trotzdem winddichte Ausführung der Elementstöße und Anschlüsse anzuraten.
- Winddichtigkeit: Winddichte Ebene ist die Windsperre, diese an Fenster und sonstige angrenzende winddichte Ebenen im Dach etc. winddicht anschließen.
- Feuchteschutz: Aufsteigende Feuchtigkeit sicher ausschließen; Fehlertoleranz auf Grund von diffusionsoffenen Dämmstoffen deutlich günstiger
- Schallschutz: Verbesserung des Bestandes. Vor allem bei Bestandswänden mit schlechtem Schallschutz relevant. Biegeweichheit der Außenschale von Vorteil.

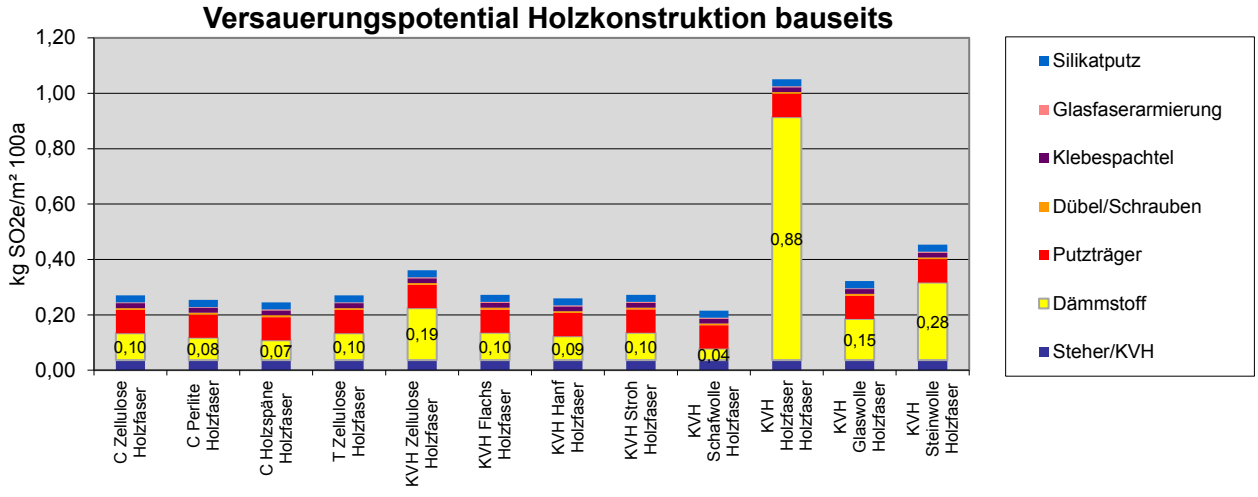
5.3.9.4 Nutzungsphase

- Meist auch kleinteiliger Ersatz einfach möglich (je nach Fassade)
- Algen- und Schimmelpilzrisiko gering

5.3.9.5 Ökologisches Profil Herstellung und Instandhaltung







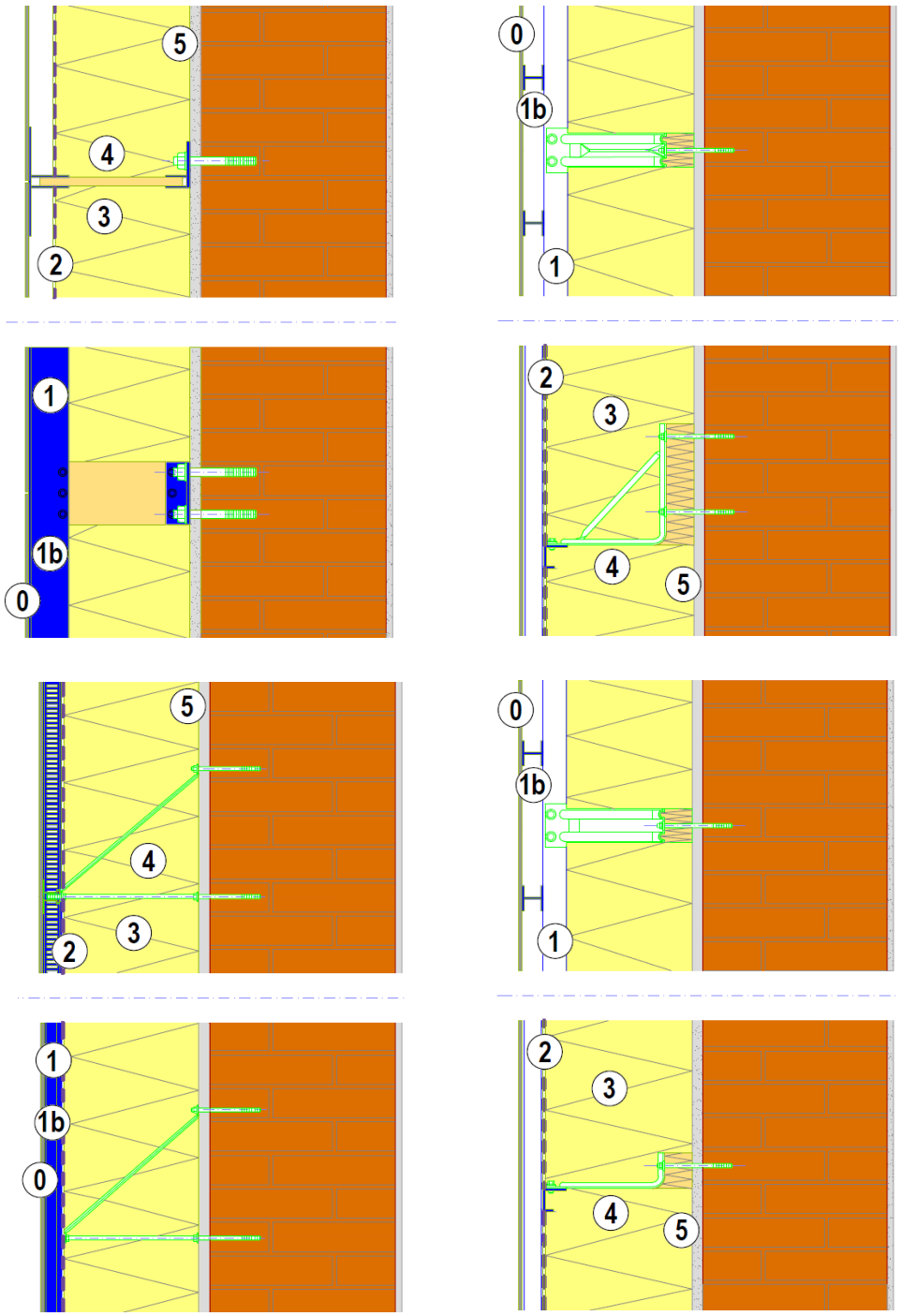
5.3.9.6 Entsorgung

Alle Baustoffe sind im Prinzip trennbar.

Eine Wiederverwendung von Dämmstoffen, Holzträgern und Fassadenmaterialien ist möglich.

Organische Dämmstoffe und Holzträger können der thermischen Verwertung zugeführt werden. Eine hochwertige Abgasreinigung ist erforderlich.

5.3.10 Punktuelle Anker bauseits



5.3.10.1 Beschreibung

Organisch biogen: Holzfaser

Organisch fossil:

Mineralisch: Glaswolle, Steinwolle

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
0-Fassade	▪ *Holzschalung horizontal* ▪ *Holzschalung vertikal* ▪ *Stülpschalung* ▪ *Faserzementplatten* ▪ *Aluminium* ▪ *Stahlblech beschichtet* ▪ *Zementgebundene Spanplatte* ▪ *Kunststoffplatte* ▪ *Klinkermauerwerk*	*ca. 2 cm* *ca. 2 cm* *ca. 2 cm* *ca. 0,8 cm* *ca. 0,2 cm* *ca. 0,2 cm* *ca. 2 cm* *ca. 1,5 cm* *ca. 12 cm*
1b-Traglattung	▪ *Traglattung wenn erforderlich (z.B. kleinteilige Formate)*	*3,5 cm*
1-Lattung	▪ *Holzlatten und Hinterlüftung* ▪ *Alulatten und Hinterlüftung*	*4 cm*
2-Windsperre	▪ *Windsperre, UV-beständig nach Erfordernis*	*0,2 mm*
3-Dämmstoff	▪ *Faserdämmplatten* ▪ *Faserdämmplatten kaschiert* ▪ *Dämmstoff hochwärmedämmend*	*ca 32 cm*
4-Traganker	▪ *Phönix* ▪ *System Mcon* ▪ *Alu-Anker (mit thermischer Entkopplung Schaumglas, Eurofox)*	*ca.6/m²* *ca.6/m²* *ca.6/m²*
*5-Therm.Entkoppl.**	▪ *Schaumglas* ▪ *HartPVC*	*≥ 3cm (je nach Untergrund)*

* Wenn Tragmaterial gut wärmeleitfähig wie Metalle sind

5.3.10.2 Ausführung

- Untergrund abkehren, wenn erforderlich
- Unebenen Untergrund ausgleichen
- Montage der Anker an der Wand, je nach System auch Querlattung unter Anker
- Die Fassadendämmplatten werden ein- oder mehrlagig verlegt und verdübelt
- Anschließend Aufbringen der Windsperre, die auch als zweite wasserableitende Schicht dient (entfällt bei kaschierten Platten). Verklebung der Stöße dauerhaft. UV-Beständigkeit der Windsperre erforderlich, wenn Fassadenmaterial nicht lichtundurchlässig.
- Montage der Lattung und – wenn erforderlich – der Montagelattung
- Befestigung der Fassade mit korrosionsgeschützten Schrauben

5.3.10.3 Bauphysikalische Eigenschaften

- Wärmeschutz: Erzielbarer Wärmewiderstand hängt stark von Materialität, Durchmesser und Anzahl der Anker ab:

System	***Wärmebrückenkoeffizient 3-dim chi [W/K]***
Phönix	*0,0002*
System Mcon	*0,0005*
Alu-Anker (optimierte Werte mit thermischer Entkopplung >= 3cm)	*0,01-0,06*

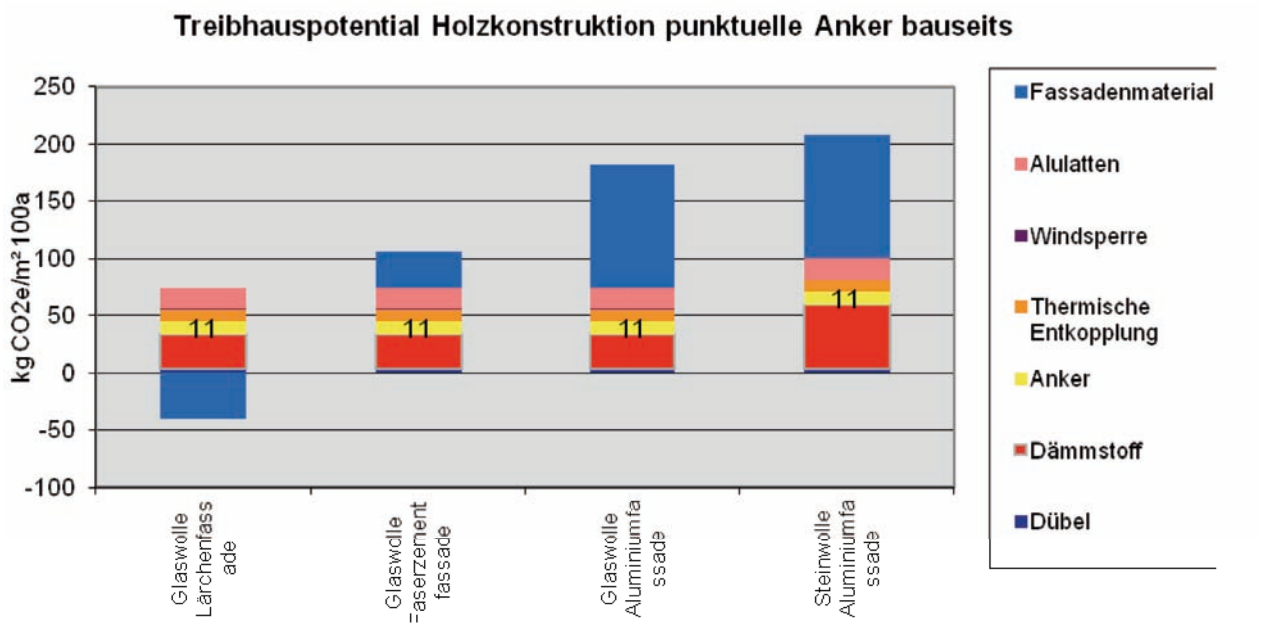
- Annahme: Befestigung alle 60cm
- Außenlampen können an einer Lattung oder an PU-Dämmblöcken wärmebrückenfrei befestigt werden.
- Hinterlüftung der Dämmung durch entsprechende Führung der Winddichtebene und Anschlussdetails sicher vermeiden

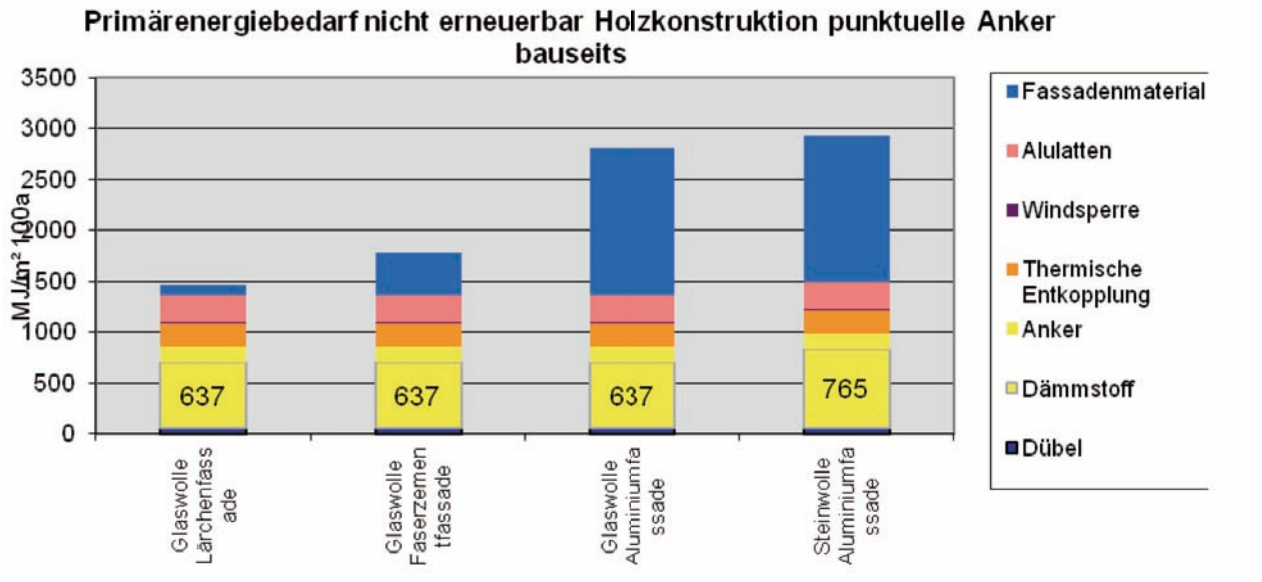
- Winddichtigkeit: Winddichte Ebene ist die Windsperre, diese an Fenster, Jalousiekästen und sonstige angrenzende winddichte Ebenen in Dach etc. dauerhaft winddicht anschließen
- Feuchteschutz: Aufsteigende Feuchtigkeit sicher ausschließen; Fehlertoleranz auf Grund von diffusionsoffenen Dämmstoffen und Hinterlüftung günstig
- Schallschutz: Verbesserung des Bestandes. Vor allem bei Bestandswänden mit schlechtem Schallschutz relevant
- Brandschutz: Hinterlüftungsebene bei höheren Gebäuden meist ungünstig, Brandüberschlag etc. beachten

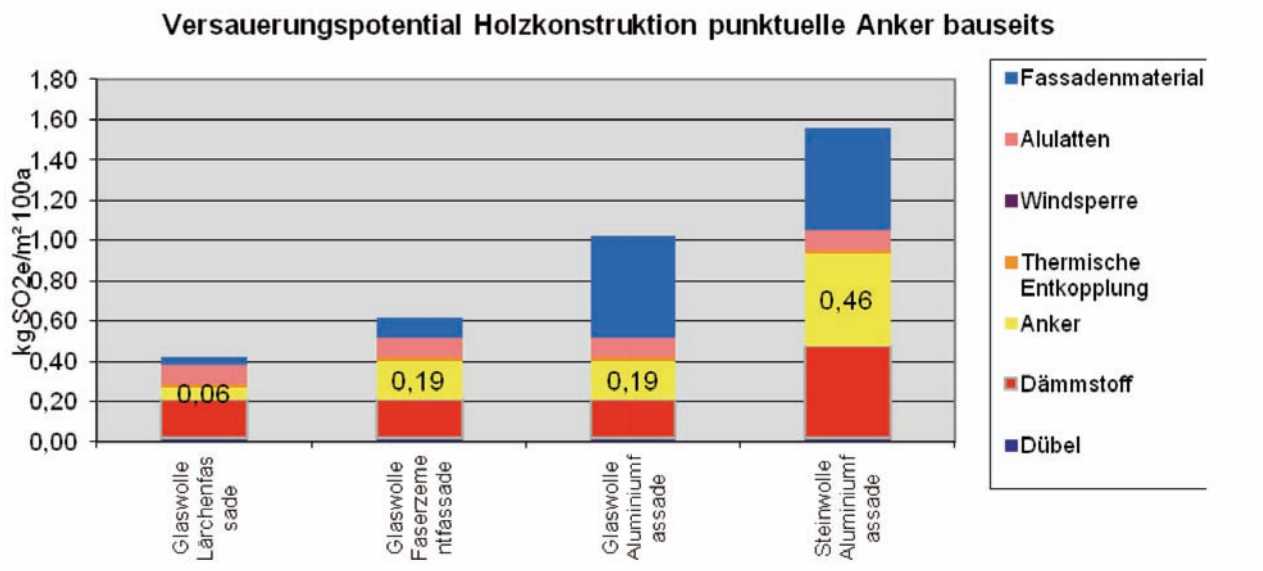
5.3.10.4 Nutzungsphase

- Meist auch kleinteiliger Ersatz einfach möglich (je nach Fassadenprodukt)
- Algen- und Schimmelpilzrisiko gering

5.3.10.5 Ökologisches Profil Herstellung und Instandhaltung







5.3.10.6 Entsorgung

Alle Baustoffe sind im Prinzip trennbar.

Eine Wiederverwendung von Dämmstoffen, Ankern und Fassadenmaterialien ist möglich.

Organische Baustoffe können der thermischen Verwertung zugeführt werden. Eine hochwertige Abgasreinigung ist erforderlich.

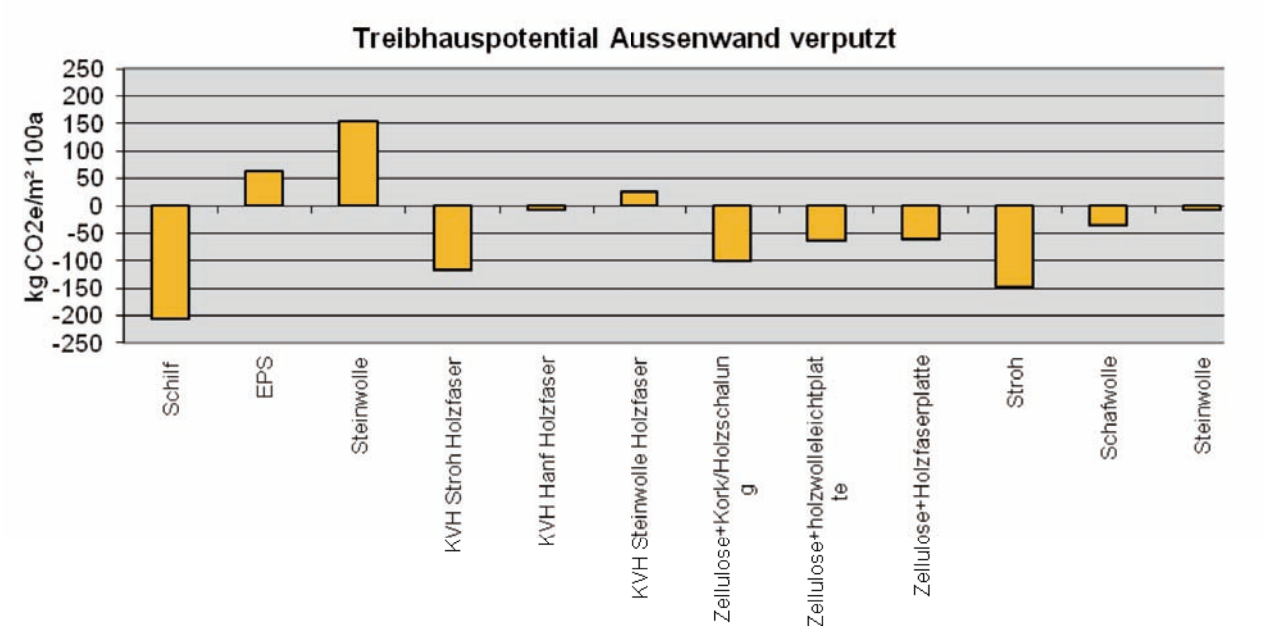
5.3.11 Zusammenschau über den Lebenszyklus

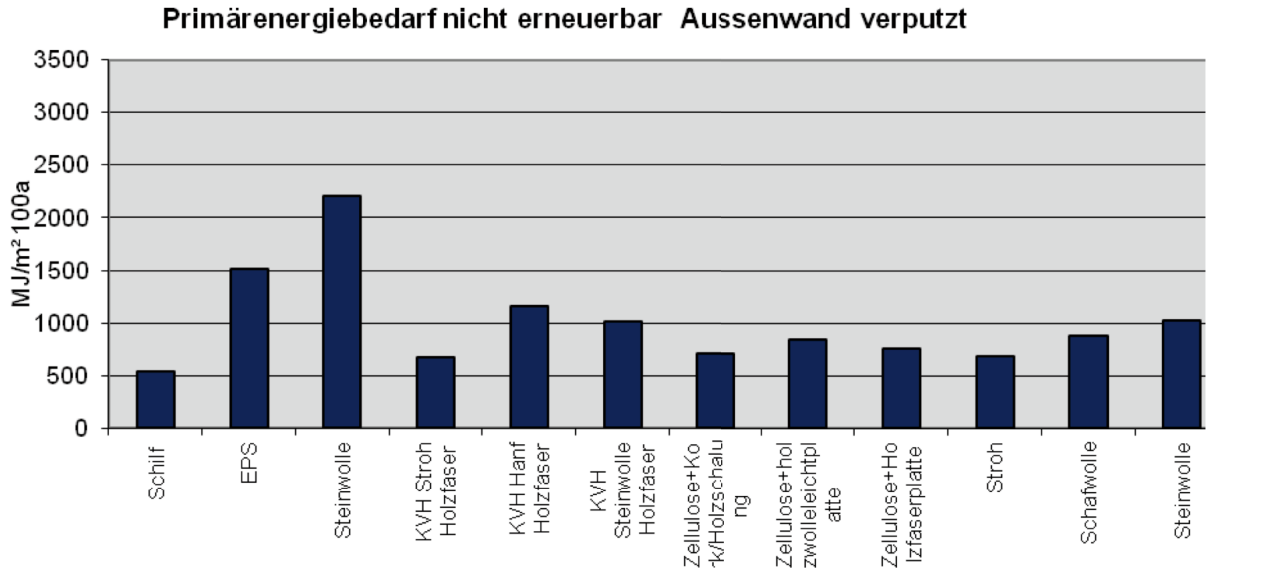
5.3.11.1 Herstellung

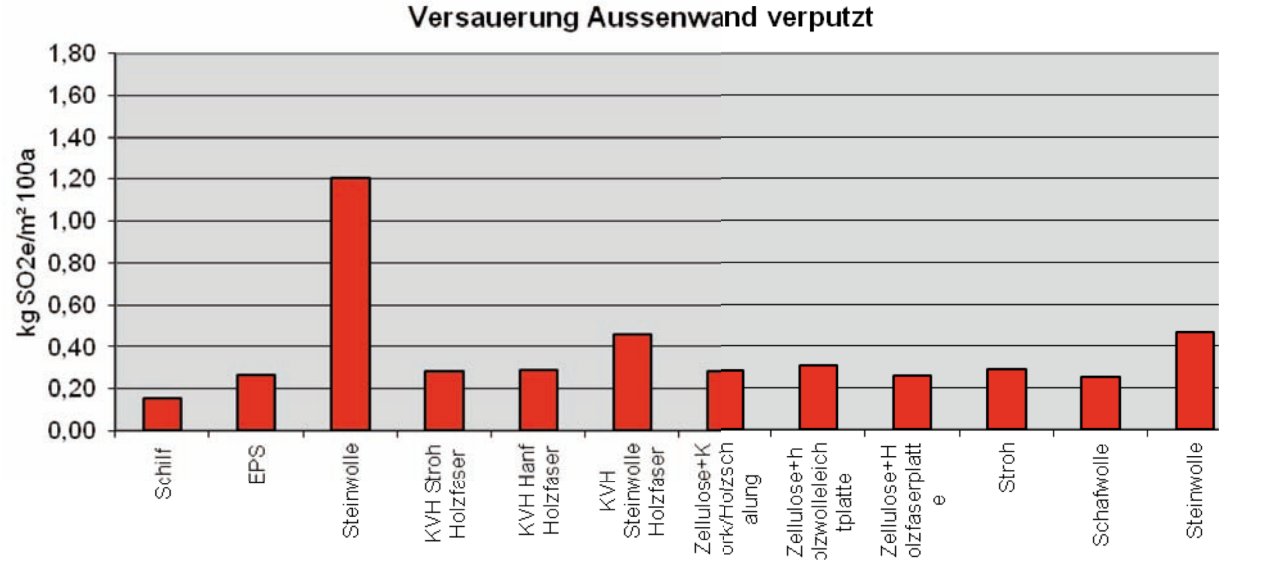
Die dargestellten Systeme unterscheiden sich

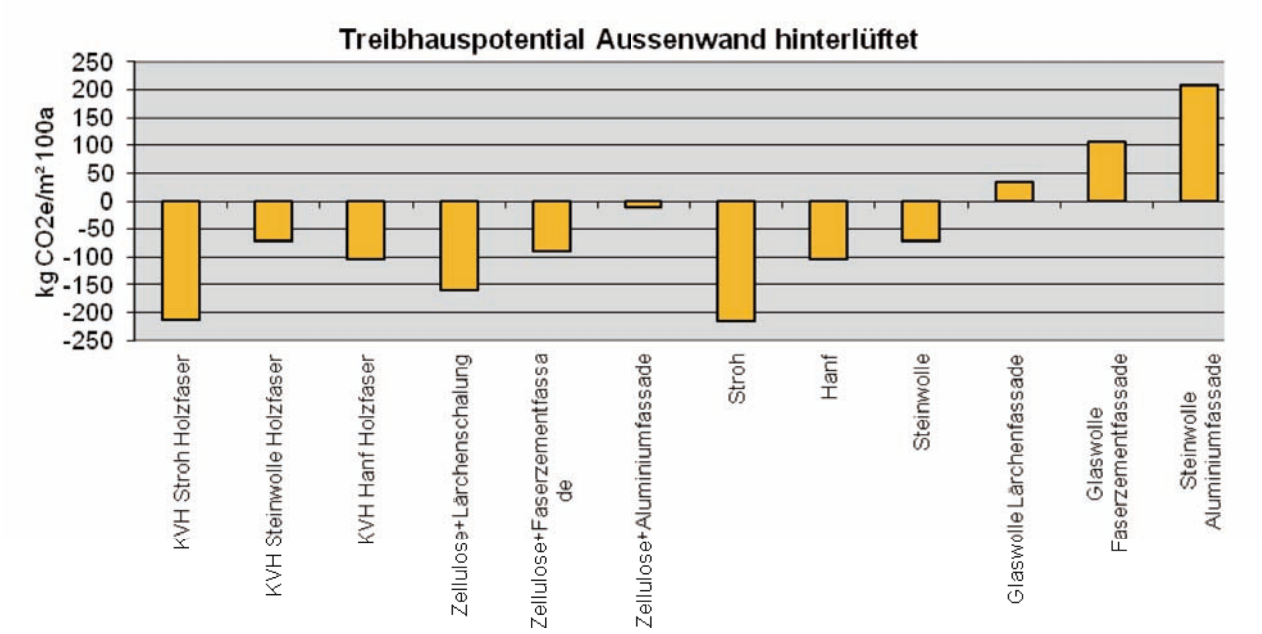
- in der Flexibilität zum potentiellen Einsatz unterschiedlicher Dämmstoffe
- in der Art der Befestigungssysteme:
- Bei den Wärmedämmverbundsystemen übernimmt der Dämmstoff auch die Tragfunktion für den Außenputz
- Für die unterschiedlich vorgefertigten Systeme sind unterschiedliche Holz-Tragsysteme im Einsatz
- Im Fall von hinterlüfteten Konstruktionen sind auch eine Reihe von metallischen bzw. High-Tech-Kunststoffen im Einsatz.

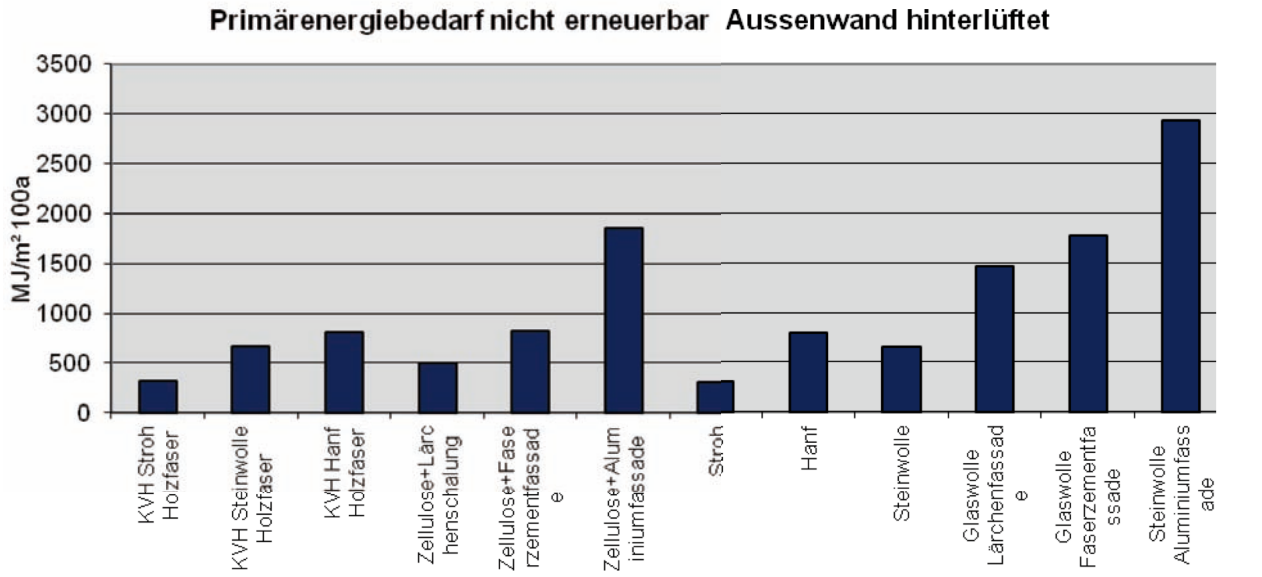
Die Belastungen in den betrachteten Umweltkategorien hängen vor allem vom Aufwand zur Herstellung des Dämmstoffs ab. Dieser hängt v.a. vom Herstellungsverfahren, dem Rohstoff, den Zusatzstoffen und der erforderlichen Dichte ab. Die Herstellung aller anderen benötigten Baustoffe ist demgegenüber verhältnismäßig gering.

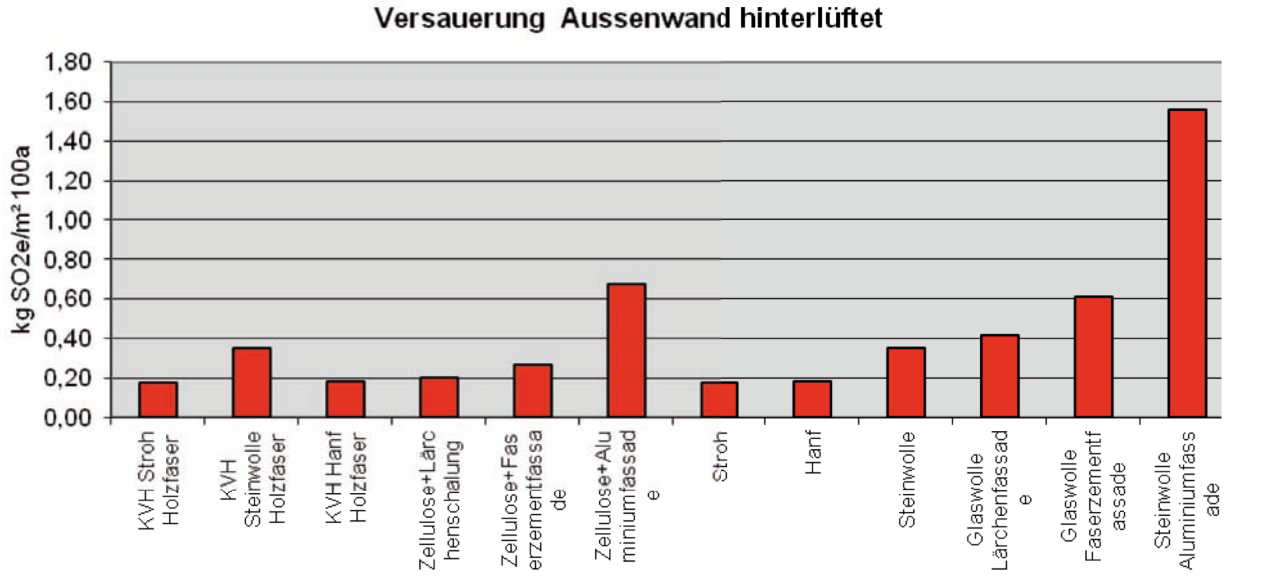

Treibhauspotential Aussenwand verputzt
kg CO2e/m² 100a
250
200
150
100
50
0
-50
-100
-150
-200
-250
Schilf
EPS
Steinwolle
KVH Stroh Holzfaser
KVH Hanf Holzfaser
KVH Steinwolle Holzfaser
Zellulose+Kork/Holzschalung
Zellulose+holzwolleleichtplatte
Zellulose+Holzfaserplatte
Stroh
Schafwolle
Steinwolle


Primärenergiebedarf nicht erneuerbar Aussenwand verputzt
MJ/m² 100a
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
Schilf
EPS
Steinwolle
KVH Stroh Holzfaser
KVH Hanf Holzfaser
KVH Steinwolle Holzfaser
Zellulose+Kork/Holzschalung
Zellulose+holzwolleleichtplatte
Zellulose+Holzfaserplatte
Stroh
Schafwolle
Steinwolle


Versauerung Aussenwand verputzt
kg SO2e/m² 100a
1,80
1,60
1,40
1,20
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
Schilf
EPS
Steinwolle
KVH Stroh Holzfaser
KVH Hanf Holzfaser
KVH Steinwolle Holzfaser
Zellulose+Kork/Holzschalung
Zellulose+holzwolleleichtplatte
Zellulose+Holzfaserplatte
Stroh
Schafwolle
Steinwolle


Treibhauspotential Aussenwand hinterlüftet
kg CO2e/m² 100a
250
200
150
100
50
0
-50
-100
-150
-200
-250
KVH Stroh Holzfaser
KVH Steinwolle Holzfaser
KVH Hanf Holzfaser
Zellulose+Lärchenschalung
Zellulose+Faserzementfassade
Zellulose+Aluminiumfassade
Stroh
Hanf
Steinwolle
Glaswolle Lärchenfassade
Glaswolle Faserzementfassade
Steinwolle Aluminiumfassade


Primärenergiebedarf nicht erneuerbar Aussenwand hinterlüftet
MJ/m² 100a
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
KVH Stroh Hozfaser
KVH Steinwolle Holzfaser
KVH Hanf Holzfaser
Zellulose+Lärchenschalung
Zellulose+Faserzementfassade
Zellulose+Aluminiumfassade
Stroh
Hanf
Steinwolle
Glaswolle Lärchenfassade
Glaswolle Faserzementfassade
Steinwolle Aluminiumfassade


Versauerung Aussenwand hinterlüftet
kg SO2e/m² 100a
1,80
1,60
1,40
1,20
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
KVH Stroh Holzfaser
KVH Steinwolle Holzfaser
KVH Hanf Holzfaser
Zellulose+Lärchenschalung
Zellulose+Faserzementfassade
Zellulose+Aluminiumfassade
Stroh
Hanf
Steinwolle
Glaswolle Lärchenfassade
Glaswolle Faserzementfassade
Steinwolle Aluminiumfassade

Günstig liegen vor allem Systeme mit geringfügig bearbeiteten Dämmstoffen.

5.3.11.2 Einbau und Transporte (Ausführungsmängel)

Die 8 dargestellten Systeme unterscheiden sich

- im Vorfertigungsgrad
- in der Befestigungstechnik (kleben – schrauben)
- in der Anpassungsflexibilität bezüglich Ebenheit der Bestandswand und Haftung der letzten Bestands-Baustoffschicht

Vorgefertigte Systeme erfordern vorab eine sehr genaue geometrische Aufnahme der Bestandssituation. Zudem sind sie im Allgemeinen ein wenig schwerer als die anderen Systeme und werden an verhältnismäßig wenigen Punkten an der Bestandsmauer befestigt. Dies erfordert an diesen wenigen Befestigungspunkten meist höhere statische Anforderungen.
Von Vorteil ist die meist rasche Montage der Elemente, z.T. ist keine Eingerüstung erforderlich. D.h. die Abhängigkeit vom Wetter ist deutlich geringer als bei durchwegs bauseits realisierten Systemen. Zudem ist eine präzise und solide Anfertigung der Dämmsysteme deutlich einfacher möglich als vor Ort.
Ökologisch bietet die Vorfertigung vor allem den Vorteil, dass die ArbeiterInnen in der Halle vor Wind und Wetter geschützt sind, zudem ist der Arbeiterschutz deutlich einfacher und sicherer zu realisieren (Absaugung von Schadstoffen, Ergonomie etc.).
Vor Ort gefertigte Systeme bieten den Vorteil, das Dämmsystem direkt an den Bestand anzupassen (Fensteröffnungen, Maße etc.), dafür ist für den Einbau ein längerer Zeitraum erforderlich und damit meist auch der Aufwand für den Regenschutz etc. höher.
Die Arbeitsplatzbelastungen bei der Verarbeitung decken sich mit jenen der Einzelkomponenten. Schutzmaßnahmen sind besonders beim Einblasen von Dämmstoffen erforderlich, da dabei die Staubemissionen beträchtlich sein können. Grundierungen können hohe Lösemittelgehalte aufweisen.
Bei Kalkhydrat- oder zementhaltigen Produkten können bei unzureichendem Arbeitsschutz raue Hände, Verätzungen etc. auftreten (Maurerkrätze). Mit dem Tragen von Handschuhen kann Abhilfe geschaffen werden.

5.3.11.3 Nutzung und Instandhaltung

Die Beurteilung in der Nutzungsphase bezieht sich auf die Qualität der gewünschten Funktionen, auf den Instandsetzungsaufwand, die Nutzungsdauer der einzelnen Schichten und die Gesundheitsverträglichkeit für die NutzerInnen.
Für die Erhaltung des **Wärmeschutzes** und damit auch der hohen Innenoberflächentemperaturen der sanierten Bauteile ist die Vermeidung einer Hinterspülung der Wärmedämmung mit kalter Außenluft sowie die andauernde Vermeidung von Luftspalten, die vom Warmen ins Kalte führen, relevant (i.e. die Formstabilität der Dämmstoffe). Da vor allem im Bestand die vorhandenen Außenwände oft nicht eben sind, ist auf eine geeignete Vorbereitung des Untergrundes gemäß Normen und Ausführungsregeln zu achten. Vorteile besitzen diesbezüglich Systeme mit Einblasdämmstoffen, da der Dämmstoff sich exakt an die Begrenzung anpassen kann. Systeme mit steifen Dämmstoffen (WDVS) oder bereits in der Vorfertigung gedämmten Bauteilen, die das Verfüllen des Luftspalts zwischen Fertigteil und Bestandswand erfordern, sind hier benachtei-

ligt, da bereits im System Luftspalte vorkommen, deren ungünstige Wirkung durch entsprechende Untergrundvorbereitung, angepasste Anschlussdetails und eine gute Ausführung vermieden werden muss.
Der **Schallschutz** der Bestandswand wird in fast allen Fällen verbessert, wobei die Verbesserung des Schalldämmmaßes stark von den Eigenschaften der Bestandswand und der Biegeweichheit der äußeren Begrenzung abhängt. Wärmedämmverbundsysteme mit steifen Dämmstoffen können das Schalldämmmaß auch herabsetzen. Durch höhere Putzstärken oder den Umstieg auf weichere Dämmstoffarten kann dies verhindert werden.
Die Wirkung der Dämmsysteme auf den **Feuchteschutz** ist vor allem von der Ausführung der äußeren Schichten abhängig:

- Bei verputzten Systemen erlauben moderne Außenbeschichtungen (Silikat- oder Silikonharzputze) hohe Feuchtediffusionsleitung bei hydrophoben Eigenschaften gegen Schlagregen
- Hinterlüftete Systeme entkoppeln diese beiden Funktionen und bieten daher im Prinzip Vorteile bezüglich Diffusionsverhalten

Das Austrocknungsverhalten von letzteren ist meist höher, somit auch das Vermögen, leicht erhöhte Feuchtemengen in der Bestandswand auch nach außen zu leiten. Durch die sekundäre, wasserableitende Schicht (Windsperre) ist auch die Fehlertoleranz höher als im Fall von verputzten Systemen, wo der Außenputz alle Funktionen erfüllen muss.
Schadstoffimmissionen hängen vor allem von den in den Dämmstoffen enthaltenen flüchtigen Stoffen ab. Diese können mittels Diffusion oder auch über undichte Stellen nach innen abgegeben werden. Relevant sind vor allem Styrol- und Pentanimmissionen aus Polystyrol-Dämmstoff sowie Formaldehydimmissionen aus entsprechend verklebten Dämmstoffen und Holzwerkstoffen. Da warmseitig eine luftdichte Ebene vorhanden ist, ist ein Transport von Fasern unwahrscheinlich, bzw. nur in geringem Maße möglich.

5.3.11.4 Rückbau, Wiederverwertung und Entsorgung

Systemkomponente	Beschreibung der Entsorgungseigenschaften
Dämmstoffe im Wärmedämmverbundsystem (WDVS)	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Verklebte und verdübelte Wärmedämmverbundsysteme sind vor Ort nur mit hohem Aufwand und in Recyclinganlagen nur mit hohem Verlust vom Mauerwerk zu trennen. Aus heutiger wirtschaftlicher Sicht wird die Trennung nur so weit erfolgen, dass abfallwirtschaftliche Vorgaben erfüllt werden.
Expandiertes Polystyrol	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert, aber geringes Gewicht; nachteilig: halogenhaltiges, als PBT eingestuftes Flammschutzmittel. Gewicht der nicht brennbaren WDVS-Bestandteile wie Putz und Kleber in der gleichen Größenordnung wie das des Dämmstoffs.
Dämmplatten aus Backkork, Schilf ohne Zusatzstoffe, Holzfaser aus dem Nassverfahren	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten keine Zusatzstoffe. Mit nicht brennbaren Bestandteilen des WDVS verunreinigt.
Faserdämmstoffe aus erneuerbaren Rohstoffen (Hanffaser, Schilf)	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten Bindemittel oder Flammschutzmittel als Zusatzstoffe, die sich i.d.R. in MVA unproblematisch verhalten. Mit nicht brennbaren Bestandteilen des WDVS verunreinigt.
Mineralwolle-Dämmstoffe	In der heutigen Entsorgungspraxis ist das PC-Recycling von Mineralwolle noch nicht weit fortgeschritten. Aufgrund der Verunreinigungen im WDVS, ist auch in Zukunft nicht von einem Recycling auszugehen. Die Mineralwolle wird daher deponiert (nachteilig: geringe Rohdichte, Fasern).

Mineralschaumplatte	Stoffliche Verwertung als Schüttung oder Hinterfüllung theoretisch möglich, in der heutigen Praxis ist aber von einer Deponierung auszugehen.
Befestigungsmittel im Wärmedämmverbundsystem	
Klebstoffe, Dübel, Armierungsgewebe	Trennung vom Dämmstoff in Aufbereitungsanlagen möglich, aber derzeit wirtschaftlich nicht attraktiv. Erfolgt keine Trennung werden die Befestigungsmittel gemeinsam mit dem Dämmstoff entsorgt, d.h. entweder deponiert oder verbrannt (siehe Dämmstoffe im WDVS).
Außenputze im Wärmedämmverbundsystem	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Es gibt Systeme, welche durch Fräsen, Schleifen, Bürsten, Polieren oder Strahlen den Putz vom Untergrund trennen können. Das abgefräste Material wird über eine Sauganlage geführt, gesammelt und anschließend deponiert. Derzeit ist aber kein wirtschaftlicher Anreiz gegeben, wenn dadurch „nur“ die Recyclierbarkeit des angrenzenden Materials erhöht wird.
Außenputze	Erfolgt keine Trennung, werden die Putze gemeinsam mit dem Dämmstoff entsorgt, d.h. entweder deponiert oder verbrannt (siehe Dämmstoffe im Wärmedämmverbundsystem). Wurde ein Biozid zugegeben, ist davon auszugehen, dass es bis zum Zeitpunkt der Entsorgung des Systems ausgewaschen wurde und daher keinen Einfluss auf die Entsorgungseigenschaften hat.
Dämmstoff zwischen Unterkonstruktion	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Dämmstoff und Unterkonstruktion sind nicht oder nur mechanisch (angetackert) miteinander verbunden und gut voneinander trennbar. Die Dämmstoffe wären daher theoretisch auch wiederverwendbar.
Dämmstoffe aus Zellulose, Flachs, Hanf, Holzspäne, Holzfaser (Trockenverfahren), Schafwolle	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten Bindemittel oder Flammschutzmittel als Zusatzstoffe, die sich i.d.R. in MVA unproblematisch verhalten.
Dämmstoffe aus Stroh, Holzfaser (Nassverfahren)	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten keine Zusatzstoffe.
Mineralwolle	In der heutigen Entsorgungspraxis ist das PC-Recycling von Mineralwolle noch nicht weit fortgeschritten. Die Mineralwolle wird daher deponiert (nachteilig: geringe Rohdichte, Fasern) oder in der MVA entsorgt (nachteilig: kein Heizwert, Faserflug).
Perlite	Die Rückgewinnung von Perliten ist problemlos möglich. Das Material kann nach allfälliger Reinigung und Trocknung wieder als Dämmschüttung oder als Zuschlagstoff verwendet werden.
Unterkonstruktion	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Dämmstoff und Unterkonstruktion sind nicht oder nur mechanisch (angetackert) miteinander verbunden und gut voneinander trennbar. Die Unterkonstruktion kann auch mit vergleichsweise geringem Aufwand von der Wand geschraubt werden.
Doppel-T-Träger	Bei Verwendung von Holzwerkstoffplatten als Steg ist von einer energetischen Verwertung auszugehen; Holzträger können zu Holzspänen (für Spanplatten oder Mantelsteine verarbeitet werden.
Holz-C-Träger	Recycling zu Holzspänen oder energetische Verwertung.
KVH	Wieder- oder Weiterverwendung als Unterkonstruktion, Recycling zu Holzspänen oder energetische Verwertung.
Alu-Anker auf Schaumglas	Werden vermutlich dem Aluminiumrecycling zugeführt.
Anker aus Hart-PVC	Werden vermutlich verbrannt (nachteilig: hoher Chlorgehalt) oder als Verunreinigung mit dem Mauerwerk deponiert.
Polyamidanker (Phönix)	Werden vermutlich verbrannt oder als Verunreinigung mit dem Mauerwerk deponiert.
Putzträger inkl. Außenputz	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Da Putzträger ist auf der Unterkonstruktion nur mechanisch befestigt und kann daher i.d.R. einfach von dieser getrennt werden. Von einer Trennung des Putzträgers und des Putzes ist nicht auszugehen.
EPS, Korkplatte, Holzfaserplatte	Voraussichtlich gemeinsam mit dem Putz in MVA entsorgt
Holzwolle-Leichtbauplatte	Gemeinsam mit dem Putz auf Deponie entsorgt.

Hinterlüftete Fassade	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Gute Trennbarkeit vom Untergrund und der Bestandteile untereinander. Wiederverwendung von Einzelkomponenten ist nach Prüfung grundsätzlich möglich.
Fassadenelemente aus Faserzement	Recycling zu hochwertigen Produkten wird derzeit nicht durchgeführt; Deponierung (keine problematischen Inhaltsstoffe)
Fassadenelemente aus Holz	Energetische Verwertung von unbehandelten oder thermisch behandelten Hölzern unproblematisch; nachteilig bei behandelten Hölzern ist der meist damit verbundene Halogen- oder Schwermetallgehalt.
Fassadenelemente aus Metall	Recycling
Fassadenelemente aus Keramik	Deponierung, keine problematischen Inhaltsstoffe
Holzlatten	Recycling zu Holzspänen oder energetische Verwertung.
Metalllatten	Recycling
Holzschalung mit Windsperre,	Energetische Verwertung der i.d.R. unbehandelten Hölzern unproblematisch.
Winddichte Holzfaserplatten	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten keine Zusatzstoffe.
Luftdichte Folie aus Polyethylen oder Polypropylen	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; PE und PP selbst haben unproblematische Zusammensetzung, jedoch Einsatz von halogenorganischen Stoffen als Flammschutzmittel möglich

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Entsorgungsbewertung von drei Varianten der außenseitigen Wärmedämmung von Außenwänden mit verputzen Systemen.

Als Außenwand wird ein 30 cm dickes Mauerwerk (Naturstein oder Ziegel) mit Kalkzement-Innenputz angenommen. Auf die Außenwand werden folgende Dämmstoffvarianten aufgebracht:

- 30 cm Wärmedämmverbundsystem mit EPS-Platten
- 34 cm Wärmedämmverbundsystem mit Mineralschaumplatten
- 30 cm Konstruktion aus Doppel-T-Träger mit Dämmung aus Zellulosefaserdämmung, Außenputz auf 4 cm Holzwolle-Leichtbauplatten

	Variante 1 (EPS)		***Variante 1a (EPS)***		***Variante 2 (Mineralschaum)***		***Variante 3 (Zellulose)***	
Entsorgungseigenschaften	***Vol %***	***Note***	***Vol %***	***Note***	***Vol %***	***Note***	***Vol %***	***Note***
Stofflich verwertet	*47*	*3,0*	*0*	*0,0*	*45*	*3,0*	*45*	*2,0*
Energetisch verwertet	*0*	*0,0*	*0*	*0,0*	*0*	*0,0*	*0*	*0,0*
Beseitigt	*53*	*4,0*	*100*	*3,5*	*55*	*2,1*	*11*	*3,0*
Recyclierbarkeit		*4,9*		*6,7*		*3,3*		*3,0*

Im Basisszenario wird angenommen, dass die Wand recycliert wird, auch wenn sie durch Reste des Wärmedämmverbundsystems verunreinigt ist. Das zweite Szenario für die erste Variante („Variante 1a“) beschreibt die Entsorgungseigenschaften, wenn das Mauerwerk auf Grund der Verunreinigungen mit EPS nicht recycliert werden würde.

Am besten schneidet die Variante mit der vorgestellten Holzkonstruktion aus. Optimierungspotenzial hat auch diese Variante, indem ein Dämmstoff ohne Zusatzstoffe und statt Doppel-T-Träger Holzkonstruktion verwendet wird (Note für Recyclierbarkeit: 1,2)

Für die hinterlüftete Fassaden werden ebenfalls drei Beispiele angeführt. Bestandswand ist wieder ein Mauerwerk mit innenseitigem Kalkzementverputz. Die Dämmung wird in den verschiedenen Varianten folgendermaßen ausgeführt:

- 30 cm Zellulosefaserflocken zwischen Doppel-T-Träger mit Holzverschalung, Holzfassade auf Polsterhölzer
- 30 cm Zellulosefaserdämmung zwischen Holzkonstruktion, sonst wie Variante 1
- 30 cm EPS-Platten zwischen Anker, mit Dübel am Mauerwerk fixiert, Aluminiumfassaden auf Aluminiumträger

	Variante 1 (Doppel-T)		***Variante 2 (Holz)***		***Variante 3 (Aluminium)***	
Entsorgungseigenschaften	***Vol %***	***Note***	***Vol %***	***Note***	***Vol %***	***Note***
Stofflich verwertet	*45*	*2,0*	*48*	*2,0*	*49*	*2,0*
Energetisch verwertet	*53*	*2,7*	*50*	*1,0*	*48*	*2,0*
Beseitigt	*2*	*1,8*	*2*	*3,0*	*3*	*3,1*
Recyclierbarkeit		*2,6*		*1,1*		*2,0*

Die hinterlüfteten Varianten schneiden im Durchschnitt besser ab als die verputzten Varianten.

5.4 Innenseitige Wärmedämmung von Außenwänden

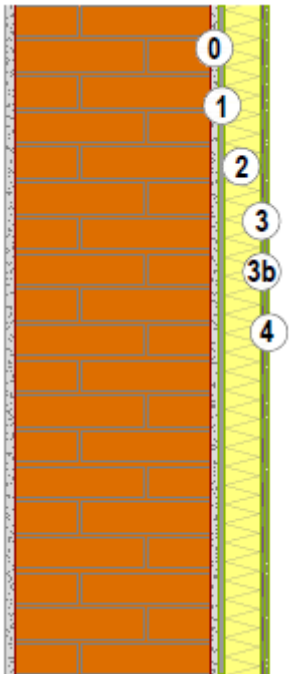
Die innenseitige Wärmedämmung von Außenwänden birgt eine Reihe von bauphysikalischen Herausforderungen, die vor allem mit dem Feuchteverhalten der innengedämmten Wand zusammenhängen (siehe Abschnitt 3 für Details. . Als Referenz-Wärmewiderstand wurde eine 8 cm starke homogene Dämmstoffschicht mit einer Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,04 W/mK gewählt. Damit ergeben sich die folgenden Bezugs-Kennwerte:

Wärmewiderstand funktionale Einheit	2,0	m²K/W
U-Werte saniert	0,25– 0,40	W/m²K

Besonders für Grunderzeitgebäude mit Holzbalkendecken ist die Dimensionierung mittels hygrothermischer Simulation erforderlich. Je nach Randbedingungen ergeben sich teilweise deutlich reduzierte Dämmstärken oder es ist eine Temperierung der Holzbalkenköpfe vorzusehen (siehe Abschnitt 3).

5.4.1 Beschreibung und Bewertung im Detail

5.4.1.1 Wärmedämmverbundsystem mit kapillarleitfähigen Dämmstoff



Dämmstoffe:

Calciumsilikatplatten

Holzfaserplatten

Schilfplatten

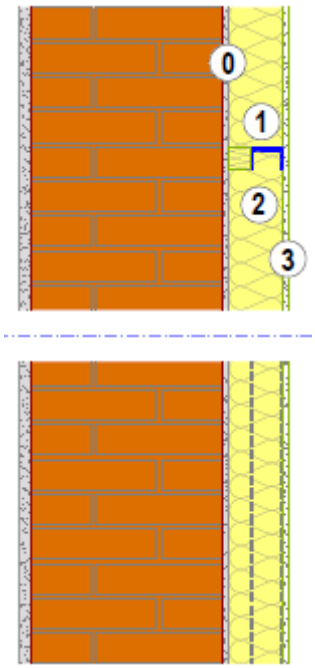
Perliteplatten

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
0-Ausgleich	▪ *Mineralische Ausgleichsschicht wenn erforderlich*	*Nach Erfordernis*
1-Kleber	▪ *Mineralischer Kleber vollflächig laut Systemhersteller, kapillarleitfähig*	*je nach Untergrund*
2-Dämmstoff	▪ *einlagig, vollflächig verklebt*	*8 cm (λ = 0,040 W/mK)*
3-Klebespachtel	▪ *Mineralischer Kleber kapillarleitfähig, diffusionsoffen*	*ca. 2 mm*
3b-Armierung (opt.)	▪ *Glasfaserarmierung?*	
4-Innenputz (opt.)	▪ *Kalkputz* ▪ *Kalkzementputz* ▪ *Lehmputz*	*1,5 cm* *1,5 cm* *1,5 cm*

In der folgen Tabelle werden die Dicken der verwendeten Dämmstoffe angegeben:

Dämmstoff	Dicke [m]
Calciumsilikatplatte	0,09
Holzwolle	0,08
Calciumsilikatplatte + Kalkputz	0,09
Holzwolle + Kalkputz	0,08
Calciumsilikatplatte + Lehmputz	0,09
Holzwolle + Lehmputz	0,08

5.4.1.2 Wärmedämmung kapillarleitfähig zwischen Konstruktion ohne Dampfbremse



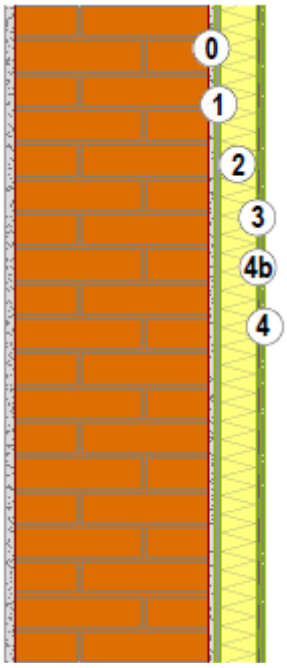
Dämmstoffe:

Zellulose

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
0-Ausgleich	▪ *Holzklötze wenn erforderlich*	*Nach Erfordernis*
1-Steher	▪ *Holz- Steher 5/8 freistehend* ▪ *Metallständer 7,5 cm freistehend*	
2-Dämmstoff	▪ *Zellulose in Hohlraum verfüllt* ▪ *Zellulose nass aufgespritzt*	*9 cm (λ = 0,040W/mK)**
3-Bauplatten	▪ *Gipsfaserplatte*	*1,25 cm*

Anmerkung: Wärmewiderstand +10% durch Wärmebrückenwirkung Konstruktion

5.4.1.3 Wärmedämmverbundsystem mit dampfdichten Dämmstoff



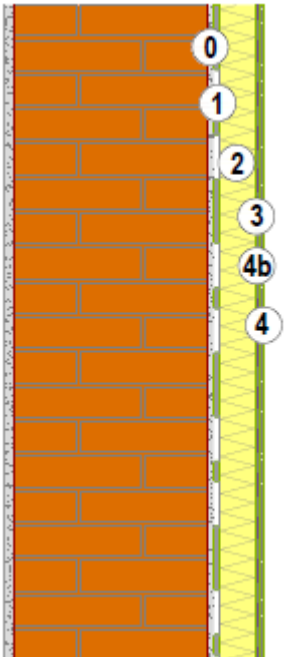
Dämmstoffe:

Schaumglas

Vakuumdämmung

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
0-Ausgleich	▪ *Mineralische Ausgleichsschicht wenn erforderlich*	*Nach Erfordernis*
1-Kleber	▪ *Kaltbitumenkleber vollflächig*	*je nach Untergrund*
2-Dämmstoff	▪ *Schaumglas einlagig, vollflächig verklebt, Stöße verklebt* ▪ *Vakuumdämmpaneel mit EPS kaschiert*	*8 cm (λ = 0,040 W/mK)* *2 cm (λ = 0,008 W/mK)*
3-Klebespachtel	▪ *Kaltbitumenkleber vollflächig*	*2 mm*
4b-Armierung (opt.)	▪ *Glasfaserarmierung?*	
4-Innenputz (opt.)	▪ *Kalkzementputz* ▪ *Lehmputz* ▪ *Kalkputz*	*1,5 cm* *1,5 cm* *1,5 cm*

5.4.1.4 Wärmedämmverbundsystem mit dampfbremsenden Dämmstoff



Dämmstoffe:

Backkork

Expandiertes Polystyrol

PUR

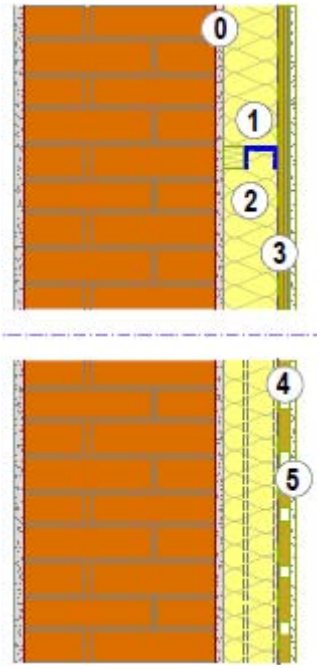
Vakuumdämmung

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
0-Ausgleich	▪ *Mineralische Ausgleichsschicht wenn erforderlich*	*Nach Erfordernis*
1-Kleber	▪ *Mineralischer Kleber*	*je nach Untergrund*
2-Dämmstoff	▪ *einlagig, vollflächig verklebt*	*8 cm (λ = 0,040W/mK)*
3-Klebespachtel	▪ *Mineralischer Kleber*	*ca. 2 mm*
4b-Armierung (opt.)	▪ *Glasfaserarmierung?*	
4-Innenputz	▪ *Kalkzementputz* ▪ *Lehmputz* ▪ *Kalkputz* ▪ *Gipskartonplatte* ▪ *Gipsfaserplatte*	*1,5 cm* *1,5 cm* *1,5 cm* *1,5 cm* *1, 25 cm*

In der folgen Tabelle werden die Dicken der verwendeten Dämmstoffe angegeben:

Dämmstoff	Dicke [m]
Backkork	0,08
EPS-F	0,08
PUR	0,06
Vakuumdämmung	0,02

5.4.1.5 Wärmedämmung zwischen Konstruktion mit Dampfbremse



Dämmstoffe:

Zellulose

Hanf

Flachs

Schafwolle

Holzfaser

Glaswolle

Steinwolle

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
0-Ausgleich	▪ *Holzklötze wenn erforderlich*	
1-Steher	▪ *Holz- Steher 5/8* ▪ *Metallständer 7,5 cm* ▪ *Schwingbügel (korrosionsgeschützt)*	
2-Dämmstoff	▪ *Faserdämmstoff*	*8 cm (λ = 0,040W/mK)**
3-Dampfbremse	▪ *PE-Dampfbremse*	*ca 0,02 cm*
4-Installationsraum	▪ *Lattung* ▪ *Sparschalung* ▪ *Metalllatten* ▪ *Putzträgerplatte (z.B. HWL)*	*2,5 bis 5 cm*
5-Bauplatten	▪ *Gipsfaserplatte* ▪ *Gipskartonplatte* ▪ *Holzplatten* ▪ *Lehmputz armiert* ▪ *Kalkzementputz armiert*	*1,25 cm* *1,5 cm* *2 cm* *1,5 cm* *1,5 cm*

In der folgen Tabelle werden die Dicken der verwendeten Dämmstoffe angegeben:

Zellulose	0,09
Hanf	0,09
Flachs	0,09
Schafwolle	0,09
Holzfaser	0,09
Glaswolle	0,09
Steinwolle	0,09

Anmerkung: Wärmewiderstand +10% durch Wärmebrückenwirkung Konstruktion

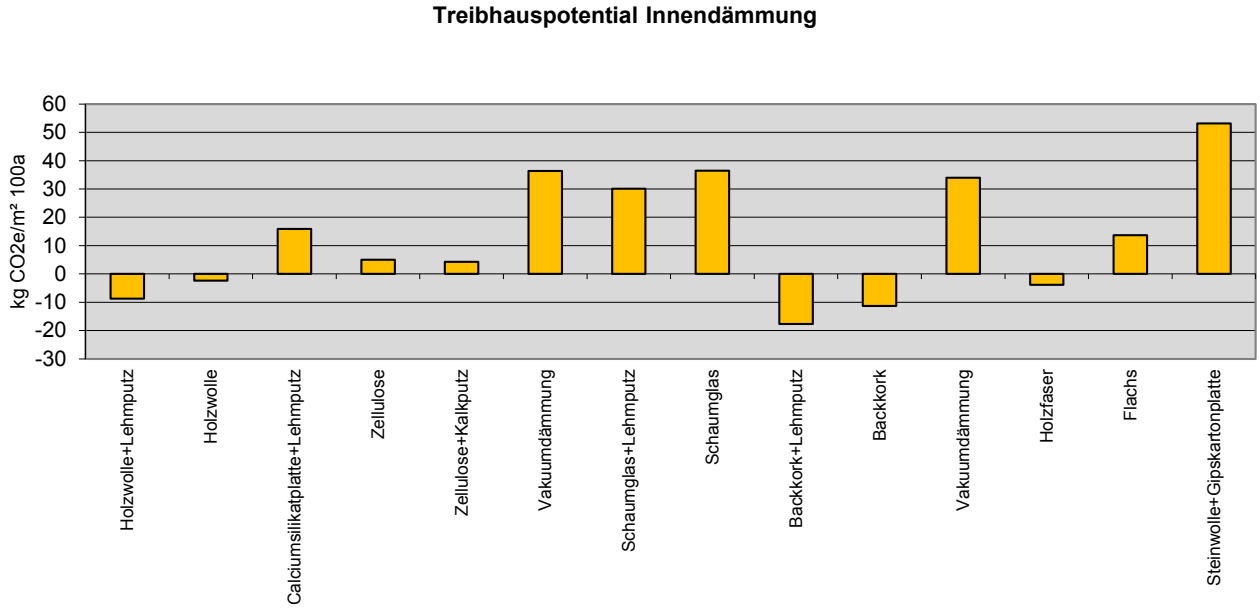
5.4.2 Zusammenschau über den Lebenszyklus

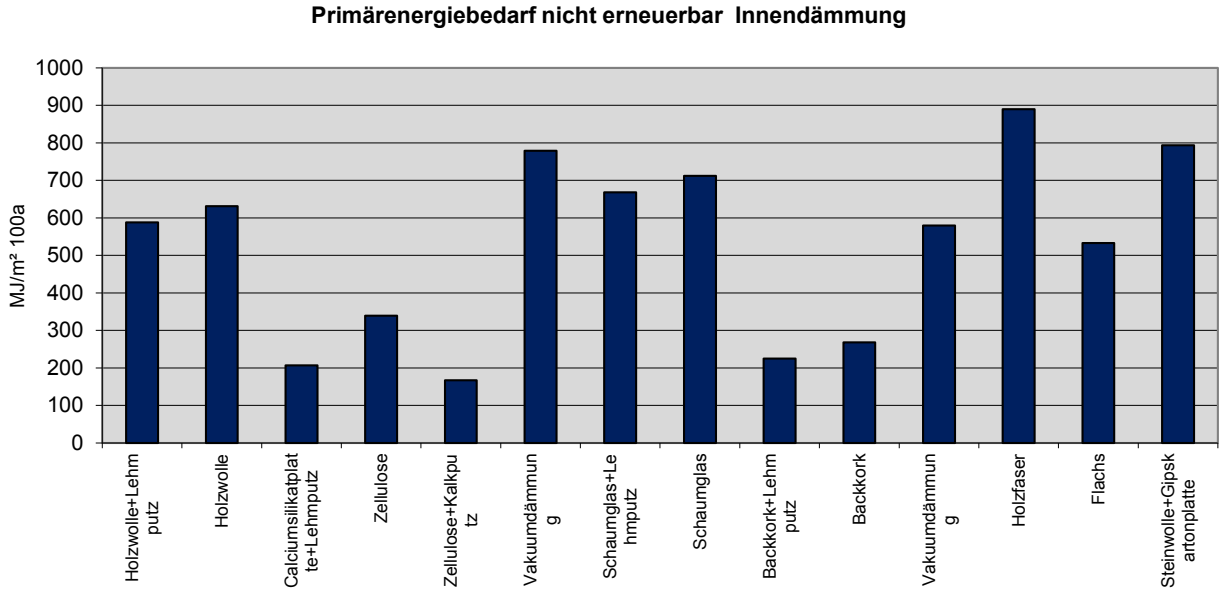
5.4.2.1 Herstellung

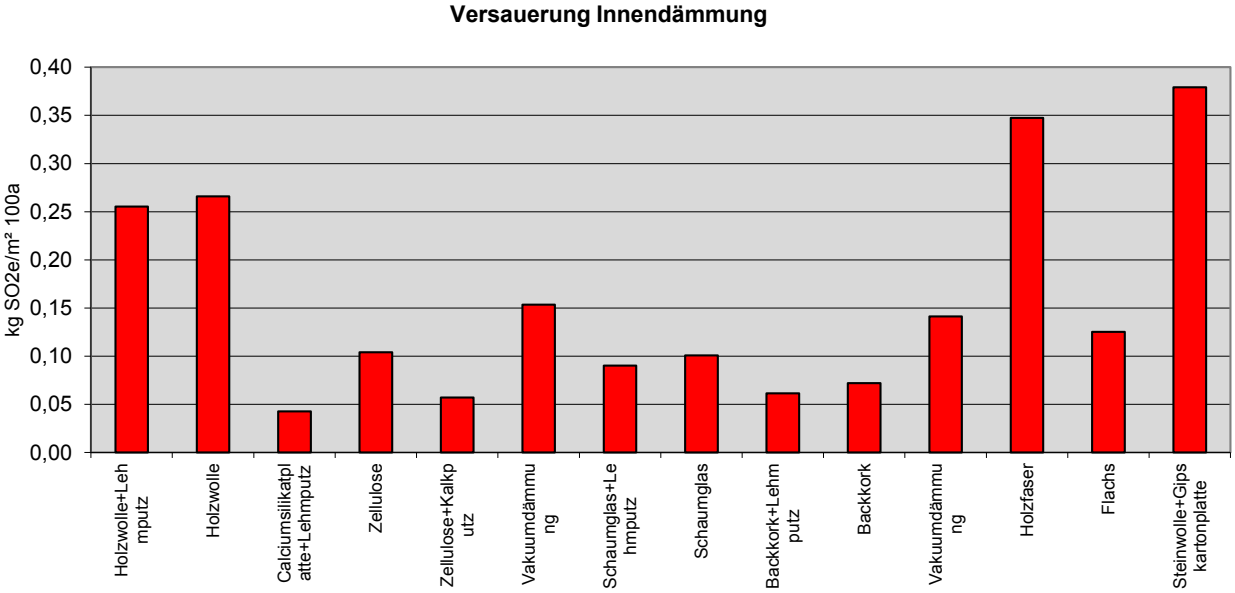
Die 8 dargestellten Systeme unterscheiden sich

- in der Flexibilität zum potentiellen Einsatz unterschiedlicher Dämmstoffe
- in der Art der Befestigungssysteme:
- Bei den Wärmedämmverbundsystemen übernimmt der Dämmstoff auch die Tragfunktion für den Außenputz
- Für die unterschiedlich vorgefertigten Systeme sind unterschiedliche Holz-Tragsysteme im Einsatz
- Im Fall von hinterlüfteten Konstruktionen sind auch eine Reihe von metallischen, bzw. High-Tech Kunststoffen im Einsatz.

Die Belastungen in den betrachteten Umweltkategorien hängen vor allem vom Aufwand zur Herstellung des Dämmstoffs ab. Dieser hängt v.a. vom Herstellungsverfahren, dem Rohstoff, den Zusatzstoffen und der erforderlichen Dichte ab. Die Herstellung aller anderen benötigten Baustoffe ist demgegenüber verhältnismäßig gering.







- Günstig liegen vor allem Systeme mit geringfügig bearbeiteten Dämmstoffen.

5.4.2.2 Einbau und Transporte (Ausführungsmängel)

Die dargestellten Systeme unterscheiden sich

- in der Befestigungstechnik (kleben – schrauben)
- in der Anpassungsflexibilität bezüglich Ebenheit der Bestandswand und Haftung an der letzten Bestands-Baustoffschicht

Geklebte Systeme können meist mit weniger Aufwand an geometrische Anforderungen angepasst werden, z.B. an Fensterlaibungen.
Andererseits passen sich eingeblasene oder aufgespritzte Dämmstoffe ideal an Unebenheiten der Bestandswand an.

Die Innendämmung bietet den Vorteil, dass die ArbeiterInnen bei der Montage vor Wind und Wetter geschützt sind. Andererseits können die Immissionen von Staub, Schadstoffen oder Lärm im Innenraum zu

deutlich höheren Belastungen führen. Daher sind entsprechende Schutzmaßnahmen besonders wichtig (Absaugung von Schadstoffen, Lärmschutz etc.).
Die sonstigen Arbeitsplatzbelastungen bei der Verarbeitung decken sich mit jenen der Einzelkomponenten. Schutzmaßnahmen sind besonders beim Einblasen von Dämmstoffen erforderlich, da dabei die Staubemissionen beträchtlich sein können. Grundierungen können hohe Lösemittelgehalte aufweisen.
Bei Kalkhydrat- oder zementhaltigen Produkten können bei unzureichendem Arbeitsschutz raue Hände, Verätzungen etc. auftreten (Maurerkrätze). Mit dem Tragen von Handschuhen kann Abhilfe geschaffen werden.

5.4.2.3 Nutzung und Instandhaltung

Die Beurteilung in der Nutzungsphase bezieht sich auf die Qualität der gewünschten Funktionen, auf den Instandsetzungsaufwand, der Nutzungsdauer der einzelnen Schichten und die Gesundheitsverträglichkeit für die NutzerInnen.
Die Härte der innersten Schicht und deren Ausbesserbarkeit sind Vorraussetzung für eine langlebige Funktionserfüllung: Hier sind Dickputzsysteme oder Plattenbaustoffe von Vorteil.
Für die Erhaltung des **Wärmeschutzes** und damit auch der hohen Innenoberflächentemperaturen der sanierten Bauteil ist die Vermeidung einer Hinterspülung der Wärmedämmung mit warmer Raumluft sowie die andauernde Vermeidung von Luftspalten, die vom Warmen ins Kalte führen, relevant (i.e. die Formstabilität der Dämmstoffe, Einbau, Anschlüsse, strömungsdichte Schicht). Da vor allem im Bestand die vorhandenen Außenwände oft nicht eben sind, ist auf eine geeignete Vorbereitung des Untergrundes gemäß Normen und Ausführungsregeln zu achten. Vorteile besitzen diesbezüglich Systeme mit Einblasdämmstoffen, da der Dämmstoff sich exakt an die Begrenzung anpassen kann. Systeme mit steifen Dämmstoffen (WDVS), die das Verfüllen des Luftspalts zwischen Fertigteil und Bestandswand erfordern, sind hier benachteiligt, da bereits im System Luftspalte vorkommen, deren ungünstige Wirkung durch entsprechende Untergrundvorbereitung, angepasste Anschlussdetails und eine gute Ausführung vermieden werden muss.
Der **Schallschutz** der Bestandswand wird in fast allen Fällen verbessert, wobei die Verbesserung des Schalldämmmaßes stark von den Eigenschaften der Bestandswand und der Biegeweichheit der äußeren Begrenzung abhängt. Wärmedämmverbundsysteme mit steifen Dämmstoffen können das Schalldämmmaß auch herabsetzen. Durch höhere Putzstärken oder den Umstieg auf weichere Dämmstoffarten kann dies verhindert werden. Zu achten ist vor allem auf Schallnebenwege in andere Zimmer, bzw. Wohnungen
Die Wirkung der Dämmsysteme auf den **Feuchteschutz** ist prinzipiell ein wesentlicher, da durch die Innendämmung der Taupunkt einer Konstruktion stark nach innen gezogen wird. Die dargestellten Systeme unterscheiden sich stark voneinander:

- Dämmstoff diffusionsoffen, nicht kapillarleitfähig: z.B. Vorsatzschale Mineralwolle, Dampfsperre, Gipskartonplatte
- Dämmstoff dampfsperrend, nicht kapillarleitfähig: z.B. EPS oder Kork verputzt
- Dämmstoff diffusionsoffen, kapillarleitfähig: z.B. CaSi – Platten verspachtelt oder Zellulose aufgespritzt mit Gipsfaserplatte auf Ständerkonstruktion, Holzfaserplatten
- Dämmstoff dampfdicht, nicht kapillarleitfähig: z.B. Schaumglas verspachtelt

Die folgenden Faktoren haben wesentlichen Einfluss auf das Feuchteverhalten:

- Dämmstoffqualität: Dämmstärke und Feuchteverhalten (Diffusion, Kapillarleitfähigkeit)
- Schlagregenbeanspruchung (Klima, Orientierung, Beschichtung, ..)
- Absorption Sonnenstrahlung (Farbe Mauerwerk, kann zu beschleunigter Austrocknung führen)
- Innenraumluftkonditionen (Sondernutzungen?)
- Kritische Stellen (Einbindung Innenwände und Decken (Balkenköpfe), Gebäudeecken ...)

Risiken, die durch gute Planung und Ausführung vermieden werden müssen:

- Strömungsdichte Anschlüsse an alle einbindenen Bauteile
- Konzept für Steckdosen und andere typische Installationen
- Information der Nutzer

Kapillarleitfähige Systeme bieten bei solider Ausführung diesbezüglich eine höhere Fehlertoleranz.
Vor allem die Einbindung von Holztramdecken kann problematisch sein:

- Durch Innendämmung Absenkung Temperatur in Balkenkopf, dadurch Erhöhung relative Feuchte
- Trame und Hohlraum zwischen den Tramen leitet Feuchte bis in den kälteren Außenbereich
- Entscheidend für eine gute Funktionsweise ist die Vermeidung von Feuchteeintrag durch Schlagregen von außen

Eine erste Vordimensionierung wird im Kapitel Innendämmung gegeben.
Bauteilheizungen können mithelfen, das Problem zu entschärfen.

In den meisten Fällen ist eine Prüfung durch den Bauphysiker unbedingt anzuraten, gegebenfalls ist eine Feuchtesimulation durchzuführen!! Siehe auch WTA-Blätter!!
Hohe Dämmstärken sind bei einbindenden Holzdecken nicht anzustreben, sie sollten unter unter 5 cm liegen, und das auch nur, wenn die Randbedingungen entsprechend sind, siehe Spezialkapitel in Abschnitt 3.

Schadstoffimmissionen hängen vor allem von den in den Dämmstoffen enthaltenen flüchtigen Stoffen ab. Diese können mittels Diffusion oder auch über undichte Stellen nach innen abgegeben werden. Relevant sind vor allem Styrol- und Pentanimmissionen aus Polystyrol-Dämmstoff sowie Formaldehydimmissionen aus entsprechend verklebten Dämmstoffen und Holzwerkstoffen. Da warmseitig eine luftdichte Ebene vorhanden sein sollte, ist ein Transport von Fasern unwahrscheinlich, bzw. nur in geringem Maße möglich.

5.4.2.4 Rückbau, Wiederverwertung und Entsorgung

Systemkomponente	Beschreibung der Entsorgungseigenschaften
Dämmstoffe im Wärmedämmverbundsystem	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Verklebte und verdübelte Innendämmsysteme sind vor Ort nur mit hohem Aufwand und in Recyclinganlagen nur mit hohem Verlust vom Mauerwerk zu trennen. Aus heutiger wirtschaftlicher Sicht wird die Trennung nur so weit erfolgen, dass abfallwirtschaftliche Vorgaben erfüllt werden.
Calciumsilikatplatten, Perliteplatten, Schaumglasplatten	Von einer stofflichen Verwertung ist aufgrund der Zusammensetzung und der Verklebung und Verunreinigungen nicht auszugehen. Die Deponierung ist unproblematisch.
Holzfaserplatten (Nassverfahren), Schilfplatten ohne Zusatzstoffe	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten keine Zusatzstoffe. Mit nicht brennbaren Bestandteilen des WDVS verunreinigt.
Schilfplatten mit Zusatzstoffen	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten Bindemittel oder Flammschutzmittel als Zusatzstoffe, die sich i.d.R. in MVA unproblematisch verhalten. Mit nicht brennbaren Bestandteilen des WDVS verunreinigt.
Polyurethanplatten	Energetische Verwertung in MVA, nachteilig: im Vergleich zu anderen Kunststoffen geringerer Heizwert, geringes Gewicht und hoher Stickstoffgehalt.
Vakuumdämmplatte	Über die Entsorgungswege für Vakuumdämmplatten ist uns nichts bekannt. Laut BINE projektinfo 04/01 bestehen die Platten aus „rezyklierbaren, toxikologisch unbedenklichen Materialien“. Dafür müssten aber die Verbundfolie aus Kunststoff und Aluminium (ev. nur Alu-Bedampfung) vom Dämmkern aus Kieselsäure sauber getrennt werden, wovon unter den derzeitigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen nicht auszugehen ist.
Befestigungsmittel im Wärmedämmverbundsystem	
Klebstoffe, Dübel, Armierungsgewebe	Trennung vom Dämmstoff in Aufbereitungsanlagen möglich, aber derzeit wirtschaftlich nicht attraktiv. Erfolgt keine Trennung werden die Befestigungsmittel gemeinsam mit dem Dämmstoff entsorgt, d.h. entweder deponiert oder verbrannt (siehe Dämmstoffe im WDVS).
Putze	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Hoher Aufwand zur Trennung des Putzes vom Dämmstoff, aus wirtschaftlicher Sicht nicht attraktiv. Ausnahme: Lehmputz erweicht bei Feuchtezugabe, kann daher abgewaschen werden.
Mineralisch Innenputz	Erfolgt keine Trennung werden die Putze gemeinsam mit dem Dämmstoff entsorgt, d.h. entweder deponiert oder verbrannt (siehe Dämmstoffe im Wärmedämmverbundsystem).
Dämmstoff zwischen Unterkonstruktion	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Dämmstoff und Unterkonstruktion sind nicht oder nur mechanisch (angetackert) miteinander verbunden und gut voneinander trennbar. Die Dämmstoffe wären daher theoretisch auch wiederverwendbar.
Dämmstoffe aus Zellulose, Flachs, Hanf, Holzspäne, Holzfaser (Trockenverfahren), Schafwolle	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten Bindemittel oder Flammschutzmittel als Zusatzstoffe, die sich i.d.R. in MVA unproblematisch verhalten.
Dämmstoffe aus Stroh, Holzfaser (Nassverfahren)	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten keine Zusatzstoffe.
Mineralwolle	In der heutigen Entsorgungspraxis ist das PC-Recycling von Mineralwolle noch nicht weit fortgeschritten. Die Mineralwolle wird daher deponiert (nachteilig: geringe Rohdichte, Fasern) oder in der MVA entsorgt (nachteilig: kein Heizwert, Faserflug).
Unterkonstruktion	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Dämmstoff und Unterkonstruktion sind nicht oder nur mechanisch (angetackert) miteinander verbunden und gut voneinander trennbar. Die Unterkonstruktion kann auch mit vergleichsweise geringem Aufwand von der Wand geschraubt werden.
Holz- Ständer	Wieder- oder Weiterverwendung als Unterkonstruktion, Recycling zu Holzspänen oder energetische Verwertung.
Metall-Ständer	Metallrecycling

Schwingbügel (korrosionsgeschützt)	Werden vermutlich dem Metallrecycling zugeführt.
Dampfbremse	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Gute Trennbarkeit von der Unterkonstruktion; von Rissen und Löchern sowie Verschmutzungen und Gebrauchsspuren ist auszugehen; Wiederverwendung auf Grund der hohen Anforderungen an Dampfbremsen nicht anzunehmen.
PE-Dampfbremse	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; PE und PP selbst haben unproblematische Zusammensetzung, jedoch Einsatz von halogenorganischen Stoffen als Flammschutzmittel möglich
Variable Dampfbremse (Polyamid)	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; die uns bekannten Systeme enthalten keine entsorgungstechnisch relevanten Schwermetalle oder halogenorganische Stoffe.
Innenseitige Beplankung	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Gute Trennbarkeit von der Unterkonstruktion; von zerstörungsfreiem Ausbau (Voraussetzung für Wiederverwendung) ist – außer z.B. bei sehr wertvollen Holzelementen - eher nicht auszugehen.
Gipskarton- oder Gipsfaserplatten	Gipskartonplatten können in Aufbereitungsanlagen zerkleinert und zermahlen werden, der Karton wird mechanisch vom Gips abgetrennt und abgesaugt. Dieses Verfahren wird für Neumaterialien und Verschnitte bereits angewandt. Recycling von PC-Abfällen aus Gipsbauplatten findet in Österreich in der Praxis nicht statt. Gipsbauplatten werden deponiert, nachteilig: mögliche Sulfatemissionen.
Holzelemente	Recycling zu Holzspänen oder energetische Verwertung. Beschichtung oder Imprägnierung i.d.R. mit wirkstofffreien Systemen und daher entsorgungstechnisch unproblematisch.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Entsorgungsbewertung von drei Varianten der innenseitigen Wärmedämmung von Außenwänden.

Als Außenwand wird ein 30 cm dickes Mauerwerk (Naturstein oder Ziegel) mit Kalkzement-Innenputz angenommen. Auf die Außenwand werden folgende Dämmstoffvarianten aufgebracht:

- 33,75 cm Calciumsilikatplatte, verputzt
- 30 cm Steinwolle zw. Stahlankern, mit Verkleidung aus Gipsfaserplatte, PE-Dampfbremse
- 30 cm Zellulosefaserplatte, sonst wie Variante 2, allerdings keine Dampfbremse erforderlich

Entsorgungs-eigenschaften	**Variante 1 (Calciumsilikat)**		**Variante 2 (Steinwolle)**		**Variante 3 (Zellulose)**	
	Vol %	**Note**	**Vol %**	**Note**	**Vol %**	**Note**
Stofflich verwertet	44	3,0	48	2,0	48	2,0
Energetisch verwertet	0	0,0	0	0,0	48	3,0
Beseitigt	56	2,1	52	4,0	5	3,5
Recyclierbarkeit		3,3		4,5		2,7

Es wird angenommen, dass die Wand recycliert wird, auch wenn sie durch Reste des Wärmedämmverbundsystems verunreinigt ist. Andernfalls würde z.B. die Variante 1 eine Recyclierbarkeitsnote von 5,1 erhalten.

5.5 Wärmedämmung von Steildächern

Die Wärmedämmung von Steildächern erfordert für die Erreichung des Passivhausniveaus je nach Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs und der Systemcharakteristika üblicherweise Dämmstärken von ca. 36 bis 40 cm. Als Referenz-Wärmewiderstand wurde eine 40 cm starke homogene Dämmstoffschicht mit einer Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,04 W/mK gewählt. Damit ergeben sich die folgenden Bezugs-Kennwerte:

Wärmewiderstand funktionale Einheit	10,0	m²K/W
U-Werte saniert	0,09 - 0,10	W/m²K

Anmerkung: In den Konstruktionsvarianten werden die Dämmstärken aus den sanierten Bauteilen angegeben, die von dem angegebenen Wärmewiderstand deutlich abweichen können.

In der folgenden Tabelle werden die verwendeten Dämmstärken für die unterschiedlichen Dämmungen angegeben:

Dämmung für Aufdopplung Bestandsdach	**Stärke [m]**
Zellulose	0,44
Flachs	0,44
Hanf	0,44
Holzfaser	0,44
Schafwolle	0,44
Glasswolle	0,44
Steinwolle	0,44

Anmerkung: Wärmewiderstand +10% durch Wärmebrückenwirkung Konstruktion

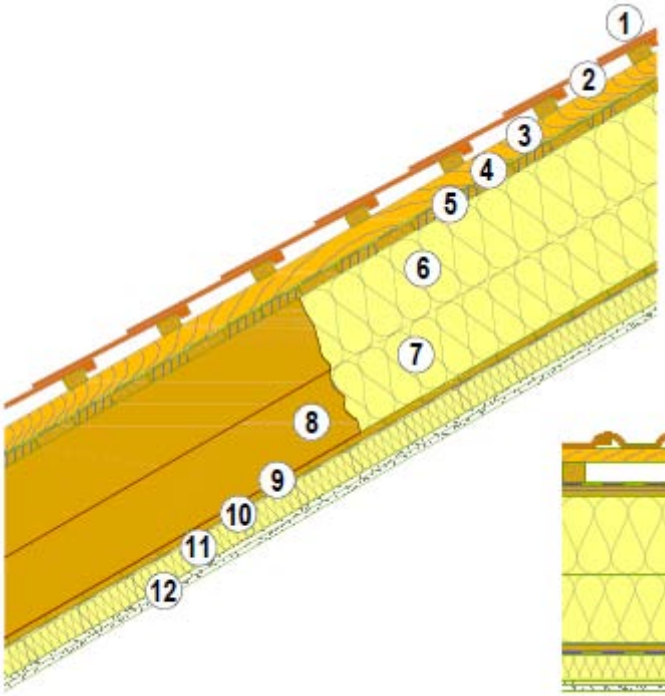
Dämmung für Aufsparrendämmung	
Holzfaser	0,40
Glaswolle	0,40
Steinwolle	0,40
Polystyrol expandiert	0,36
Polyurethan-Hartschaum	0,30

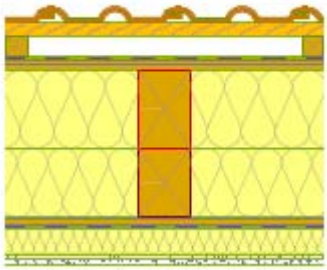
Dämmung für Teilvorfertigung und Vorfertigung	**Stärke [m]**
Zellulose	0,44
Flachs	0,44
Hanf	0,44
Holzfaser	0,44
Schafwolle	0,44
Glasswolle	0,44
Steinwolle	0,44

Anmerkung: Wärmewiderstand +10% durch Wärmebrückenwirkung Konstruktion

5.5.1 Beschreibung und Bewertung im Detail

5.5.1.1 Aufdopplung Bestandsdach bauseits, Vorsatzschale innen





Dämmstoffe:

Zellulose

Hanf

Flachs

Schafwolle

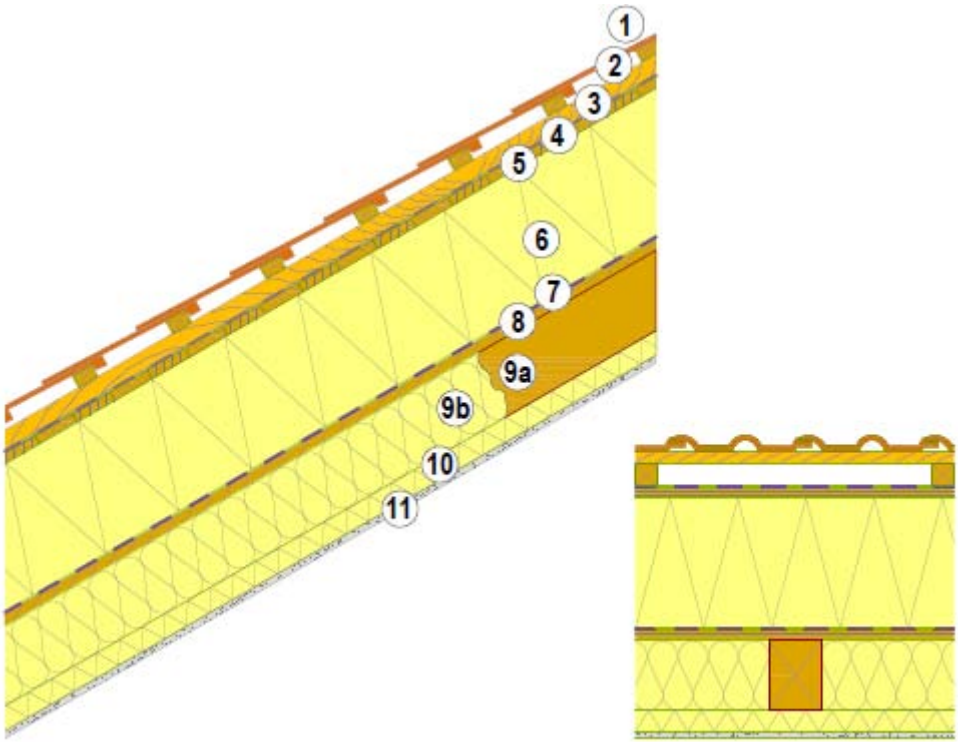
Holzfaser

Glaswolle

Steinwolle

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Dacheindeckung	▪ *Ziegel* ▪ *Betonziegel* ▪ *Blechziegel*	*je nach Untergrund*
2-Lattung	▪ *Holzlatten 3/5*	*3 cm*
3-Konterlattung	▪ *Holzlatten 5/5*	*5 cm*
4-Windsperre	▪ *Windsperre, UV-beständig nach Erfordernis*	*0,2 mm*
5-Platte	▪ *Holzschalung* ▪ *Gipsfaserplatte* ▪ *Holzfaserplatte NF*	*2,4 cm* *1,5 cm* *1,6 cm*
6-Aufdopplung	▪ *KVH*	*18 cm*
7-Dämmstoff	▪ *Dämmstoff*	*18 cm (λ = 0,040 W/mK)**
8-Dämmstoff	▪ *Dämmstoff*	*16 cm*
8b-Sparren Bestand	▪ *Holzsparren 12/16*	*16 cm*
9-Holzschalung	▪ *Holzschalung*	*2 cm*
10-Dampfbremse	▪ *PE-Dampfbremse*	*0,02 cm*
11-Vorsatzschale	▪ *Schafwolle* ▪ *Glaswolle* ▪ *Steinwolle* *zw. Federbügel*	*6 cm*
12-Bauplatte	▪ *2 Lagen Gipskartonfeuerschutzplatten* ▪ *2 Lagen Gipsfaserplatten*	*3 cm* *2,5 cm*

5.5.1.2 Aufsparrendämmung bauseits



Dämmstoffe:

Zellulose

Hanf

Flachs

Schafwolle

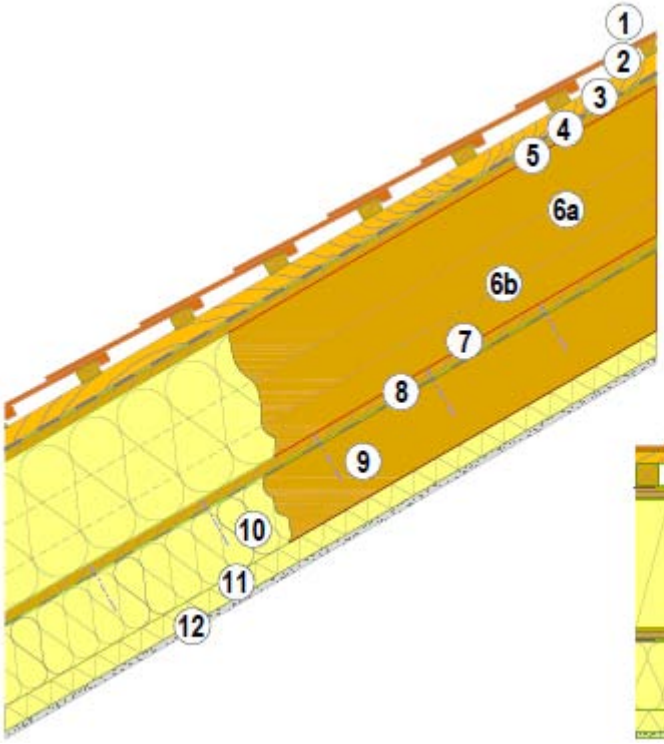
Holzfaser

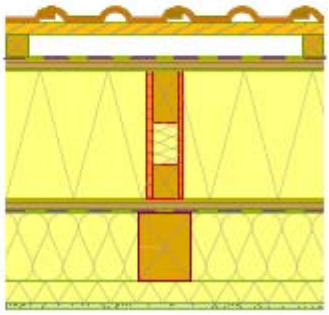
Glaswolle

Steinwolle

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Dacheindeckung	▪ *Ziegel* ▪ *Betonziegel* ▪ *Blechziegel*	*je nach Untergrund*
2-Lattung	▪ *Holzlatten 3/5*	*3 cm*
3-Konterlattung	▪ *Holzlatten 5/5*	*5 cm*
4-Windsperre	▪ *Windsperre, UV-beständig nach Erfordernis*	*0,2 mm*
5-Platte	▪ *Holzfaserplatte Unterdach* ▪ *Holzschalung* ▪ *Gipsfaserplatte*	*2,2 cm* *2,4 cm* *1,5 cm*
6-Dämmstoff	▪ *Dämmstoff druckfest*	*30 cm (λ = 0,040 W/mK)**
7-Dampfbremse	▪ *PE-Dampfbremse*	*0,02 cm*
8-Holzschalung	▪ *Holzschalung Bestand oder neu*	*2 cm*
9a-Sparren Bestand	▪ *Holzsparren 12/16*	*16 cm*
9b-Dämmstoff	▪ *Faserdämmstoff*	*16 cm*
10-Bauplatte Bestand	*Holzwolleleichtbauplatte magnesitgebunden*	*5 cm*
11-Innenputz Bestand	▪ *Kalkzementputz* ▪ *Gipsputz*	*1,5 cm* *1 cm*

5.5.1.3 Teilvorfertigung, Dämmung bauseits





Dämmstoffe:

Zellulose

Hanf

Flachs

Schafwolle

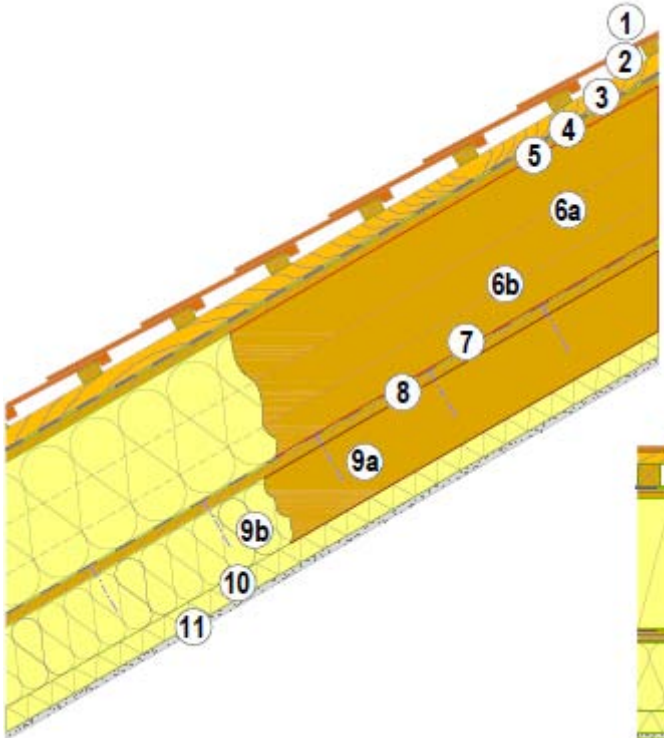
Holzfaser

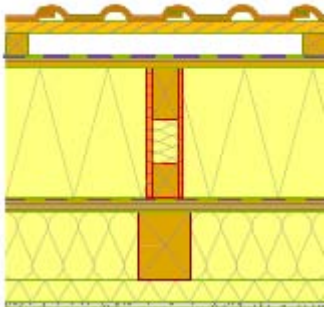
Glaswolle

Steinwolle

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Dacheindeckung	▪ *Ziegel* ▪ *Betonziegel* ▪ *Blechziegel*	*je nach Untergrund*
2-Lattung	▪ *Holzlatten 3/5*	*3 cm*
3-Konterlattung	▪ *Holzlatten 5/5*	*5 cm*
4-Windsperre	▪ *Windsperre, UV-beständig nach Erfordernis*	*0,2 mm*
5-Platte	▪ *Holzfaserplatte Unterdach* ▪ *Holzschalung* ▪ *Gipsfaserplatte*	*2,2 cm* *2,4 cm* *1,5 cm*
6a-Holzkonstruktion	▪ *Boxträger* ▪ *KVH* ▪ *Doppel-T-Träger*	*je nach Dämmstoff*
6b-Dämmstoff	▪ *Faserdämmstoff*	*30 cm (λ = 0,040 W/mK)*
7-Platte	▪ *OSB-Platte*	*2,4 cm*
8-Dampfbremse	▪ *PE-Dampfbremse*	*0,02 cm*
9a-Sparren Bestand	▪ *Holzsparren 12/16*	*16 cm*
9b-Dämmstoff	▪ *Faserdämmstoff*	*16 cm*
10-Bauplatte Bestand	*Holzwolleleichtbauplatte magnesitgebunden*	*5 cm*
11-Innenputz Bestand	▪ *Kalkzementputz* ▪ *Gipsputz*	*1,5 cm* *1 cm*

5.5.1.4 Vorfertigung





Dämmstoffe:

Zellulose

Hanf

Flachs

Schafwolle

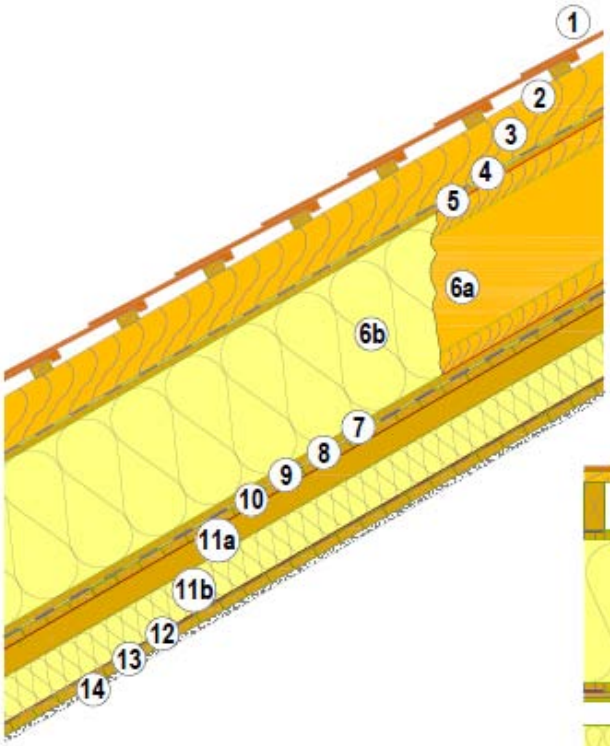
Holzfaser

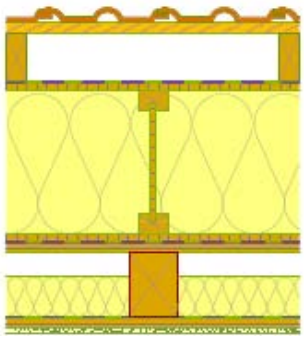
Glaswolle

Steinwolle

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Dacheindeckung	▪ *Ziegel* ▪ *Betonziegel* ▪ *Blechziegel*	*je nach Untergrund*
2-Lattung	▪ *Holzlatten 3/5*	*3 cm*
3-Konterlattung	▪ *Holzlatten 8/5*	*8 cm*
4-Windsperre	▪ *Windsperre, UV-beständig nach Erfordernis*	*0,2 mm*
5-Platte	▪ *Holzfaserplatte Unterdach* ▪ *Holzschalung* ▪ *Gipsfaserplatte*	*2,2 cm* *2,4 cm* *1,5 cm*
6a-Holzkonstruktion	▪ *Boxträger* ▪ *KVH* ▪ *Doppel-T-Träger*	*je nach Dämmstoff*
6b-Dämmstoff	▪ *Faserdämmstoff*	*30 cm (λ = 0,040 W/mK)*
7-Dampfbremse	▪ *PE-Dampfbremse*	*0,02 cm*
8-Platte	▪ *OSB-Platte*	*2,4 cm*
9a-Sparren Bestand	▪ *Holzsparren 12/16*	*16 cm*
9b-Dämmstoff	▪ *Faserdämmstoff*	*16 cm*
10-Bauplatte Bestand	*Holzwolleleichtbauplatte magnesitgebunden*	*5 cm*
11-Innenputz Bestand	▪ *Kalkzementputz* ▪ *Gipsputz*	*1,5 cm* *1 cm*

5.5.1.5 Vorfertigung 2





Dämmstoffe:

Zellulose

Hanf

Flachs

Schafwolle

Holzfaser

Glaswolle

Steinwolle

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Dacheindeckung	▪ *Ziegel* ▪ *Betonziegel* ▪ *Blechziegel*	*je nach Produkt*
2-Lattung	▪ *Holzlatten 3/5*	*3 cm*
3-Konterlattung	▪ *Holzlatten 12/4, Stärke je nach Auskragung*	*12 cm*
4-Windsperre	▪ *Windsperre, UV-beständig nach Erfordernis*	*0,2 mm*
5-Platte	▪ *MDF-Platte* ▪ *Holzfaserplatte Unterdach* ▪ *Holzschalung* ▪ *Gipsfaserplatte*	*1,6 cm* *2,2 cm* *2,4 cm* *1,5 cm*
6a-Holzkonstruktion	▪ *Doppel-T-Träger* ▪ *KVH* ▪ *Boxträger*	*je nach Dämmstoff*
6b-Dämmstoff	▪ *Faserdämmstoff*	*30 cm (λ = 0,040 W/mK)*
7-Platte	▪ *OSB-Platte*	*1,8 cm*
8-Dampfbremse	▪ *PE-Dampfbremse*	*0,02 cm*
9-Bitumenbahn Bestand	▪ *Bitumenbahn*	*0,5 cm*
10-Holzschalung Bestand	▪ *Sparschalung*	*2,4 cm*
11a-Sparren Bestand	▪ *Holzsparren 12/16*	*16 cm*
11b-Dämmstoff Bestand	▪ *Faserdämmstoff*	*10 cm*
12-Dampfbremse Bestand	▪ *PE-Dampfbremse*	*0,02 cm*
13-Sparschalung Bestand	▪ *Sparschalung*	*2,4 cm*
14-Bauplatte Bestand	▪ *Gipskartonplatte* ▪ *Gipsfaserplatte* ▪ *Holz-Sichtschalung*	*1,5 cm* *1,25 cm* *2 cm*

5.5.2 Zusammenschau über den Lebenszyklus

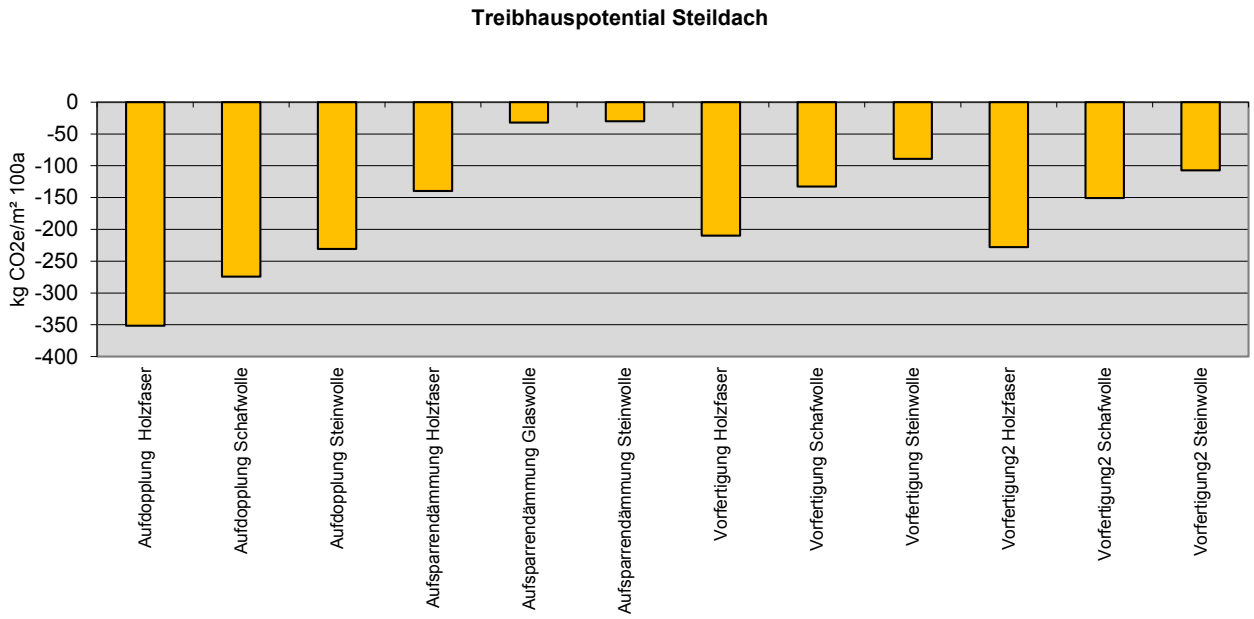
5.5.2.1 Herstellung

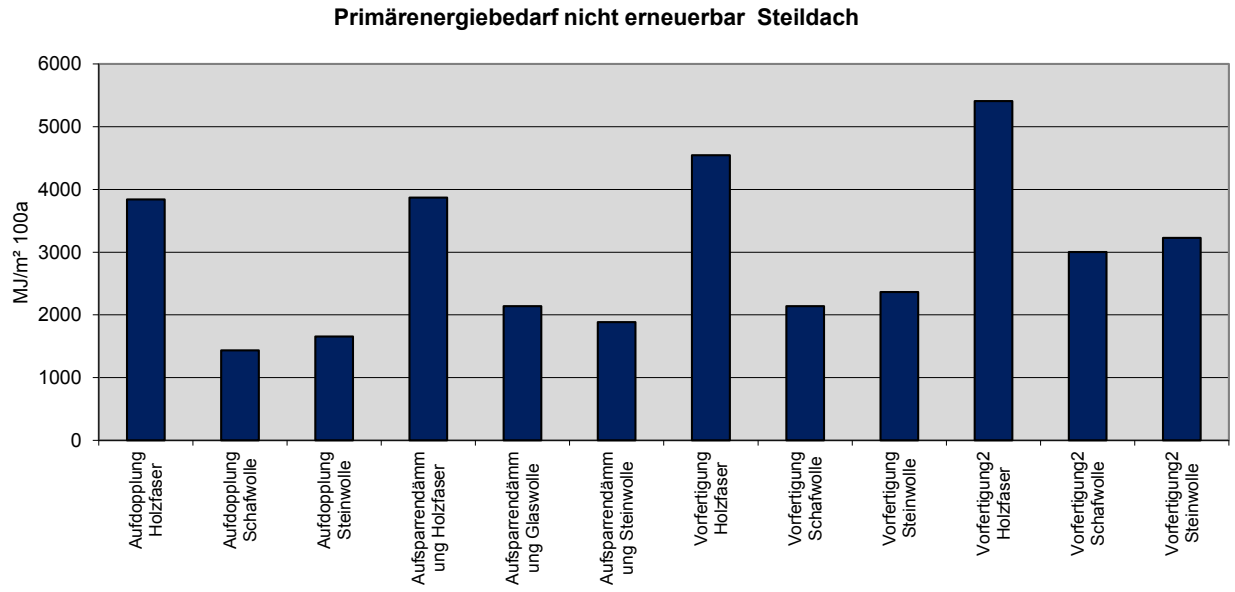
Die dargestellten Systeme unterscheiden sich

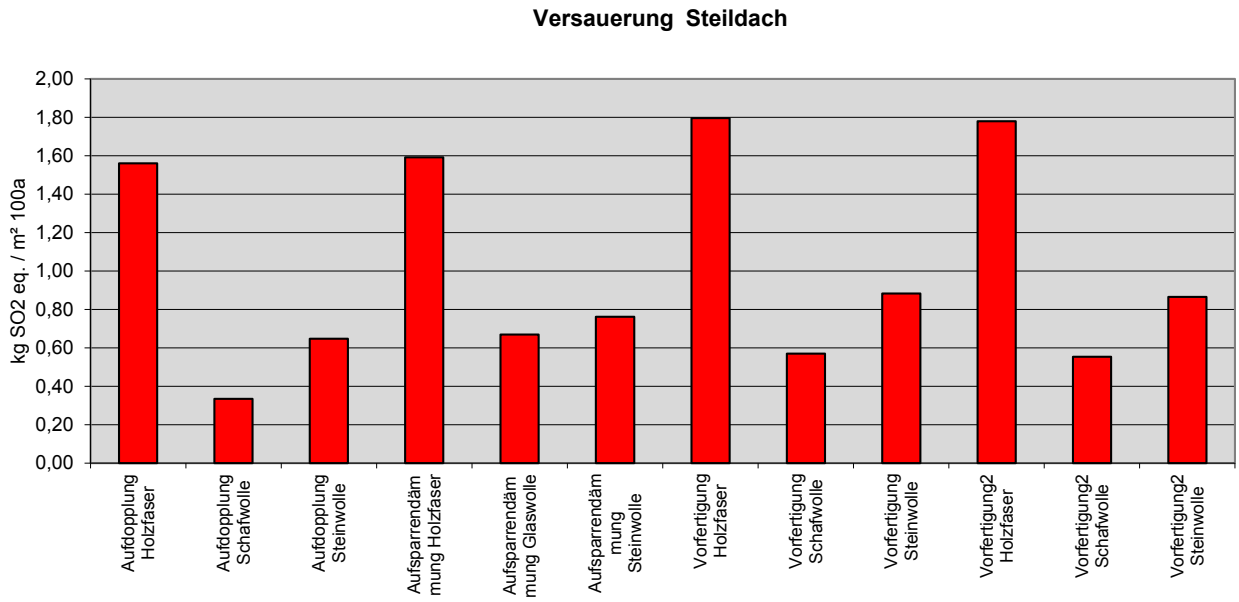
- in der Art der Vorfertigung
- in der Art der Dämmstoffeinbringung:

Die Belastungen in den betrachteten Umweltkategorien hängen vor allem vom Aufwand zur Herstellung des Dämmstoffs ab. Dieser hängt v.a. vom Herstellungsverfahren, dem Rohstoff, den Zusatzstoffen und der erforderlichen Dichte ab. Nur die Herstellung der Holzbauteile hat eine ähnliche Relevanz, wobei hier vor allem ein Unterschied zwischen Vollholz und Holzwerkstoffen besteht. Zudem ist bei ersteren der Grad an Veredelung relevant (gehobelt oder nicht, technisch getrocknet oder nicht). Die Herstellung aller anderen benötigten Baustoffe ist demgegenüber verhältnismäßig gering.

.







- Günstig liegen vor allem Systeme mit geringfügig bearbeiteten Dämmstoffen.

5.5.2.2 Einbau und Transporte (Ausführungsmängel)

Die dargestellten Systeme unterscheiden sich

- im Vorfertigungsgrad

Vorgefertigte Systeme erfordern vorab eine sehr genaue geometrische Aufnahme der Bestandssituation. Zudem sind sie im Allgemeinen ein wenig schwerer als die anderen Systeme und werden an verhältnismäßig wenigen Punkten am Bestand befestigt. Dies erfordert an diesen wenigen Befestigungspunkten meist höhere statische Anforderungen.

Von Vorteil ist die meist rasche Montage der Elemente, z.T. ist keine Eingerüstung erforderlich. D.h. die Abhängigkeit vom Wetter ist deutlich geringer als bei durchwegs bauseits realisierten Systemen. Dies ist vor allem im Dachbereich relevant, da eine Durchfeuchtung des Bestandsgebäudes zu hohen Schäden führen kann. Zudem ist eine präzise und solide Anfertigung der Dämmsysteme deutlich einfacher möglich als vor Ort.

Ökologisch bietet die Vorfertigung vor allem den Vorteil, dass die ArbeiterInnen in der Halle vor Wind und Wetter geschützt sind, zudem ist der Arbeiterschutz deutlich einfacher und sicherer zu realisieren (Absaugung von Schadstoffen, Ergonomie etc.).

Vor Ort gefertigte Systeme bieten den Vorteil, das Dämmsystem direkt an den Bestand anzupassen (Fensteröffnungen, Maße etc.), dafür ist für den Einbau ein längerer Zeitraum erforderlich und damit meist auch der Aufwand für den Regenschutz etc. höher.

Die Arbeitsplatzbelastungen bei der Verarbeitung decken sich mit jenen der Einzelkomponenten. Schutzmaßnahmen sind besonders beim Einblasen von Dämmstoffen erforderlich, da dabei die Staubemissionen beträchtlich sein können. Grundierungen können hohe Lösemittelgehalte aufweisen.

5.5.2.3 Nutzung und Instandhaltung

Die Beurteilung in der Nutzungsphase bezieht sich auf die Qualität der gewünschten Funktionen, auf den Instandsetzungsaufwand, der Nutzungsdauer der einzelnen Schichten und die Gesundheitsverträglichkeit für die NutzerInnen.

Für die Erhaltung des **Wärmeschutzes** und damit auch der hohen Innenoberflächentemperaturen der sanierten Bauteil ist die Vermeidung einer Hinterspülung der Wärmedämmung mit kalter Außenluft sowie die andauernde Vermeidung von Luftspalten, die vom Warmen ins Kalte führen, relevant (i.e. die Formstabilität der Dämmstoffe). Vorteile besitzen diesbezüglich Systeme mit Einblasdämmstoffen, da der Dämmstoff sich exakt an die Begrenzung anpassen können. Systeme mit steiferen Dämmstoffplatte oder bereits in der Vorfertigung gedämmte Bauteilen, die das Verfüllen des Luftspalts zwischen Fertigteil und Bestandsdach erfordern, sind hier benachteiligt, da bereits im System Luftspalte vorkommen, deren ungünstige Wirkung durch entsprechende Ausdämmung der Hohlräume, angepasste Anschlussdetails und eine gute Ausführung vermieden werden muss.

Der **Schallschutz** der Bestanddächer wird durchwegs verbessert, wesentlichen Einfluss haben vor allem die Dacheindeckungsmaterialien und deren Befestigung.

Die Wirkung der Dämmsysteme auf den **Feuchteschutz** ist vor allem von der Ausführung der luftdichten, dampfbremsenden Ebene und der Außenhaut abhängig:

- Bestehende Dampfbremsen können meist auf ihre Funktionstüchtigkeit nicht geprüft werden (wenn nicht raumseitig alles aufgemacht wird). Es wird daher in den dargestellten Lösungen der Einsatz einer neuen Dampfbremse, die auch als strömungsdichte Schichte dient, empfohlen. Eine Glaserberechnung sollte jedenfalls durchgeführt werden. Die Dämmschicht oberhalb der Dampfbremse sollte mehr als 2/3 des gesamten Wärmewiderstandes besitzen. Sinnvoll ist meist der Einsatz von ganz leichten Dampfbremsen, wenn dies die äußeren Konstruktionsschichten erlauben.
- Hinterlüftete Systeme entkoppeln Niederschlagsschutz und Wasserdampfdiffusion aus dem inneren und bieten daher im Prinzip viele Vorteile bezüglich Diffusionsverhalten
- Nach innen gedämmte Dächer mit vorhandenen Bitumenpappen außen können in bestimmten Fällen mit einer innenseitigen variablen Dampfbremse ausgeführt werden. Eine Feuchtesimulation ist für diese Fälle jedenfalls anzuraten. Die Herstellung einer Hinterlüftungsebene unter der Bitumenpappe hat meist den Nachteil, dass einerseits die tragenden Sparren im Hinterlüftungsspalt liegen, andererseits ein Entwässerung dieser Schicht meist nicht möglich ist. Als (nicht normkonforme) Notlösung ist sie allerdings durchaus praktikabel.

Das Austrocknungsverhalten ist durch die Hinterlüftung deutlich höher, somit auch das Vermögen, leicht erhöhte Feuchtemengen auch nach außen zu leiten. Durch die sekundäre, wasserableitende Schicht (Windsperre) ist auch die Fehlertoleranz höher.

Schadstoffimmissionen hängen vor allem von den in den Dämmstoffen enthaltenen flüchtigen Stoffen ab. Diese können mittels Diffusion oder auch über undichte Stellen nach innen abgegeben werden. Relevant sind vor allem Formaldehydimmissionen aus entsprechend verklebten Dämmstoffen und Holzwerkstoffen. Baustoffe außerhalb der luftdichten Ebene führen wohl nur zu geringen Transmissionen von Schadstoffen, ein Transport von Fasern ist unwahrscheinlich. Baustoffe innerhalb der luftdichten Schicht sind diesbezüglich kritischer.

5.5.2.4 Rückbau, Wiederverwertung und Entsorgung

Systemkomponente	Beschreibung der Entsorgungseigenschaften
Dacheindeckung	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Dacheindeckungen können mit geringem Aufwand zerstörungsfrei rückgebaut und wiederverwendet werden.
Betondachstein, Tonziegel	Falls keine Wiederverwendung erfolgt, können Dachsteine und –ziegel als mineralische Schüttung oder als Zuschlagstoff verwertet werden.
Faserzementplatten	Recycling zu hochwertigen Produkten wird derzeit nicht durchgeführt; Deponierung (keine problematischen Inhaltsstoffe)
Metalleindeckungen	Recycling
Holzkonstruktion	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Holzkonstruktion und weitere Dachkomponenten sind nur mechanisch miteinander verbunden und gut voneinander trennbar.
KVH	Wieder- oder Weiterverwendung als Unterkonstruktion, Recycling zu Holzspänen oder energetische Verwertung.
Doppel-T-Träger	Bei Verwendung von Holzwerkstoffplatten als Steg ist von einer energetischen Verwertung auszugehen; Holzträger können zu Holzspänen (für Spanplatten oder Mantelsteine verarbeitet werden.
Boxträger	Recycling zu Holzspänen oder energetische Verwertung.
OSB-Platte	Energetische Verwertung in MVA (i.d.R. keine problematischen Inhaltsstoffe enthalten); keine stoffliche Verwertung üblich
Dämmstoffe zwischen Holzkonstruktion	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Dämmstoff und Holzkonstruktion sind nicht oder nur mechanisch (angetackert) miteinander verbunden und gut voneinander trennbar. Die Dämmstoffe wären daher theoretisch auch wiederverwendbar.
Dämmstoffe aus Zellulose, Flachs, Hanf, Holzfaser (Trockenverfahren), Schafwolle	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten Bindemittel oder Flammschutzmittel als Zusatzstoffe, die sich i.d.R. in MVA unproblematisch verhalten.
Dämmstoffe aus Holzfaser (Nassverfahren)	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten keine Zusatzstoffe.
Mineralwolle	In der heutigen Entsorgungspraxis ist das PC-Recycling von Mineralwolle noch nicht weit fortgeschritten. Die Mineralwolle wird daher deponiert (nachteilig: geringe Rohdichte, Fasern) oder in der MVA entsorgt (nachteilig: kein Heizwert, Faserflug).
Aufsparrendämmung	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Dämmstoffe sind mit geringem Aufwand von der Holzkonstruk-tion trennbar, von einem zerstörungsfreien Rückbau und damit von einer Wiederverwendungsmöglichkeit ist nicht auszugehen.
Holzfaserplatten (Nassverfahren)	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten keine Zusatzstoffe.
Polyurethanplatten	Energetische Verwertung in MVA, nachteilig: im Vergleich zu anderen Kunststoffen geringerer Heizwert, geringes Gewicht und hoher Stickstoffgehalt.
Dampfbremsen und Windsperren	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Gute Trennbarkeit von der Holzkonstruktion; von Rissen und Löchern ist auszugehen; Wiederverwendung auf Grund der hohen Anforderungen an Dampfbremsen und Windsperren ohnehin nicht anzunehmen.
PE-Dampfbremse oder Windsperre	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; PE selbst hat eine unproblematische Zusammensetzung, jedoch Einsatz von halogenorganischen Stoffen als Flammschutzmittel möglich
Unterdach	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Unterdach ist nur mit geringem Aufwand von der Holzkonstruk-tion trennbar, von einem zerstörungsfreien Rückbau und damit von einer Wiederverwendungsmöglichkeit ist nicht auszugehen.
Holzschalung	Recycling zu Holzspänen oder energetische Verwertung. i.d.R. unbehandelt und daher entsorgungstechnisch unproblematisch.

MDF-Platte	Energetische Verwertung in MVA (i.d.R. keine problematischen Inhaltsstoffe enthalten); keine stoffliche Verwertung üblich
Holzfaserplatte	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten keine Zusatzstoffe.
Gipsfaserplatte	Gipskartonplatten können in Aufbereitungsanlagen zerkleinert und zermahlen werden, der Karton wird mechanisch vom Gips abgetrennt und abgesaugt. Dieses Verfahren wird für Neumaterialien und Verschnitte bereits angewandt. Recycling von PC-Abfällen aus Gipsbauplatten findet in Österreich in der Praxis nicht statt. Gipsbauplatten werden deponiert, nachteilig: mögliche Sulfatemissionen.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Entsorgungsbewertung von drei Varianten für die Wärmedämmung eines Steildachs. Betrachtet wird ein Sparrendach mit innenseitiger Gipskarton-Vorsatzschale und Dachziegeldecke. Variiert wird lediglich nicht Wärmedämmung.

Entsorgungs-eigenschaften	**Variante 1 (Glaswolle)**		**Variante 2 (Zellulose)**		**Variante 3 (Holzfaser)**	
	Vol %	**Note**	**Vol %**	**Note**	**Vol %**	**Note**
Stofflich verwertet	42	1,0	42	1,0	42	1,0
Energetisch verwertet	7	1,0	7	1,0	55	1,0
Beseitigt	51	4,0	51	3,1	4	4,0
Recyclierbarkeit		5,6		4,4		1,2

5.6 Wärmedämmung von Flachdächern

Die Wärmedämmung von Außenwänden erfordert für die Erreichung des Passivhausniveaus je nach Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs und der Systemcharakteristika üblicherweise Dämmstärken von 36 bis 40 cm. Als Referenz-Wärmewiderstand wurde eine 40 cm starke homogene Dämmstoffschicht mit einer Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,04 W/mK gewählt. Damit ergeben sich die folgenden Bezugs-Kennwerte:

Wärmewiderstand funktionale Einheit	10,0	m²K/W
U-Werte saniert	0,09 - 0,10	W/m²K

Anmerkung: In den Konstruktionsvarianten werden die Dämmstärken aus den sanierten Bauteilen angegeben, die von dem angegebenen Wärmewiderstand deutlich abweichen können.

In der folgenden Tabelle werden die verwendeten Dämmstärken für die unterschiedlichen Dämmungen angegeben:

Dämmung für Flachdach hinterlüftet	**Stärke [m]**
Zellulose	0,44
Flachs	0,44
Hanf	0,44
Holzfaser	0,44
Schafwolle	0,44
Glaswolle	0,44
Steinwolle	0,44
Stroh	0,55

Anmerkung: Wärmewiderstand +10% durch Wärmebrückenwirkung Konstruktion

Dämmung für Warmdach, Duodach, Gründach und Terrasse	
EPS W25	0,36
Backkork	0,40
Holzfaser	0,40
Schaumglas	0,45
Vakuumdämmung	0,08

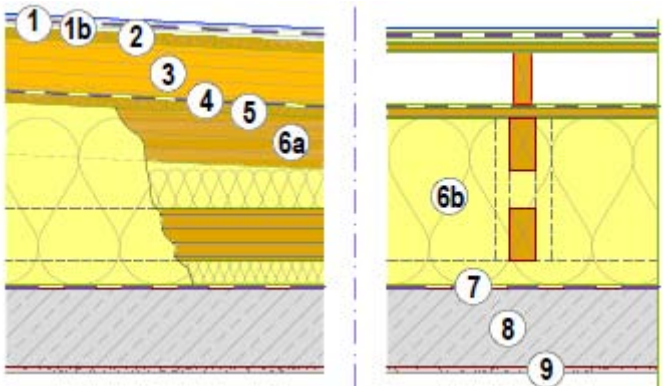
5.6.1 Eigenschaften Bestand und Vorbereitung Sanierung

Als Bestandsdächer sind die folgenden typisch:

- Sparrendach mit Ziegel eingedeckt (Kaltdach)
- Sparrendach innenseitig Heraklith, außenseitig bituminöse Bahn, Ziegeleindeckung
- Kaltdach innenseitig Gipskartonplatten oder Holzschalung, Dämmung, außenseitig bituminöse Bahn, Ziegeleindeckung
- Betondach („Sargdeckel“)
- Betonziegeldach

5.6.2 Beschreibung und Bewertung im Detail

5.6.2.1 Flachdach hinterlüftet



Dämmstoffe:

Zellulose

Hanf

Flachs

Schafwolle

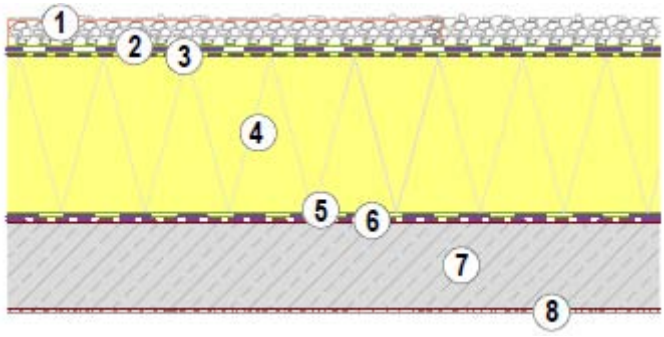
Holzfaser

Glaswolle

Steinwolle

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Dacheindeckung	▪ *PE-Abdichtungsbahn* ▪ *EPDM-Abdichtungsbahn* ▪ *Polymerbitumenbahn 2lagig, beschiefert*	*0,2 cm* *0,2 cm* *1 cm*
1b-Trennlage	▪ *PP-Vlies*	*0,2 cm*
2-Holzschalung	▪ *Holzschalung*	*2,4 cm*
3-Lattung Dampfentspannung	▪ *Holzlatten 12/4*	*12 cm*
4-Dachauflegebahn	▪ *PE-Dachauflegebahn diffusionsoffen, verschweissbar* ▪ *PE-Dachauflegebahn diffusionsoffen*	*0,02 cm*
5-Platte	▪ *Holzschalung* ▪ *Holzfaserplatte NF*	*2 cm* *1,6 cm*
6a-Holzkonstruktion	▪ *Nagelbinderkonstruktion neu* ▪ *Nagelbinderkonstruktion Bestand saniert* ▪ *„Leiterkonstruktion“* ▪ *Holz-C-Träger* ▪ *Holz-T-Träger* ▪ *Leimbinder*	*40 cm*
6b-Dämmstoff	▪ *Einblasdämmstoff* ▪ *mehrlagig* ▪ *hochwärmedämmend*	*30cm (λ = 0,040 W/mK)** *34cm (λ = 0,045 W/mK)** *26cm (λ = 0,032 W/mK)**
7-Dampfbremse	▪ *PE-Dampfbremse*	*0,02 cm*
8-Massivdecke Bestand	▪ *Stahlbeton* ▪ *Betonsteindecke mit Aufbeton* ▪ *Dippelbaumdecke mit Verbundbeton*	*18 cm* *ca. 20 cm* *ca. 24 cm*
9-Innenputz	▪ *Gipsputz* ▪ *Kalkzementputz* ▪ *Gipsspachtel*	*1 cm* *1,5 cm* *0,3 cm*

5.6.2.2 Warmdach



Dämmstoffe:

Polystyrol expandiert

Backkork

Holzfaserplatten

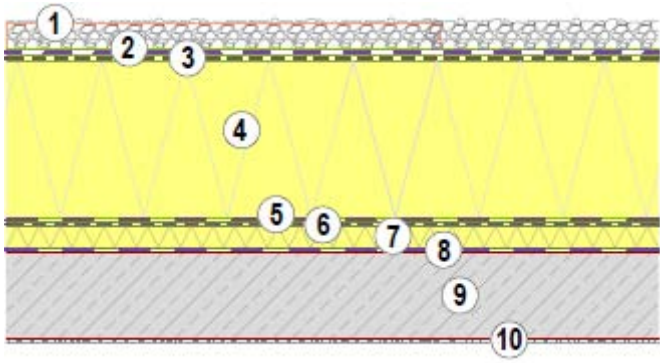
Schaumglas

Vakuumdämmung

Siehe NBTK DAm03, S.150

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Kies	▪ *Kies*	*5 cm*
2-Abdichtung	▪ *Polymerbitumenabdichtung 2 lagig* ▪ *PE-Abdichtung* ▪ *EPDM-Abdichtung*	*1,0 cm* *0,2 cm* *0,2 cm*
3-Dampfdruckausgleich	▪ *Dampfdruckausgleich wenn erforderlich*	*0,3 cm*
4-Dämmstoff	▪ *Dämmstoff druckfest*	*36 cm*
5-Dampfsperre	▪ *Bitumen-Dampfsperre* ▪ *Alu-Bitu-Dampfsperre* ▪ *PE-Dampfsperre*	*0,3 cm* *0,3 cm* *0,02 cm*
6-Ausgleich	▪ *Ausgleich zementös, wenn erforderlich*	*je nach Erfordernis*
7-Massivdecke Bestand	▪ *Stahlbeton* ▪ *Betonsteindecke mit Aufbeton* ▪ *Dippelbaumdecke mit Verbundbeton*	*18 cm* *ca. 20 cm* *ca. 24 cm*
8-Innenputz	▪ *Gipsputz* ▪ *Kalkzementputz* ▪ *Gipsspachtel*	*1 cm* *1,5 cm* *0,3 cm*

5.6.2.3 Aufdopplung Warmdach auf bestehender Dämmung



Dämmstoffe:

Polystyrol expandiert

Backkork

Holzfaserplatten

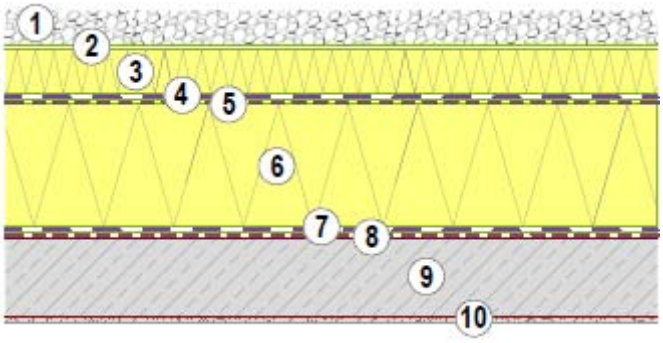
Schaumglas

Vakuumdämmung

Siehe NBTK DAm03, S.150

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Kies	▪ *Kies*	*5 cm*
2-Abdichtung	▪ *Polymerbitumenabdichtung 2 lagig* ▪ *PE-Abdichtung* ▪ *EPDM-Abdichtung*	*1,0 cm* *0,2 cm* *0,2 cm*
3-Dampfdruckausgleich	▪ *Dampfdruckausgleich wenn erforderlich*	*0,3 cm*
4-Dämmstoff	▪ *Dämmstoff druckfest*	*36 cm*
5-Dampfsperre	▪ *Bitumen-Dampfsperre* ▪ *Alu-Bitu-Dampfsperre*	*0,3 cm* *0,3 cm*
6-Abdichtung Bestand	▪ *bituminöse Abdichtung*	*je nach Erfordernis*
7-Dämmstoff Bestand	▪ *EPS* ▪ *XPS* ▪ *Steinwolle* ▪ *Holzwolleleichtbauplatte*	*5 cm* *5 cm* *5 cm* *7,5 cm*
8-Dampfsperre Bestand	▪ *Bitumen-Dampfsperre*	*0,3 cm*
9-Massivdecke Bestand	▪ *Stahlbeton* ▪ *Betonsteindecke mit Aufbeton* ▪ *Dippelbaumdecke mit Verbundbeton*	*18 cm* *ca. 20 cm* *ca. 24 cm*
10-Innenputz	▪ *Gipsputz* ▪ *Kalkzementputz* ▪ *Gipsspachtel*	*1 cm* *1,5 cm* *0,3 cm*

5.6.2.4 Duodach



Dämmstoffe:

Polystyrol expandiert

Backkork

Holzfaserplatten

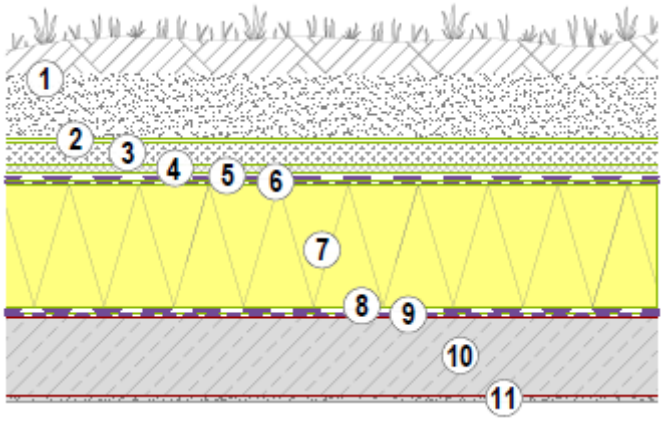
Schaumglas

Vakuumdämmung

Siehe NBTK DAm07

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Kies	▪ *Kies*	*5 cm*
2-Trennlage	▪ *PP-Filtervlies*	*0,2 cm*
3-Dämmstoff feuchteunempfindlich	▪ *Polystyrol extrudiert*	*10 cm*
4-Abdichtung	▪ *Polymerbitumenabdichtung 2 lagig* ▪ *PE-Abdichtung* ▪ *EPDM-Abdichtung*	*1,0 cm* *0,2 cm* *0,2 cm*
5-Dampfdruckausgleich	▪ *Dampfdruckausgleich wenn erforderlich*	*0,3 cm*
6-Dämmstoff	▪ *Dämmstoff druckfest*	*28 cm*
7-Dampfsperre	▪ *Bitumen-Dampfsperre* ▪ *Alu-Bitu-Dampfsperre* ▪ *PE-Dampfsperre*	*0,3 cm* *0,3 cm* *0,02 cm*
8-Ausgleich	▪ *Ausgleich zementös, wenn erforderlich*	*je nach Erfordernis*
9-Massivdecke Bestand	▪ *Stahlbeton* ▪ *Betonsteindecke mit Aufbeton* ▪ *Dippelbaumdecke mit Verbundbeton*	*18 cm* *ca. 20 cm* *ca. 24 cm*
10-Innenputz Bestand	▪ *Gipsputz* ▪ *Kalkzementputz* ▪ *Gipsspachtel*	*1 cm* *1,5 cm* *0,3 cm*

5.6.2.5 Gründach



Dämmstoffe:

Polystyrol expandiert

Backkork

Holzfaserplatten

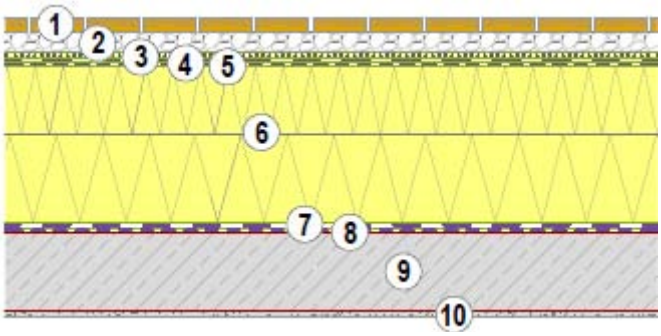
Schaumglas

Vakuumdämmung

siehe NBTK DAm04

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Vegetationsschicht	▪ *Substrat*	*>= 8 cm*
2-Trennlage	▪ *PP-Filtervlies*	*0,2 cm*
3-Drainschicht	▪ *Drainageschüttung* ▪ *Drainageplatten*	*5 cm*
4-Schutzlage	▪ *Gummigranulatmatte*	*1,0 cm*
5-Abdichtung	▪ *Polymerbitumenabdichtung 2 lagig* ▪ *PE-Abdichtung* ▪ *EPDM-Abdichtung*	*1,0 cm* *0,2 cm* *0,2 cm*
6-Dampfdruckausgleich	▪ *Dampfdruckausgleich wenn erforderlich*	*0,3 cm*
7-Dämmstoff	▪ *Dämmstoff druckfest*	*28 cm*
8-Dampfsperre	▪ *Bitumen-Dampfsperre* ▪ *Alu-Bitu-Dampfsperre* ▪ *PE-Dampfsperre*	*0,3 cm* *0,3 cm* *0,02 cm*
9-Ausgleich	▪ *Ausgleich zementös, wenn erforderlich*	*je nach Erfordernis*
10-Massivdecke Bestand	▪ *Stahlbeton* ▪ *Betonsteindecke mit Aufbeton* ▪ *Dippelbaumdecke mit Verbundbeton*	*18 cm* *ca. 20 cm* *ca. 24 cm*
11-Innenputz Bestand	▪ *Gipsputz* ▪ *Kalkzementputz* ▪ *Gipsspachtel*	*1 cm* *1,5 cm* *0,3 cm*

5.6.2.6 Terrasse Warmdach



Dämmstoffe:

Polystyrol expandiert

Backkork

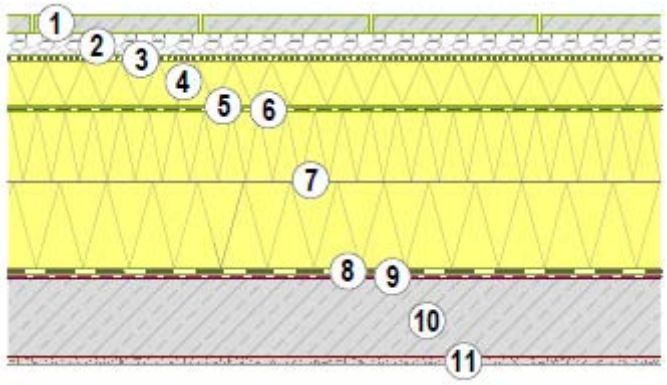
Holzfaserplatten

Schaumglas

Vakuumdämmung

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Belag	▪ *Holzrost auf Alulatten in Kies*	*8 cm*
2-Kies	▪ *Kies*	*6 cm*
3-Schutzlage	▪ *PP-Vlies* ▪ *Gummigranulatmatte*	*1,0 cm* *1,0 cm*
4-Abdichtung	▪ *Polymerbitumenabdichtung 2 lagig* ▪ *PE-Abdichtung* ▪ *EPDM-Abdichtung*	*1,0 cm* *0,2 cm* *0,2 cm*
5-Dampfdruckausgleich	▪ *Dampfdruckausgleich wenn erforderlich*	*0,3 cm*
6-Dämmstoff	▪ *Dämmstoff druckfest*	*36 cm*
7-Dampfsperre	▪ *Bitumen-Dampfsperre* ▪ *Alu-Bitu-Dampfsperre* ▪ *PE-Dampfsperre*	*0,3 cm* *0,3 cm* *0,02 cm*
8-Ausgleich	▪ *Ausgleich zementös, wenn erforderlich*	*je nach Erfordernis*
9-Massivdecke Bestand	▪ *Stahlbeton* ▪ *Betonsteindecke mit Aufbeton* ▪ *Dippelbaumdecke mit Verbundbeton*	*18 cm* *ca. 20 cm* *ca. 24 cm*
10-Innenputz Bestand	▪ *Gipsputz* ▪ *Kalkzementputz* ▪ *Gipsspachtel*	*1 cm* *1,5 cm* *0,3 cm*

5.6.2.7 Terrasse Duodach



Dämmstoffe:

Polystyrol expandiert

Backkork

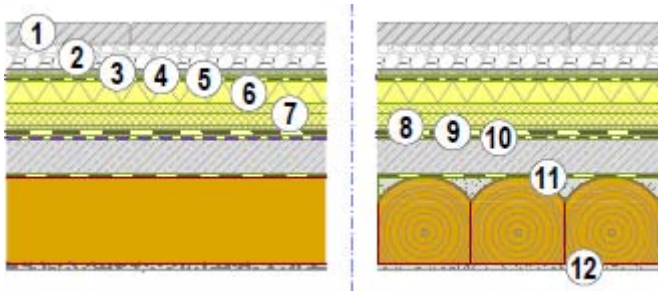
Holzfaserplatten

Schaumglas

Vakuumdämmung

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Belag	▪ *Holzrost auf Alulatten in Kies* ▪ *Betonplatten*	*8 cm*
2-Kies	▪ *Kies*	*6 cm*
3-Trennlage	▪ *PP-Filtervlies*	*0,2 cm*
4-Dämmstoff feuchteunempfindlich	▪ *Polystyrol extrudiert*	*10 cm*
5-Abdichtung	▪ *Polymerbitumenabdichtung 2 lagig* ▪ *PE-Abdichtung* ▪ *EPDM-Abdichtung*	*1,0 cm* *0,2 cm* *0,2 cm*
6-Dampfdruckausgleich	▪ *Dampfdruckausgleich wenn erforderlich*	*0,3 cm*
7-Dämmstoff	▪ *Dämmstoff druckfest*	*36 cm*
8-Dampfsperre	▪ *Bitumen-Dampfsperre* ▪ *Alu-Bitu-Dampfsperre* ▪ *PE-Dampfsperre*	*0,3 cm* *0,3 cm* *0,02 cm*
9-Ausgleich	▪ *Ausgleich zementös, wenn erforderlich*	*je nach Erfordernis*
10-Massivdecke Bestand	▪ *Stahlbeton* ▪ *Betonsteindecke mit Aufbeton* ▪ *Dippelbaumdecke mit Verbundbeton*	*18 cm* *ca. 20 cm* *ca. 24 cm*
11-Innenputz Bestand	▪ *Gipsputz* ▪ *Kalkzementputz* ▪ *Gipsspachtel*	*1 cm* *1,5 cm* *0,3 cm*

5.6.2.8 Terrasse Vakuumdämmung



Dämmstoffe:

Polystyrol expandiert

Backkork

Holzfaserplatten

Schaumglas

Vakuumdämmung

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Belag	▪ *Betonplatten* ▪ *Holzrost auf Alulatten in Kies*	*4 cm* *8 cm*
2-Kies	▪ *Kies*	*6 cm*
3-Schutzlage	▪ *Gummigranulatmatte* ▪ *PP-Vlies*	*1,0 cm* *0,5 cm*
4-Abdichtung	▪ *Polymerbitumenabdichtung 2 lagig* ▪ *PE-Abdichtung* ▪ *EPDM-Abdichtung*	*1,0 cm* *0,2 cm* *0,2 cm*
5-Dampfdruckausgleich	▪ *Dampfdruckausgleich wenn erforderlich*	*0,3 cm*
6-Gefälle-Dämmstoff	▪ *EPS-Gefälledämmung*	*5 cm*
7-Vakuumdämmung	▪ *Vakuumdämmung*	*5 cm*
8-Trittschalldämmung	▪ *PE-Weichschaum*	*0,5 cm*
9-Dampfsperre	▪ *Bitumen-Dampfsperre* ▪ *Alu-Bitu-Dampfsperre* ▪ *PE-Dampfsperre*	*0,3 cm* *0,3 cm* *0,02 cm*
10-Ausgleich	▪ *Ausgleich zementös, wenn erforderlich*	*je nach Erfordernis*
11-Massivdecke Bestand	▪ *Stahlbeton* ▪ *Betonsteindecke mit Aufbeton* ▪ *Dippelbaumdecke mit Verbundbeton*	*18 cm* *ca. 20 cm* *ca. 24 cm*
12-Innenputz Bestand	▪ *Gipsputz* ▪ *Kalkzementputz* ▪ *Gipsspachtel*	*1 cm* *1,5 cm* *0,3 cm*

5.6.3 Zusammenschau über den Lebenszyklus

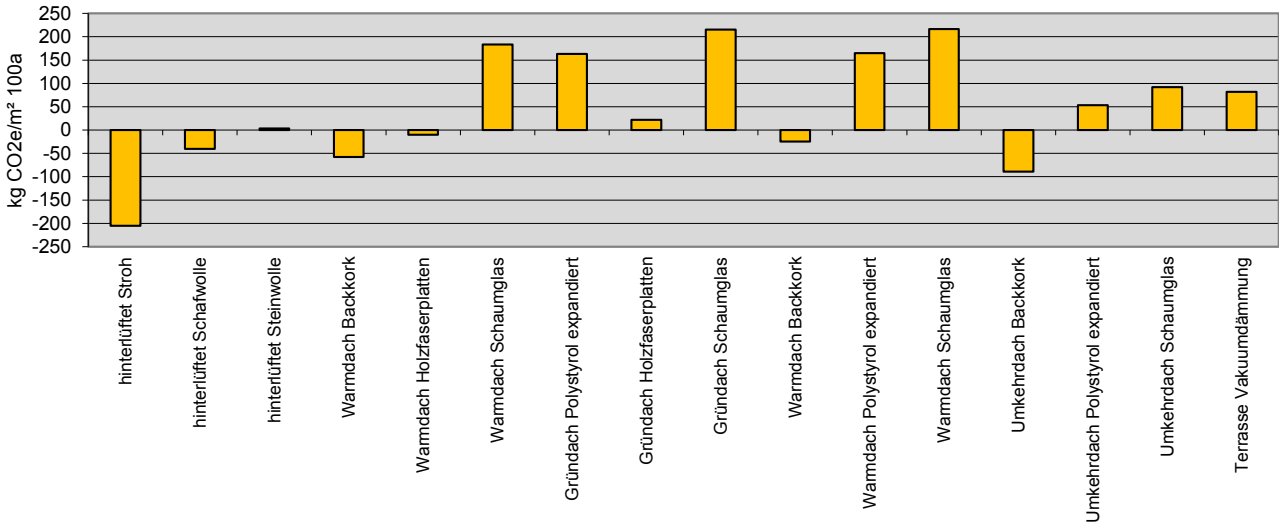
5.6.3.1 Herstellung

Die dargestellten Systeme unterscheiden sich

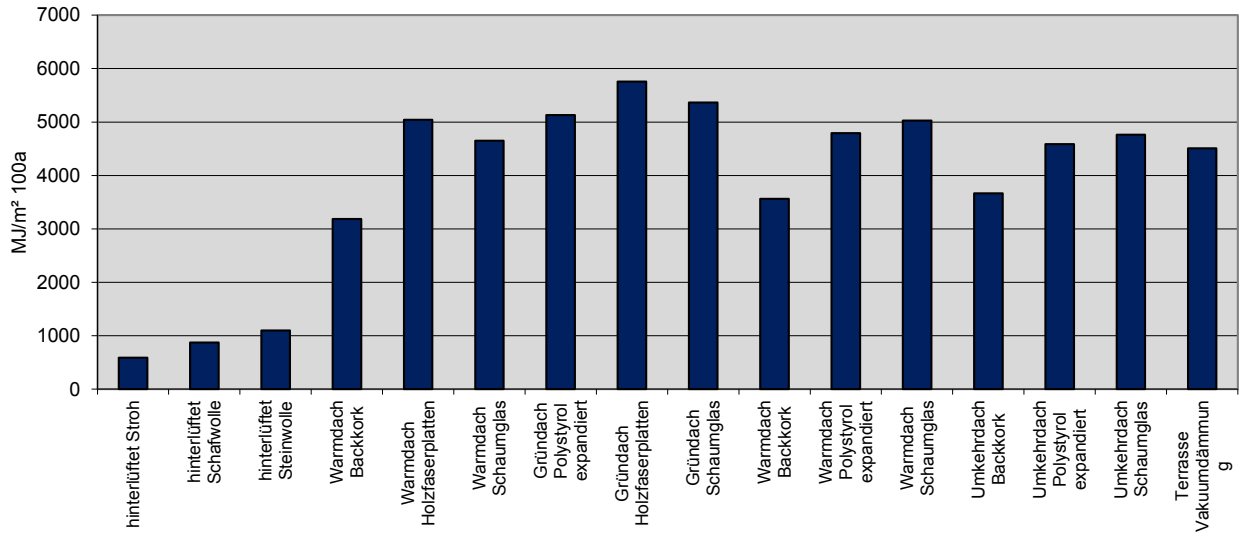
- in der Flexibilität zum potentiellen Einsatz unterschiedlicher Dämmstoffe
- in der Art der Befestigungssysteme:
- Dämmstoffe zwischen Konstruktionsholz
- Schwimmende Verlegung
- Vollflächige Verklebung am Untergrund in Bitumen.

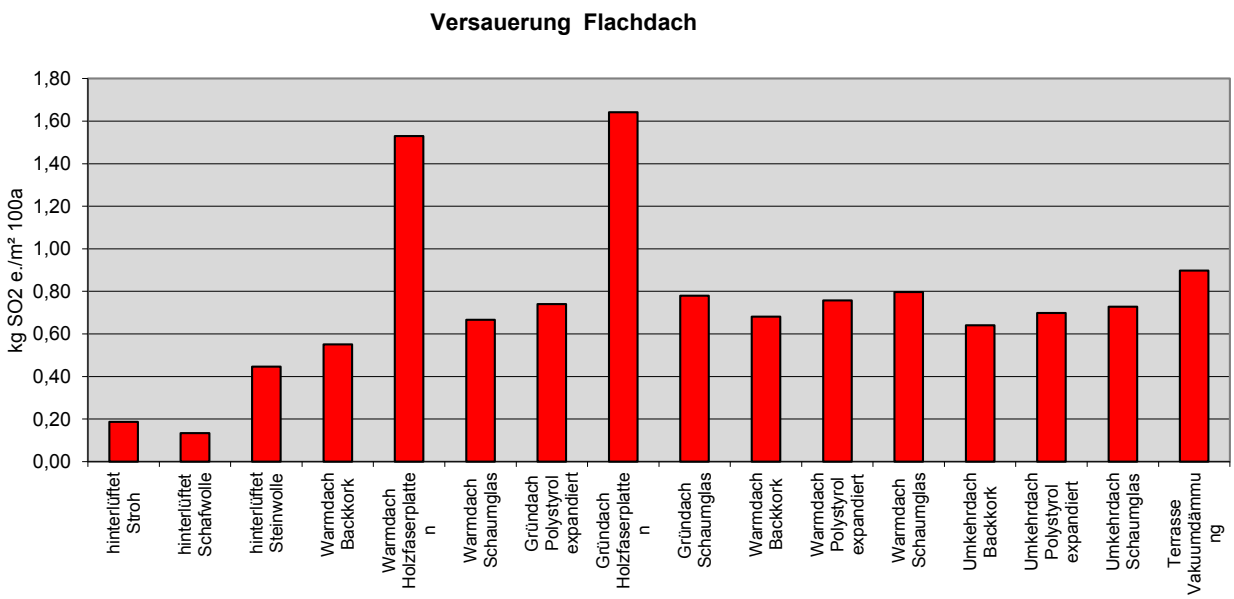
Die Belastungen in den betrachteten Umweltkategorien hängen vor allem vom Aufwand zur Herstellung des Dämmstoffs ab. Dieser hängt v.a. vom Herstellungsverfahren, dem Rohstoff, den Zusatzstoffen und der erforderlichen Dichte ab. Wesentlichen Einfluss haben auch Abdichtungen und bituminöse Dampfsperren. Die Herstellung aller anderen benötigten Baustoffe ist demgegenüber verhältnismäßig gering.

Treibhauspotential Flachdach



Primärenergiebedarf nicht erneuerbar Flachdach





- Günstig liegen vor allem Systeme mit geringfügig bearbeiteten Dämmstoffen.

5.6.3.2 Einbau und Transporte (Ausführungsmängel)

Die dargestellten Systeme unterscheiden sich

- in der Befestigungstechnik (kleben – schrauben – „schwimmend mit Beschwerung“)
- in der Anpassungsflexibilität bezüglich Ebenheit der Bestandsdecke (Rohdecke oder alte Abdichtung etc.)

Vor Ort gefertigte Systeme bieten den Vorteil, das Dämmsystem direkt an den Bestand anzupassen (Oberlichten, etc.).

Die Arbeitsplatzbelastungen bei der Verarbeitung decken sich mit jenen der Einzelkomponenten. Schutzmaßnahmen sind besonders beim Einblasen von Dämmstoffen erforderlich, da dabei die Staubemissionen beträchtlich sein können. Grundierungen können hohe Lösemittelgehalte aufweisen. Beim Flämmen von bituminösen Lagen können relevante Emissionen von Kohlenwasserstoffen entstehen.

Direkter Hautkontakt mit Glas- oder Steinwolle kann zu einer Sensibilisierung der Haut führen. Mit dem Tragen von Handschuhen kann Abhilfe geschaffen werden.

5.6.3.3 Nutzung und Instandhaltung

Die Beurteilung in der Nutzungsphase bezieht sich auf die Qualität der gewünschten Funktionen, auf den Instandsetzungsaufwand, der Nutzungsdauer der einzelnen Schichten und die Gesundheitsverträglichkeit für die NutzerInnen.

Für die Erhaltung des **Wärmeschutzes** und damit auch der hohen Innenoberflächentemperaturen der sanierten Bauteil ist die Vermeidung einer Hinterspülung der Wärmedämmung mit kalter Außenluft sowie die andauernde Vermeidung von vertikalen Luftspalten, die vom Warmen ins Kalte führen (i.e. die Formstabilität der Dämmstoffe). Vorteile besitzen diesbezüglich Systeme mit Einblasdämmstoffen, da der Dämmstoff sich exakt an die Begrenzung anpassen können. Systeme mit steifen Dämmstoffen erfordern ebene Auflageflächen, entsprechende Untergrundvorbereitung, angepasste Anschlussdetails und eine gute Ausführung.

Der **Schallschutz** der Bestandswand wird in allen dargestellten Fällen verbessert, wobei die Verbesserung des Schalldämmmaßes stark von den Eigenschaften der Rohdecke und der Biegeweichheit der äußeren Begrenzung abhängt.

Die Wirkung der Dämmsysteme auf den **Feuchteschutz** ist vor allem von der Ausführung der luft/dampfbremsenden Schicht warmseitig und der Abdichtung außen abhängig:

- Hinterlüftete Systeme entkoppeln die Funktion Abdichtung gegen Niederschlagswasser und Dampfdiffusion nach außen und bieten daher im Prinzip Vorteile bezüglich Feuchteverhalten. Zudem ist die diffusionsoffene Dachauflegebahn/Windsperre eine weitere Schutzschicht, die zumindest kleinere Mengen an eindringendem Wasser vor dem Eindringen in die Konstruktion abhalten können
- Warmdächer sollten keine feuchteempfindlichen Dämmstoffe zwischen Dampfsperre und Abdichtung besitzen, da einmal eingedrungene Feuchtemengen (Baufeuchte etc.) fast nicht mehr ausdiffundieren können und damit feuchteempfindliche Baustoffe zerstören können.
- Duodächer besitzen durch die XPS-Auflage eine Schutzlage für die Abdichtung gegen starke thermische Schwankungen und reduzieren damit auch hohe Feuchtegehalte unter der Abdichtung
- In sich dampfdichte Kompaktdächer (Schaumglas vergossen) sind gegenüber Feuchteflüssen annähernd unempfindlich.

Schadstoffimmissionen hängen vor allem von den in den Dämmstoffen enthaltenen flüchtigen Stoffen ab und den tatsächlichen Eigenschaften der Bestanddecke (Dichtigkeit, Diffusionsverhalten). Schadstoffe könnten mittels Diffusion oder auch über undichte Stellen nach innen abgegeben werden.

5.6.3.4 Rückbau, Wiederverwertung und Entsorgung

Systemkomponente	Beschreibung der Entsorgungseigenschaften
Dachdichtungen	
Polymerbitumen	Mit wirtschaftlich vertretbaren Aufwand nicht vom Beton trennbar; mit Bitumenbahnen versehene Betone werden von Recycling-Unternehmen i.d.R. nicht verwertet. Emissionen von Abbauprodukten aus dem Bitumen sind auf der Deponie nicht zu erwarten.
PE-Abdichtungsbahn	Trennbarkeit abhängig von Verlegungsart (lose oder verklebt); von einem Recycling der Folie ist nicht auszugehen; energetische Verwertung in MVA (Vorteil: hoher Heizwert) oder Entsorgung gemeinsam mit Beton und mineralischem Dämmstoff auf Deponie (nachteilig: organischer Bestandteil)
EPDM-Abdichtungsbahn	Trennbarkeit abhängig von Verlegungsart (lose oder verklebt); von einem Recycling der Folie ist nicht auszugehen; energetische Verwertung in MVA (Vorteil: hoher Heizwert) oder Entsorgung gemeinsam mit Beton und mineralischem Dämmstoff auf Deponie (nachteilig: organischer Bestandteil)
Dämmstoff ohne Unterkonstruktion	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Trennbarkeit von der Stahlbetondecke abhängig von Verlegungsart (lose oder verklebt); von einem Recycling des Dämmstoffs ist nicht auszugehen;
Expandiertes Polystyrol	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert, aber geringes Gewicht; nachteilig: halogenhaltiges, als PBT eingestuftes Flammschutzmittel.
Dämmplatten aus Backkork, Holzfaserplatten (Nassverfahren)	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten keine Zusatzstoffe.
Mineralwolle-Dämmstoffe	In der heutigen Entsorgungspraxis ist das PC-Recycling von Mineralwolle noch nicht weit fortgeschritten. Aufgrund der Verunreinigungen im WDVS, ist auch in Zukunft nicht von einem Recycling auszugehen. Die Mineralwolle wird daher deponiert (nachteilig: geringe Rohdichte, Fasern).

Schaumglasplatten	Schaumglasplatten werden meist in Heißbitumen verlegt. Mit Bitumen versetzte Schaumglasabfälle könnten als Hinterfüllung im Tiefbau eingesetzt werden. Deponierung unproblematisch.
Vakuumdämmplatten	Über die Entsorgungswege für Vakuumdämmplatten ist uns nichts bekannt. Laut BINE projektinfo 04/01 bestehen die Platten aus „rezyklierbaren, toxikologisch unbedenklichen Materialien“. Dafür müssten aber die Verbundfolie aus Kunststoff und Aluminium (ev. nur Alu-Bedampfung) vom Dämmkern aus Kieselsäure sauber getrennt werden, wovon unter den derzeitigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen nicht auszugehen ist.
XPS-Platten	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert, aber geringes Gewicht; nachteilig: halogenhaltiges, als PBT eingestuftes Flammschutzmittel.
Dämmstoffe zwischen Holzkonstruktion	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Dämmstoff und Unterkonstruktion sind nicht oder nur mechanisch (angetackert) miteinander verbunden und gut voneinander trennbar. Die Dämmstoffe wären daher theoretisch auch wiederverwendbar.
Dämmstoffe aus Zellulose, Flachs, Hanf, Holzspäne, Holzfaser (Trockenverfahren), Schafwolle	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten Bindemittel oder Flammschutzmittel als Zusatzstoffe, die sich i.d.R. in MVA unproblematisch verhalten.
Dämmstoffe aus Holzfaser (Nassverfahren)	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten keine Zusatzstoffe.
Mineralwolle	In der heutigen Entsorgungspraxis ist das PC-Recycling von Mineralwolle noch nicht weit fortgeschritten. Die Mineralwolle wird daher deponiert (nachteilig: geringe Rohdichte, Fasern) oder in der MVA entsorgt (nachteilig: kein Heizwert, Faserflug).
Holzkonstruktion	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Dämmstoff und Holzkonstruktion sind nicht miteinander verbunden und gut voneinander trennbar. Die Holzkonstruktion kann auch mit vergleichsweise geringem Aufwand von der Decke getrennt werden.
Doppel-T-Träger	Bei Verwendung von Holzwerkstoffplatten als Steg ist von einer energetischen Verwertung auszugehen; Holzträger können zu Holzspänen (für Spanplatten oder Mantelsteine verarbeitet werden.
Holz-C-Träger	Recycling zu Holzspänen oder energetische Verwertung.
Nagelbinder, Leimbinder, Leiterkonstruktion	Wieder- oder Weiterverwendung als Unterkonstruktion, Recycling zu Holzspänen oder energetische Verwertung.
Holz- Ständer	Wieder- oder Weiterverwendung als Unterkonstruktion, Recycling zu Holzspänen oder energetische Verwertung.
Holzfaserplatte	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten keine Zusatzstoffe.
Holzschalung	Recycling zu Holzspänen oder energetische Verwertung. i.d.R. unbehandelt und daher entsorgungstechnisch unproblematisch.
OSB-Platten	Energetische Verwertung in MVA (i.d.R. keine problematischen Inhaltsstoffe enthalten); keine stoffliche Verwertung üblich
Dachauflegebahnen, Dampfsperren und -bremsen, Trennlagen	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Die Bahnen sind i.d.R. nur lose auf den Untergrund gelegt und daher gut trennbar; von Rissen und Löchern ist auszugehen; Wiederverwendung auf Grund der hohen Anforderungen ist ohnehin nicht anzunehmen.
PE- und PP-Bahnen und -Vliese	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; PE und PP selbst haben unproblematische Zusammensetzung, jedoch Einsatz von halogenorganischen Stoffen als Flammschutzmittel möglich
Bitumen-Dampfsperre	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert in der Größenordnung von Heizöl; nachteilig: hohe Schwefelgehalt in der Größenordnung von Schweröl.
Alu-Bitu-Dampfsperre	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert in der Größenordnung von Heizöl; nachteilig: hohe Schwefelgehalt in der Größenordnung von Schweröl. Bitumen kann auch Deponie zugeführt werden, Emissionen von Abbauprodukten aus dem Bitumen auf der Deponie sind nicht zu erwarten. Bitumendampfsperren mit Aluminiumschicht (Alu-But-Dampfsperren): Aluminium in MVA und auf Deponie nachteilig (reaktiv).

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Entsorgungsbewertung von drei Varianten für die Wärmedämmung von Flachdächern. Als Decke wird eine 15 cm dicke Stahlbetondecke angenommen. Auf die Decke werden folgende Dämmstoffvarianten aufgebracht:

- Warmdach mit 36 cm EPS-Platte, Alu-Bitumen-Dampfsperre, Polymerbitumenabdichtung
- Duodach mit 28 cm EPS- + 10 cm XPS-Platte
- Dämmung wie Warmdach, Gründachaufbau: 8 cm Pflanzensubstrat, Drainageschicht und Gummigranulatmatte

Entsorgungs-eigenschaften	Variante 1 (Warmdach)		Variante 2 (Duodach)		Variante 3 (Gründach)	
	Vol %	Note	Vol %	Note	Vol %	Note
Stofflich verwertet	10	1,0	10	1,0	12	1,0
Energetisch verwertet	64	3,0	65	3,0	56	3,0
Beseitigt	26	2,0	25	2,0	32	2,3
Recyclierbarkeit		3,2		3,3		3,8

Es wird angenommen, dass

- die Stahlbetondecke deponiert wird, da sie mit Bitumen verunreinigt ist
- der Dämmschichtaufbau (Dämmstoff inkl. Folien) energetisch verwertet wird
- das Pflanzensubstrat auf dem Gründach stofflich verwertet, alle anderen Bestandteile (Splitt und Folien) auf Deponien oder in MVA beseitigt werden.

Geht man davon aus, dass die EPS-Platte im Warmdach stofflich verwertet wird, würde sich z.B. für die Variante 1 einer Recyclierbarkeitsnote von 2,1 ergeben.

5.7 Wärmedämmung der obersten Geschoßdecke

Die Wärmedämmung von obersten Geschoßdecken erfordert für die Erreichung des Passivhausniveaus je nach Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs und der Systemcharakteristika üblicherweise Dämmstärken von ca. 40 cm. Als Referenz-Wärmewiderstand wurde eine 50 cm starke Schütt-Dämmstoffschicht mit einer Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,05 W/mK gewählt. Damit ergeben sich die folgenden Bezugs-Kennwerte:

Wärmewiderstand funktionale Einheit	10,0	m²K/W
U-Werte saniert	0,09 - 0,10	W/m²K

Anmerkung: In den Konstruktionsvarianten werden die Dämmstärken aus den sanierten Bauteilen angegeben, die von dem angegebenen Wärmewiderstand deutlich abweichen können.

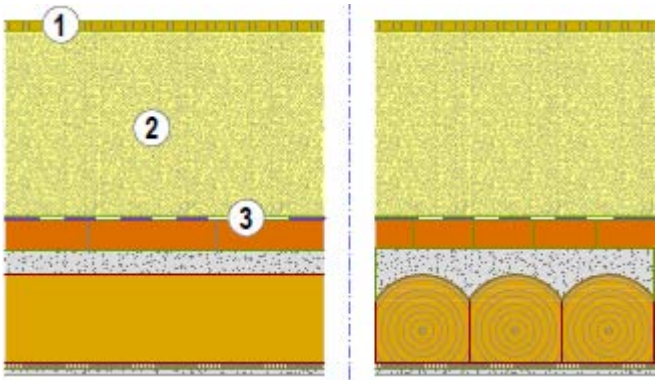
In der folgenden Tabelle werden die verwendeten Dämmstärken für die unterschiedlichen Dämmungen angegeben:

Dämmung für Platte auf Schüttdämmstoff	**Stärke [m]**
Perlite	0,50
Schaumglasschotter	1,00
Dämmung für Platte auf druckfestem Dämmstoff	
Holzfaser	0,40
Holzfaser	0,40
Korkplatte	0,40
Stroh	0,55
Steinwolle	0,40
EPS	0,36
Dämmung für Dämmstoff in Dibo oder Holzkonstruktion	
Zellulose	0,44
Hanf	0,44
Flachs	0,44
Schafwolle	0,44
Holzfaser	0,44
Stroh	0,55
Holzspäne	0,47
Glaswolle	0,44
Steinwolle	0,44

Anmerkung: Wärmewiderstand +10% durch Wärmebrückenwirkung Konstruktion

5.7.1 Beschreibung und Bewertung im Detail

5.7.1.1 Platte auf Schütt-Dämmstoff



Dämmstoffe:

Perlite

Schaumglasschotter

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Bauplatte	▪ *HWL-Porenverschlußplatte* ▪ *Gipsfaserplatte 2 lagig* ▪ *zementgebundene Spanplatte*	*2,5 cm* *2,5 cm* *2 cm*
2-Dämmstoff	▪ *Schüttdämmstoff, verdichtet*	*45 cm*
3-Dampfbremse	▪ *PE-Dampfbremse*	*0,02 cm*

5.7.1.2 Bauplatten auf druckfestem Dämmstoff



Dämmstoffe:

Holzfaser

Kork

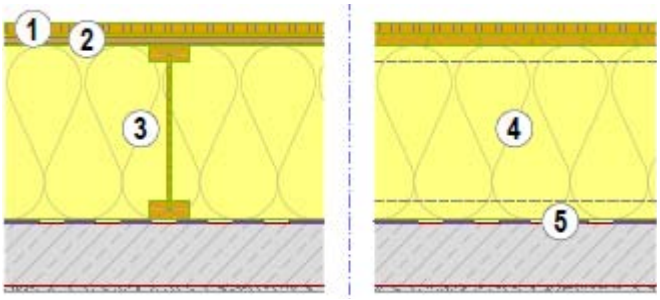
Strohballen

Steinwolle

EPS

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Bauplatte	▪ *HWL-Porenverschlußplatte* ▪ *Gipsfaserplatte 2 lagig* ▪ *zementgebundene Spanplatte*	*2,5 cm* *2,5 cm* *2 cm*
2-Dämmstoff	▪ *Dämmstoff druckfest*	*36 cm*
3-Dampfbremse	▪ *PE-Dampfbremse*	*0,02 cm*

5.7.1.3 Dämmstoff zwischen Holzkonstruktion



Dämmstoffe:

Zelluloseplatten

Hanf

Flachs

Schafwolle

Holzfaser

Stroh

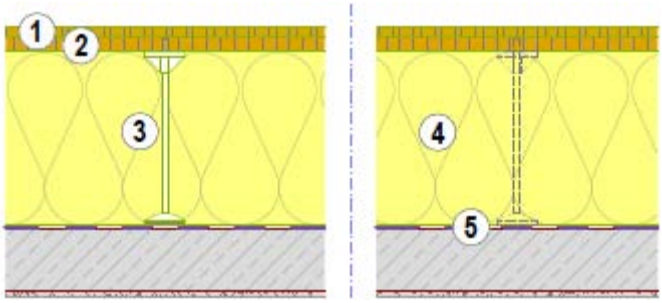
Holzspäne

Glaswolle

Steinwolle

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Bauplatte	▪ *HWL-Porenverschlußplatte* ▪ *Gipsfaserplatte 2 lagig* ▪ *zementgebundene Spanplatte*	*2,5 cm* *2,5 cm* *2 cm*
2-Holzschalung	▪ *Holzschalung sägerauh nach stat. Erfordernis*	*2 cm* *2,4 cm*
3-Holzkonstruktion	▪ *Holzlatten kreuzweise* ▪ *„Leiterkonstruktion“* ▪ *Holz-C Träger* ▪ *Doppel T-Träger*	*je nach Dämmstoff*
4-Dämmstoff	▪ *Faserdämmstoff*	*40 cm (λ = 0,04 W/mK)**
5-Dampfbremse	▪ *PE-Dampfbremse*	*0,02 cm*

5.7.1.4 Dämmstoff zwischen Distanzbodenhalter



Dämmstoffe:

Zelluloseplatten

Hanf

Flachs

Schafwolle

Holzfaser

Stroh

Holzspäne

Glaswolle

Steinwolle

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Feuerschutzpl.	▪ *HWL-Porenverschlußplatte* ▪ *Gipsfaserplatte 2 lagig* ▪ *zementgebundene Spanplatte*	*2,5 cm* *2,5 cm* *2 cm*
2-Holzschalung	▪ *Spanplatte* ▪ *OSB-Platte*	*3,2 cm* *2,8 cm*
3-Tragkonstruktion	▪ *Distanzbodenhalter*	*je nach Dämmstoff*
4-Dämmstoff	▪ *Faserdämmstoff*	*40 cm (λ = 0,04 W/mK)**
5-Dampfbremse	▪ *PE-Dampfbremse*	*0,02 cm*

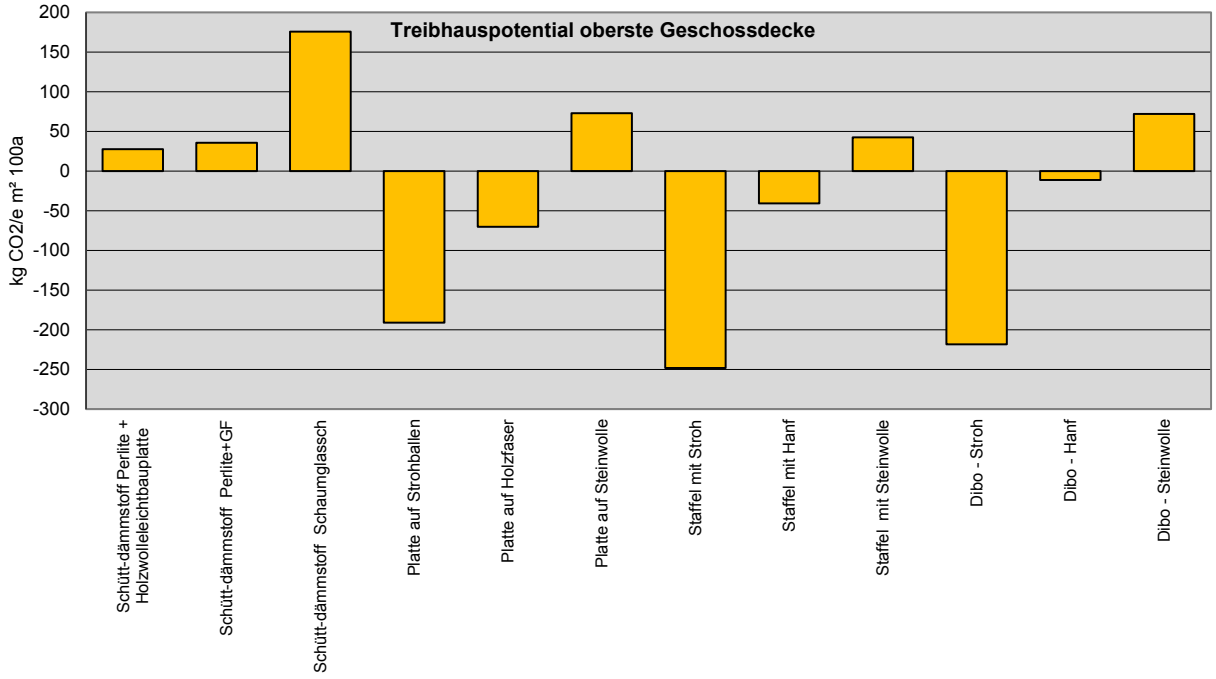
5.7.2 Zusammenschau über den Lebenszyklus

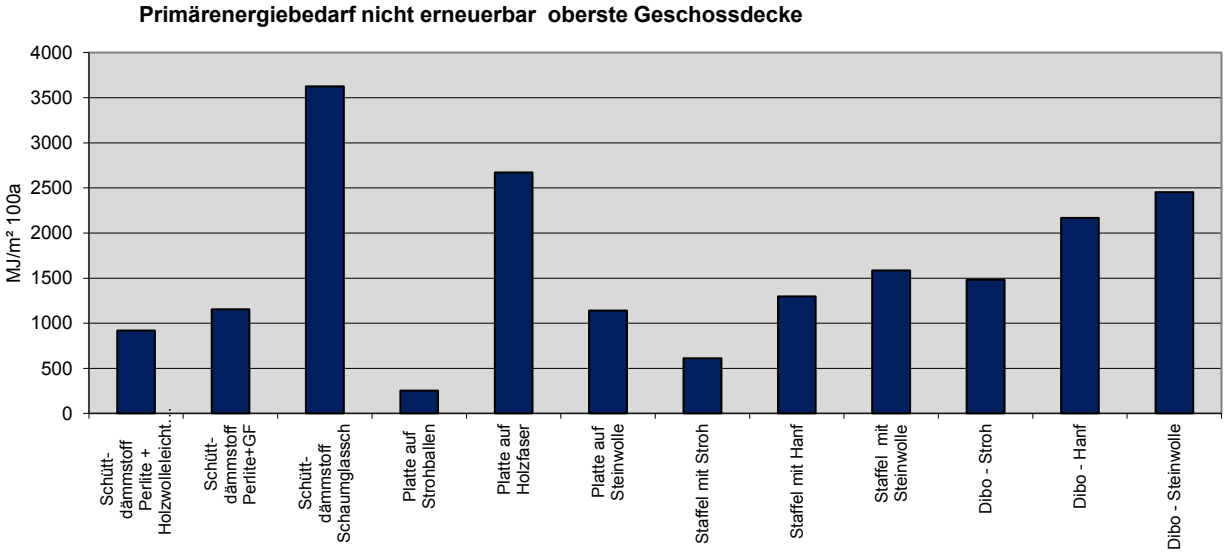
5.7.2.1 Herstellung

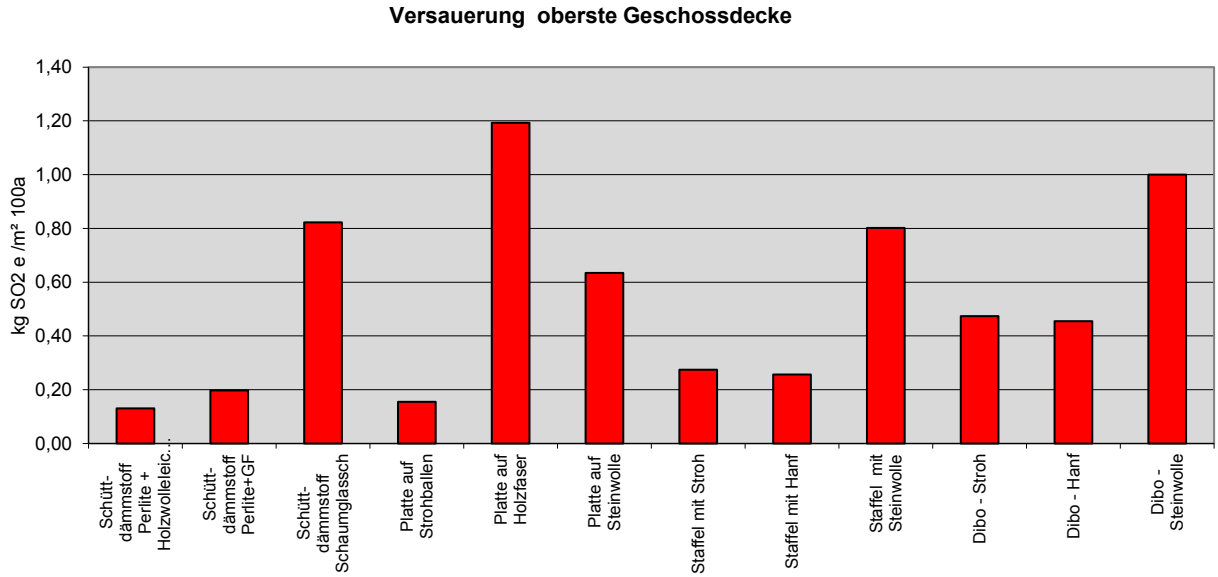
Die dargestellten Systeme unterscheiden sich

- in der Flexibilität zum potentiellen Einsatz unterschiedlicher Dämmstoffe
- in der Art der Befestigungssysteme:
- Dämmstoffe zwischen Konstruktionsholz
- Schwimmende Verlegung

Die Belastungen in den betrachteten Umweltkategorien hängen vor allem vom Aufwand zur Herstellung des Dämmstoffs ab. Dieser hängt v.a. vom Herstellungsverfahren, dem Rohstoff, den Zusatzstoffen und der erforderlichen Dichte ab. Wesentlichen Einfluss können auch die Abdeckplatten besitzen. Die Herstellung aller anderen benötigten Baustoffe ist demgegenüber verhältnismäßig gering.







- Günstig liegen vor allem Systeme mit geringfügig bearbeiteten Dämmstoffen.

5.7.2.2 Einbau und Transporte (Ausführungsmängel)

Die dargestellten Systeme unterscheiden sich

- in der Befestigungstechnik (schrauben – „schwimmend mit Beschwerung“)
- in der Anpassungsflexibilität bezüglich Ebenheit der Bestandsdecke (Rohdecke oder alte Ziegelplatten, alte Dämmstoffschichten etc.)

Schüttdämmstoffe bieten den Vorteil, das Dämmsystem direkt an den Bestand anzupassen (Pfetten, Einbauten etc.).

Die Arbeitsplatzbelastungen bei der Verarbeitung decken sich mit jenen der Einzelkomponenten. Schutzmaßnahmen sind besonders beim Einblasen und Schütten von Dämmstoffen erforderlich, da dabei die Staubemissionen beträchtlich sein können. Direkter Hautkontakt mit Glas- oder Steinwolle kann zu einer Sensibilisierung der Haut führen. Mit dem Tragen von Handschuhen kann Abhilfe geschaffen werden.

5.7.2.3 Nutzung und Instandhaltung

Die Beurteilung in der Nutzungsphase bezieht sich auf die Qualität der gewünschten Funktionen, auf den Instandsetzungsaufwand, der Nutzungsdauer der einzelnen Schichten und die Gesundheitsverträglichkeit für die NutzerInnen.

Für die Erhaltung des **Wärmeschutzes** und damit auch der hohen Innenoberflächentemperaturen der sanierten Bauteil ist die Vermeidung einer Hinterspülung der Wärmedämmung mit kalter Außenluft sowie die andauernde Vermeidung von vertikalen Luftspalten, die vom Warmen ins Kalte führen (i.e. die Formstabilität der Dämmstoffe). Vorteile besitzen diesbezüglich Systeme mit Schütt- oder Einblasdämmstoffen, da der Dämmstoff sich exakt an die Begrenzung anpassen kann. Systeme mit steifen Dämmstoffen erfordern ebe-

ne Auflageflächen, entsprechende Untergrundvorbereitung, angepasste Anschlussdetails und eine gute Ausführung.

Der **Schallschutz** der Bestandswand wird in allen dargestellten Fällen verbessert, wobei die Verbesserung des Schalldämmmaßes stark von den Eigenschaften der Rohdecke und der Biegeweichheit der äußeren Abdeckung abhängt.

Die Wirkung der Dämmsysteme auf den **Feuchteschutz** ist vor allem von der Ausführung der luft/dampfbremsenden Schicht warmseitig und der Abdeckung kaltseitig abhängig. Die Relevanz der winddichten Ebene hängt auch stark von der Durchströmung des Dachraumes durch Außenluft ab. In sich strömungsbremsende Systeme sind fehlertoleranter als steife Dämmstoffe, die bei unsachgemäßer Ausführung Luftspalte an den Plattenstößen oder vor allem an den Durchdringungen aufweisen können.

Schadstoffimmissionen hängen vor allem von den in den Dämmstoffen enthaltenen flüchtigen Stoffen ab und den tatsächlichen Eigenschaften der Bestanddecke (Dichtigkeit, Diffusionsverhalten). Schadstoffe könnten mittels Diffusion oder auch über undichte Stellen nach innen abgegeben werden.

5.7.2.4 Rückbau, Wiederverwertung und Entsorgung

Systemkomponente	Beschreibung der Entsorgungseigenschaften
Dammstoff auf Decke	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Dämmstoff sind i.d.R, lose auf den Untergrund gelegt und können daher einfach ausgebaut werden, wenn sie auch von der darüber liegenden Schicht /z.B. Estrich) getrennt werden können. Eine Wiederverwendung ist theoretisch möglich.
Dämmstoffe aus Holzfaser (Nassverfahren) , Kork, Stroh	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten keine Zusatzstoffe.
Dämmstoffe aus Zellulose, Flachs, Hanf, Holzfaser (Trockenverfahren), Holzspänen, Schafwolle	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten Bindemittel oder Flammschutzmittel als Zusatzstoffe, die sich i.d.R. in MVA unproblematisch verhalten.
EPS-Platten	Stoffliche Verwertung für Polystyrolschüttungen oder energetische Verwertung in MVA möglich; hoher Heizwert, aber geringes Gewicht; nachteilig: halogenhaltiges, als PBT eingestuftes Flammschutzmittel.
Mineralwolle	In der heutigen Entsorgungspraxis ist das PC-Recycling von Mineralwolle noch nicht weit fortgeschritten. Die Mineralwolle wird daher deponiert (nachteilig: geringe Rohdichte, Fasern) oder in der MVA entsorgt (nachteilig: kein Heizwert, Faserflug).
Perlite	Die Rückgewinnung von Perliten ist problemlos möglich. Das Material kann nach allfälliger Reinigung und Trocknung wieder als Dämmschüttung oder als Zuschlagstoff verwendet werden.
Abdeckplatten	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	
Gipsfaserplatte 2 lagig	Gipskartonplatten können in Aufbereitungsanlagen zerkleinert und zermahlen werden, der Karton wird mechanisch vom Gips abgetrennt und abgesaugt. Dieses Verfahren wird für Neumaterialien und Verschnitte bereits angewandt. Recycling von PC-Abfällen aus Gipsbauplatten findet in Österreich in der Praxis nicht statt. Gipsbauplatten werden deponiert, nachteilig: mögliche Sulfatemissionen.
HWL-Porenverschlussplatte, Zementgebundene Spanplatte	
Unterkonstruktion	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Dämmstoff und Unterkonstruktion sind nicht oder nur mechanisch (angetackert) miteinander verbunden und gut voneinander trennbar. Die Unterkonstruktion kann auch mit vergleichsweise geringem Aufwand von der Wand geschraubt werden.

Holzkonstruktion (Latten, Leiter, C-Träger, Doppel-T-Träger)	Wieder- oder Weiterverwendung als Unterkonstruktion, Recycling zu Holzspänen oder energetische Verwertung.
Distanzbodenhalter	Metallbestandteile werden vermutlich dem Metallrecycling zugeführt, Kunststoffanteile in MVA verbrannt
Holzschalung	Recycling zu Holzspänen oder energetische Verwertung. i.d.R. unbehandelt und daher entsorgungstechnisch unproblematisch.
Spanplatte	
OSB-Platte	Energetische Verwertung in MVA (i.d.R. keine problematischen Inhaltsstoffe enthalten); keine stoffliche Verwertung üblich
Dampfbremse	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Gute Trennbarkeit von Untergrund; von Rissen und Löchern ist auszugehen; Wiederverwendung auf Grund der hohen Anforderungen an Dampfbremsen ohnehin nicht anzunehmen.
PE-Dampfbremse	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; PE und PP selbst haben unproblematische Zusammensetzung, jedoch Einsatz von halogenorganischen Stoffen als Flammschutzmittel möglich

Die Wärmedämmung der obersten Geschoßdecke ist sehr einfach möglich. Die Ergebnisse in der Entsorgung sind daher im Wesentlichen durch die Art des Dämmstoffs und der Platten geprägt. Platten und Dämmstoff sollten voneinander trennbar auf die Geschoßdecke gelegt werden. Nachteilig auf die Entsorgungseigenschaften wirken sich in diesem Sinne die für die Verlegung sehr praktischen Verbundprodukte (z.B. Elemente aus Gipskartonplatte mit EPS-Platte) aus.

5.8 Wärmedämmung der Kellerdecke oberseitig

Die Wärmedämmung von Kellerdecken erfordert für die Erreichung des Passivhausniveaus je nach Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs und der Systemcharakteristika üblicherweise Dämmstärken von 20 bis 25 cm. Als Referenz-Wärmewiderstand wurde eine 25 cm starke Schütt-Dämmstoffschicht mit einer Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,05 W/mK gewählt. Damit ergeben sich die folgenden Bezugs-Kennwerte:

Wärmewiderstand funktionale Einheit	5,0	m²K/W
U-Werte saniert	0,15 - 0,20	W/m²K

Anmerkung: In den Konstruktionsvarianten werden die Dämmstärken aus den sanierten Bauteilen angegeben, die von dem angegebenen Wärmewiderstand deutlich abweichen können.

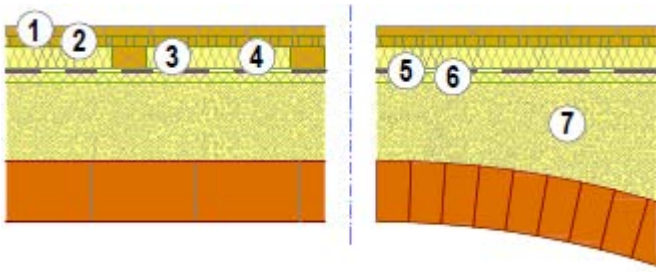
In der folgenden Tabelle werden die verwendeten Dämmstärken für die unterschiedlichen Dämmungen angegeben:

Dämmung für Holzboden auf Schüttdämmstoff	**Stärke [m]**
Perlite	0,25
Dämmung für Estrich auf druckfestem Dämmstoff	**Stärke [m]**
Holzfaser	0,20
Korkplatte	0,20
Stroh	0,25
Steinwolle	0,20
Polystyrol expandiert	0,18
Vakuumdämmung	0,04
Dämmung für zwischen Holzkonstruktion und Dibo	
Zellulose	0,22
Hanf	0,22
Flachs	0,22
Schafwolle	0,22
Holzfaser	0,22
Stroh	0,28
Holzspäne	0,24
Glaswolle	0,22
Steinwolle	0,22

Anmerkung: Wärmewiderstand +10% durch Wärmebrückenwirkung Konstruktion

5.8.1 Beschreibung und Bewertung im Detail

5.8.1.1 Holzboden auf Schütt-Dämmstoff

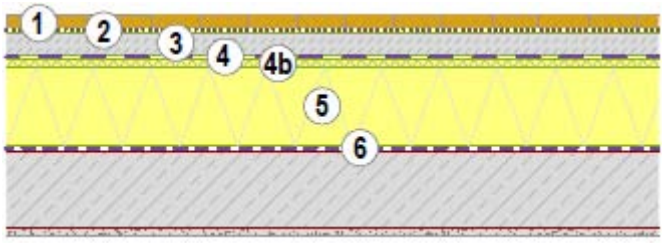


Dämmstoffe:

Perlite

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Parkett	▪ *Stabparkett* ▪ *Fischgrätenparkett*	*2,5 cm* *2,5 cm*
2-Blindboden	▪ *HWL-Porenverschlußplatte* ▪ *Gipsfaserplatte 2 lagig* ▪ *zementgebundene Spanplatte*	*2,5 cm* *2,5 cm* *2 cm*
3- Polsterhölzer	▪ *Holzschalung sägerauh*	*4,5 cm*
4-Dämmstoff	▪ *Holzfaserdämmplatte*	*5 cm*
5-Dampfbremse	▪ *PE-Dampfbremse*	*0,02 cm*
6-Dämmplatte	▪ *Holzfaserdämmplatte*	*2 cm*
7-Dämmstoff	▪ *Schüttdämmstoff, verdichtet*	*18 cm*

5.8.1.2 Estrich auf druckfestem Dämmstoff



Dämmstoffe:

Vakuumdämmung

Holzfaser

Kork

Strohballen

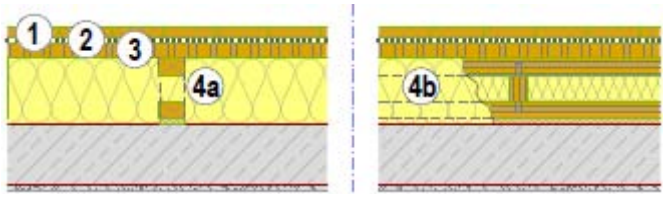
Steinwolle

EPS

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Bodenbelag	▪ *Parkett* ▪ *Fliesen*	*Je nach Produkt*
2-Trennlage	▪ *Wenn Bodenbelag schwimmend:* ▪ *Schafwolle* ▪ *Weichschaummatte*	*0,3 bis 0,5 cm*
3-Estrich	▪ *Zementestrich* ▪ *Trockenestrich Gipsfaser* ▪ *Trockenestrich Gipskarton* ▪ *Trockenestrich Spanplatte*	*5 cm* *2,5 cm* *3 cm* *3,2 cm*
4-Dampfbremse *Trittschall*	▪ *PE-Weichschaum, Stöße verklebt* ▪ *PE-Dampfbremse*	*0,5 cm* *0,02 cm*
4b-Trittschall	▪ *Trittschalldämmung nach Erfordernis*	*2 cm*
5-Dämmstoff	▪ *Dämmstoff druckfest* ▪ *Vakuumdämmung*	*18 cm*
6-Ausgleich	▪ *Wenn erforderlich (Sand, Fließestrich)*	*nach Erfordernis*

Vergleiche NTBTK KDo 01, S.124

5.8.1.3 Dämmstoff zwischen Holzkonstruktion



Dämmstoffe:

Zelluloseplatten

Hanf

Flachs

Schafwolle

Holzfaser

Stroh

Holzspäne

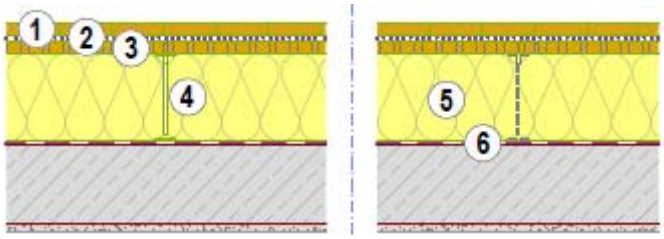
Glaswolle

Steinwolle

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Bodenbelag	▪ *Schiffboden* ▪ *Parkett auf* ▪ *Fliesen*	*Je nach Produkt*
2-Trennlage	▪ *Wenn Bodenbelag schwimmend:* ▪ *Schafwolle* ▪ *Weichschaummatte*	*0,3 bis 0,5 cm*
3-Tragschicht	▪ *Holzschalung sägerauh* ▪ *Pressspanplatte* ▪ *OSB-Platten*	*2,4 cm* *3,2 cm* *2,2 cm*
4a-Holzkonstruktion	▪ *Holzlatten kreuzweise* ▪ *„Leiterkonstruktion“* ▪ *Holz-C Träger* ▪ *Doppel T-Träger*	*je nach Dämmstoff*
4b-Dämmstoff	▪ *Faserdämmstoff*	*14 cm (λ = 0,04 W/mK)**

NTBTK KDo 03, S.128

5.8.1.4 Dämmstoff zwischen Distanzbodenhalter



Dämmstoffe:

Zelluloseplatten

Hanf

Flachs

Schafwolle

Holzfaser

Stroh

Holzspäne

Glaswolle

Steinwolle

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Bodenbelag	▪ *Schiffboden* ▪ *Parkett auf* ▪ *Fliesen*	*Je nach Produkt*
2-Trennlage	▪ *Wenn Bodenbelag schwimmend:* ▪ *Schafwolle* ▪ *Weichschaummatte*	*0,3 bis 0,5 cm*
3-Tragplatte	▪ *Spanplatte* ▪ *OSB-Platte*	*3,2 cm* *2,8 cm*
4-Tragkonstruktion	▪ *Distanzbodenhalter*	*je nach Dämmstoff*
5-Dämmstoff	▪ *Faserdämmstoff*	*20cm (λ = 0,04 W/mK)**
6-Dampfbremse	▪ *PE-Dampfbremse*	*0,02 cm*

Vergleiche NTBTK KDo 02, S.126

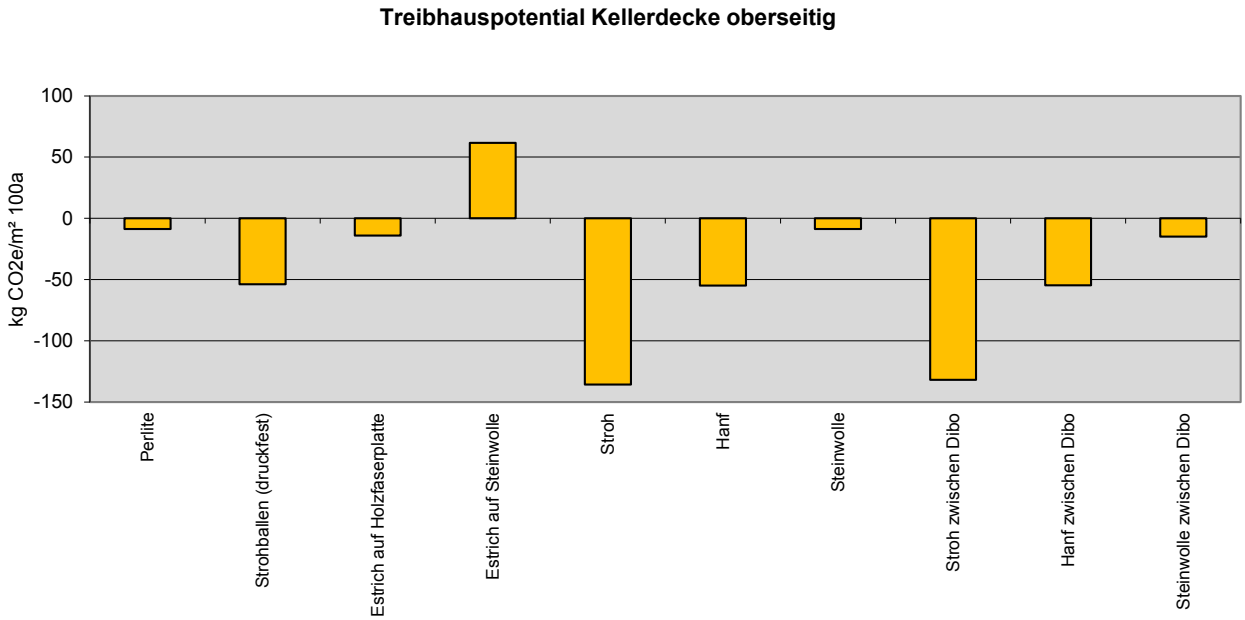
5.8.2 Zusammenschau über den Lebenszyklus

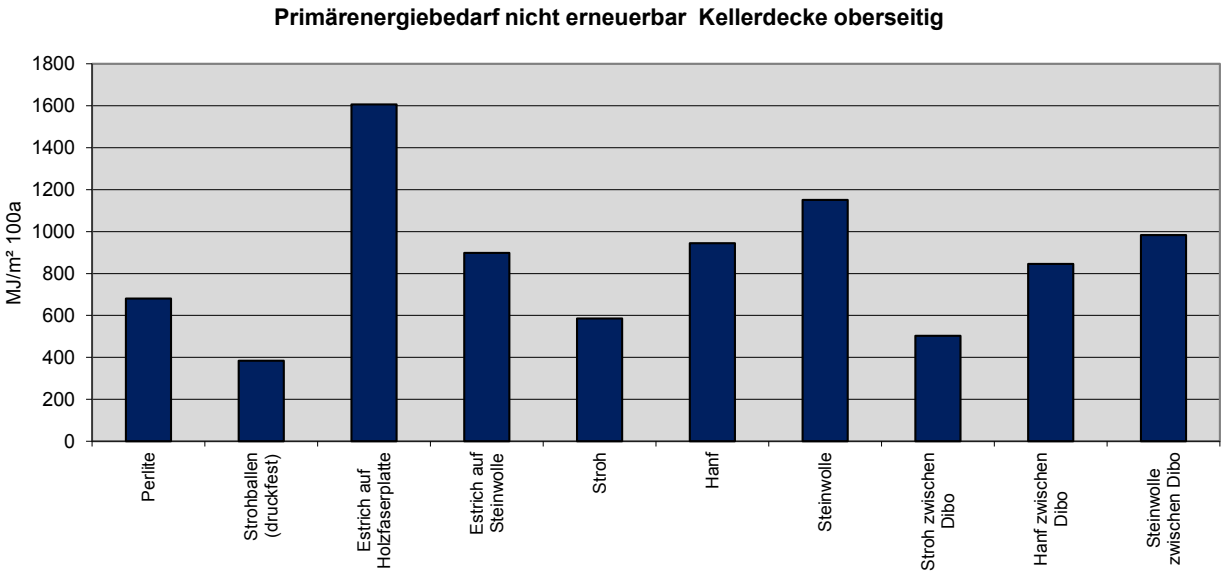
5.8.2.1 Herstellung

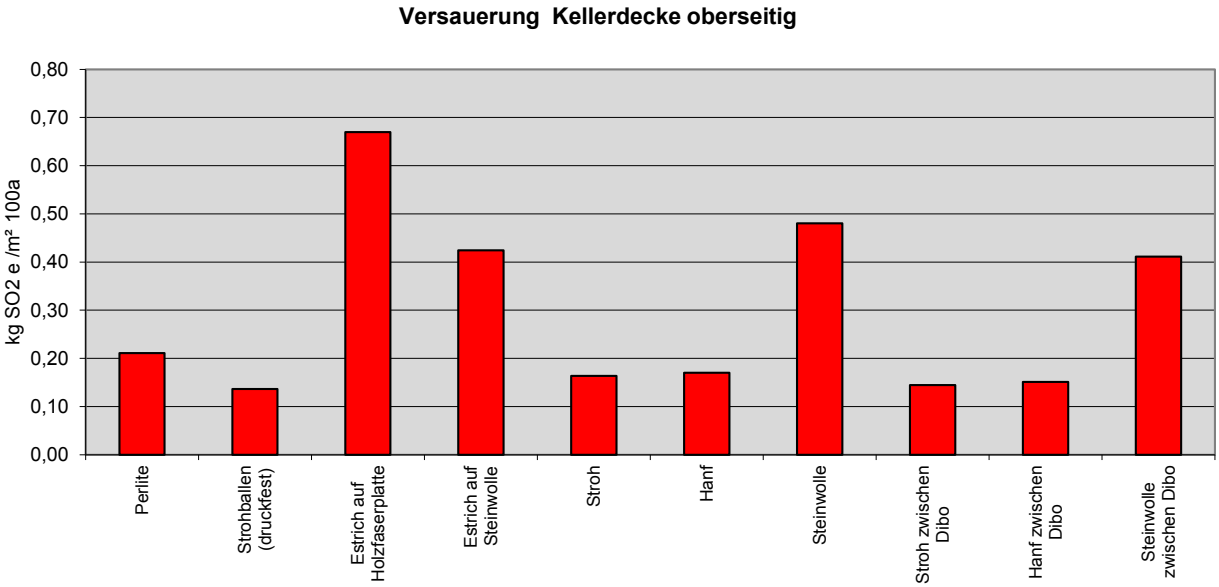
Die dargestellten Systeme unterscheiden sich

- in der Flexibilität zum potentiellen Einsatz unterschiedlicher Dämmstoffe
- in der Art der Befestigungssysteme:
- Dämmstoffe zwischen Konstruktionsholz
- Schwimmende Verlegung
- in der Art des „Estrichs“:
- Massive Estriche
- Trockene Estrich schwimmend
- Holzwerkstoffplatten auf Distanzfüßen
- Schiffboden oder Parkettboden auf Polsterhölzer

Die Belastungen in den betrachteten Umweltkategorien hängen vor allem vom Aufwand zur Herstellung des Dämmstoffs ab. Dieser hängt v.a. vom Herstellungsverfahren, dem Rohstoff, den Zusatzstoffen und der erforderlichen Dichte ab. Wesentlichen Einfluss können auch Estrich, Fußbodenbeläge und Holzwerkstoffplatten besitzen. Die Herstellung aller anderen benötigten Baustoffe ist demgegenüber verhältnismäßig gering.







- Günstig liegen vor allem Systeme mit geringfügig bearbeiteten Dämmstoffen.

5.8.2.2 Einbau und Transporte (Ausführungsmängel)

Die dargestellten Systeme unterscheiden sich

- in der Befestigungstechnik (schrauben – „schwimmend mit Beschwerung“)
- in der Anpassungsflexibilität bezüglich Ebenheit der Bestandsdecke (Rohdecke oder alte Abdichtung etc.)

Schüttdämmstoffe bieten den Vorteil, das Dämmsystem direkt an den Bestand anzupassen (Pfetten, Einbauten etc.).

Die Arbeitsplatzbelastungen bei der Verarbeitung decken sich mit jenen der Einzelkomponenten. Schutzmaßnahmen sind besonders beim Einblasen und Schütten von Dämmstoffen erforderlich, da dabei die Staubemissionen beträchtlich sein können. Direkter Hautkontakt mit Glas- oder Steinwolle kann zu einer Sensibilisierung der Haut führen. Mit dem Tragen von Handschuhen kann Abhilfe geschaffen werden.

5.8.2.3 Nutzung und Instandhaltung

Die Beurteilung in der Nutzungsphase bezieht sich auf die Qualität der gewünschten Funktionen, auf den Instandsetzungsaufwand, der Nutzungsdauer der einzelnen Schichten und die Gesundheitsverträglichkeit für die NutzerInnen.

Für die Erhaltung des **Wärmeschutzes** und damit auch der hohen Innenoberflächentemperaturen des sanierten Bauteils ist die Vermeidung einer Hinterspülung der Wärmedämmung mit warmer Innenluft sowie die andauernde Vermeidung von vertikalen Luftspalten, die vom Warmen ins Kalte führen (i.e. die Formstabilität der Dämmstoffe). In der Kellerdecke ist dieser Effekt allerdings weniger relevant. Vorteile besitzen diesbezüglich Systeme mit Schütt- oder Einblasdämmstoffen, da der Dämmstoff sich exakt an die Begrenzung anpassen kann. Systeme mit steifen Dämmstoffen erfordern ebene Auflageflächen, entsprechende Untergrundvorbereitung, angepasste Anschlussdetails und eine gute Ausführung.

Der **Schallschutz** der Bestandswand wird je nach Bestandsituation verbessert oder auch verschlechert, wobei die Verbesserung des Schalldämmmaßes stark von den Eigenschaften der Rohdecke und der Biegeweichheit des Estrichs etc. abhängt.

Die Wirkung der Dämmsysteme auf den **Feuchteschutz** ist vor allem von der Ausführung der luft/dampfbremsenden Schicht warmseitig, der Dampfbremswirkung der Rohdecke und dem Kellerklima abhängig. Zu beachten ist die Absenkung der Kellertemperatur durch ebendiese Kellerdeckendämmung, was meist zu höheren relativen Feuchten führt.

Schadstoffimmissionen hängen vor allem von den in den Dämmstoffen enthaltenen flüchtigen Stoffen ab und den tatsächlichen Eigenschaften der Abddeckung (Dichtigkeit, Diffusionsverhalten). Erfahrungsgemäß können vor allem Fußbodenbeläge und deren Verklebung relevant.

5.8.2.4 Rückbau, Wiederverwertung und Entsorgung

Systemkomponente	Beschreibung der Entsorgungseigenschaften
Dämmstoffe auf der Kellerdecke verlegt	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Dämmstoff sind i.d.R, lose auf den Untergrund gelegt und können daher einfach ausgebaut werden, wenn sie auch von der darüber liegenden Schicht /z.B. Estrich) getrennt werden können. Eine Wiederverwendung ist theoretisch möglich.
Dämmstoffe aus Zellulose, Flachs, Hanf, Holzfaser (Trockenverfahren), Holzspänen, Schafwolle	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten Bindemittel oder Flammschutzmittel als Zusatzstoffe, die sich i.d.R. in MVA unproblematisch verhalten.
Dämmstoffe aus Holzfaser (Nassverfahren) , Kork,	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten keine Zusatzstoffe.
EPS-Platten	Stoffliche Verwertung für Polystyrolschüttungen oder energetische Verwertung in MVA möglich; hoher Heizwert, aber geringes Gewicht; nachteilig: halogenhaltiges, als PBT eingestuftes Flammschutzmittel.
Mineralwolle	In der heutigen Entsorgungspraxis ist das PC-Recycling von Mineralwolle noch nicht weit fortgeschritten. Die Mineralwolle wird daher deponiert (nachteilig: geringe Rohdichte, Fasern) oder in der MVA entsorgt (nachteilig: kein Heizwert, Faserflug).
Perlite	Die Rückgewinnung von Perliten ist problemlos möglich. Das Material kann nach allfälliger Reinigung und Trocknung wieder als Dämmschüttung oder als Zuschlagstoff verwendet werden.

Vakuumdämmplatte	Über die Entsorgungswege für Vakuumdämmplatten ist uns nichts bekannt. Laut BINE projektinfo 04/01 bestehen die Platten aus „rezyklierbaren, toxikologisch unbedenklichen Materialien“. Dafür müssten aber die Verbundfolie aus Kunststoff und Aluminium (ev. nur Alu-Bedampfung) vom Dämmkern aus Kieselsäure sauber getrennt werden, wovon unter den derzeitigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen nicht auszugehen ist.
Unterkonstruktion	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Dämmstoff und Unterkonstruktion sind nicht oder nur mechanisch (angetackert) miteinander verbunden und gut voneinander trennbar. Die Unterkonstruktion kann auch mit vergleichsweise geringem Aufwand von der Wand geschraubt werden.
Holzkonstruktion (Latten, Leiter, C-Träger, Doppel-T-Träger)	Wieder- oder Weiterverwendung als Unterkonstruktion, Recycling zu Holzspänen oder energetische Verwertung.
Distanzbodenhalter	Metallbestandteile werden vermutlich dem Metallrecycling zugeführt, Kunststoffanteile in MVA verbrannt

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Entsorgungsbewertung von drei Varianten der oberseitigen Wärmedämmung von Kellerdecken.

Als Kellerdecke wurde eine 15 cm dicke Stahlbetondecke angenommen. An dieser Grundkonstruktion wurden folgende Dämmvarianten durchgespielt:

- 37,5 cm Perlite und 2 cm Holzfaserplatte, darauf Holzboden auf Polsterhölzer (mit Schafwolle)
- 27,5 cm Perlite und 2 cm Holzfaserplatte unter Estrich, Klebeparkett
- 27 cm Glaswolle zwischen Stahlanker Unterboden aus Spanplatte, Klebeparkett

Entsorgungs-eigenschaften	**Variante 1 (Holzboden)**		**Variante 2 (Estrich)**		**Variante 3 (Glaswolle)**	
	Vol %	**Note**	**Vol %**	**Note**	**Vol %**	**Note**
Stofflich verwertet	85	1,0	86	1,0	33	1,0
Energetisch verwertet	15	1,9	3	1,0	10	3,0
Beseitigt	0	0,0	11	4,0	57	4,0
Recyclierbarkeit		0,7		1,3		3,6

Es wird angenommen, dass die Stahlbetonplatten recycliert wird, da sie nicht verunreinigt ist.

Am schlechtesten schneidet die Variante mit der Glaswolle-Dämmung ab. Die Glaswolle kann zwar sauber ausgebaut werden, jedoch ist nicht von einer Wiederverwendung auszugehen. Ein stoffliches Recycling von PC-Abfällen aus Glaswolle ist theoretisch möglich, derzeit ist eine solche Entwicklung aber nicht abzusehen. Die anderen Konstruktionen profitieren von der guten Verwertbarkeit der Perlite-Dämmung.

5.9 Wärmedämmung der Kellerdecke unterseitig

Die Wärmedämmung von Kellerdecken erfordert für die Erreichung des Passivhausniveaus je nach Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs und der Systemcharakteristika üblicherweise Dämmstärken von 20 bis 25 cm. Als Referenz-Wärmewiderstand wurde eine 20 cm starke homogene Dämmstoffschicht mit einer Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,04 W/mK gewählt. Damit ergeben sich die folgenden Bezugs-Kennwerte:

Wärmewiderstand funktionale Einheit	5,0	m²K/W
U-Werte saniert	0,15 - 0,20	W/m²K

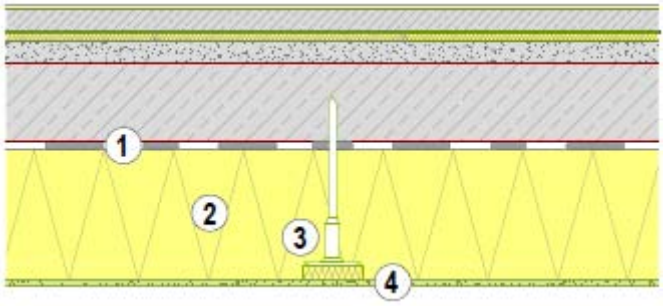
Anmerkung: In den Konstruktionsvarianten werden die Dämmstärken aus den sanierten Bauteilen angegeben, die von dem angegebenen Wärmewiderstand deutlich abweichen können.

In der folgenden Tabelle werden die verwendeten Dämmstärken für die unterschiedlichen Dämmungen angegeben:

Dämmung für Wärmedämmverbundsystem	**Stärke [m]**
Mineralschaum	0,23
Steinwolle	0,20
Schaumglas	0,23
Blähglas	0,33
Vakuumdämmung	0,04
Backkork	0,20
Holzfaser	0,20
Schilf	0,28
Hanf	0,20
Polystyrol expandiert	0,20
Polyurethan	0,15
Phenolformaledydschaum	0,11
Dämmung für abgehängte Decke	
Zellulose	0,20
Hanf	0,20
Flachs	0,20
Schafwolle	0,20
Holzfaser	0,20
Glaswolle	0,20
Steinwolle	0,20

5.9.1 Beschreibung und Bewertung im Detail

5.9.1.1 Wärmedämmverbundsystem



Dämmstoffe:

Mineralschaum

Steinwolle

Schaumglas

Blähglas

Vakuumdämmung

Backkork

Holzfaser

Schilf

Hanf

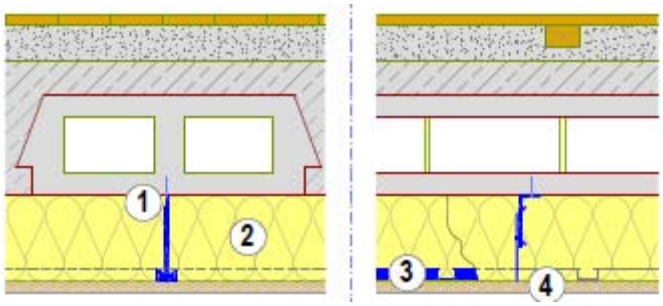
Expandiertes Polystyrol

Polyurethan

Phenolformaldeydschaum

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Kleber	▪ *Mineralischer Kleber* ▪ *Kunststoffkleber*	
2-Dämmstoff	▪ *einlagig* ▪ *mit Stufenfalz* ▪ *2-lagig*	*30 cm (l = 0,040 W/mK)*
3-Dübel opt.	▪ *Dübel mit Dämmkappe* ▪ *Klebedübel*	
4-Klebespachtel opt.	▪ *Dünnbett,*	*3 mm*

5.9.1.2 Abgehängte Decke



Dämmstoffe:

Zellulose

Hanf

Flachs

Schafwolle

Holzfaser

Glaswolle

Steinwolle

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Kleber	▪ *Abhängung/Befestigung*	*je nach Dämmstoff*
2-Dämmstoff	▪ *Faserdämmstoff*	*20 cm (λ = 0,040 W/mK)*
3-Metallschiene.	▪ *Metallschiene*	*3 / 5 cm*
4-Bauplatte	▪ *Holzwolleleichtbauplatte* ▪ *Gipsfaserplatte Feuchteschutz*	*2,5 cm* *1,5 cm*

siehe NBTK KDu01, S.130

5.9.2 Zusammenschau über den Lebenszyklus

5.9.2.1 Herstellung

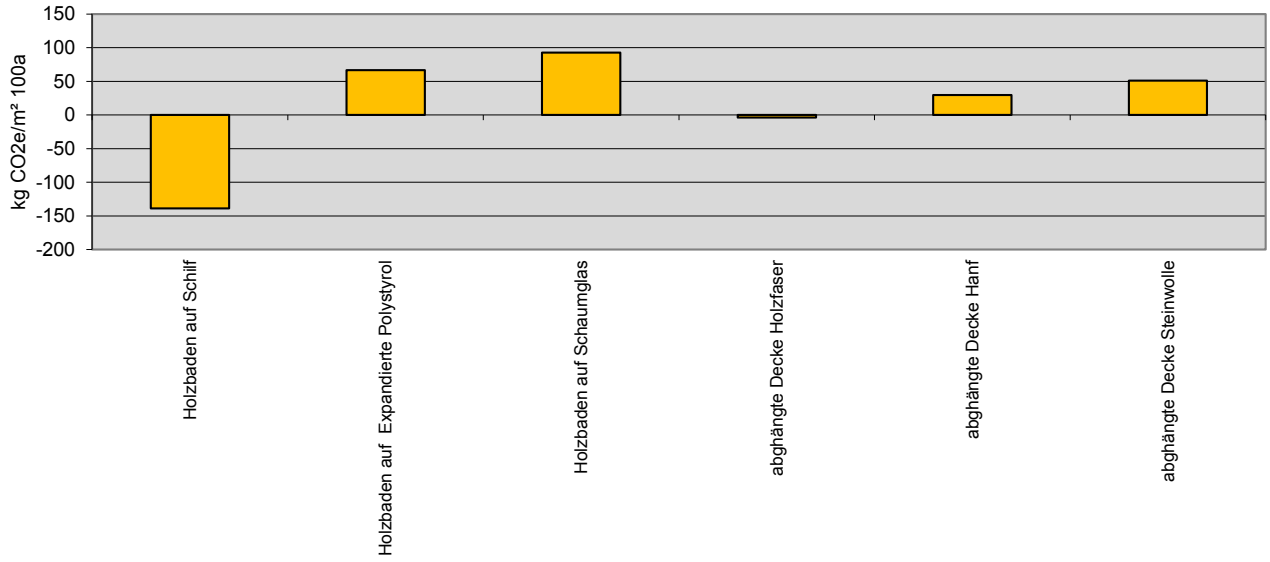
Die dargestellten Systeme unterscheiden sich

- in der Flexibilität zum potentiellen Einsatz unterschiedlicher Dämmstoffe
- in der Art der Befestigungssysteme:
- Verklebung
- Abgehängte Systeme

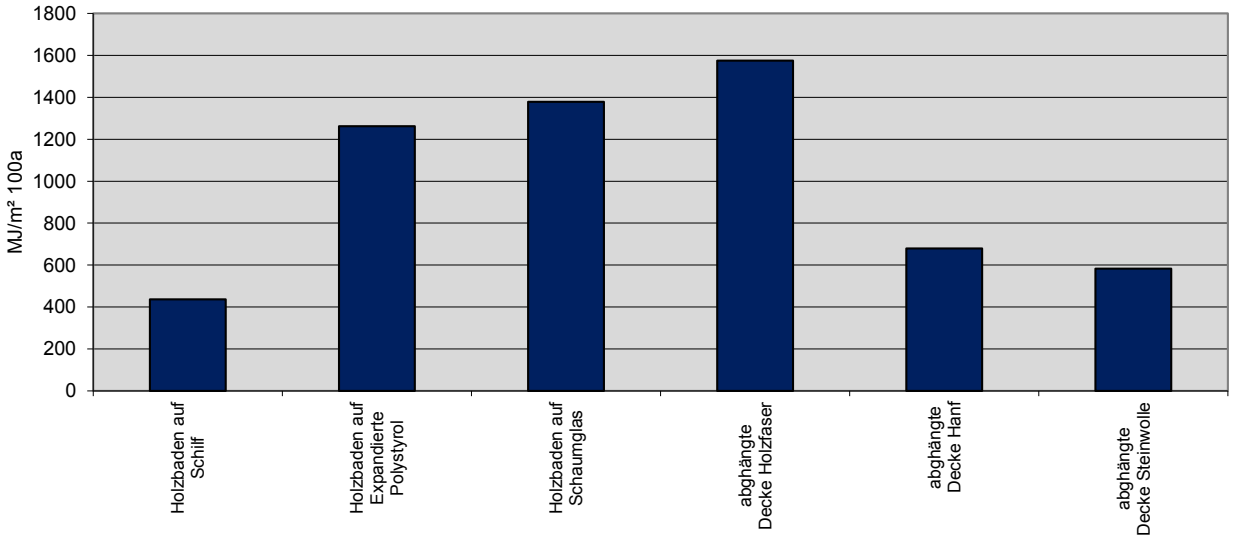
Die Belastungen in den betrachteten Umweltkategorien hängen vor allem vom Aufwand zur Herstellung des Dämmstoffs ab. Dieser hängt v.a. vom Herstellungsverfahren, dem Rohstoff, den Zusatzstoffen und der erforderlichen Dichte ab. Die Herstellung aller anderen benötigten Baustoffe ist demgegenüber verhältnismäßig gering.

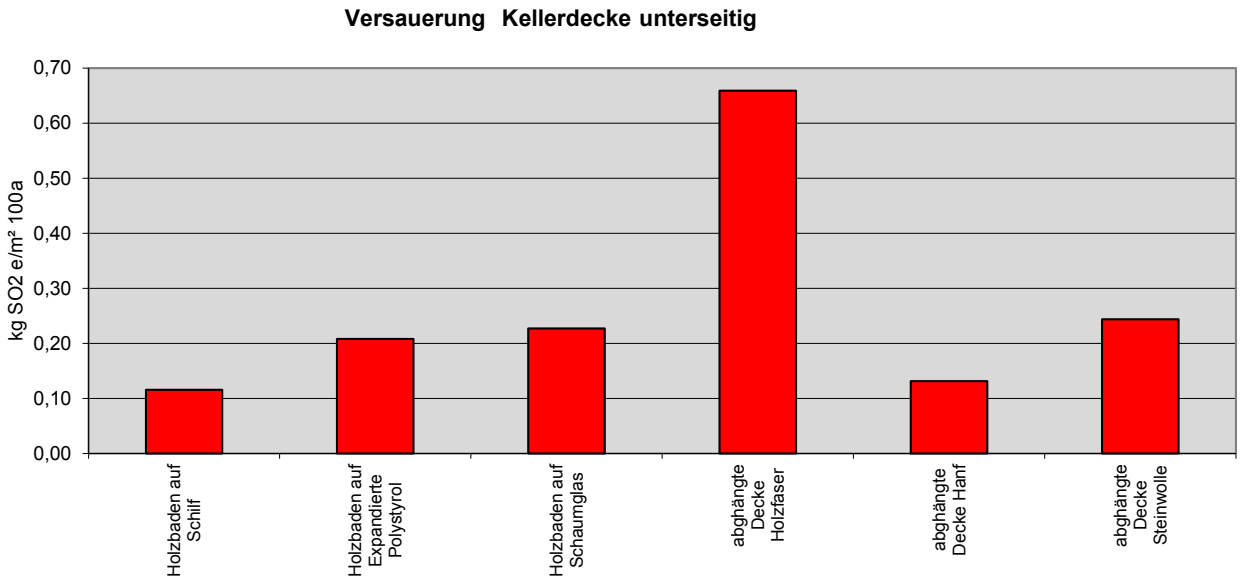
.

Treibhauspotential Kellerdecke unterseitig



Primärenergiebedarf nicht erneuerbar Kellerdecke unterseitig





- Günstig liegen vor allem Systeme mit geringfügig bearbeiteten Dämmstoffen.

5.9.2.2 Einbau und Transporte (Ausführungsmängel)

Die dargestellten Systeme unterscheiden sich

- in der Befestigungstechnik (kleben – schrauben)
- in der Anpassungsflexibilität bezüglich Ebenheit der Bestanddecke und Haftung der letzten Bestands-Baustoffschicht (Putz oder Rohdecke)

Die Arbeitsplatzbelastungen bei der Verarbeitung decken sich mit jenen der Einzelkomponenten. Schutzmaßnahmen sind besonders beim Einblasen von Dämmstoffen erforderlich, da dabei die Staubemissionen beträchtlich sein können. Grundierungen können hohe Lösemittelgehalte aufweisen.
Bei Kalkhydrat- oder zementhaltigen Produkten können bei unzureichendem Arbeitsschutz raue Hände, Verätzungen etc. auftreten (Maurerkrätze). Direkter Hautkontakt mit Glas- oder Steinwolle kann zu einer Sensibilisierung der Haut führen. Mit dem Tragen von Handschuhen kann Abhilfe geschaffen werden.

5.9.2.3 Nutzung und Instandhaltung

Die Beurteilung in der Nutzungsphase bezieht sich auf die Qualität der gewünschten Funktionen, auf den Instandsetzungsaufwand, der Nutzungsdauer der einzelnen Schichten und die Gesundheitsverträglichkeit für die NutzerInnen.
Für die Erhaltung des **Wärmeschutzes** und damit auch der hohen Innenoberflächentemperaturen der sanierten Bauteil ist die Vermeidung einer Hinterspülung der Wärmedämmung mit kalter Kellerluft sowie die andauernde Vermeidung von Luftspalten, die vom Kalten ins Warme führen, relevant (i.e. die Formstabilität der Dämmstoffe). Auf eine geeignete Vorbereitung des Untergrundes gemäß Normen und Ausführungsregeln ist vor allem bei verklebten Systemen zu achten.
Der **Schallschutz** der Bestandswand wird in fast allen Fällen verbessert, wobei die Verbesserung des Schalldämmmaßes stark von den Eigenschaften der Bestandswand und der Biegeweichheit der unteren Begrenzung abhängt. Wärmedämmverbundsysteme mit steifen Dämmstoffen können das Schalldämmmaß

auch herabsetzen, Faserdämmstoffe sind hier im Vorteil. Durch höhere Putzstärken oder den Umstieg auf weichere Dämmstoffarten kann dies verhindert werden.
Die Wirkung der Dämmsysteme auf den **Feuchteschutz** ist vor allem von Bestandsdecke abhängig, durch die kaltseitige Dämmung handelt es sich um ein eher „gutmütiges" System.
Auf einen annähernd strömungsdichten Abschluss unterseitig ist jedenfalls zu achten, um ein Hinterströmung des Dämmstoffs zu verhindern. Zu beachten ist die Absenkung der Kellertemperatur durch ebendiese Kellerdeckendämmung, was meist zu höheren relativen Feuchten führt.

Schadstoffimmissionen hängen vor allem von den in den Dämmstoffen enthaltenen flüchtigen Stoffen ab. Diese können mittels Diffusion oder auch über undichte Stellen nach innen abgegeben werden. Relevant sind vor allem Styrol- und Pentanimmissionen aus Polystyrol-Dämmstoff sowie Formaldehydimmissionen aus entsprechend verklebten Dämmstoffen und Holzwerkstoffen. Da warmseitig eine luftdichte Ebene vorhanden ist, ist ein Transport von Fasern unwahrscheinlich, bzw. nur in geringem Maße möglich. Dies hängt von der Art der Bestandsdecke vor allem ab.

5.9.2.4 Rückbau, Wiederverwertung und Entsorgung

Systemkomponente	Beschreibung der Entsorgungseigenschaften
Dämmstoffe im WDVS	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Verklebte und verdübelte Wärmedämmverbundsysteme sind vor Ort nur mit hohem Aufwand und in Recyclinganlagen nur mit hohem Verlust vom Mauerwerk zu trennen. Aus heutiger wirtschaftlicher Sicht wird die Trennung nur so weit erfolgen, dass abfallwirtschaftliche Vorgaben erfüllt werden.
Expandiertes Polystyrol	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert, aber geringes Gewicht; nachteilig: halogenhaltiges, als PBT eingestuftes Flammschutzmittel. Gewicht der nicht brennbaren WDVS-Bestandteile wie Putz und Kleber in der gleichen Größenordnung wie das des Dämmstoffs.
Dämmplatten aus Backkork, Schilf ohne Zusatzstoffe, Holzfaser aus dem Nassverfahren	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten keine Zusatzstoffe. Mit nicht brennbaren Bestandteilen des WDVS verunreinigt.
Faserdämmstoffe aus erneuerbaren Rohstoffen (Hanffaser, Holzfaser im Trockenverfahren, Schilf)	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten Bindemittel oder Flammschutzmittel als Zusatzstoffe, die sich i.d.R. in MVA unproblematisch verhalten. Mit nicht brennbaren Bestandteilen des WDVS verunreinigt.
Mineralwolle-Dämmstoffe	In der heutigen Entsorgungspraxis ist das PC-Recycling von Mineralwolle noch nicht weit fortgeschritten. Aufgrund der Verunreinigungen im WDVS, ist auch in Zukunft nicht von einem Recycling auszugehen. Die Mineralwolle wird daher deponiert (nachteilig: geringe Rohdichte, Fasern).
Mineralschaumplatte	Stoffliche Verwertung als Schüttung oder Hinterfüllung theoretisch möglich, in der heutigen Praxis ist aber von einer Deponierung auszugehen.
Schaumglasplatten	Von einer stofflichen Verwertung ist aufgrund der Verklebung nicht auszugehen. Die Deponierung ist unproblematisch.
Polyurethan	Energetische Verwertung in MVA, nachteilig: im Vergleich zu anderen Kunststoffen geringerer Heizwert, geringes Gewicht und hoher Stickstoffgehalt.
Vakuumdämmplatten	Über die Entsorgungswege für Vakuumdämmplatten ist uns nichts bekannt. Laut BINE projektinfo 04/01 bestehen die Platten aus „rezyklierbaren, toxikologisch unbedenklichen Materialien". Dafür müssten aber die Verbundfolie aus Kunststoff und Aluminium (ev. nur Alu-Bedampfung) vom Dämmkern aus Kieselsäure sauber getrennt werden, wovon unter den derzeitigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen nicht auszugehen ist.

Dämmstoffe in abgehängter Decke	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Dämmstoff sind i.d.R, lose auf den Untergrund gelegt und können daher einfach ausgebaut werden, wenn sie auch von der darüber liegenden Schicht /z.B. Estrich) getrennt werden können. Eine Wiederverwendung ist theoretisch möglich.
Dämmstoffe aus Zellulose, Flachs, Hanf, Holzfaser (Trockenverfahren), Schafwolle	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten Bindemittel oder Flammschutzmittel als Zusatzstoffe, die sich i.d.R. in MVA unproblematisch verhalten.
Dämmstoffe aus Holzfaser (Nassverfahren)	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten keine Zusatzstoffe.
Mineralwolle	In der heutigen Entsorgungspraxis ist das PC-Recycling von Mineralwolle noch nicht weit fortgeschritten. Die Mineralwolle wird daher deponiert (nachteilig: geringe Rohdichte, Fasern) oder in der MVA entsorgt (nachteilig: kein Heizwert, Faserflug).
Weitere Komponenten der abgehängten Decke	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Dämmstoff und Unterkonstruktion sind nicht oder nur mechanisch (angetackert) miteinander verbunden und gut voneinander trennbar. Die Unterkonstruktion kann auch mit vergleichsweise geringem Aufwand von der Wand geschraubt werden.
Metallschiene	Metallrecycling
Holzwolleleichtbauplatte	Gemeinsam mit dem Putz auf Deponie entsorgt.
Gipskarton- oder Gipsfaserplatten	Gipskartonplatten können in Aufbereitungsanlagen zerkleinert und zermahlen werden, der Karton wird mechanisch vom Gips abgetrennt und abgesaugt. Dieses Verfahren wird für Neumaterialien und Verschnitte bereits angewandt. Recycling von PC-Abfällen aus Gipsbauplatten findet in Österreich in der Praxis nicht statt. Gipsbauplatten werden deponiert, nachteilig: mögliche Sulfatemissionen.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Entsorgungsbewertung von drei Varianten der unterseitigen Wärmedämmung von Kellerdecken.

Der Bodenaufbau wurde immer konstant gehalten (Fliesen auf Zementestrich, darunter Mineralwolle-Trittschalldämmung), um möglichst wenig relativen Einfluss auf die Entsorgungseigenschaften zu generieren.

Ebenso stimmt die Decke in allen Varianten überein (15 cm Stahlbeton).

An dieser Grundkonstruktion wurden folgende Dämmvarianten durchgespielt:

- 22,5 cm Mineralschaumplatten verspachtelt, auf Stahlbetonplatte geklebt
- Abgehängte Decke auf Federschiene , HWL-Platte verspachtelt, 20 cm Zellulosefaserplatte
- 20 cm Steinwolle, verspachtelt, auf Stahlbetonplatte geklebt

Entsorgungs-eigenschaften	**Variante 1 (Mineralschaum)**		**Variante 2 (Abgehängte D)**		**Variante 3 (Steinwolle)**	
	Vol %	**Note**	**Vol %**	**Note**	**Vol %**	**Note**
Stofflich verwertet	38	2,0	39	1,0	40	2,0
Energetisch verwertet	0	0,0	50	3,0	0	0,0
Beseitigt	63	2,1	11	3,6	60	3,9
Recyclierbarkeit		1,9		1,8		2,9

Es wird angenommen, dass die Stahlbetonplatten recycliert wird, da sie gar nicht (Var 2 abgehängte Decke) oder nur durch mineralische Bestandteile aus der verklebten Decke verunreinigt ist. Die verklebten Dämm-

und Putzträgersysteme werden gemeinsam mit den Verunreinigungen auf der Deponie beseitigt. Die Zellulosefaser wird in MVA energetisch verwertet.

Am besten schneidet die abgehängte Decke ab, aber auch hier bestünde Optimierungpotenzial durch Verwendung recyclierbarer Deckenuntersichtung (z.B. Holzelemente) und Verwendung von Dämmstoffen ohne Zusatzstoffen (z.B. Holzfaserplatten).

5.10 Wärmedämmung des erdberührten Fußbodens

Die Wärmedämmung von erdberührten Fußböden erfordert für die Erreichung des Passivhausniveaus je nach Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs und der Systemcharakteristika üblicherweise Dämmstärken von 20 bis 25 cm. Als Referenz-Wärmewiderstand wurde eine 20 cm starke homogene Dämmstoffschicht mit einer Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,04 W/mK gewählt. Damit ergeben sich die folgenden Bezugs-Kennwerte:

Wärmewiderstand funktionale Einheit	5,0	m²K/W
U-Werte saniert	0,15 - 0,20	W/m²K

Anmerkung: In den Konstruktionsvarianten werden die Dämmstärken aus den sanierten Bauteilen angegeben, die von dem angegebenen Wärmewiderstand deutlich abweichen können.

In der folgenden Tabelle werden die verwendeten Dämmstärken für die unterschiedlichen Dämmungen angegeben:

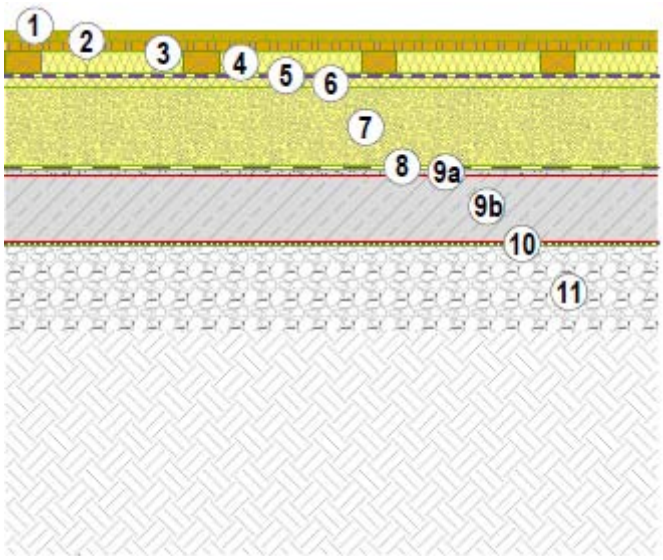
Dämmung für Schüttdämmstoff	**Stärke [m]**
Pelite	0,25
Blähglimmer	0,35
Blähton	0,80
Dämmung auf druckfestem Dämmstoff	
Vakuumdämmung	0,04
Holzfaser	0,20
Kork	0,20
Steinwolle	0,20
EPS	0,18
Dämmung zwischen Holzkonstruktion und Dibo	
Zellulosefaserplatten	0,22
Hanfdämmplatte	0,22
Korkplatte	0,22
Schafwolle	0,22
Holzfaser	0,22
Stroh	0,28
Holzspanwärmedämmung	0,24
Glaswolle	0,22
Steinwolle	0,22

Anmerkung: Wärmewiderstand +10% durch Wärmebrückenwirkung Konstruktion

Dämmung unter Bodenplatte	
Polystyrol extrudiert CO2-geschäumt (XPS)	0,20
Schaumglasplatte	0,20
Schaumglasschotter	0,50

5.10.1 Beschreibung und Bewertung im Detail

5.10.1.1 Holzboden auf Schütt-Dämmstoff



Dämmstoffe:

Perlite

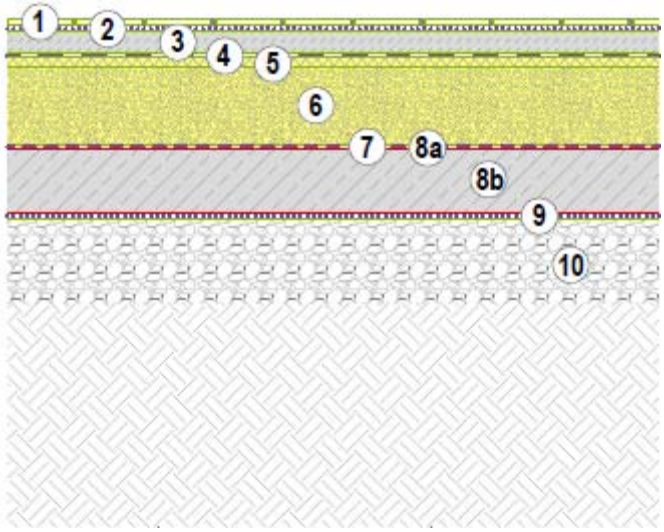
Blähglimmer,

Blähton

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Parkett	▪ *Stabparkett* ▪ *Fischgrätenparkett*	*2,5 cm* *2,5 cm*
2-Blindboden	▪ *HWL-Porenverschlußplatte* ▪ *Gipsfaserplatte 2 lagig* ▪ *zementgebundene Spanplatte*	*2,5 cm* *2,5 cm* *2 cm*
3- Polsterhölzer	▪ *Holzschalung sägerauh*	*5 cm*
4-Dämmstoff	▪ *Faserdämmstoff*	*5 cm*
5-Dampfbremse	▪ *PE-Dampfbremse*	*0,02 cm*
6-Dämmplatte	▪ *Holzfaserdämmplatte*	*2 cm*
7-Dämmstoff	▪ *Schüttdämmstoff, verdichtet*	*18 cm*
8-Abdichtung	▪ *Polymerbitumen 2-lagig*	*1 cm*
9a-Ausgleich	▪ *Sand* ▪ *Fließestrich*	*je nach Erfordernis*
9b-Platte	▪ *U-Beton*	*15 cm*
10-Trennlage	▪ *Baupapier* ▪ *PE-Folie*	*0,02 cm*
11-Rollierung	▪ *Kies* ▪ *Schaumglasschotter*	*20 cm*

siehe auch NBTK EFo 03, S.44

5.10.1.2 Estrich auf Schütt-Dämmstoff



Dämmstoffe:

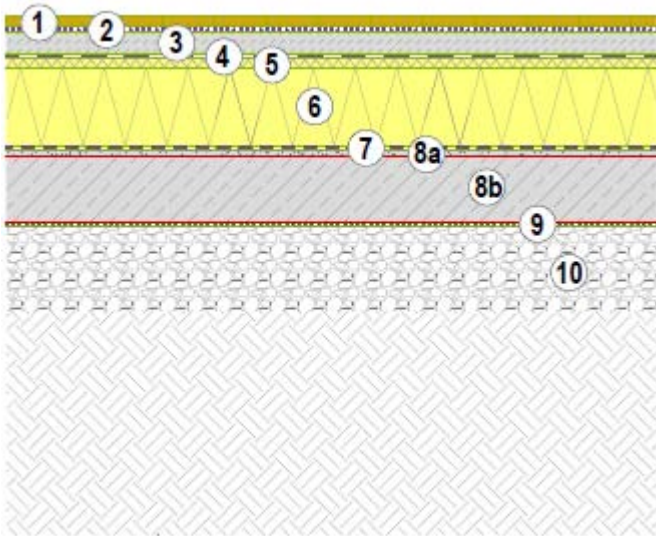
Perlite,

Blähglimmer,

Blähton

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Bodenbelag	▪ *Parkett* ▪ *Fliesen*	*Je nach Produkt*
2-Trennlage	▪ *Wenn Bodenbelag schwimmend:* ▪ *Schafwolle* ▪ *Weichschaummatte*	*0,3 bis 0,5 cm*
3-Estrich	▪ *Zementestrich* ▪ *Trockenestrich Gipsfaser* ▪ *Trockenestrich Gipskarton* ▪ *Trockenestrich Spanplatte*	*5 cm* *2,5 cm* *3 cm* *3,2 cm*
4-Dampfbremse	▪ *PE-Dampfbremse*	*0,02 cm*
5-Dämmplatte	▪ *Holzfaserdämmplatte*	*2 cm*
6-Dämmstoff	▪ *Schüttdämmstoff, verdichtet*	*18 cm*
7-Abdichtung	▪ *Polymerbitumen 2-lagig*	*1 cm*
8a-Ausgleich	▪ *Sand* ▪ *Fließestrich*	*je nach Erfordernis*
8b-Platte	▪ *U-Beton*	*15 cm*
9-Trennlage	▪ *Baupapier* ▪ *PE-Folie*	*0,02 cm*
10-Rollierung	▪ *Kies* ▪ *Schaumglasschotter*	*20 cm*

5.10.1.3 Estrich auf druckfestem Dämmstoff



Dämmstoffe:

Vakuumdämmung

Holzfaser*

Kork*

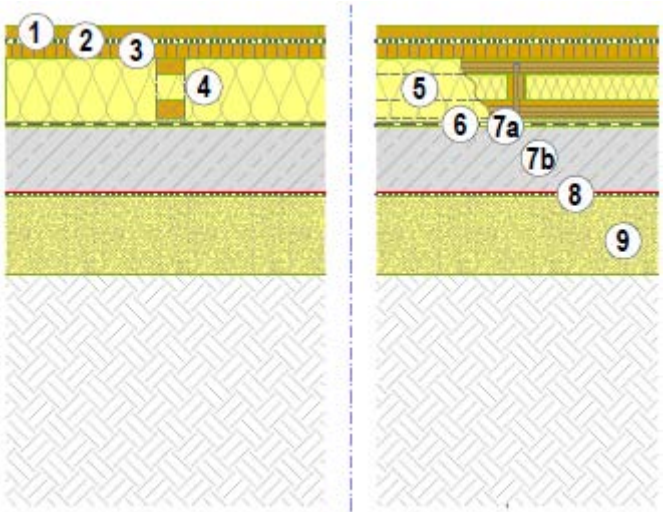
Steinwolle*

EPS

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Bodenbelag	▪ *Parkett* ▪ *Fliesen*	*Je nach Produkt*
2-Trennlage	▪ *Wenn Bodenbelag schwimmend:* ▪ *Schafwolle* ▪ *Weichschaummatte*	*0,3 bis 0,5 cm*
3-Estrich	▪ *Zementestrich* ▪ *Trockenestrich Gipsfaser* ▪ *Trockenestrich Gipskarton* ▪ *Trockenestrich Spanplatte*	*5 cm* *2,5 cm* *3 cm* *3,2 cm*
4-Dampfbremse	▪ *PE-Dampfbremse*	*0,02 cm*
5-Dämmplatte	▪ *Holzfaserdämmplatte*	*2 cm*
6-Dämmstoff	▪ *Druckfester Dämmstoff*	*18 cm*
7-Abdichtung	▪ *Polymerbitumen 2-lagig*	*1 cm*
8a-Ausgleich	▪ *Sand* ▪ *Fließestrich*	*je nach Erfordernis*
8b-Platte	▪ *U-Beton*	*15 cm*
9Trennlage	▪ *Baupapier* ▪ *PE-Folie*	*0,02 cm*
10-Rollierung	▪ *Kies* ▪ *Schaumglasschotter*	*20 cm*

* nur wenn unterseitig Schaumglasschotter

5.10.1.4 Dämmstoff zwischen Holzkonstruktion



Dämmstoffe:

Zelluloseplatten

Hanf

Flachs

Schafwolle

Holzfaser

Stroh

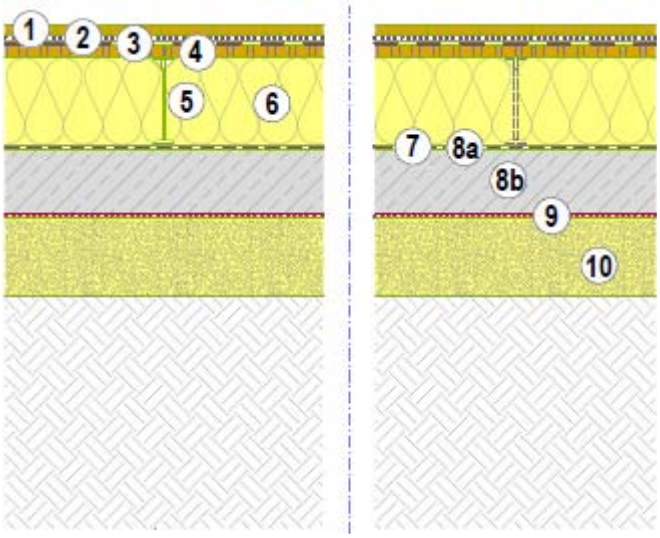
Holzspäne

Glaswolle

Steinwolle

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Bodenbelag	▪ *Schiffboden* ▪ *Parkett* ▪ *Fliesen*	*Je nach Produkt*
2-Trennlage	▪ *Wenn Bodenbelag schwimmend:* ▪ *Schafwolle* ▪ *Weichschaummatte*	*0,3 bis 0,5 cm*
3-Tragschicht	▪ *Holzschalung sägerauh* ▪ *Pressspanplatte* ▪ *OSB-Platten*	*2,4 cm* *3,2 cm* *2,2 cm*
4-Holzkonstruktion	▪ *Holzlatten kreuzweise* ▪ *„Leiterkonstruktion“* ▪ *Holz-C Träger* ▪ *Doppel T-Träger*	*je nach Dämmstoff*
5-Dämmstoff	▪ *Faserdämmstoff*	*14 cm (λ = 0,04 W/mK)**
6-Abdichtung	▪ *Polymerbitumen 2-lagig*	*1 cm*
7a-Ausgleich	▪ *Sand* ▪ *Fließestrich*	*je nach Erfordernis*
7b-Platte	▪ *U-Beton*	*15 cm*
8-Trennlage	▪ *Baupapier* ▪ *PE-Folie*	*0,02 cm*
9-Rollierung	▪ *Kies* ▪ ***Schaumglasschotter***	*20 cm*

5.10.1.5 Dämmstoff zwischen Distanzbodenhalter



Dämmstoffe:

Zelluloseplatten

Hanf

Flachs

Schafwolle

Holzfaser

Stroh

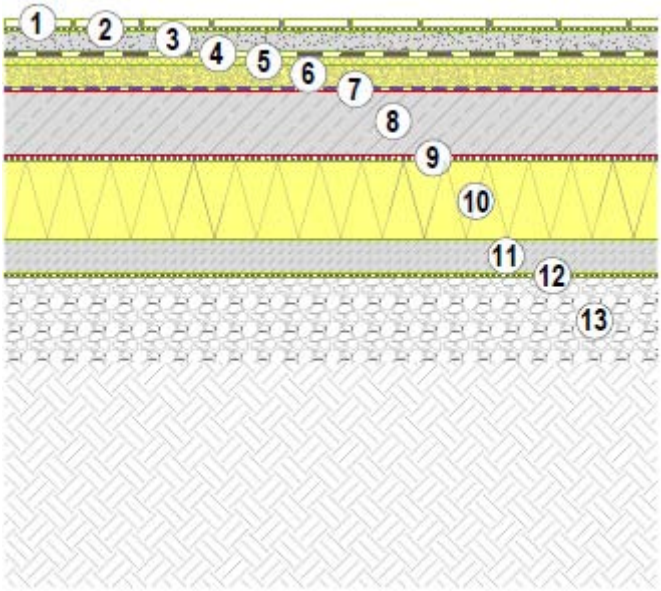
Holzspäne

Glaswolle

Steinwolle

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Bodenbelag	▪ *Schiffboden* ▪ *Parkett auf* ▪ *Fliesen*	*Je nach Produkt*
2-Trennlage	▪ *Wenn Bodenbelag schwimmend:* ▪ *Schafwolle* ▪ *Weichschaummatte*	*0,3 bis 0,5 cm*
3-Dampfbremse	▪ *PE-Dampfbremse*	*0,02 cm*
4-Tragplatte	▪ *Spanplatte* ▪ *OSB-Platte*	*3,2 cm* *2,8cm*
5-Tragkonstruktion	▪ *Distanzbodenhalter*	*je nach Dämmstoff*
6-Dämmstoff	▪ *Faserdämmstoff*	*20 cm (λ = 0,04 W/mK)**
7-Abdichtung	▪ *Polymerbitumen 2-lagig*	*1 cm*
8a-Ausgleich	▪ *Sand* ▪ *Fließestrich*	*je nach Erfordernis*
8b-Platte	▪ *U-Beton*	*15 cm*
9-Trennlage	▪ *Baupapier* ▪ *PE-Folie*	*0,02 cm*
10-Rollierung	▪ *Kies* ▪ ***Schaumglasschotter***	*20 cm*

5.10.1.6 Dämmung unter Bodenplatte mit druckfestem Dämmstoff



Dämmstoffe:

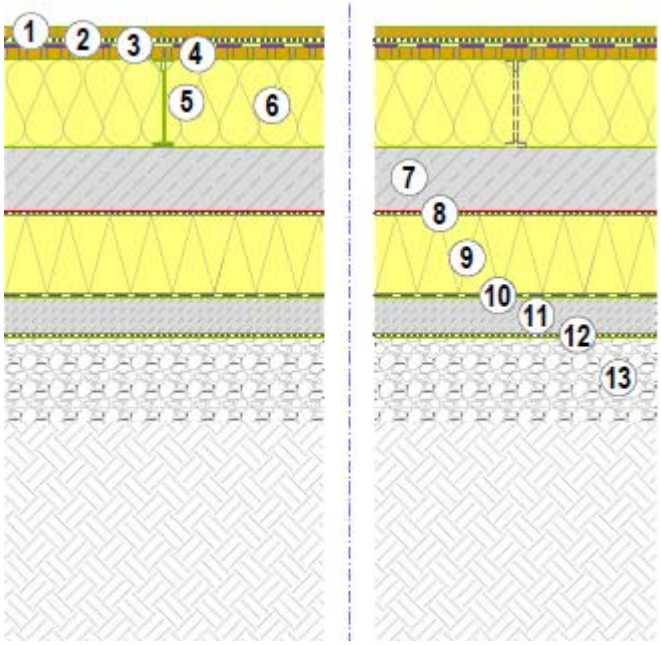
Schaumglasplatte

Schaumglasgranulat

Polystyrol extrudiert (XPS)

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Bodenbelag	▪ *Parkett* ▪ *Fliesen*	*Je nach Produkt*
2-Trennlage	▪ *Wenn Bodenbelag schwimmend:* ▪ *Schafwolle* ▪ *Weichschaummatte*	*0,3 bis 0,5 cm*
3-Estrich	▪ *Zementestrich* ▪ *Trockenestrich Gipsfaser* ▪ *Trockenestrich Gipskarton* ▪ *Trockenestrich Spanplatte*	*5 cm* *2,5 cm* *3 cm* *3,2 cm*
4-Dampfbremse	▪ *PE-Dampfbremse*	*0,02 cm*
5-Trittschalldämm.	▪ *Holzfaserdämmplatte*	*2 cm*
6-Schüttung geb.	▪ *Schüttdämmstoff, verdichtet*	*5 cm*
7-Abdichtung	▪ *Polymerbitumen 2-lagig*	*1 cm*
8-Betonplatte	▪ *Stahlbetonplatte, Dicke nach Erfordernis*	*15 cm*
9-Trennlage	▪ *Baupapier* ▪ *PE-Folie*	*1 cm*
10-Dämmstoff	▪ *Polystyrol extrudiert* ▪ *Schaumglasplatte* ▪ *Schaumglasschotter*	*18 cm* *20 cm* *50 cm*
11-Sauberkeitsschicht	▪ *Magerbeton*	*8 cm*
12-Trennlage	▪ *Baupapier* ▪ *PE-Folie*	*0,02 cm*
13-Rollierung	▪ *Kies*	*20 cm*

5.10.1.7 Holzboden auf druckfestem Dämmstoff unterseitig



Dämmstoffe:

Schaumglas

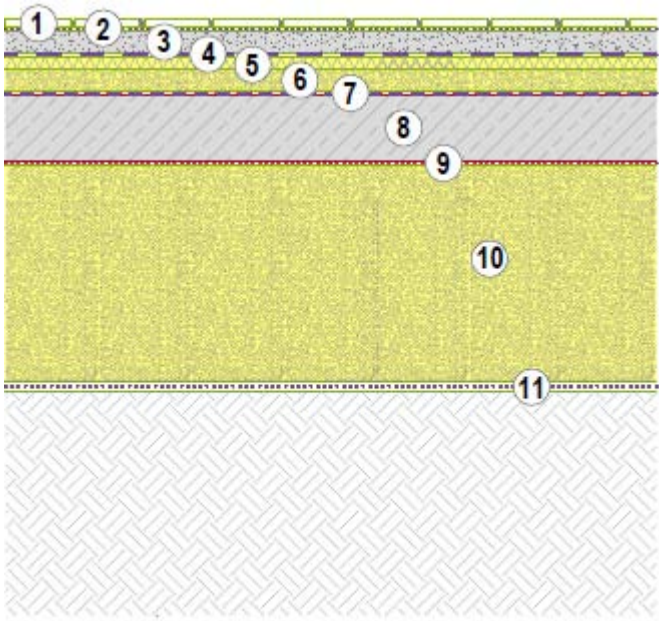
Polystyrol extrudiert

(XPS)

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Bodenbelag	▪ *Parkett* ▪ *Fliesen*	*Je nach Produkt*
2-Trennlage	▪ *Wenn Bodenbelag schwimmend:* ▪ *Schafwolle* ▪ *Weichschaummatte*	*0,3 bis 0,5 cm*
3-Dampfbremse	▪ *PE-Dampfbremse*	*0,02 cm*
4-Tragplatte	▪ *Spanplatte* ▪ *OSB-Platte*	*3,2 cm* *2,8 cm*
5-Tragkonstruktion	▪ *Distanzbodenhalter*	*je nach Dämmstoff*
6-Dämmstoff	▪ *Faserdämmstoff*	*20 cm (λ = 0,04 W/mK)**
7-Betonplatte	▪ *Stahlbetonplatte, Dicke nach Erfordernis*	*15 cm*
8-Trennlage	▪ *Baupapier* ▪ *PE-Folie*	*0,02 cm*
9-Dämmstoff	▪ *Polystyrol extrudiert* ▪ *Schaumglasplatte* ▪ *Schaumglasschotter*	*18 cm*
10-Abdichtung	▪ *Polymerbitumen 2-lagig*	*1 cm*
11-Sauberkeitsschicht	▪ *Magerbeton*	*8 cm*
12-Trennlage	▪ *Baupapier* ▪ *PE-Folie*	*0,02 cm*
13-Rollierung	▪ *Kies*	*20 cm*

Dämmstoffe	Dicke [m]
Polystyrol extrudiert CO2-geschäumt (XPS)	*0,20*
Schaumglasplatte	*0,20*
Schaumglasschotter	*0,50*

5.10.1.8 Estrich auf Schütt-Dämmstoff unterseitig



Dämmstoffe:

Schaumglasschotter

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
1-Bodenbelag	▪ *Parkett* ▪ *Fliesen*	*Je nach Produkt*
2-Trennlage	▪ *Wenn Bodenbelag schwimmend:* ▪ *Schafwolle* ▪ *Weichschaummatte*	*0,3 bis 0,5 cm*
3-Estrich	▪ *Zementestrich* ▪ *Trockenestrich Gipsfaser* ▪ *Trockenestrich Gipskarton* ▪ *Trockenestrich Spanplatte*	*5 cm* *2,5 cm* *3 cm* *3,2 cm*
4-Dampfbremse	▪ *PE-Dampfbremse*	*0,02 cm*
5-Trittschalldämm.	▪ *Holzfaserdämmplatte* ▪ *Glasfaserdämmplatte*	*3 cm*
6-Schüttung geb.	▪ *Schüttdämmstoff, verdichtet (Installationen)*	*5 cm*
7-Abdichtung	▪ *Polymerbitumen 2-lagig*	*1 cm*
8-Betonplatte	▪ *U-Beton*	*15 cm*
9-Trennlage	▪ *Baupapier* ▪ *PE-Folie*	*0,02 cm*
10-Dämmstoff	▪ *Schaumglas*	*50 cm*
11-Trennlage	▪ *Geotextil*	*0,5 cm*

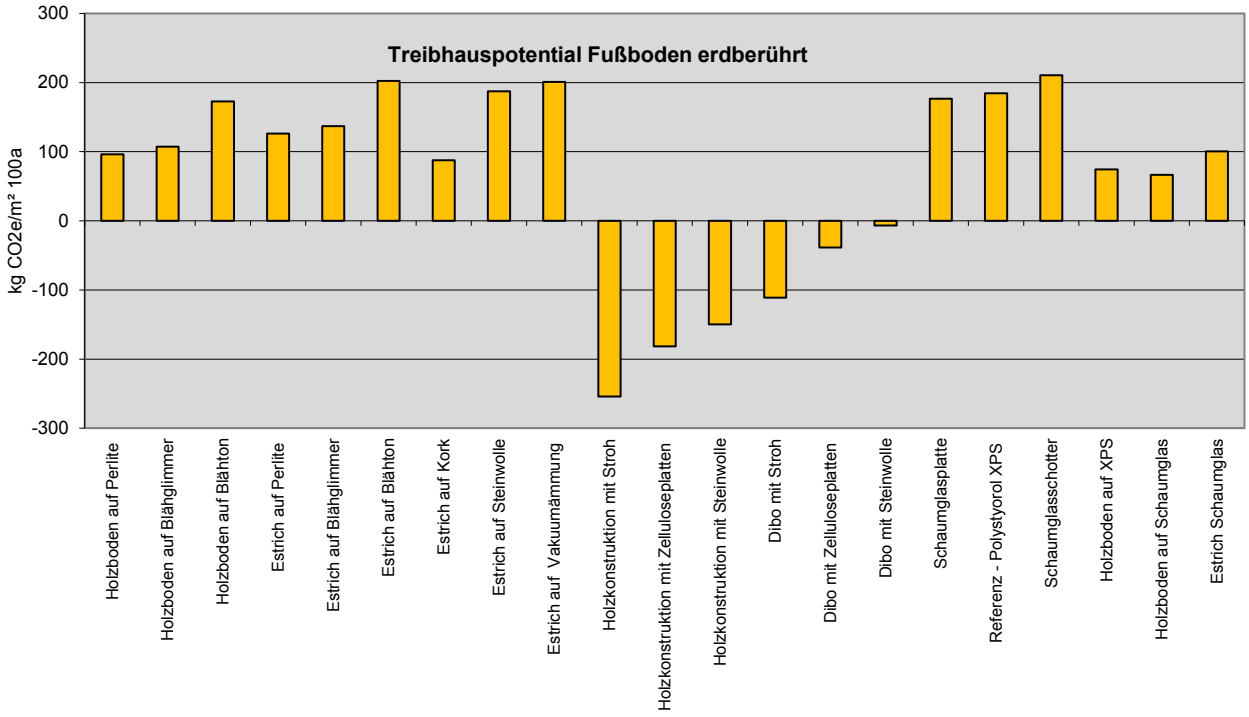
5.10.2 Zusammenschau über den Lebenszyklus

5.10.2.1 Herstellung

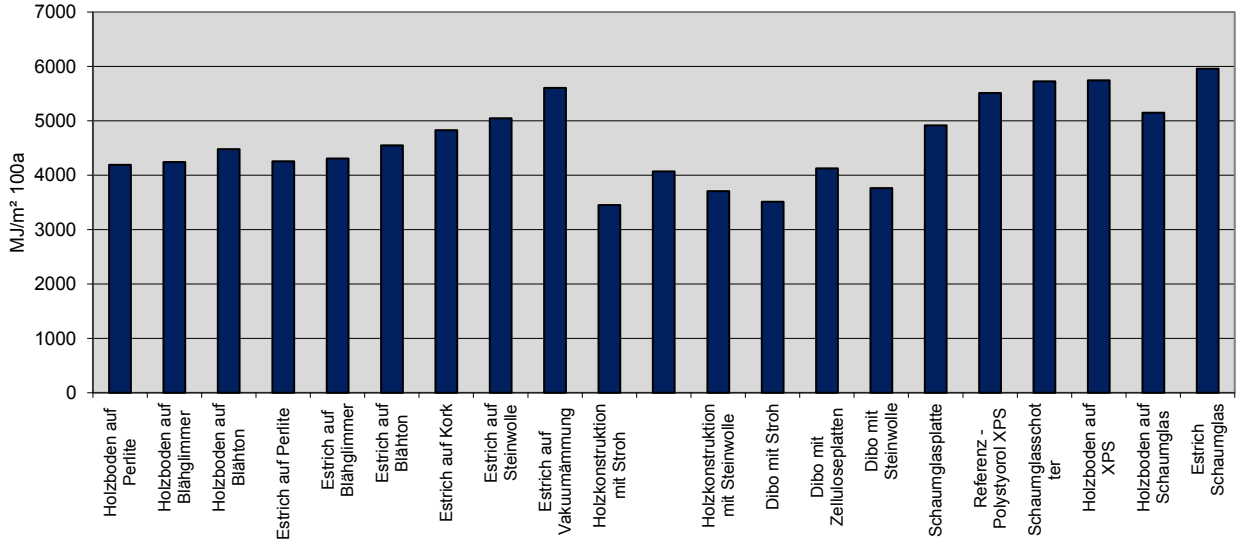
Die dargestellten Systeme unterscheiden sich

- in der Lage der relevanten Wärmedämmung unterhalb oder oberhalb der meist vorhandenen Betonplatte
- in der Flexibilität zum potentiellen Einsatz unterschiedlicher Dämmstoffe
- in der Art der Befestigungssysteme:
- Dämmstoffe zwischen Konstruktionsholz
- Schwimmende Verlegung
- Verklebung
- in der Art des „Estrichs“:
- Massive Estriche
- Trockene Estrich schwimmend
- Holzwerkstoffplatten auf Distanzfüßen
- Schiffboden oder Parkettboden auf Polsterhölzer

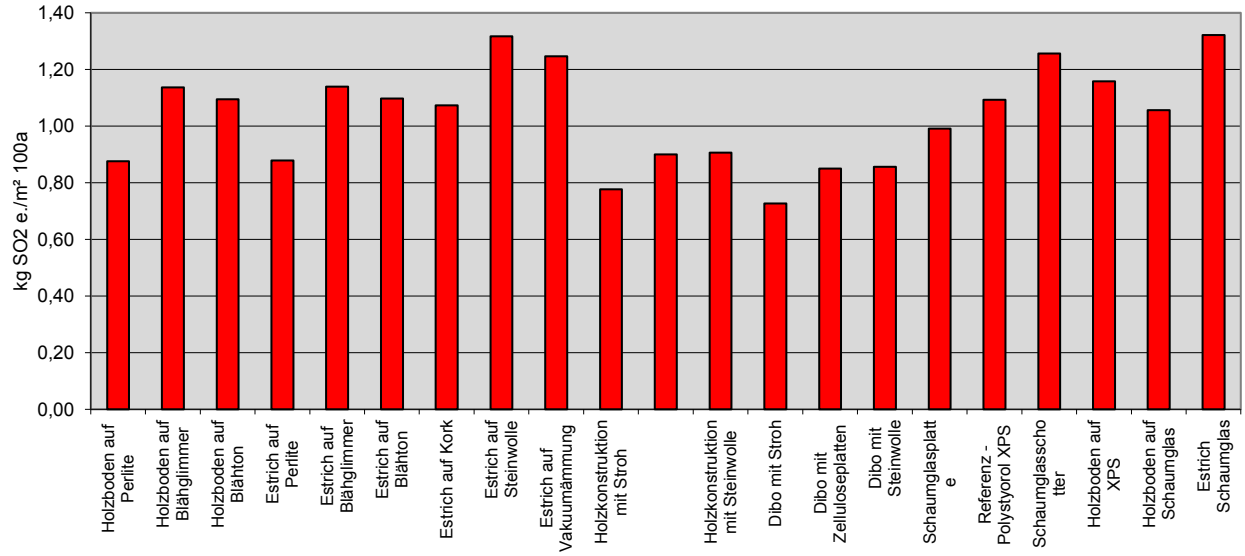
Die Belastungen in den betrachteten Umweltkategorien hängen vor allem vom Aufwand zur Herstellung des Dämmstoffs ab. Dieser hängt v.a. vom Herstellungsverfahren, dem Rohstoff, den Zusatzstoffen und der erforderlichen Dichte ab. Wesentlichen Einfluss können auch Abdichtungen, Betonplatten, Estrich, Fußbodenbeläge und Holzwerkstoffplatten besitzen. Die Herstellung aller anderen benötigten Baustoffe ist demgegenüber verhältnismäßig gering



Primärenergiebedarf nicht erneuerbar Fußboden erdberührt



Versauerung Fußboden erdberührt



- Günstig liegen vor allem Systeme mit geringfügig bearbeiteten Dämmstoffen.

5.10.2.2 Einbau und Transporte (Ausführungsmängel)

Die dargestellten Systeme unterscheiden sich

- in der Befestigungstechnik (schrauben – „schwimmend mit Beschwerung“ – dampfdicht verkleben)
- in der Anpassungsflexibilität bezüglich Ebenheit der Bestandsdecke (Rohdecke oder alte Abdichtung etc.)

Schüttdämmstoffe bieten den Vorteil, das Dämmsystem direkt an den Bestand anzupassen (Ebenheit Untergrund etc.).

Die Arbeitsplatzbelastungen bei der Verarbeitung decken sich mit jenen der Einzelkomponenten. Schutzmaßnahmen sind besonders beim Einblasen und Schütten von Dämmstoffen erforderlich, da dabei die

Staubemissionen beträchtlich sein können. Direkter Hautkontakt mit Glas- oder Steinwolle kann zu einer Sensibilisierung der Haut führen. Mit dem Tragen von Handschuhen kann Abhilfe geschaffen werden.

5.10.2.3 Nutzung und Instandhaltung

Die Beurteilung in der Nutzungsphase bezieht sich auf die Qualität der gewünschten Funktionen, auf den Instandsetzungsaufwand, der Nutzungsdauer der einzelnen Schichten und die Gesundheitsverträglichkeit für die NutzerInnen.

Für die Erhaltung des **Wärmeschutzes** und damit auch der hohen Innenoberflächentemperaturen des sanierten Bauteils ist die Vermeidung einer Hinterspülung der Wärmedämmung mit warmer Innenluft sowie die andauernde Vermeidung von vertikalen Luftspalten, die vom Warmen ins Kalte führen (i.e. die Formstabilität der Dämmstoffe). Bei erdberührten Fußböden ist dieser Effekt allerdings weniger relevant. Vorteile besitzen diesbezüglich Systeme mit Schütt- oder Einblasdämmstoffen, da der Dämmstoff sich exakt an die Begrenzung anpassen kann. Systeme mit steifen Dämmstoffen erfordern ebene Auflageflächen, entsprechende Untergrundvorbereitung, angepasste Anschlussdetails und eine gute Ausführung.

Für den **Schallschutz** ist vor allem der Trittschallschutz zu den daneben und darüber liegenden Räumen relevant. Dieser hängt vor allem von der Art des Estrichs und der Trittschallentkopplung ab.

Die Wirkung der Dämmsysteme auf den **Feuchteschutz** ist vor allem von der Lage der Dämmebenen abhängig:

- unterseitige Dämmung
- ober/innenseitige Dämmung
- beidseitige Dämmung

Planungsempfehlung finden sich in (IBO 2008).

Schadstoffimmissionen hängen vor allem von den in den Dämmstoffen enthaltenen flüchtigen Stoffen ab und den tatsächlichen Eigenschaften der Abddeckung (Dichtigkeit, Diffusionsverhalten). Erfahrungsgemäß können vor allem auch aus Fußbodenbeläge und deren Verklebung relevant Schadstoffimmissionen resultieren.

5.10.2.4 Rückbau, Wiederverwertung und Entsorgung

Systemkomponente	Beschreibung der Entsorgungseigenschaften
Abdichtung	
Polymerbitumen	Mit Bitumenbahnen versehene Betone werden von Recycling-Unternehmen i.d.R. nicht verwertet. Emissionen von Abbauprodukten aus dem Bitumen sind auf der Deponie nicht zu erwarten.
Dämmstoffe auf Bodenplatte	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Dämmstoff sind i.d.R, lose auf den Untergrund gelegt und können daher einfach ausgebaut werden, wenn sie auch von der darüber liegenden Schicht /z.B. Estrich) getrennt werden können. Eine Wiederverwendung ist theoretisch möglich.
Dämmstoffe aus Zellulose, Flachs, Hanf, Holzfaser (Trockenverfahren), Holzspänen, Schafwolle	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten Bindemittel oder Flammschutzmittel als Zusatzstoffe, die sich i.d.R. in MVA unproblematisch verhalten.
Dämmstoffe aus Holzfaser (Nassverfahren) , Kork	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten keine Zusatzstoffe.

EPS-Platten	Stoffliche Verwertung für Polystyrolschüttungen oder energetische Verwertung in MVA möglich; hoher Heizwert, aber geringes Gewicht; nachteilig: halogenhaltiges, als PBT eingestuftes Flammschutzmittel.

Mineralwolle	In der heutigen Entsorgungspraxis ist das PC-Recycling von Mineralwolle noch nicht weit fortgeschritten. Die Mineralwolle wird daher deponiert (nachteilig: geringe Rohdichte, Fasern) oder in der MVA entsorgt (nachteilig: kein Heizwert, Faserflug).
Perlite	Die Rückgewinnung von Perliten ist problemlos möglich. Das Material kann nach allfälliger Reinigung und Trocknung wieder als Dämmschüttung oder als Zuschlagstoff verwendet werden.
Vakuumdämmplatte	Über die Entsorgungswege für Vakuumdämmplatten ist uns nichts bekannt. Laut BINE projektinfo 04/01 bestehen die Platten aus „rezyklierbaren, toxikologisch unbedenklichen Materialien“. Dafür müssten aber die Verbundfolie aus Kunststoff und Aluminium (ev. nur Alu-Bedampfung) vom Dämmkern aus Kieselsäure sauber getrennt werden, wovon unter den derzeitigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen nicht auszugehen ist.
Unterkonstruktion	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Dämmstoff und Unterkonstruktion sind nicht oder nur mechanisch (angetackert) miteinander verbunden und gut voneinander trennbar. Die Unterkonstruktion kann auch mit vergleichsweise geringem Aufwand von der Wand geschraubt werden.
Holzkonstruktion	Wieder- oder Weiterverwendung als Unterkonstruktion, Recycling zu Holzspänen oder energetische Verwertung.
Distanzbodenhalter	Metallbestandteile werden vermutlich dem Metallrecycling zugeführt, Kunststoffanteile in MVA verbrannt
Dämmstoffe unter Bodenplatte	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Dämmstoff sind i.d.R, lose auf den Untergrund gelegt und über Trennschicht von Bodenplatte getrennt. Sie können daher einfach ausgebaut werden. Eine Wiederverwendung ist auf Grund der Gebrauchsspuren aus der exponierten Lage im erdberührten Bereich nicht anzunehmen.
XPS-Platten	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert, aber geringes Gewicht; nachteilig: halogenhaltiges, als PBT eingestuftes Flammschutzmittel.
Schaumglasplatten	Schaumglasplatten werden meist in Heißbitumen verlegt. Mit Bitumen versetzte Schaumglasabfälle könnten als Hinterfüllung im Tiefbau eingesetzt werden. Deponierung unproblematisch.
Schaumglasschotter	Die Rückgewinnung von Schaumglasschotter ist problemlos möglich. Das Material kann wieder als Dämmschüttung (voraussichtlich mit geringerer Funktionalität) verwendet werden.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Entsorgungsbewertung von vier Varianten der Wärmedämmung von erdberührten Fußböden.

Der Bodenaufbau wurde immer konstant gehalten (schwimmend verlegter Parkett auf Zementestrich, dazwischen Schafwolle-Trittschalldämmfilz), um möglichst wenig relativen Einfluss auf die Entsorgungseigenschaften zu generieren. Der Estrich wird durch eine PE-Folie von dem darunter liegenden Dämmstoff getrennt.

Ebenso stimmt die Bodenplatte in allen Varianten überein (15 cm Stahlbeton mit Polymerabdichtung). Das Bauteil ist in allen Fällen mit einer Rollierung gegen das Erdreich abgegrenzt (üblicherweise aus Kies, in der 4. Variante aus Schaumglasgranulat).

An dieser Grundkonstruktion wurden folgende Dämmvarianten durchgespielt:

- 18 cm Perlite-Schüttung + 2 cm Holzfaserplatte auf Bodenplatte

- 18 cm EPS-Dämmplatte + 2 cm Mineralwolle-Dämmplatte auf Bodenplatte
- 18 cm XPS-Platte unter Bodenplatte, 5 cm Perlite + 2 cm Holzfaserplatte unter Estrich
- 50 cm Schaumglasgranulat unter Bodenplatte, 5 cm Perlite + 2 cm Holzfaserplatte unter Estrich

Entsorgungs-eigenschaften	Variante 1 (Perlite oben)		Variante 2 (EPS oben)		Variante 3 (XPS unten)		Variante 3 (XPS unten)	
	Vol %	Note	Vol %	Note	Vol %	Note	Vol %	Note
Stofflich verwertet	59	1,0	59	1,0	32	1,0	68	1,0
Energetisch verwertet	8	1,7	5	2,1	30	2,7	6	1,7
Beseitigt	33	2,8	36	2,9	38	2,6	26	2,8
Recyclierbarkeit		2,2		2,5		3,7		2,5

Es wird angenommen, dass die Stahlbetonplatten in keinem der angeführten Varianten recycliert wird, da sie mit Bitumen beschichtet ist. Ebenso wird der Estrichbeton (hoher Feinanteil, mit PE-Folie verbunden) nicht recycliert. Alle organischen Bestandteile (Parkett, Schafwollefilz, Holzfaser, XPS) werden in MVA energetische verwertet. Die Perlite-Schüttung, die lose verlegte EPS-Platte und das Schaumglasgranulat werden stofflich verwertet.

5.11 Wärmedämmung der erdberührten Außenwand außenseitig

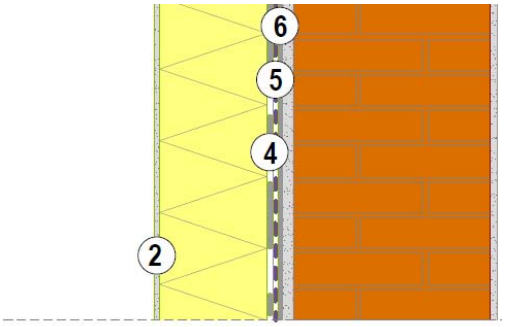
Die Wärmedämmung von erdberührten Außenwänden erfordert für die Erreichung des Passivhausniveaus je nach Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs und der Systemcharakteristika üblicherweise Dämmstärken von 20 bis 30 cm. Als Referenz-Wärmewiderstand wurde eine 20 cm starke homogene Dämmstoffschicht mit einer Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,04 W/mK gewählt. Damit ergeben sich die folgenden Bezugs-Kennwerte:

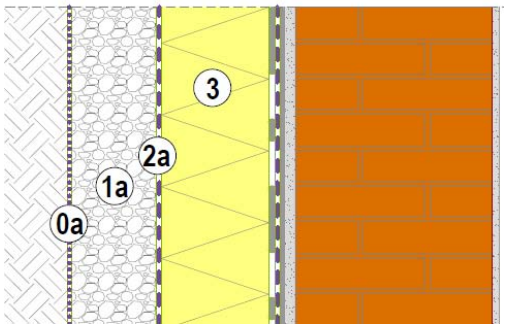
Wärmewiderstand funktionale Einheit	5,0	m²K/W
U-Werte saniert	0,18 - 0,20	W/m²K

Anmerkung: In den Konstruktionsvarianten werden die Dämmstärken aus den sanierten Bauteilen angegeben, die von dem angegebenen Wärmewiderstand deutlich abweichen können.

5.11.1 Beschreibung und Bewertung im Detail

5.11.1.1 Dämmstoff druckfest



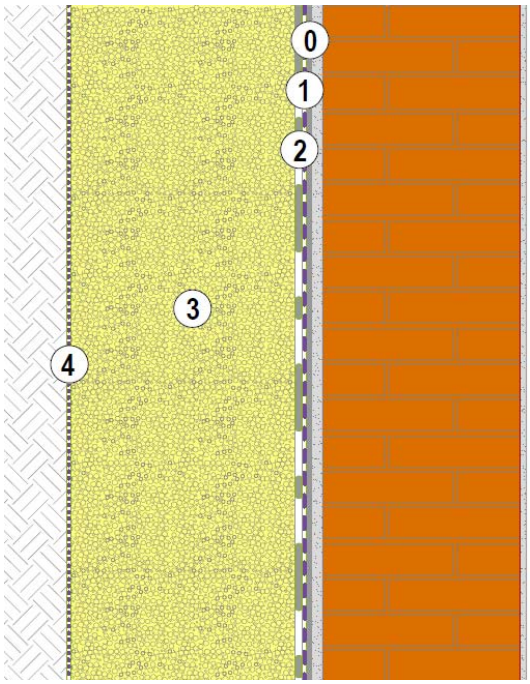


Dämmstoffe:
Schaumglas
Polystyrol extru-
diert (XPS)

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
0-Ausgleich	▪ *zementöser Ausgleich*	*je nach Untergrund*
1-Abdichtung	▪ *Polymerbitumen 2-lagig*	*1 cm*
2- Kleber	▪ *Bituminöser Kleber*	*0,5 cm*
3-Dämmstoff	▪ *Schaumglas* ▪ *XPS*	*24 cm*
4-Abdeckung	▪ *Außenputz* ▪ *Faserzementplatte* ▪ *Metallplatte*	*1 cm* *0,8 cm* *0,2 cm*
4a- Noppenschutzbahn		*24 cm*
5a-Rollierung	▪ *Kies*	*20 cm*
6a-Trennlage	▪ *Geotextil*	*0,4 cm*

Var. a: unter Erdreich

5.11.1.2 Schüttdämmung



Dämmstoffe:

Schaumglasschotter

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke / Menge
0-Ausgleich	▪ *zementöser Ausgleich*	*je nach Untergrund*
1-Abdichtung	▪ *Polymerbitumen 2-lagig*	*1 cm*
2- Kleber	▪ *Bituminöser Kleber*	*0,5 cm*
3-Dämmstoff	▪ *Schaumglasschotter*	*50 cm*
4-Trennlage	▪ *Geotextil*	*0,4 cm*

Bauteil unter Erdreich, oberhalb siehe Anschlüsse

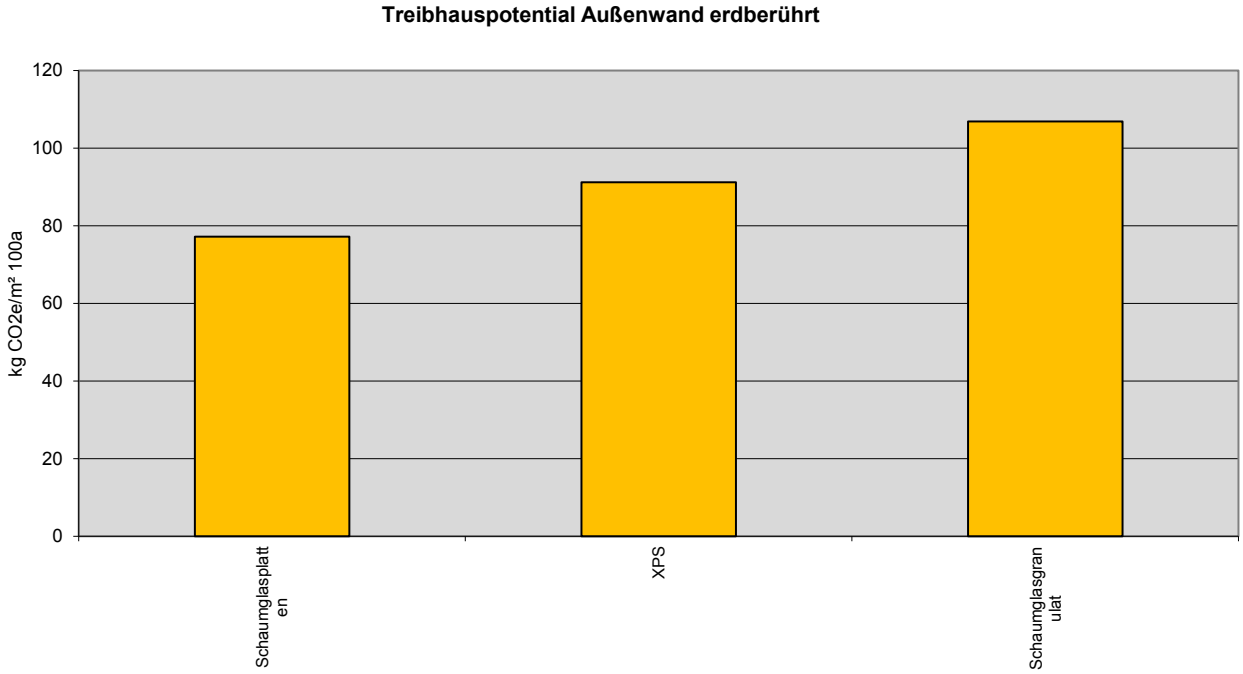
5.11.2 Zusammenschau über den Lebenszyklus

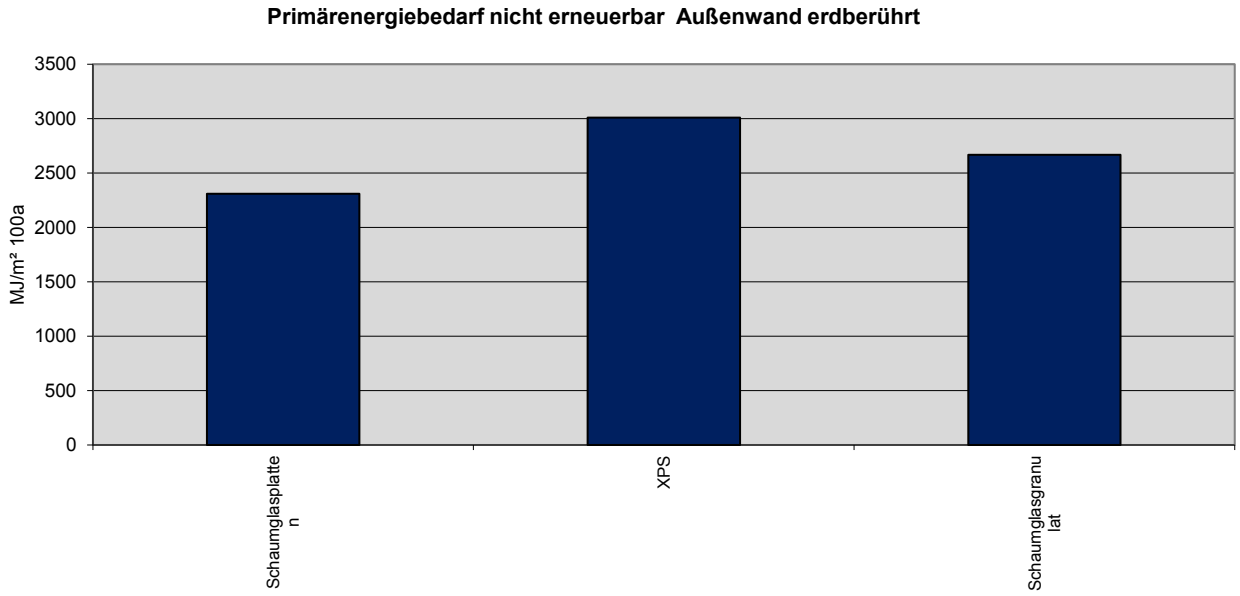
5.11.2.1 Herstellung

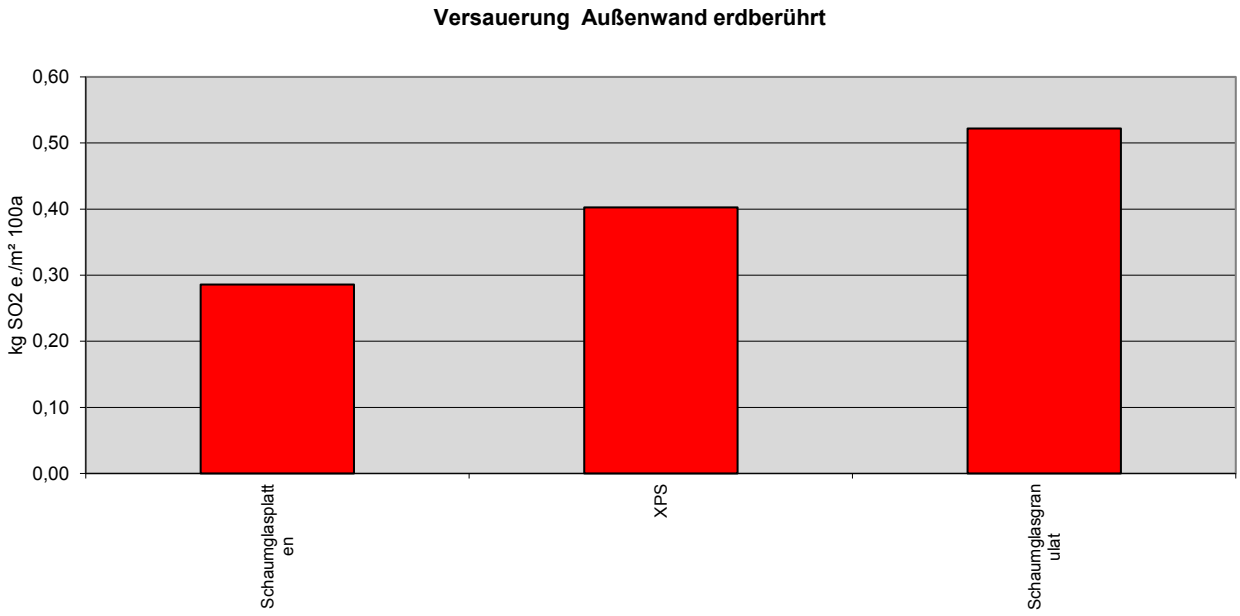
Die dargestellten Systeme unterscheiden sich

- in der Art der Befestigungssysteme:
- Verklebung
- Schüttung

Die Belastungen in den betrachteten Umweltkategorien hängen vor allem vom Aufwand zur Herstellung des Dämmstoffs ab. Dieser hängt v.a. vom Herstellungsverfahren, dem Rohstoff, den Zusatzstoffen und der erforderlichen Dichte ab. Zudem sind Abdichtungen und bituminöse Kleber verhältnismäßig relevant.







5.11.2.2 Einbau und Transporte (Ausführungsmängel)

Die dargestellten Systeme unterscheiden sich

- in der Befestigungstechnik (kleben – schrauben)
- in der Anpassungsflexibilität bezüglich Ebenheit der Bestandswand

Die Arbeitsplatzbelastungen bei der Verarbeitung decken sich mit jenen der Einzelkomponenten. Schutzmaßnahmen können besonders beim Schütten von Dämmstoffen erforderlich sein, da dabei die Staubemissionen beträchtlich sein können. Grundierungen können hohe Lösemittelgehalte aufweisen.
Bei Kalkhydrat- oder zementhaltigen Produkten können bei unzureichendem Arbeitsschutz raue Hände, Verätzungen etc. auftreten (Maurerkrätze). Mit dem Tragen von Handschuhen kann Abhilfe geschaffen werden.

5.11.2.3 Nutzung und Instandhaltung

Die Beurteilung in der Nutzungsphase bezieht sich auf die Qualität der gewünschten Funktionen, auf den Instandsetzungsaufwand, der Nutzungsdauer der einzelnen Schichten und die Gesundheitsverträglichkeit für die NutzerInnen.
Für die Erhaltung des **Wärmeschutzes** und damit auch der hohen Innenoberflächentemperaturen der sanierten Bauteil ist die Vermeidung einer Hinterspülung der Wärmedämmung mit kalter Außenluft sowie die andauernde Vermeidung von Luftspalten, die vom Warmen ins Kalte führen (i.e. die Formstabilität der Dämmstoffe). Da vor allem im Bestand die vorhandenen Außenwände oft nicht eben sind, ist auf eine geeignete Vorbereitung des Untergrundes gemäß Normen und Ausführungsregeln zu achten. Vorteile besitzen diesbezüglich Systeme Schaumglasschotter, da der Dämmstoff sich exakt an die Begrenzung anpassen kann. Allerdings ist die Wärmeleitfähigkeit deutlich höher. Zudem erhöht sich die Wärmeleitfähigkeit bei eindringendem Oberflächen- oder Grundwasser beträchtlich. Damit sind die Einsatzmöglichkeiten für Schüttdämmstoffe deutlich begrenzt.
Der **Schallschutz** der Bestandswand wird in fast allen Fällen verbessert, wobei dies allerdings meist nicht relevant ist.

Die Wirkung der Dämmsysteme auf den **Feuchteschutz** ist vor allem vom Feuchteverhalten des Dämmstoffes abhängig:

- In sich dampfdichte Dämmstoffe wie umseitig verklebte Schaumglasplatten sind annähernd unabhängig von der Feuchtedynamik der Umgebung.
- Bei verklebten XPS-Platten ist auf eine ordnungsgemäße Verklebung zu achten, da ansonsten zwischen Abdichtung und Dämmstoff Wasser kapillar nach oben gezogen werden kann.

Das Feuchteverhalten von unterseitig gedämmten Betonplatten ist meist deutlich günstiger als bei oberseitig gedämmten. Eine Aufteilung der Dämmschichten ober und unterseitig der Betonplatte ist oft ein guter Kompromiss zwischen Sicherheit und wirtschaftlichen Aufwand.

Schadstoffimmissionen hängen vor allem von den in den Dämmstoffen enthaltenen flüchtigen Stoffen ab. Diese können mittels Diffusion oder auch über undichte Stellen nach innen abgegeben werden.

5.11.2.4 Rückbau, Wiederverwertung und Entsorgung

Systemkomponente	Beschreibung der Entsorgungseigenschaften
Dämmstoffe auf Untergrund geklebt	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Verklebte Dämmungen im Perimeter- und Sockelbereich sind vor Ort nur mit hohem Aufwand und in Recyclinganlagen nur mit hohem Verlust vom Mauerwerk zu trennen. Aus heutiger wirtschaftlicher Sicht wird die Trennung nur so weit erfolgen, dass abfallwirtschaftliche Vorgaben erfüllt werden.
XPS-Platten	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert, aber geringes Gewicht; nachteilig: halogenhaltiges, als PBT eingestuftes Flammschutzmittel. Gewicht der nicht brennbaren WDVS-Bestandteile wie Putz und Kleber in der gleichen Größenordnung wie das des Dämmstoffs.
Schaumglasplatten	Schaumglasplatten werden meist in Heißbitumen verlegt. Mit Bitumen versetzte Schaumglasabfälle könnten als Hinterfüllung im Tiefbau eingesetzt werden. Deponierung unproblematisch.
Dämmschüttung	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Für die Anwendung einer Dämmschüttung ist weder Klebstoff noch Abdeckung erforderlich, nur ein Geotextil als Trennlage zum Erdreich. Die Rückgewinnung des Dämmstoffs ist problemlos möglich.
Schaumglasschotter	Das Material kann wieder als Dämmschüttung (voraussichtlich mit geringerer Funktionalität) verwendet werden.
Abdichtung, Klebstoff, Folien	
Polymerbitumen 2-lagig, Bituminöser Klebstoff	Mit Bitumen versehenes Abbruchmaterial aus Mauerwerk oder Beton werden von Recycling-Unternehmen i.d.R. nicht verwertet. Emissionen von Abbauprodukten aus dem Bitumen sind auf der Deponie nicht zu erwarten.
Noppenschutzbahn, Folien, Geotextile aus Kunststoffen	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; ev. Einsatz von halogenorganischen Stoffen als Flammschutzmittel möglich
Geotextile aus mineralischen Geweben	Deponierung
Abdeckung im Sockelbereich	
Sockelputze	Putze werden gemeinsam mit dem Dämmstoff entsorgt, d.h. entweder deponiert oder verbrannt. Wurde ein Biozid zugegeben, ist davon auszugehen, dass es bis zum Zeitpunkt der Entsorgung des Systems ausgewaschen wurde und daher keinen Einfluss auf die Entsorgungseigenschaften hat.
Faserzementplatte	Recycling zu hochwertigen Produkten wird derzeit nicht durchgeführt; Deponierung (keine problematischen Inhaltsstoffe)
Metallplatte	Recycling

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Entsorgungsbewertung von drei Varianten außenliegender Wärmedämmung der erdberührten Wand. Als Bestandswand wird eine mineralische Kellerwand angenommen. Die Wand wird mit Polymerbitumenabdichtung versehen. Alternativ werden die angeführten Dämmstoffe angebracht:

Entsorgungs-eigenschaften	WD mit 20 cm XPS-Platte		WD mit 20 cm Schaum-glasplatten		WD mit 50 cm Schaum-glasgranulat	
	Vol %	Note	Vol %	Note	Vol %	Note
Stofflich verwertet	0	-	0	-	61 %	1,0
Energetisch verwertet	0	-	0	-	0 %	0
Beseitigt	100 %	3,4	100 %	3,0	39 %	3,0
Recyclierbarkeit		5,3		4,7		3,5

Es wird angenommen, dass die Kellerwand in keinem der angeführten Varianten recycliert wird, da sie mit Bitumen beschichtet ist. Die verklebten Perimeterdämmungen (XPS-Platten und Schaumglasplatten) werden ebenfalls nicht recycliert , sondern in MVA oder auf Deponien entsorgt. Schaumglasgranulat kann dagegen nach dem Ausbau problemlos verwertet werden. Diese Konstruktion weist daher einen hohen Recyclinganteil auf und die beste Einstufung in der Recyclierbarkeitseinstufung.

5.12 Balkone und Loggien

Balkone und Loggien strukturieren meist sehr stark die Fassade. Sie erweitern die Wohnfläche, sind vielfältig nutzbar (Erholungszone, Gärtnerparadies, Abstellfläche etc.) und können erwünschte Nebeneffekte (Sonnenschutz) bringen. Balkone sind daher bis heute beliebt. Bei der Sanierung von Fassaden, die keine Balkone besitzen, kann das nachträgliche Anbringen von Balkonen den Wohnwert der Gebäude deutlich erhöhen.

Die Loggia unterscheidet sich vom Balkon durch die fünfseitige Umschließung der Fläche.

Balkone und Loggien sind nicht Teile der thermischen Gebäudehülle, können allerdings die bauphysikalischen Eigenschaften von Außenwänden stark beeinflussen, vor allem bezüglich Feuchte- und Wärmeverhalten.

Durch das „Einpacken“ von Balkonen mit Dämmung kann die Sicherheit bezüglich Schimmelbildung an der Innenecke erhöht werden.

Für den Vergleich unterschiedlicher Dämmmaterialien wurde eine 5 cm starke homogene Dämmstoffschicht mit einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0{,}04$ W/mK gewählt. Damit ergeben sich die die folgenden Bezugs-Kennwerte:

Wärmewiderstand funktionale Einheit	1,25	m²K/W
Typische Ψ-Werte	0,25–0,5	W/mK

Dämmung oberseitig mit Dämmstoff unter Abdichtung	
EPS W 25	0,045
Backkork	0,05
Holzfaser	0,05
Schaumglas	0,05
Vakuumdämmung (theoretisch)	0,001

Dämmung unterseitig	**Stärke [m]**
Backkork	0,05
Steinwolle	0,05
Holzfaser	0,05
Schaumglas	0,05
EPS	0,05
Hanf	0,05

5.12.1 Eigenschaften Bestand und Vorbereitung Sanierung

Folgende Balkon- und Loggiakonstruktionen sind typisch:

- Verlängerung der Geschoßdecke in Stahlbeton, meist ohne thermische Trennung, bei Loggien oft auch die Trennwand zwischen den einzelnen Einheiten, häufig im Gefälle betoniert (ab 50er Jahren, verstärkt ab 60er Jahre). Ein Gefälleestrich ist meist nicht vorhanden. Als Belag sind Fliesen häufig, ebenso Gußasphalt oder Beschichtungen
- Auskragende Stahl- oder Gusseisenträger, die an den Holzbalkendecken befestigt ist (Gründerzeitgebäude, 20er Jahre)
- Durchlaufende Holzbalken der Geschoßdecken (meist in kleineren Gebäuden)
- Vorgestellte Balkonkonstruktionen in Holz oder Stahl, die eigens fundiert und nur punktuell an der Bestandswand verankert sind
- Auflagerung der Balkonplatten auf Konsolen, außen Abtragung der Last über Holz oder Stahlstützen oder durch eine Abhängung
- Besonders ab den 60er Jahren und 70er Jahren sind Loggien außenseitig mit (betonierten) Pflanzentrögen ausgerüstet, die zum Teil auch statische Funktion besitzen.

Balkone sind stark der Witterung ausgesetzt. Typische Schadensbilder sind:

- korrodierte Armierung, Stahlteile oder Befestigungen
- Unzurechende Bauteilanschlüsse insbesondere der Feuchteabdichtung
- Beschädigte Feuchteabdichtungen
- Frostabplatzungen
- Auftreten von Schimmel an der Innenecke zwischen Geschoßdecke und Außenwand (Wärmebrückenwirkung)
- Mängel in Fundierung bei vorgestellten Konstruktionen

Grundsätzlich kommen bei den am häufigsten vorhandenen durchbetonierten Balkonplatten die folgenden Sanierungskonzepte andenkbar :

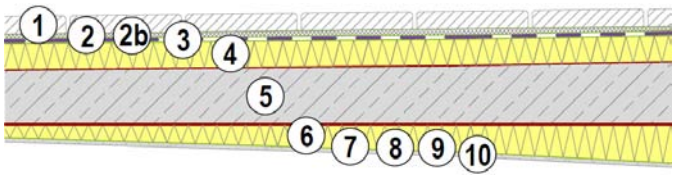
- Sanierung Feuchteabdichtung (z.B. durch Austausch oder Beschichtung, darauf Belagkonstruktion): Die außenseitige Wärmedämmung von Außenwänden auf Passivhausniveau und der Einsatz von Passivhaus-Balkontüren mit Überleitungsdämmung in der Stärke der Außendämmung (Dämmkeil) löst meist bereits die Problematik, dass durch durchbetonierte Balkonplatten das Schimmelpilzrisiko an der Innenecke zwischen Außenwand und Geschoßdecke sehr hoch ist.
- Unterseitige Dämmung der Balkonplatte: Dies ist eine einfache Maßnahme, wenn oberseitig keine Aufbauhöhe vorhanden ist.
- Umdämmung der Balkonplatte: oberseitig in den Varianten mit Feuchteabdichtung auf oder unter dem Dämmstoff, unterseitig verputzt oder mit Fassadenplatten verkleidet.
- Integration der Loggien oder Balkone in die thermische Hülle: Führung der neuen thermischen Hülle um Balkone und Loggien herum. Zu beachten ist, dass durch die zusätzliche Ebene auch weniger Licht in die bestehenden Wohnräume eindringt.

- Abschneiden der alten Balkonplatte: Für den neuen Balkon sind im Prinzip 4 Konstruktionsarten möglich:
  - Die neuen Balkone werden auf einer eigenen Konstruktion vor die Fassade gestellt, die eigens fundiert oder gegebenenfalls am Fundament oder den Kellerwänden des Gebäudes über Konsolen auflagern. Zumeist sind nur mehr punktuelle Befestigungen am Bestand für horizontale Belastungen notwendig, die meist mit Edelstahlankern realisiert werden.
  - Der Balkon wird über thermisch entkoppelte Stahl-Konsolen oder andere Hilfskonstruktionen am Bestand befestigt, die äußere Last wird über Stützen in den Boden geleitet oder über Aufhängungen am Gebäude befestigt.
  - Die Tragkonstruktion in Stahl oder Holz wird in der Bestandswand ohne äußerer Lastabtragung befestigt, das Moment wird über die Konstruktion und eventuell das Geländer in die Bestandswand eingeleitet.
  - Verwendung von Loggienfertigteilen z.B. in Holzmassivbauweise

Zu beachten sind Anforderungen an den Brandschutz und an den Trittschallschutz zur darunterliegenden Wohnung, die Balkone in mehrgeschoßigen Wohngebäuden im Falle einer umfassenden Sanierung auch erfüllen müssen.
Die statische Bewertung des Bestandes und der neuen Lösungen sind von zentraler Bedeutung für die Auswahl der am besten geeigneten Konstruktionsweise. Wesentlich ist auch die ästhetische Veränderung/Strukturierung der Fassade im sanierten Zustand.
Zur Vorbereitung werden alte Beläge, alte Feuchteabdichtungen und alte Estriche meist entfernt. Grundsätzlich kann auch auf diesen aufgebaut werden, wenn die Aufbauhöhe im Bereich der Balkontür dies zulässt.

5.12.2 Beschreibung und Bewertung im Detail

5.12.2.1 Dämmung Balkonplatte, Abdichtung auf Dämmstoff



Dämmstoffe oberseitig:

Polystyrol expandiert

Backkork

Holzfaserplatten

Schaumglas

Vakuumdämmung

Dämmstoffe unterseitig:

Steinwolle

Mineralschaumplatte

Polystyrol expandiert

Kork

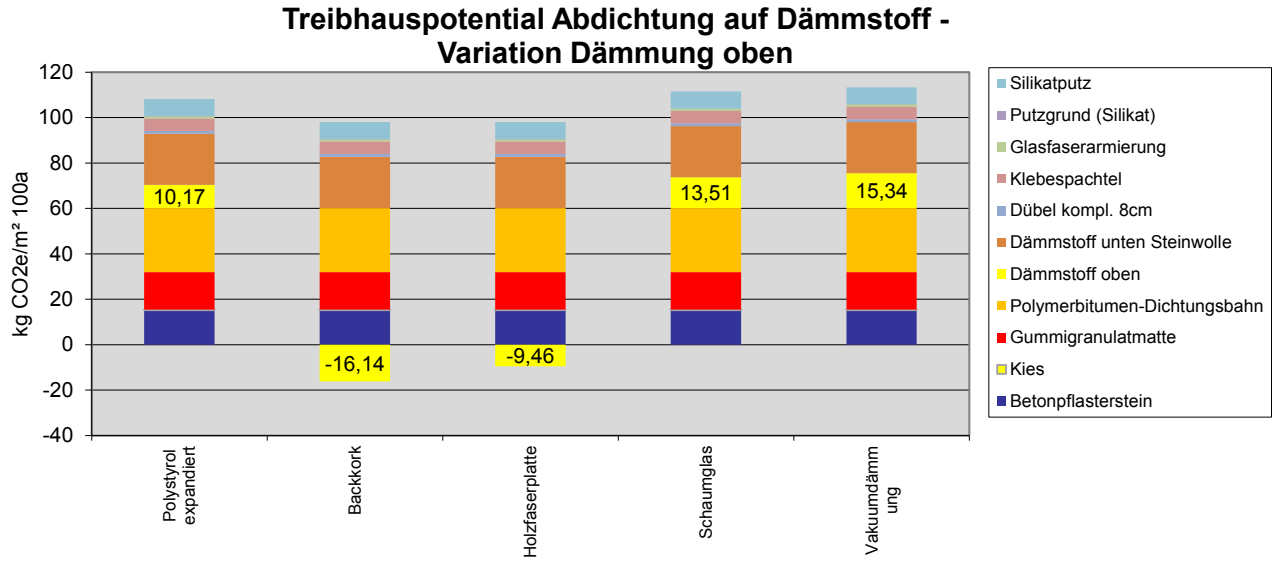
Holzfaserplatte

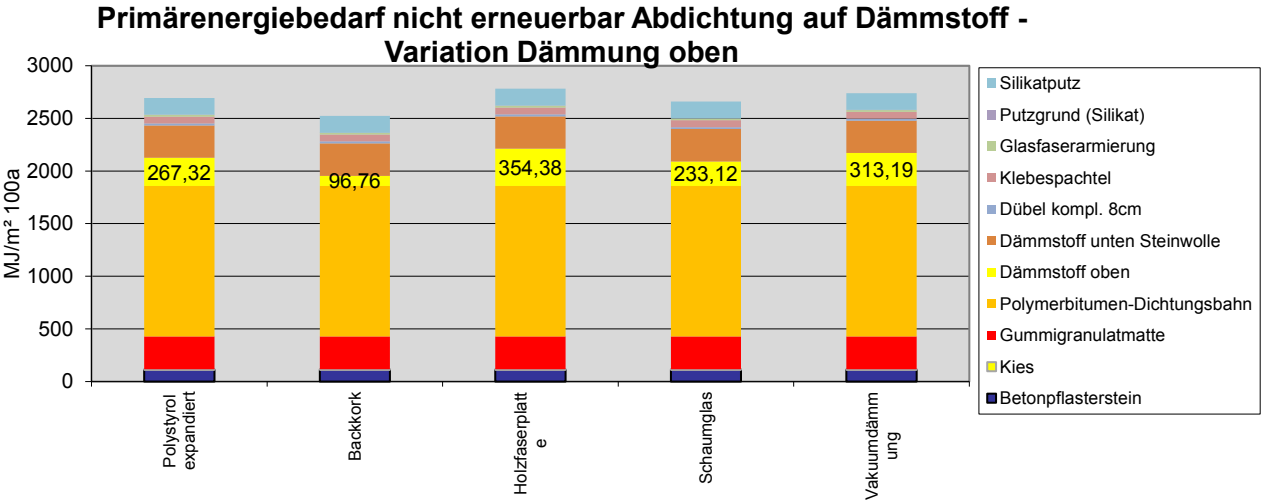
Schaumglas

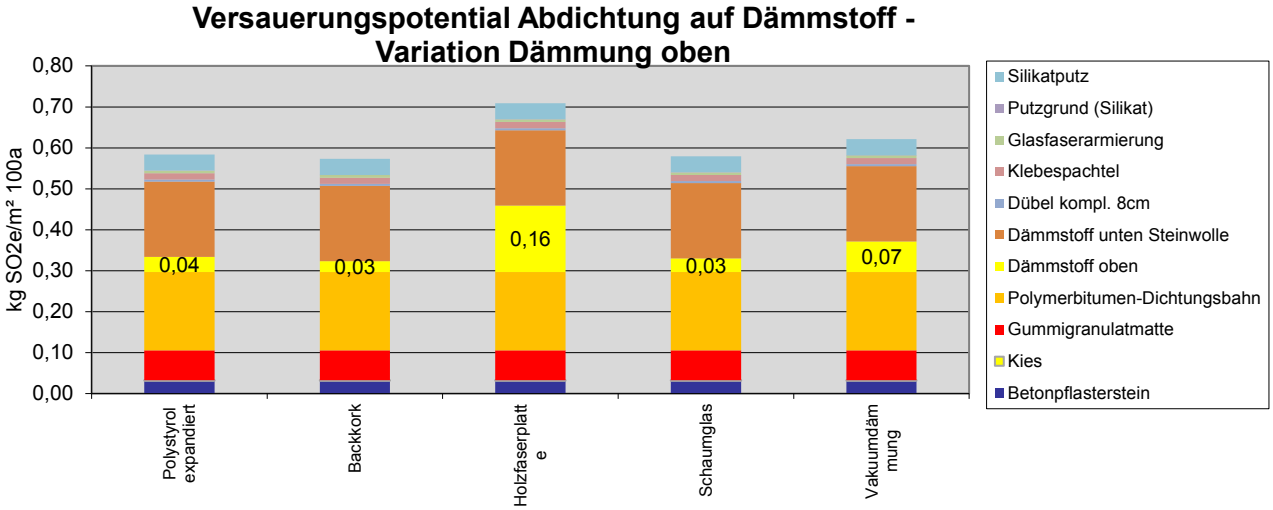
Vakuumdämmung

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke [cm]
1-Belag	▪ *Betonplatten* ▪ *Holzrost auf Alulatten in Kies* ▪ *Fliesen/Keramikplatten/Naturstein auf Zementestrich*	*4* *8* *7–8*
2-Drainage	▪ *Kies* ▪ *Drainagematte*	*3* *1,5*
2b-Schutzlage	▪ *Gummigranulatmatte*	*1,0*
3-Abdichtung	▪ *Polymerbitumenabdichtung 2 lagig* ▪ *PE-Abdichtung* ▪ *EPDM-Abdichtung*	*1,0* *0,2* *0,2*
4-Dämmstoff	▪ *Dämmstoff druckfest*	*5*
5-Balkonplatte	▪ *Stahlbeton Bestand, im Gefälle*	*15–20*
6-Dämmstoff	▪ *Dämmstoff gedübelt und geklebt*	*5*
7-Klebespachtel	▪ *Dünnbett,* ▪ *Mittelbett,* ▪ *Dickbett*	*0,2 –1*
8-Armierung	▪ *Glasfaserarmierung*	
9-Putzgrund	▪ *Putzgrund (Silikat)*	
10-Außenputz	▪ *Silikatputz,* ▪ *Silikonharzputz* ▪ *Grobputz/Feinputz à la Heraklith* ▪ *Nanoputz* ▪ *Lotuseffekt* ▪ *Putz mit PCM-Granulat* ▪ *Putz mit Low-e-Beschichtung*	*ca. 0,2 mm*

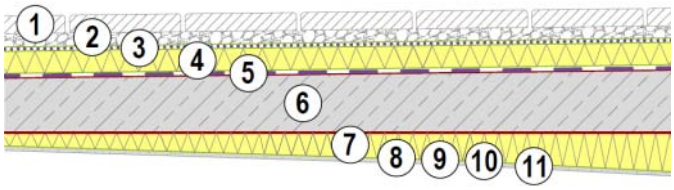
Hinweis: Durch die konische Ausführung der unterseitigen Dämmung wird die Ansichtsbreite des sanierten Balkons deutlich reduziert. Die Auswirkung auf den Wärmebrückeneffekt ist gering.


Treibhauspotential Abdichtung auf Dämmstoff - Variation Dämmung oben
kg CO2e/m² 100a
120
100
80
60
40
20
0
-20
-40
10,17
-16,14
-9,46
13,51
15,34
Polystyrol expandiert
Backkork
Holzfaserplatte
Schaumglas
Vakuumdämmung
Silikatputz
Putzgrund (Silikat)
Glasfaserarmierung
Klebespachtel
Dübel kompl. 8cm
Dämmstoff unten Steinwolle
Dämmstoff oben
Polymerbitumen-Dichtungsbahn
Gummigranulatmatte
Kies
Betonpflasterstein


Primärenergiebedarf nicht erneuerbar Abdichtung auf Dämmstoff - Variation Dämmung oben
MJ/m² 100a
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
267,32
96,76
354,38
233,12
313,19
Polystyrol expandiert
Backkork
Holzfaserplatte
Schaumglas
Vakuumdämmung
Silikatputz
Putzgrund (Silikat)
Glasfaserarmierung
Klebespachtel
Dübel kompl. 8cm
Dämmstoff unten Steinwolle
Dämmstoff oben
Polymerbitumen-Dichtungsbahn
Gummigranulatmatte
Kies
Betonpflasterstein


Versauerungspotential Abdichtung auf Dämmstoff - Variation Dämmung oben
kg SO2e/m² 100a
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,04
0,03
0,16
0,03
0,07
Polystyrol expandiert
Backkork
Holzfaserplatte
Schaumglas
Vakuumdämmung
Silikatputz
Putzgrund (Silikat)
Glasfaserarmierung
Klebespachtel
Dübel kompl. 8cm
Dämmstoff unten Steinwolle
Dämmstoff oben
Polymerbitumen-Dichtungsbahn
Gummigranulatmatte
Kies
Betonpflasterstein

5.12.2.2 Dämmung Balkonplatte, Abdichtung auf Dämmstoff



Dämmstoffe oberseitig:

XPS

Dämmstoffe unterseitig:

Steinwolle

Mineralschaumplatte

Polystyrol expandiert

Kork

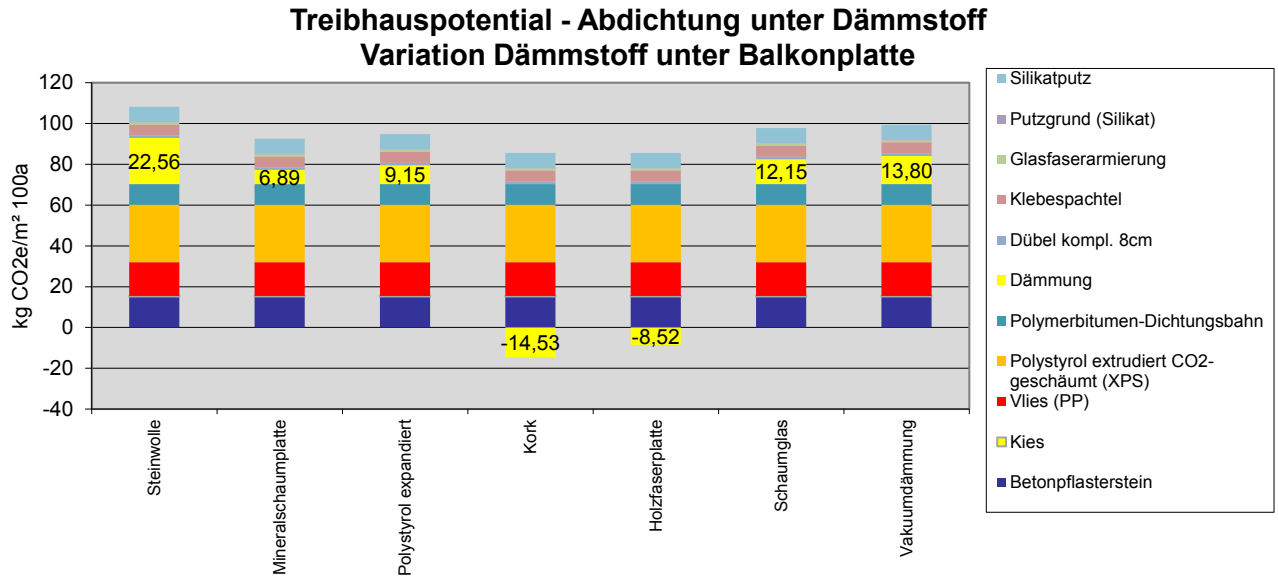
Holzfaserplatte

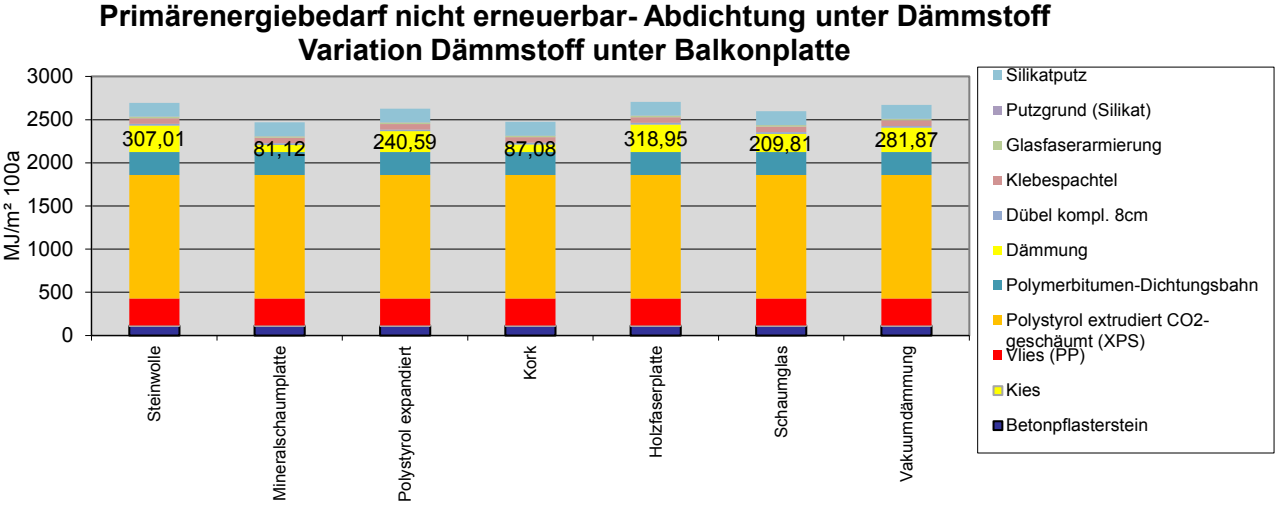
Schaumglas

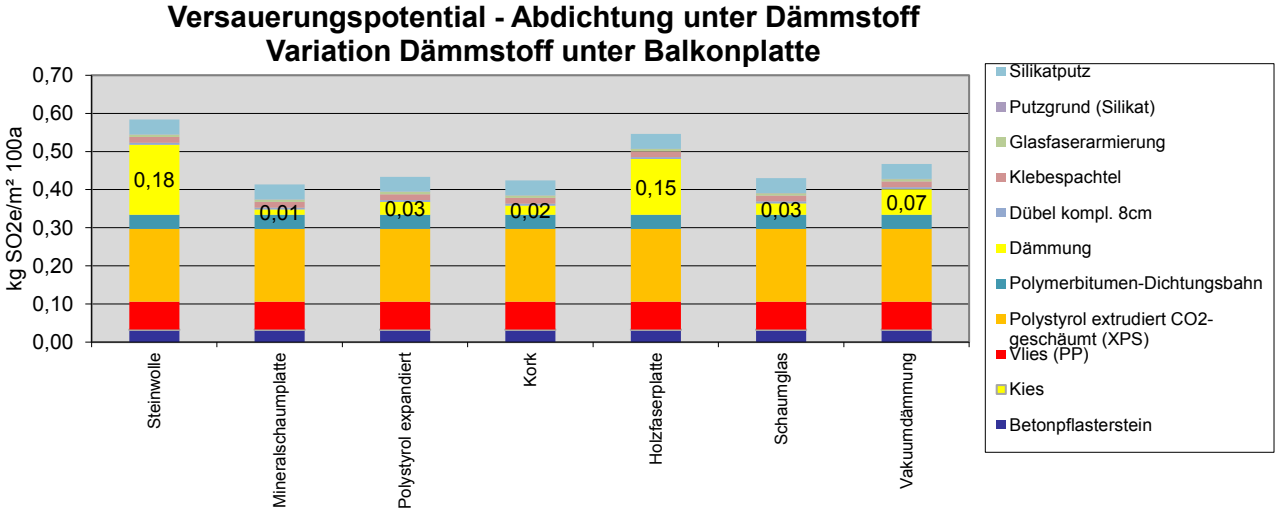
Vakuumdämmung

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke [cm]
1-Belag	▪ *Betonplatten* ▪ *Holzrost auf Alulatten in Kies* ▪ *Fliesen/Keramikplatten/Naturstein auf Zementestrich*	*4* *8* *7*
2- Drainage	▪ *Kies* ▪ *Drainagematte*	*3* *1,5*
3-Schutzlage	▪ *PP-Vlies*	*1,0*
4-Dämmstoff	▪ *Dämmstoff druckfest*	*5*
5-Abdichtung	▪ *Polymerbitumenabdichtung 2 lagig* ▪ *PE-Abdichtung* ▪ *EPDM-Abdichtung*	*1,0* *0,2* *0,2*
6-Balkonplatte	▪ *Stahlbeton Bestand, im Gefälle*	*15–20*
7-Dämmstoff	▪ *Dämmstoff gedübelt und geklebt*	*5*
8-Klebespachtel	▪ *Dünnbett,* ▪ *Mittelbett,* ▪ *Dickbett*	*0,2–1*
9-Armierung	▪ *Glasfaserarmierung*	
10-Putzgrund	▪ *Putzgrund (Silikat)*	
11-Außenputz	▪ *Silikatputz,* ▪ *Silikonharzputz* ▪ *Grobputz/Feinputz à la Heraklith* ▪ *Nanoputz* ▪ *Lotuseffekt* ▪ *Putz mit PCM-Granulat* ▪ *Putz mit Low-e-Beschichtung*	*ca. 0,2*

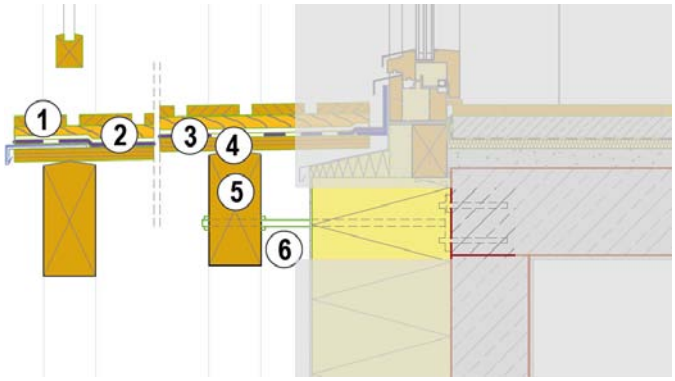
Hinweis: Durch die konische Ausführung der unterseitigen Dämmung wird die Ansichtsbreite des sanierten Balkons deutlich reduziert. Die Auswirkung auf den Wärmebrückeneffekt ist gering.


Treibhauspotential - Abdichtung unter Dämmstoff
Variation Dämmstoff unter Balkonplatte
kg CO2e/m² 100a
120
100
80
60
40
20
0
-20
-40
22,56
6,89
9,15
-14,53
-8,52
12,15
13,80
Steinwolle
Mineralschaumplatte
Polystyrol expandiert
Kork
Holzfaserplatte
Schaumglas
Vakuumdämmung
Silikatputz
Putzgrund (Silikat)
Glasfaserarmierung
Klebespachtel
Dübel kompl. 8cm
Dämmung
Polymerbitumen-Dichtungsbahn
Polystyrol extrudiert CO2-geschäumt (XPS)
Vlies (PP)
Kies
Betonpflasterstein

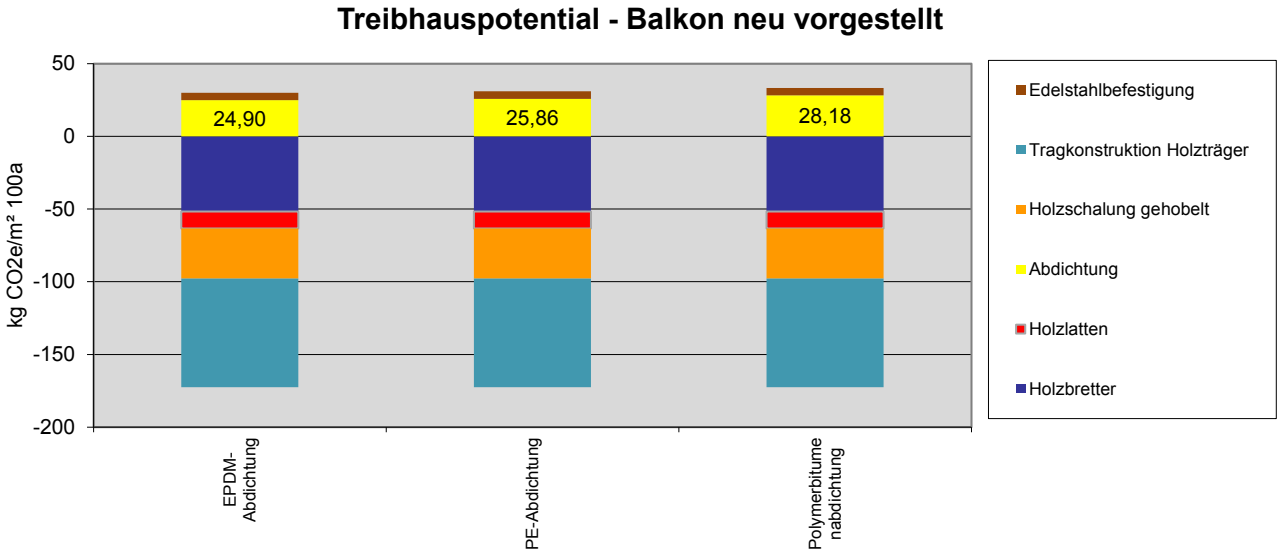

Primärenergiebedarf nicht erneuerbar- Abdichtung unter Dämmstoff
Variation Dämmstoff unter Balkonplatte
MJ/m² 100a
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
307,01
81,12
240,59
87,08
318,95
209,81
281,87
Steinwolle
Mineralschaumplatte
Polystyrol expandiert
Kork
Holzfaserplatte
Schaumglas
Vakuumdämmung
Silikatputz
Putzgrund (Silikat)
Glasfaserarmierung
Klebespachtel
Dübel kompl. 8cm
Dämmung
Polymerbitumen-Dichtungsbahn
Polystyrol extrudiert CO2-geschäumt (XPS)
Vlies (PP)
Kies
Betonpflasterstein

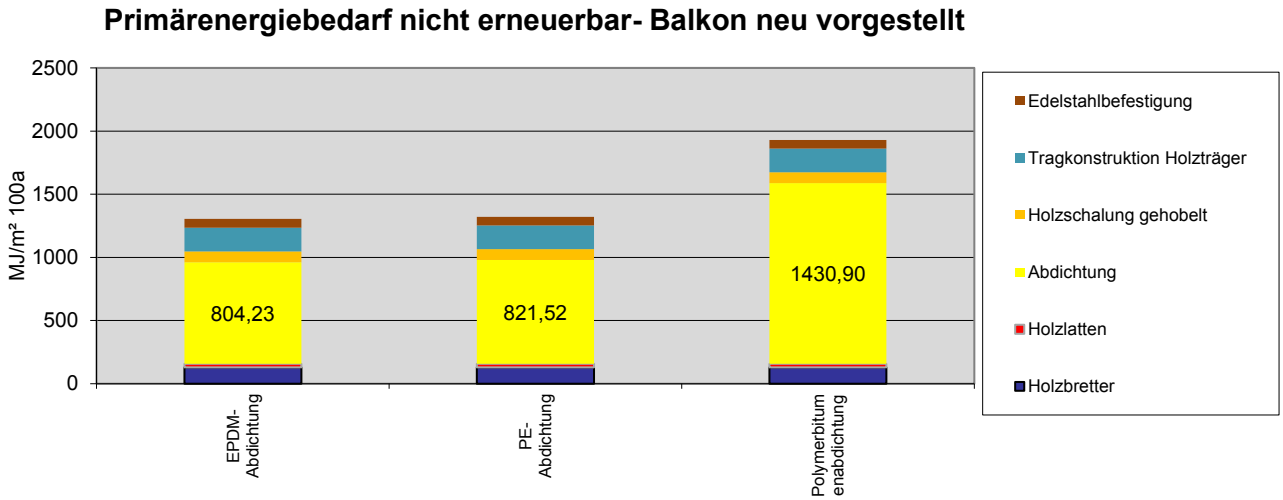

Versauerungspotential - Abdichtung unter Dämmstoff
Variation Dämmstoff unter Balkonplatte
kg SO2e/m² 100a
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0,18
0,01
0,03
0,02
0,15
0,03
0,07
Steinwolle
Mineralschaumplatte
Polystyrol expandiert
Kork
Holzfaserplatte
Schaumglas
Vakuumdämmung
Silikatputz
Putzgrund (Silikat)
Glasfaserarmierung
Klebespachtel
Dübel kompl. 8cm
Dämmung
Polymerbitumen-Dichtungsbahn
Polystyrol extrudiert CO2-geschäumt (XPS)
Vlies (PP)
Kies
Betonpflasterstein

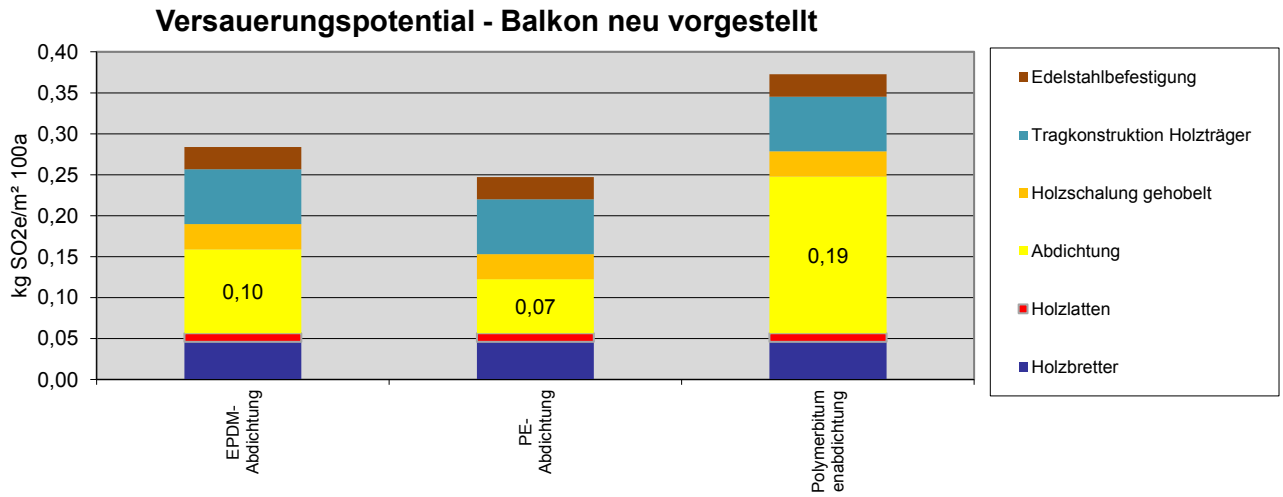
5.12.2.3 Balkon neu vorgestellt



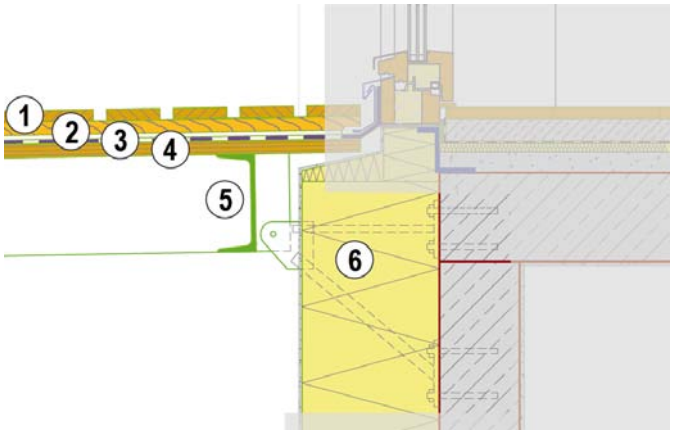
Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke [cm]
1-Belag	▪ *Holzrost* ▪ *Betonplatten*	*8* *4*
2-Ausgleich/Befestigung	▪ *Holzlatten auf Trittschalllager EPDM* ▪ *Alulatten auf Trittschalllager EPDM* ▪ *Kies* ▪ *Drainagematte*	*5* *4* *3* *1,5*
3-Abdichtung	▪ *Polymerbitumenabdichtung 2lagig* ▪ *PE-Abdichtung* ▪ *EPDM-Abdichtung*	*1,0* *0,2* *0,2*
4-Rohboden	▪ *Holzschalung unterseitig gehobelt*	*2,4*
5-Tragkonstruktion	▪ *Holzträger, Holzsteher* ▪ *Stahl feuerverzinkt*	*-*
6-Befestigung	▪ *Edelstahlschrauben*	*-*




Primärenergiebedarf nicht erneuerbar- Balkon neu vorgestellt
MJ/m² 100a
2500
2000
1500
1000
500
0
804,23
821,52
1430,90
EPDM-Abdichtung
PE-Abdichtung
Polymerbitumenabdichtung
Edelstahlbefestigung
Tragkonstruktion Holzträger
Holzschalung gehobelt
Abdichtung
Holzlatten
Holzbretter

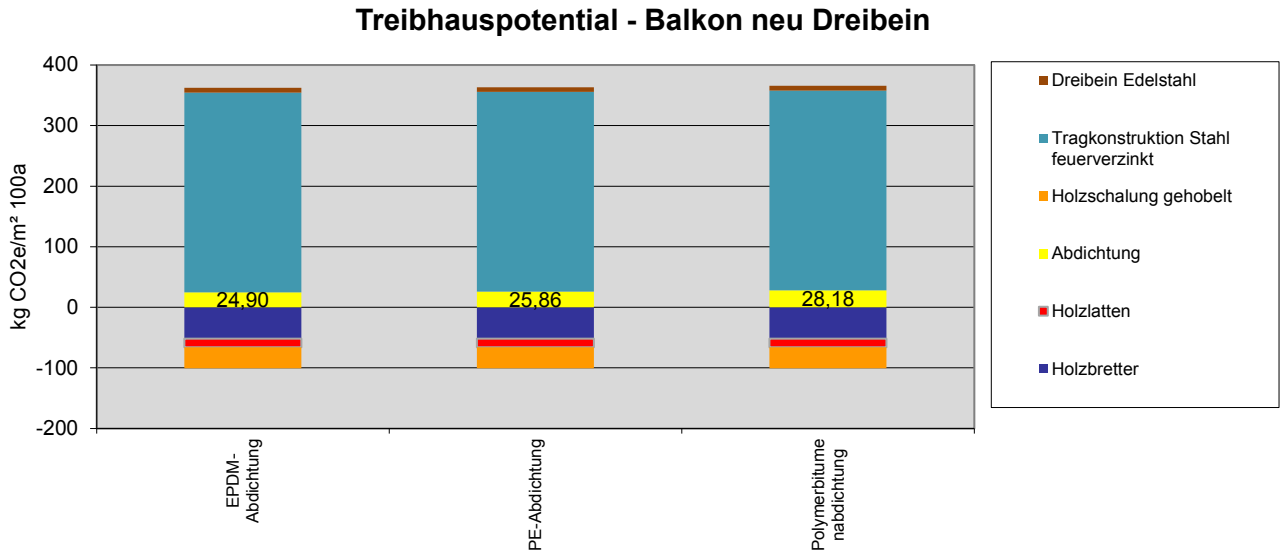

Versauerungspotential - Balkon neu vorgestellt
kg SO2e/m² 100a
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
0,10
0,07
0,19
EPDM-Abdichtung
PE-Abdichtung
Polymerbitumenabdichtung
Edelstahlbefestigung
Tragkonstruktion Holzträger
Holzschalung gehobelt
Abdichtung
Holzlatten
Holzbretter

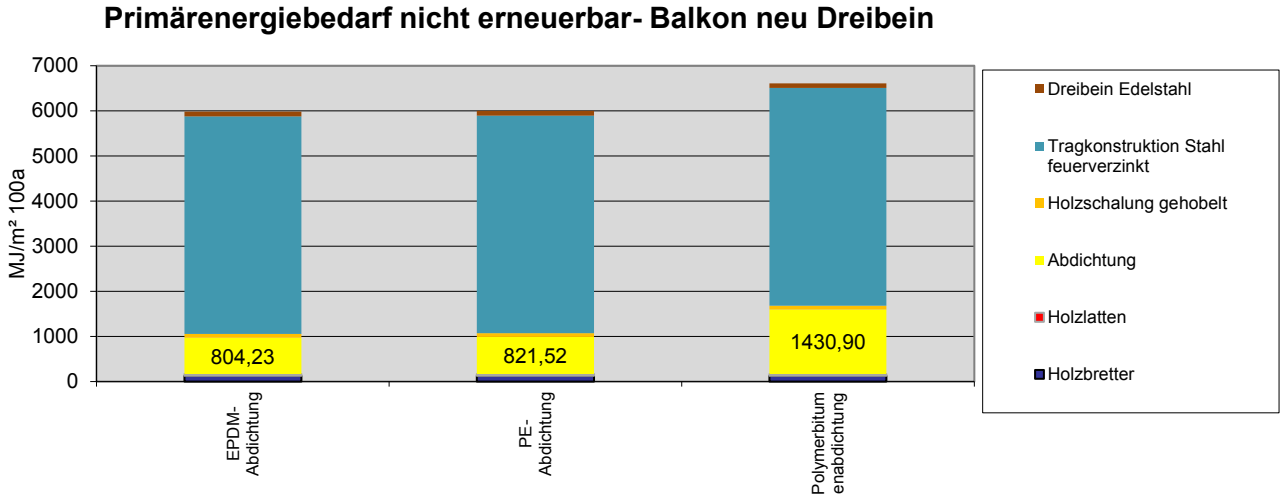
5.12.2.4 Balkon neu Dreibein

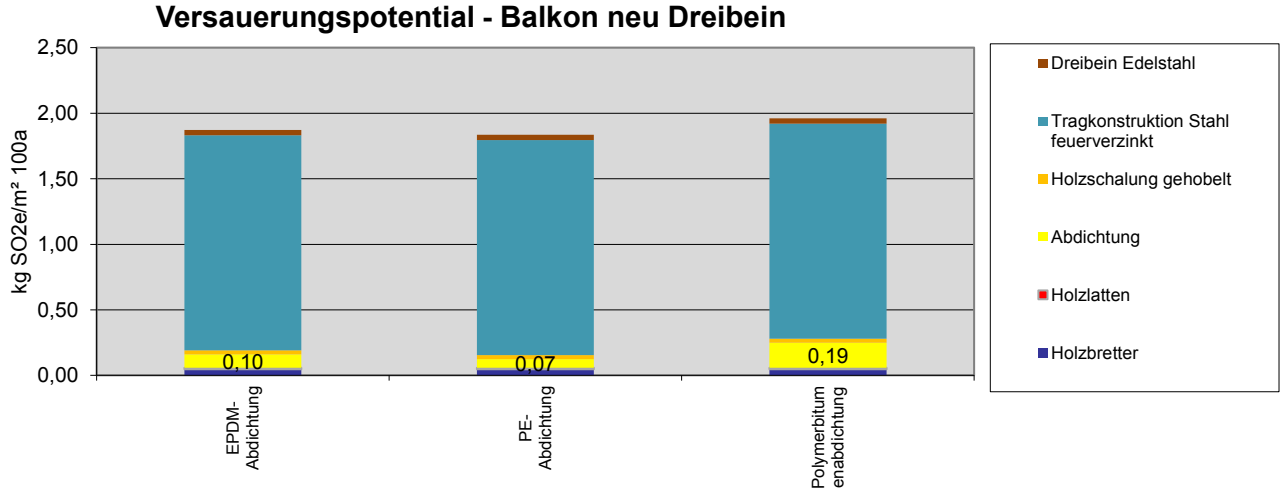


Hinweis: Lastabtragung außenseitig über Stützen oder Abhängung

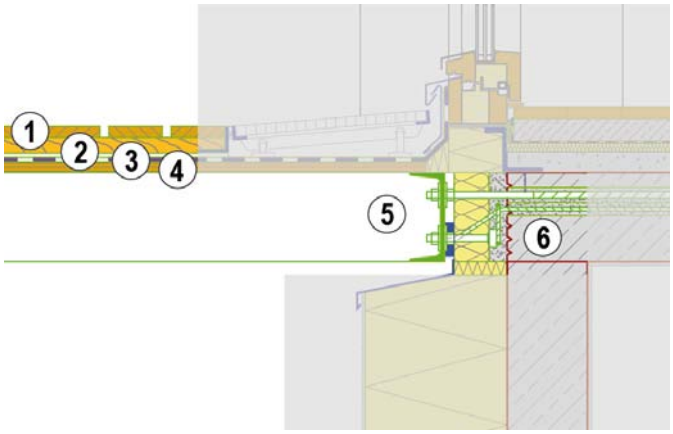
Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke [cm]
1-Belag	▪ *Holzrost* ▪ *Betonplatten*	*8* *4*
2-Ausgleich/Befestigung	▪ *Holzlatten auf Trittschalllager EPDM* ▪ *Alulatten auf Trittschalllager EPDM* ▪ *Kies* ▪ *Drainagematte*	*5* *4* *3* *1,5*
3-Abdichtung	▪ *Polymerbitumenabdichtung 2lagig* ▪ *PE-Abdichtung* ▪ *EPDM-Abdichtung*	*1,0* *0,2* *0,2*
4-Rohboden	▪ *Holzschalung unterseitig gehobelt*	*2,4*
5-Tragkonstruktion	▪ *Stahl feuerverzinkt*	*-*
6-Befestigung	▪ *Dreibein Edelstahl*	*-*


Treibhauspotential - Balkon neu Dreibein
kg CO2e/m² 100a
400
300
200
100
0
-100
-200
24,90
25,86
28,18
EPDM-Abdichtung
PE-Abdichtung
Polymerbitumenabdichtung
Dreibein Edelstahl
Tragkonstruktion Stahl feuerverzinkt
Holzschalung gehobelt
Abdichtung
Holzlatten
Holzbretter


Primärenergiebedarf nicht erneuerbar- Balkon neu Dreibein
MJ/m² 100a
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
804,23
821,52
1430,90
EPDM-Abdichtung
PE-Abdichtung
Polymerbitumenabdichtung
Dreibein Edelstahl
Tragkonstruktion Stahl feuerverzinkt
Holzschalung gehobelt
Abdichtung
Holzlatten
Holzbretter

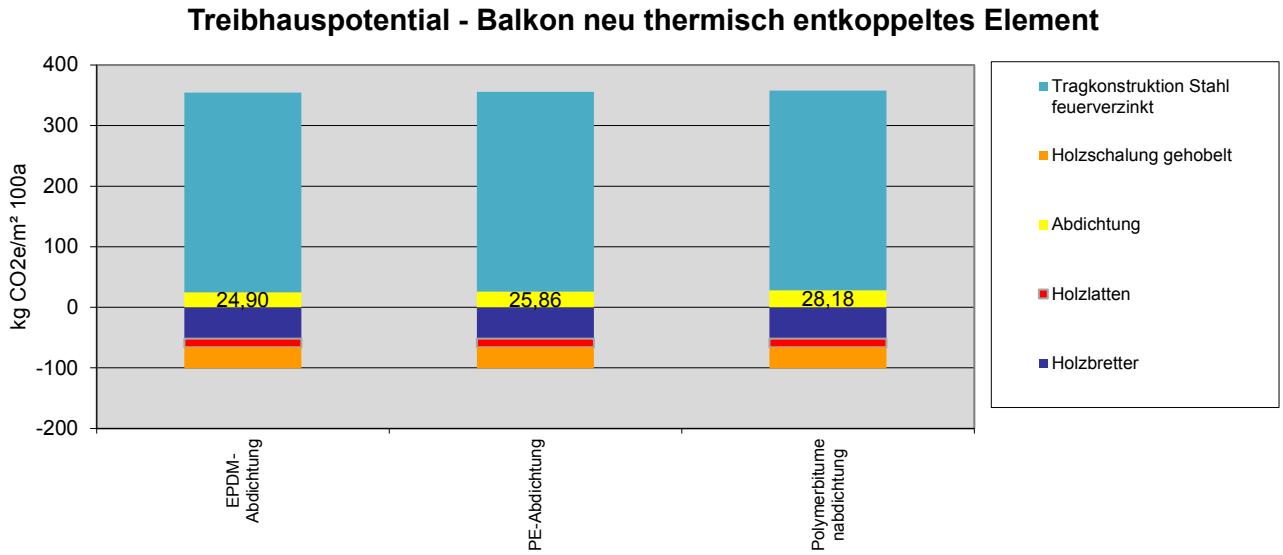

Versauerungspotential - Balkon neu Dreibein
kg SO2e/m² 100a
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
0,10
0,07
0,19
EPDM-Abdichtung
PE-Abdichtung
Polymerbitumenabdichtung
Dreibein Edelstahl
Tragkonstruktion Stahl feuerverzinkt
Holzschalung gehobelt
Abdichtung
Holzlatten
Holzbretter

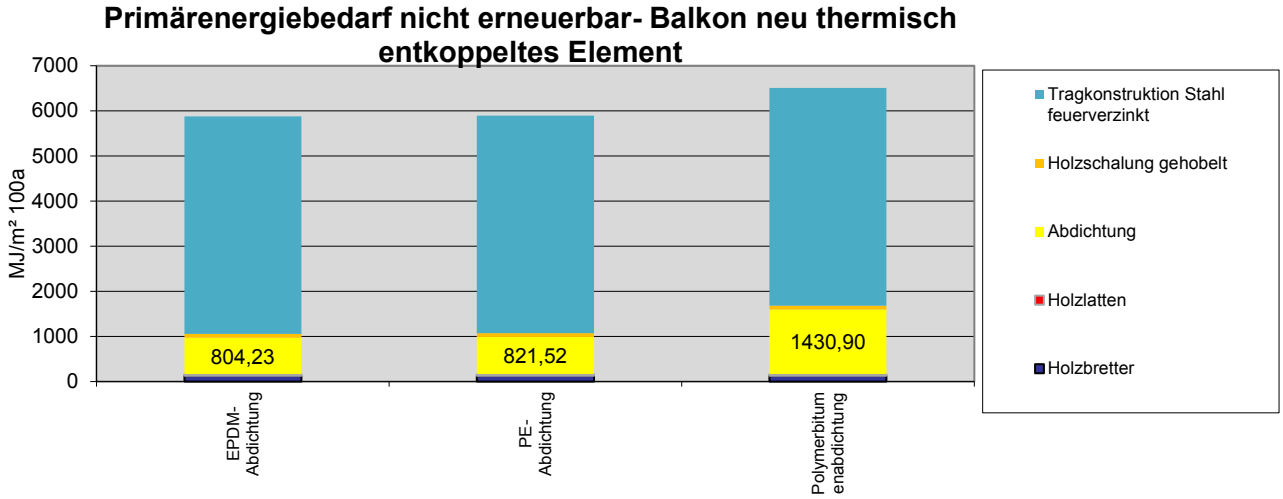
5.12.2.5 Balkon neu thermisch entkoppeltes Element

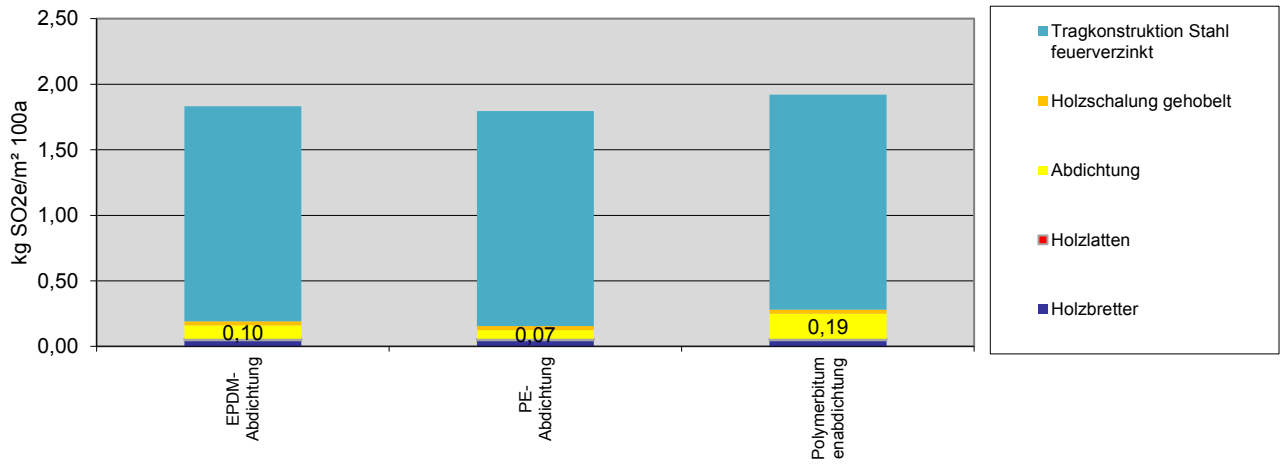


Hinweis: Dämmelement (Isokorb) punktuell. Je nach Auskragung für Abtragungsmoment außen sind eine Abhängung oder Stützen notwendig.

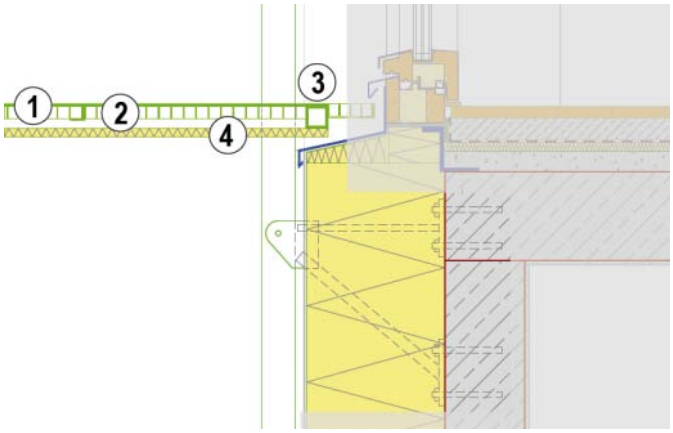
Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke [cm]
1-Belag	▪ *Holzrost* ▪ *Betonplatten*	*8* *4*
2-Ausgleich/Befestigung	▪ *Holzlatten auf Trittschalllager EPDM* ▪ *Alulatten auf Trittschalllager EPDM* ▪ *Kies* ▪ *Drainagematte*	*5* *4* *3* *1,5*
3-Abdichtung	▪ *Polymerbitumenabdichtung 2 lagig* ▪ *PE-Abdichtung* ▪ *EPDM-Abdichtung*	*1,0* *0,2* *0,2*
4-Rohboden	▪ *Holzschalung unterseitig gehobelt*	*2,4*
5-Tragkonstruktion	▪ *Stahl feuerverzinkt*	*-*
6-Befestigung	▪ *Isokorb RKS*	*-*


Treibhauspotential - Balkon neu thermisch entkoppeltes Element
kg CO2e/m² 100a
400
300
200
100
0
-100
-200
24,90
25,86
28,18
EPDM-Abdichtung
PE-Abdichtung
Polymerbitumenabdichtung
Tragkonstruktion Stahl feuerverzinkt
Holzschalung gehobelt
Abdichtung
Holzlatten
Holzbretter


Primärenergiebedarf nicht erneuerbar- Balkon neu thermisch entkoppeltes Element
MJ/m² 100a
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
804,23
821,52
1430,90
EPDM-Abdichtung
PE-Abdichtung
Polymerbitumenabdichtung
Tragkonstruktion Stahl feuerverzinkt
Holzschalung gehobelt
Abdichtung
Holzlatten
Holzbretter


Versauerungspotential - Balkon neu thermisch entkoppeltes Element
kg SO2e/m² 100a
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
0,10
0,07
0,19
EPDM-Abdichtung
PE-Abdichtung
Polymerbitumenabdichtung
Tragkonstruktion Stahl feuerverzinkt
Holzschalung gehobelt
Abdichtung
Holzlatten
Holzbretter

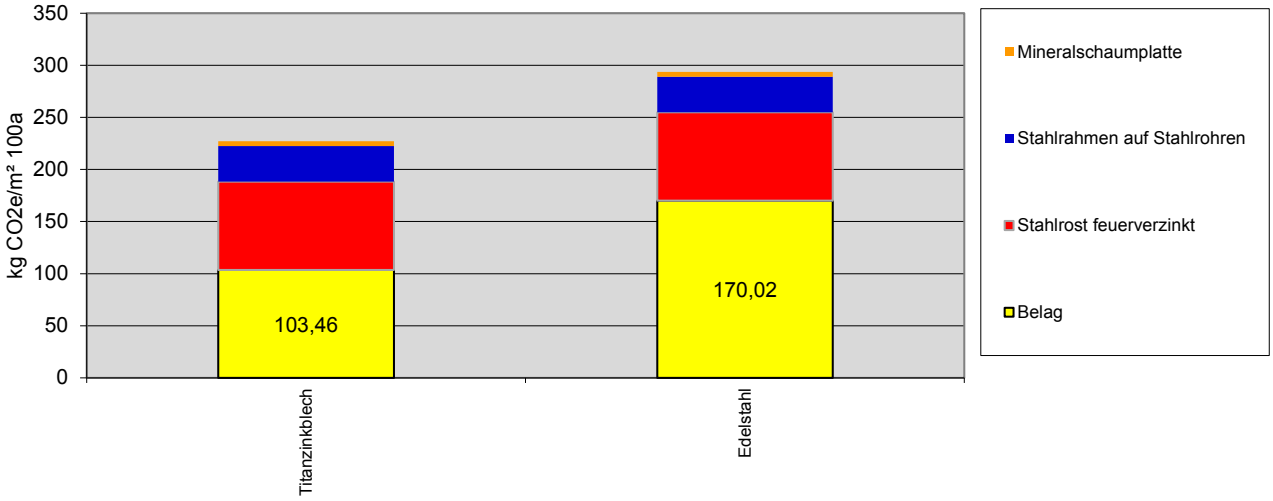
5.12.2.6 Balkon Stahlblech



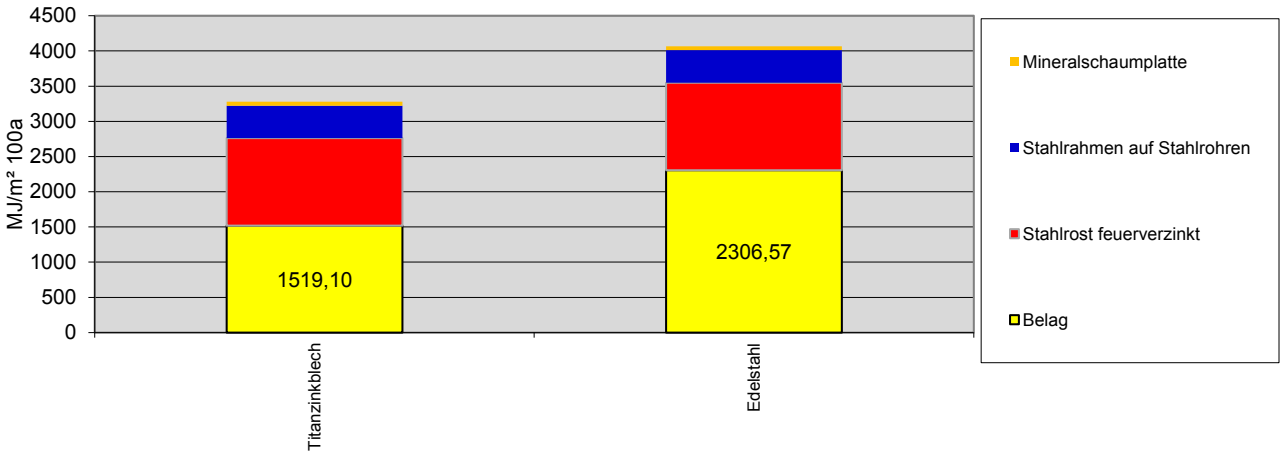
Hinweis: Konstruktion in Anlehnung an [Schneider et al 2003]. Stabilisierung zusätzlich durch Geländer.

Schicht Nr.	Schichten / Alternativen	Dicke [cm]
1-Belag	▪ *Titanzinkblech* ▪ *Edelstahlblech*	*0,2* *0,2*
2-Ausgleich/Befestigung	▪ *Stahlrost feuerverzinkt*	*3*
3-Tragkonstruktion	▪ *Stahlrahmen auf Stahlrohren, Geländer mittragend*	*-*
4-Brandschutzplatte	▪ *CaSi-Platte*	*2*

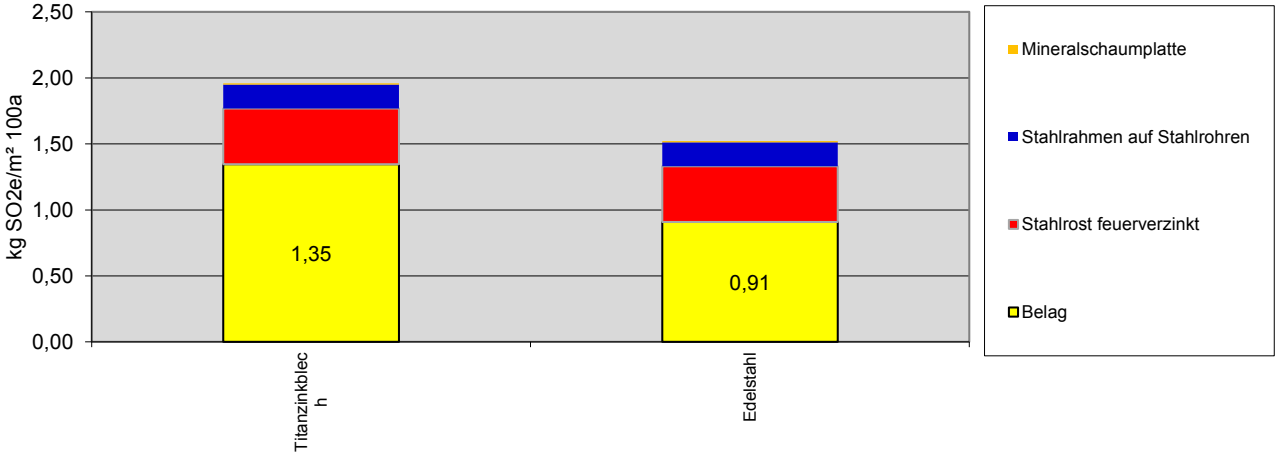
Treibhauspotential - Balkon Stahlblech



Primärenergiebedarf nicht erneuerbar- Balkon Stahlblech



Versauerungspotential - Balkon Stahlblech



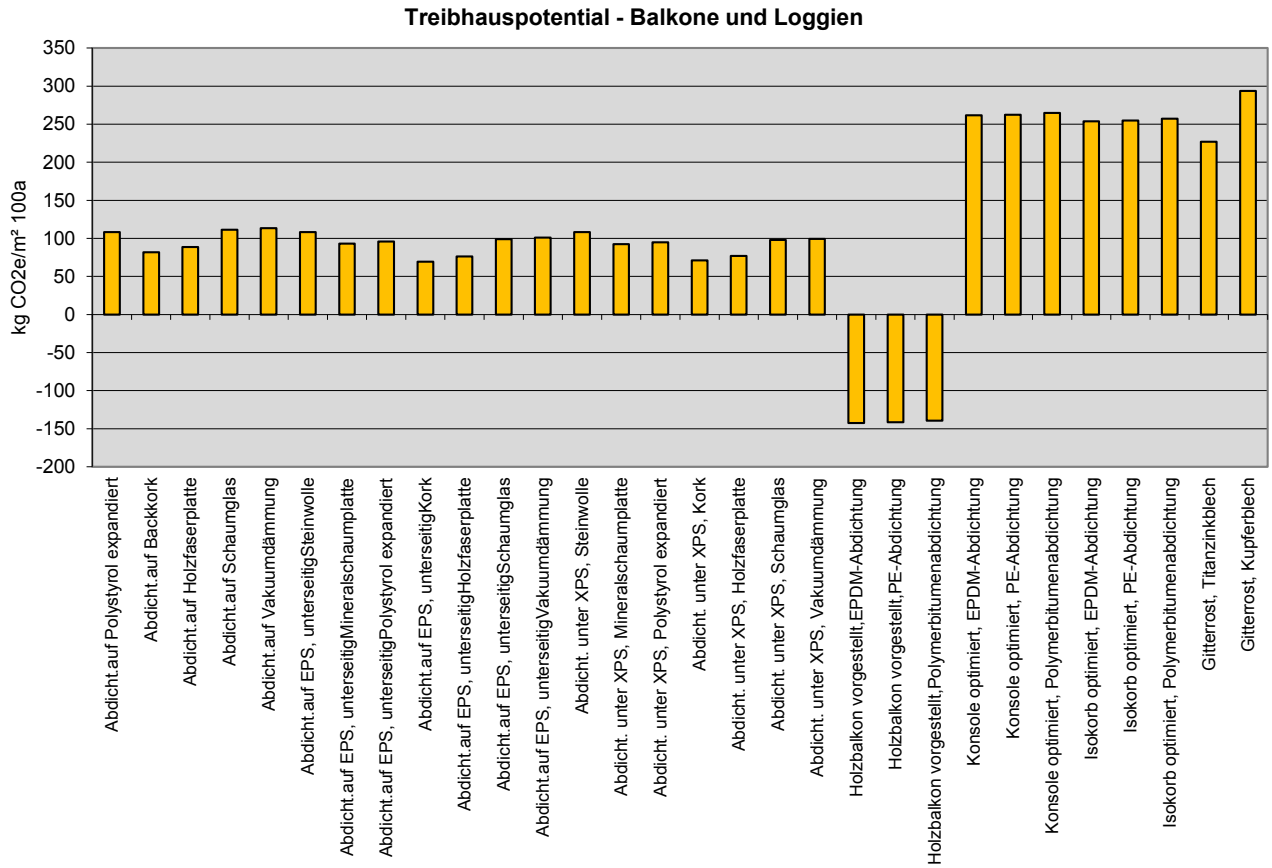
5.12.3 Zusammenschau über den Lebenszyklus

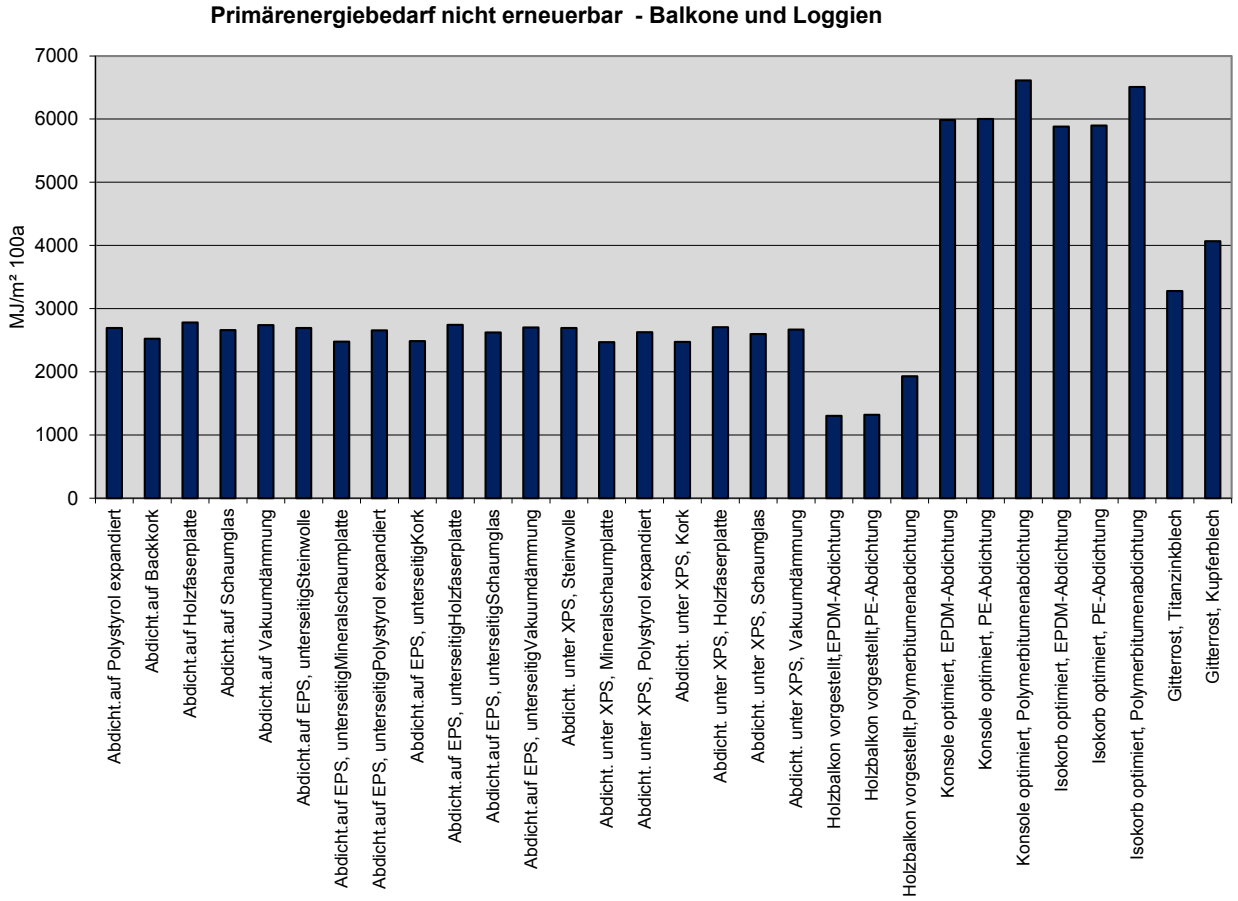
5.12.3.1 Herstellung

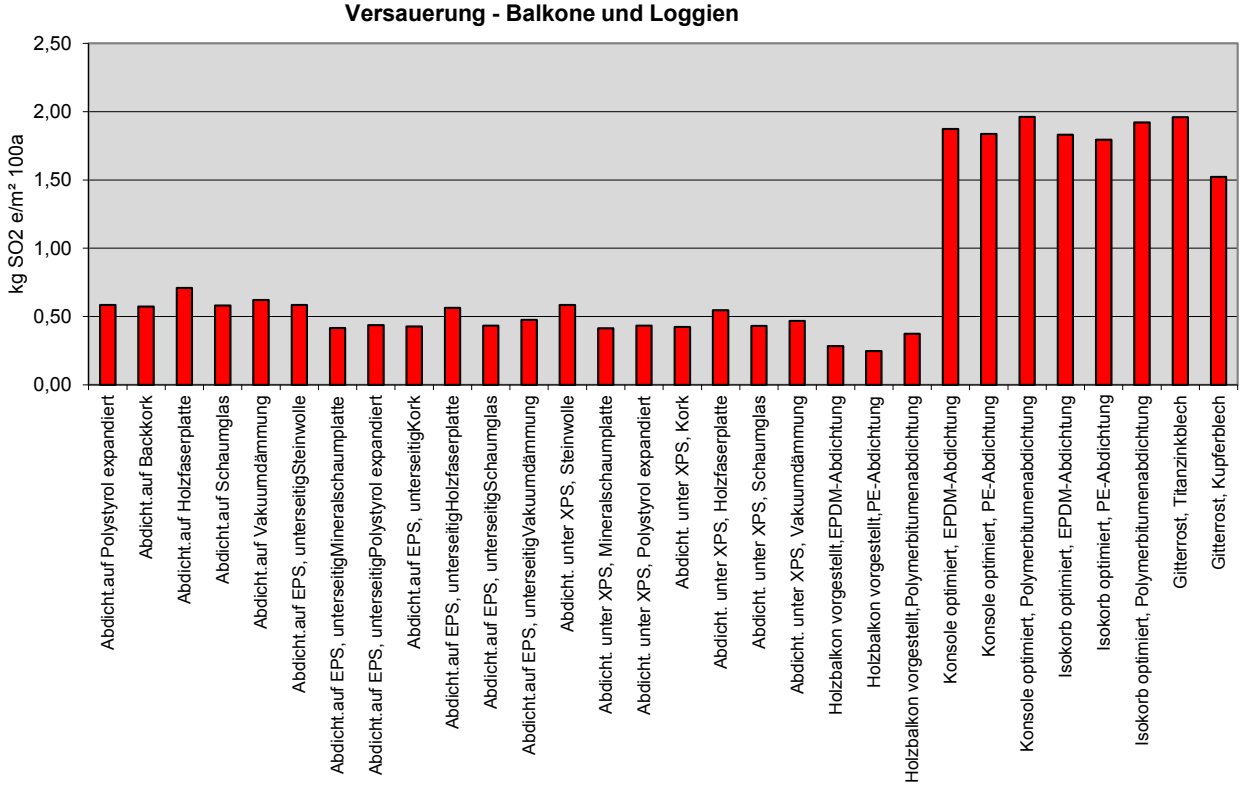
Die dargestellten Systeme unterscheiden sich

- in der Flexibilität zum potentiellen Einsatz unterschiedlicher Dämmstoffe
- in der Art der Befestigungssysteme:
  - Schwimmende Verlegung auf Abdichtung
  - Schwimmende Verlegung unter Abdichtung
  - Vollflächige Verklebung am Untergrund in Bitumen
- im Einsatz von aufwändig hergestellten Metallen

Die Belastungen in den betrachteten Umweltkategorien hängen vor allem vom Aufwand zur Herstellung der Feuchteabdichtungen und aller Teile, die aus Metallen gefertigt sind ab. Der Einfluss des Dämmstoffs in den Varianten mit gedämmten Balkonplatten tritt demgegenüber zurück. Wesentlichen Einfluss haben auch Abdichtungen und bituminöse Dampfsperren. Zu beachten ist, dass Stützen, Abhängungen und Befestigungen am Bestand (Konsolen etc.) nicht enthalten sind. Diese erhöhen den Aufwand für alle vorgestellten Konstruktionen. Das eventuell notwendige Abtrennen des Bestandsbalkons ist nicht berücksichtigt.




Primärenergiebedarf nicht erneuerbar - Balkone und Loggien
MJ/m² 100a
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
Abdicht.auf Polystyrol expandiert
Abdicht.auf Backkork
Abdicht.auf Holzfaserplatte
Abdicht.auf Schaumglas
Abdicht.auf Vakuumdämmung
Abdicht.auf EPS, unterseitigSteinwolle
Abdicht.auf EPS, unterseitigMineralschaumplatte
Abdicht.auf EPS, unterseitigPolystyrol expandiert
Abdicht.auf EPS, unterseitigKork
Abdicht.auf EPS, unterseitigHolzfaserplatte
Abdicht.auf EPS, unterseitigSchaumglas
Abdicht.auf EPS, unterseitigVakuumdämmung
Abdicht. unter XPS, Steinwolle
Abdicht. unter XPS, Mineralschaumplatte
Abdicht. unter XPS, Polystyrol expandiert
Abdicht. unter XPS, Kork
Abdicht. unter XPS, Holzfaserplatte
Abdicht. unter XPS, Schaumglas
Abdicht. unter XPS, Vakuumdämmung
Holzbalkon vorgestellt,EPDM-Abdichtung
Holzbalkon vorgestellt,PE-Abdichtung
Holzbalkon vorgestellt,Polymerbitumenabdichtung
Konsole optimiert, EPDM-Abdichtung
Konsole optimiert, PE-Abdichtung
Konsole optimiert, Polymerbitumenabdichtung
Isokorb optimiert, EPDM-Abdichtung
Isokorb optimiert, PE-Abdichtung
Isokorb optimiert, Polymerbitumenabdichtung
Gitterrost, Titanzinkblech
Gitterrost, Kupferblech


Versauerung - Balkone und Loggien
kg SO2 e/m² 100a
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
Abdicht.auf Polystyrol expandiert
Abdicht.auf Backkork
Abdicht.auf Holzfaserplatte
Abdicht.auf Schaumglas
Abdicht.auf Vakuumdämmung
Abdicht.auf EPS, unterseitigSteinwolle
Abdicht.auf EPS, unterseitigMineralschaumplatte
Abdicht.auf EPS, unterseitigPolystyrol expandiert
Abdicht.auf EPS, unterseitigKork
Abdicht.auf EPS, unterseitigHolzfaserplatte
Abdicht.auf EPS, unterseitigSchaumglas
Abdicht.auf EPS, unterseitigVakuumdämmung
Abdicht. unter XPS, Steinwolle
Abdicht. unter XPS, Mineralschaumplatte
Abdicht. unter XPS, Polystyrol expandiert
Abdicht. unter XPS, Kork
Abdicht. unter XPS, Holzfaserplatte
Abdicht. unter XPS, Schaumglas
Abdicht. unter XPS, Vakuumdämmung
Holzbalkon vorgestellt,EPDM-Abdichtung
Holzbalkon vorgestellt,PE-Abdichtung
Holzbalkon vorgestellt,Polymerbitumenabdichtung
Konsole optimiert, EPDM-Abdichtung
Konsole optimiert, PE-Abdichtung
Konsole optimiert, Polymerbitumenabdichtung
Isokorb optimiert, EPDM-Abdichtung
Isokorb optimiert, PE-Abdichtung
Isokorb optimiert, Polymerbitumenabdichtung
Gitterrost, Titanzinkblech
Gitterrost, Kupferblech

- Günstig schneidet vor allem der vorgestellte Holzbalkon ab.
- Abdichtungen aus EPDM oder PE liegen sehr ähnlich, Abdichtungen in 2 Lagen Polymerbitumen liegen deutlich ungünstiger.
- Der Einfluss der Dämmstoffwahl ist wegen der moderaten Dämmstärken weniger relevant als bei anderen Bauteilen der thermischen Gebäudehülle.

5.12.3.2 Einbau und Transporte (Ausführungsmängel)

Die dargestellten Systeme unterscheiden sich stark voneinander:

- wird die alte Balkonplatte weiterverwendet oder wird diese abgetrennt. In letzterem Fall ist bei Verwendung von Stützen eine eigene Fundierung notwendig
- in der Befestigungstechnik der Materialien untereinander (kleben – schrauben – „schwimmend mit Beschwerung“)

Die Arbeitsplatzbelastungen bei der Verarbeitung decken sich mit jenen der Einzelkomponenten. Grundierungen können hohe Lösemittelgehalte aufweisen. Beim Flämmen von bituminösen Lagen können relevante Emissionen von Kohlenwasserstoffen entstehen. Direkter Hautkontakt mit Glas- oder Steinwolle kann zu einer Sensibilisierung der Haut führen. Mit dem Tragen von Handschuhen kann Abhilfe geschaffen werden.

5.12.3.3 Nutzung und Instandhaltung

Die Beurteilung in der Nutzungsphase bezieht sich auf die Qualität der gewünschten Funktionen, auf den Instandsetzungsaufwand, die Nutzungsdauer der einzelnen Schichten und die Gesundheitsverträglichkeit für die NutzerInnen.

Alle vorgestellten Lösungen stellen bezüglich **Wärmeschutz** eine deutliche Verbesserung gegenüber dem üblichen Bestand einer durchbetonierten Betonplatte dar. Neben der deutlichen Erhöhung der Innenoberflächentemperatur wird auch der Wärmebrückeneffekt zum Teil deutlich reduziert. Die nachfolgende Tabelle gibt einige typische Kennwerte für unterschiedliche Ausführung an.

2-dimensionale Wärmebrückenberechnung: Stahlbetonwand 18 cm, Betonplatte 20 cm

Klima 3500 Kd	Psi-Wert [W/mK]	Verluste pro Jahr [kWh/ma]	Raum oben fRSi	Raum unten fRSi
0. Ohne Balkondämmung, 8 cm WD der Außenwand (konv.)	0,978	82,2	0,75	0,72
1. Ohne Balkondämmung, 32 cm WD der Außenwand	0,691	58,1	0,86	0,83
2. WD unterseitig 5 cm	0,580	48,7	0,87	0,85
3. WD ober- und unterseitig 5 cm	0,454	38,2	0,90	0,88
4. WD rundum 5 cm	0,453	38,1	0,90	0,88
5. WD rundum 10 cm	0,369	31,0	0,91	0,90
6. Mit Schöck-Isokorb 8 cm	0,287	24,1	0,93	0,92
7. Mit Schöck-Isokorb KXT50 12 cm, ohne Balkonüberdämmung	0,216	18,2	0,94	0,93
8. Wie 1, zusätzlich in Bestand innen 35mm HWL, 1cm Gipsputz	0,616	51,7	0,91	0,81

Hinweis: Balkontiefe Bestand 1,8 m, Angaben pro m Balkon

Deutlich sichtbar wird, dass eine Außenwanddämmung in Passivhausniveau bereits deutlich das Risiko der Schimmelpilzbildung reduziert – auch ohne Umdämmung der Balkonplatte. Der Anschluss entspricht nicht nur den normativen Anforderungen an die Vermeidung von Oberflächenkondensat (fRsi>=0,71), sondern weist ein deutliches Sicherheitspolster auf.
Die unterseitige Dämmung ist wirksam, wenn auch die Verbesserung nicht sehr hoch ist. Der Unterschied zu einer Dämmung auch im Stirnbereich ist bei der untersuchten Länge von 1,8 m nicht mehr relevant. Die Umdämmung der Balkonplatte schützt diese auch stark vor thermischen Spannungen.
Die Verdopplung der Dämmstärke auf von 5 auf 10 cm wirkt sich nicht mehr stark aus.

Der **Schallschutz** der Bestandsdecke wird in allen dargestellten Fällen verbessert, in den dargestellten Lösungen wird auch der in Österreich geforderte maximale Schallpegel von Lnw <= 53 dB deutlich unterschritten. Insgesamt hängt der Trittschallpegel auch stark von der Masse der Platte und aller anschließenden Bauteile ab.

Ein nachhaltiger **Feuchteschutz** ist vor allem von der Ausführung der Feuchteabdichtung und den Anschlüssen an den Bestand abhängig:

- Die erforderlichen Hochzüge sind zumindest gemäß Anwendernormen auszuführen.
- Eine Unterkriechung von Abdichtungen ist sicher zu vermeiden.
- In sich dampfdichte Dämmschichten (Schaumglas vergossen) sind gegenüber Feuchteflüssen annähernd unempfindlich

Schadstoffimmissionen sind allenfalls durch eine lösemittelhältige Behandlung der Bestandsbalkonplatte zu erwarten. Lösemittel könnten mittels Diffusion oder auch über undichte Stellen nach innen abgegeben werden.

5.12.3.4 Rückbau, Wiederverwertung und Entsorgung

Systemkomponente	Beschreibung der Entsorgungseigenschaften
Abdichtungen	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Trennbarkeit von der darunterliegenden Schicht abhängig von Verlegungsart (lose oder verklebt); verklebte Schichten sich derzeit mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand nicht vom Untergrund (Beton, Holz, Dämmstoff) trennbar.
Polymerbitumen	Entsorgung gemeinsam mit Beton oder mineralischem Dämmstoff auf Deponie (nachteilig: organischer Bestandteil) oder energetische Verwertung in MVA (Vorteil: hoher Heizwert). Emissionen von Abbauprodukten aus dem Bitumen sind auf der Deponie nicht zu erwarten.
PE-Abdichtungsbahn	Von einem Recycling der Abdichtungsbahn ist nicht auszugehen; Entsorgung gemeinsam mit Beton oder mineralischem Dämmstoff auf Deponie (nachteilig: organischer Bestandteil) oder energetische Verwertung in MVA (Vorteil: hoher Heizwert).
EPDM-Abdichtungsbahn	Von einem Recycling der Abdichtungsbahn ist nicht auszugehen; Entsorgung gemeinsam mit Beton oder mineralischem Dämmstoff auf Deponie (nachteilig: organischer Bestandteil) oder energetische Verwertung in MVA (Vorteil: hoher Heizwert).
Dämmstoff oberseitig	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Trennbarkeit von der Balkonplatte abhängig von Verlegungsart (lose oder verklebt); lose verlegte Dämmstoffe wären theoretisch wiederverwendbar; von einem stofflichen Recycling des Dämmstoffs ist nicht auszugehen;
Expandiertes Polystyrol	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert, aber geringes Gewicht; nachteilig: halogenhaltiges, als PBT eingestuftes Flammschutzmittel.
Dämmplatten aus Backkork, Holzfaserplatten	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten keine Zusatzstoffe.
Schaumglasplatten	Schaumglasplatten werden meist in Heißbitumen verlegt. Mit Bitumen versetzte Schaumglasabfälle könnten als Hinterfüllung im Tiefbau eingesetzt werden. Deponierung unproblematisch.
Vakuumdämmplatten	Über die Entsorgungswege für Vakuumdämmplatten ist uns nichts bekannt. Laut BINE projektinfo 04/01 bestehen die Platten aus „rezyklierbaren, toxikologisch unbedenklichen Materialien“. Dafür müssten aber die Verbundfolie aus Kunststoff und Aluminium (ev. nur Alu-Bedampfung) vom Dämmkern aus Kieselsäure sauber getrennt werden, wovon unter den derzeitigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen nicht auszugehen ist.
XPS-Platten	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert, aber geringes Gewicht; nachteilig: halogenhaltiges, als PBT eingestuftes Flammschutzmittel.
Dämmstoffe unterseitig	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Verklebte und verdübelte Dämmungen sind vor Ort nur mit hohem Aufwand und in Recyclinganlagen nur mit hohem Verlust vom Mauerwerk zu trennen. Aus heutiger wirtschaftlicher Sicht wird die Trennung nur so weit erfolgen, dass abfallwirtschaftliche Vorgaben erfüllt werden.
Steinwolleplatte	In der heutigen Entsorgungspraxis ist das PC-Recycling von Mineralwolle noch nicht weit fortgeschritten. Aufgrund der Verunreinigungen im WDVS, ist auch in Zukunft nicht von einem Recycling auszugehen. Die Mineralwolle wird daher deponiert (nachteilig: geringe Rohdichte, Fasern).
Mineralschaumplatte, Calciumsilikatplatte	Stoffliche Verwertung als Schüttung oder Hinterfüllung theoretisch möglich, in der heutigen Praxis ist aber von einer Deponierung auszugehen.
Expandiertes Polystyrol	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert, aber geringes Gewicht; nachteilig: halogenhaltiges, als PBT eingestuftes Flammschutzmittel. Gewicht der nicht brennbaren WDVS-Bestandteile wie Putz und Kleber in der gleichen Größenordnung wie das des Dämmstoffs.
Dämmplatten aus Backkork, Holzfaser	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; enthalten keine Zusatzstoffe. Mit nicht brennbaren Bestandteilen des WDVS verunreinigt.
Schaumglasplatten	Von einer stofflichen Verwertung ist aufgrund der Verklebung nicht auszugehen. Die Deponierung ist unproblematisch.
Vakuumdämmplatten	Über die Entsorgungswege für Vakuumdämmplatten ist uns nichts bekannt. Laut BINE projektinfo 04/01 bestehen die Platten aus „rezyklierbaren, toxikologisch unbedenklichen Materialien“. Dafür müssten aber die Verbundfolie aus Kunststoff und Aluminium (ev. nur Alu-Bedampfung) vom Dämmkern aus Kieselsäure sauber getrennt werden, wovon unter den derzeitigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen nicht auszugehen ist.

Holzkonstruktion	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Die Tragkonstruktion ist in allen Varianten gut den restlichen Bestandteilen trennbar
Holztragkonstruktion	Wieder- oder Weiterverwendung als Unterkonstruktion, Recycling zu Holzspänen oder energetische Verwertung.
Holzschalung, Holzlatten, Holzrost	energetische Verwertung..
Metallkonstruktion	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Dämmstoff und Holzkonstruktion sind nicht miteinander verbunden und gut voneinander trennbar. Die Holzkonstruktion kann auch mit vergleichsweise geringem Aufwand von der Decke getrennt werden.
Stahlrahmen, Titanzinkblech, Kupferblech, Stahlrost, Alulatten	Es ist von einem Recycling der Metalle auszugehen.
Weitere Bestandteile	
Stahlbeton	Mit Bitumenbahnen versehene Betone werden i.d.R. nicht verwertet. Aus entsorgungstechnischer Sicht ist es daher vorteilhaft, wenn die Abdichtung auf dem Dämmstoff liegt.
Betonplatten, Kies	Die Betonplatten und der Kies können theoretisch wiederverwendet werden. Sie können zur Hinterfüllung oder als Zuschlagstoff für Beton verwertet werden.
PP-Vlies	Energetische Verwertung in MVA; hoher Heizwert; PE und PP selbst haben unproblematische Zusammensetzung, jedoch Einsatz von halogenorganischen Stoffen als Flammschutzmittel möglich
Drainagematte	kann je nach Material deponiert (Glasfaser) oder verbrannt (Kunststoff) werden; von einem Recycling ist nicht auszugehen.
Putz	Es gibt Systeme, welche durch Fräsen, Schleifen, Bürsten, Polieren oder Strahlen den Putz vom Untergrund trennen können. Erfolgt keine Trennung werden die Putze gemeinsam mit dem Dämmstoff entsorgt, d.h. entweder deponiert oder verbrannt (siehe Dämmstoffe im Wärmedämmverbundsystem).

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Entsorgungsbewertung von drei Balkonvarianten:

1. 15 cm Betonplatte, oberseitig: Abdichtung auf 5 cm EPS-Platte, unterseitig: 5 cm EPS-Platte
2. 15 cm Betonplatte, oberseitig: Abdichtung unter 5 cm XPS-Platte, unterseitig 5 cm EPS-Platte
3. Beton neu vorgestellt, Holzsteher (Ergebnisse für Dreibein aus Stahl vergleichbar)
4. Beton neu vorgestellt, Stahlblech

	Variante 1 Abdicht. oben		**Variante 2 Abdicht. unten**		**Variante 3 vorgestellt,Holz**		**Variante 4 vorgestellt,Stahl**	
Entsorgungseigenschaften	**Vol %**	**Note**	**Vol %**	**Note**	**Vol %**	**Note**	**Vol %**	**Note**
Stofflich verwertet	19	1,0	19	1,0	82	1,0	26%	1,0
Energetisch verwertet	19	3,0	17	3,0	18	1,2	0%	-
Beseitigt	61	2,6	64	3,3	0	0,0	74%	3,0
Recyclierbarkeit		2,2		2,7		0,2		0,2

Der Belag besteht in allen Varianten aus in Kies verlegten Betonplatten. Die Ergebnisse mit Holzrost auf Alulatten sind vergleichbar.

In Variante 1 und 2 wird angenommen, dass die Stahlbetondecke deponiert wird, da sie mit Dämmstoff-resten und/oder Bitumen verunreinigt ist. Bei Variante 1 wäre auch ein Recycling möglich, wenn die unterseitige Dämmung von der Platte getrennt wird.

Variante 3 und 4 schneiden schon wegen ihres geringen Volumens ausgezeichnet ab.

In der Variante 3 wird angenommen, dass alle Bestandteile außer der EPDM-Folie und der Holzlattung recycliert werden. Die Holzsteher sind unbehandelt. Holzschutzmittel aus Salzen bzw. Salzgemischen können sich bei der Verbrennung negativ auswirken, da z.B. Kupfer ein Katalysator für die Dioxinbildung ist. Es kann

zu Quecksilber-, Chrom-, Arsen- oder Cadmium-belastungen in der Abluft kommen. Eine Verbrennung von imprägnierten Hölzern in Einzelöfen ist daher unbedingt zu vermeiden. In Abfallverbrennungsanlagen endet von den Bestandteilen üblicher Holzschutzmittelsalze Kupfer zu 90 % in der Schlacke, Chrom in Schlacke und Flugasche (67 % / 33 %), Arsen ebenfalls (25 % / 75 %), Cadmium beinahe vollständig in der Flugasche [Anders, 2000].

5.13 Fenster

Fenster und Fenstertüren, die öffenbar oder fix realisiert werden können, erfüllen eine Vielzahl von Funktionen:

- Natürliche Belichtung der Räume
- Besonnung der Räume
- Sichtbezug nach außen
- Natürliche Belüftung der Räume
- Wärmeschutz
- Natürliche Kühlung der Räume
- Luftdichtigkeit/Winddichtigkeit
- Schutz vor Schlagregen
- Schallschutz
- Brandschutz
- Eventuell statische Funktion
- Absturzsicherung
- Gestalterische Funktion: Farbe und Materialität des Rahmens, Fensterteilung Fenster, Farbe Glas

U_g-Werte saniert	0,4 – 0,7	W/m²K
g-Werte saniert	0,4 – 0,6	-
U_f-Werte saniert	0,6 – 1,0	W/m²K
Ψ_g-Werte saniert	0,03 – 0,04	W/mK
Ψ_{einbau}-Werte saniert	0,0 – 0,05	W/mK
U_{eff}-Werte saniert (inkl. Einbauwärmebrücken)	<= 0,85	W/m²K

5.13.1 Eigenschaften Bestand und Vorbereitung Sanierung

Bestandsfenster unterscheiden sich sehr stark nach Bauperioden:

- Kastenfenster oder einfach verglaste Fenster bis in die 50er Jahre: Kastenfenster älteren Typs (z.B. Barockzeit) mit einem meist außenbündig angeordneten nach außen öffnenden Außenflügel. Charakteristisch ist ein Teilung in 2 bis 4 Flügel. Teilweise sind zusätzliche Sprossen angeordnet, die stark das Erscheinungsbild beeinflussen. Ausführungen sind mit oder auch ohne Anschlag bekannt.
- Holzverbundfenster bis in die 70er Jahre: Diese bestehen aus 2 Flügeln, die voneinander trennbar sind.
- Ab den 70er Jahren werden verstärkt Isolierglasscheiben mit Alu-Abstandhaltern eingesetzt, zuerst mit 2-fach und später auch mit 3-fach Verglasungen. Als Rahmenmaterial wird vor allem mehrschichtverleimtes Holz verwendet. Daneben kommen PVC-, Stahl- und Aluminiumfenster verstärkt zum Einsatz (Metallfenster wurden in geringen Mengen immer schon eingesetzt). Die Formate wurden teilweise deutlich größer.

- Ab den späten 80er Jahren werden Isolierverglasungen mit Low-e-Beschichtungen angeboten, später auch mit Edelgasfüllung aus Argon, Krypton oder Xenon.
- Das erste Passivhaus von Wolfgang Feist wurde 1993 fertiggestellt. Dieses setzte eine rasante Entwicklung im Bereich Fensterrahmen, Abstandhalter und Verglasungen in Gang.

Fenster sind stark der Witterung ausgesetzt. Typische Schadensbilder sind:
bei Holzfenstern: Verzogene Fenster durch Feuchte und Sonnenbelastung, schlechte Holzauswahl

- Eckspaltenbildung
- Beschichtungen nicht mehr funktionsfähig
- Schadhafte Verkittung

bei PVC-Fenster:

- Risse im Profil durch dunkle Farben der Kunststoffrahmen
- Vergilben

bei Metallfenster:

- Kondensatbildung innenseitig vor allem wenn keine thermische Trennung vorhanden ist.

bei Verglasungen:

- Blindheit von Isolierverglasungen, wenn Feuchte über Glasrandverbund in den Scheibenzwischenraum eindringt
- Schäden an Dichtungsprofilen (Versprödung, Risse) können zu Zugluft, Wassereintritt oder Kondensatbildung im Anschlussbereich führen

Der Fensteraustausch wird häufig auch aus rein ästhetischen Gründen durchgeführt.

Das Passivhausniveau liegt deutlich höher als das Wärmeschutzniveau der meisten Bestandsfenster. In den meisten Fällen ist daher der Ersatz des gesamten Fensters und der passivhaustaugliche Einbau des neuen Fensters (Hinausrücken in die Dämmebene) die beste Lösung. Es stehen eine Vielzahl an hochwertigen Rahmentypen und -materialien zur Verfügung, einige von ihnen genügen auch hohen ästhetischen Ansprüchen (siehe passivhauszertifizierte Rahmen). Sprossen können gegebenfalls aufgeklebt werden.

In den folgenden Fällen ist der Erhalt zumindest eines Teiles der Bestandfenster sinnvoll:

- Außenflügel muss aus Denkmal- oder Ensembleschutzgründen bestehen bleiben: Der äußere Flügel wird instandgesetzt und innen ein hochwertiger neuer Rahmen und Flügel eingesetzt.
- Innenflügel soll aus ästhetischen Gründen erhalten bleiben: Es wird ein neues Passivhausfenster außenseitig in der Dämmebene ausgeführt
- Holzrahmen sind von sehr guter Qualität: Versetzen der Fensterrahmen in Dämmebene, Überdämmung und Einsetzen von neuen Passivhausverglasungen.

Der Abbruch der alten Fensterrahmen hinterlässt häufig äußerst ungünstige Oberflächen in der Laibung. Eine solide Sanierung der Laibung (Ausmauern von Ausbrüchen etc.) und der luftdichte Zusammenschluss

zwischen Bestandsaußenputz und Innenputz (im Fall von verputzten Mauerwerk) ist Voraussetzung für einen hochwertigen passivhaustauglichen Einbau des Fensters.
Bei intelligenter Planung und Produktauswahl muss die Glaslichte jedenfalls nicht kleiner sein als im Bestand.

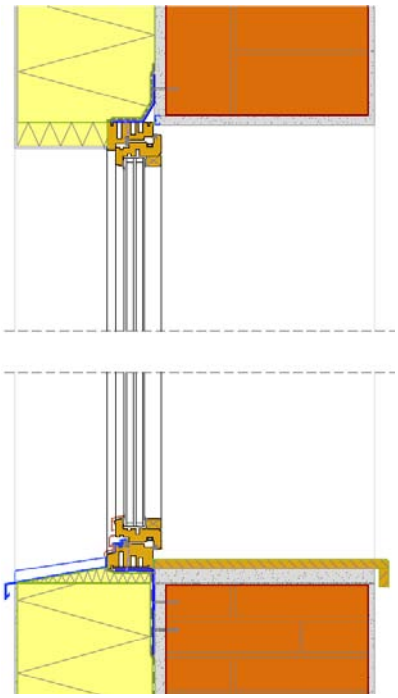
Die einzelnen Scheiben von Isolierverglasungen werden durch **Abstandhalter** auf Distanz gehalten. Zum Einsatz kommen Abstandhalter aus Aluminium, Edelstahl, Kunststoffen oder Verbundstoffen. Aluminiumabstandhalter bestehen aus einem Hohlprofil von ca. 0,5 mm Stärke. Die äußere Randabdichtung (Verklebung) auf der Basis von Polysulfid, Polyurethan oder Silikon wird durch Polyisobutylen als zusätzliche zweite Dichtungsstufe unterstützt. Trocknungsmittel im Hohlprofil halten den Scheibenzwischenraum kondensatfrei. Für Passivhausverglasungen sind thermisch höherwertige Abstandhalter notwendig. Die folgenden kommen derzeit zum Einsatz:

- Edelstahl: Der Aufbau entspricht dem oben beschriebenen Alu-Abstandhalter. Durch die geringere Wandstärke des Edelstahl-Hohlprofils von ca. 0,15 mm und die geringere Wärmeleitfähigkeit von Edelstahl kann der Wärmedurchgang deutlich reduziert werden.
- Thermix: Form und Verklebung ähneln dem Alu-Abstandhalter, das Grundmaterial ist ein Kunststoff, unterseitig befindet sich eine Folie aus Edelstahl als Diffusionssperre.
- Swisspacer: Form und Verklebung ist dem Alu-Abstandhalter ähnlich, als Material wird ein mit Glasfasern verstärkter Kunststoff eingesetzt, auf der Unterseite befindet sich eine 30 μm starke Alufolie als Diffusionssperre
- TPS: Der Abstandhalter besteht aus trockenstoffhaltigem Butyl, der äußere Randverbund aus Polysulfid. Der TPS-Abstandhalter enthält keine Metalle.

Die Vielfalt an **Passivhausrahmen** ist groß. In den nachstehenden Aufbauten ist eine kleine Auswahl an typischen Produkten (Stand 2012) dargestellt.

5.13.2 Beschreibung und Bewertung im Detail

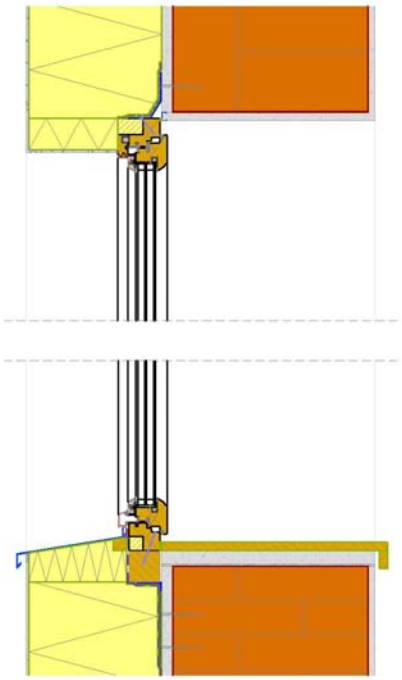
5.13.2.1 Holzfenster



Charakteristika:

- Holzfenster thermisch optimiert durch hohe Rahmentiefe, auf geringe Ansichtsbreite optimiert
- Rahmen lasiert oder lackiert
- Gegebenenfalls im Parapet-Bereich mit Aluabdeckung außen
- Erhältlich auch als Schwingflügel

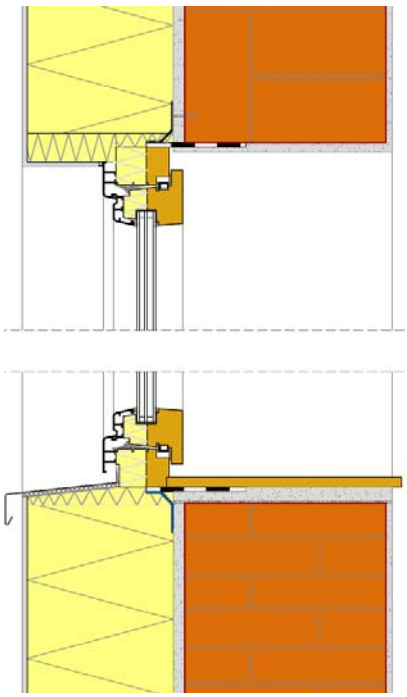
5.13.2.2 Überdämmbare Passivhaus-Fensterrahmen



Charakteristika:

- Holzfenster thermisch optimiert durch Dämmkeil
- Dämmstoff Kork, Holzfaser, XPS
- Durch Überdämmung geringe Ansichtsbreite
- Rahmen mit stark gekürzter Aluschale, dadurch sehr geringer Einbau-Wärmebrückenkoeffizient

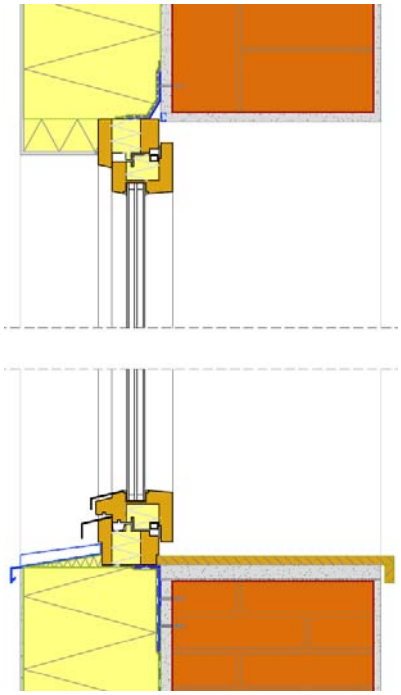
5.13.2.3 Passivhaus-Holz-Alu-Fenster



Charakteristika:

- Holzfenster thermisch optimiert durch Dämmkeil
- Dämmstoff XPS, EPS, PU, Kork, Holzfaser, Zellulose
- Aluschale meist nur gering gekürzt, dadurch leicht erhöhte Einbauwärmebrücken auch bei Überdämmung des Rahmens

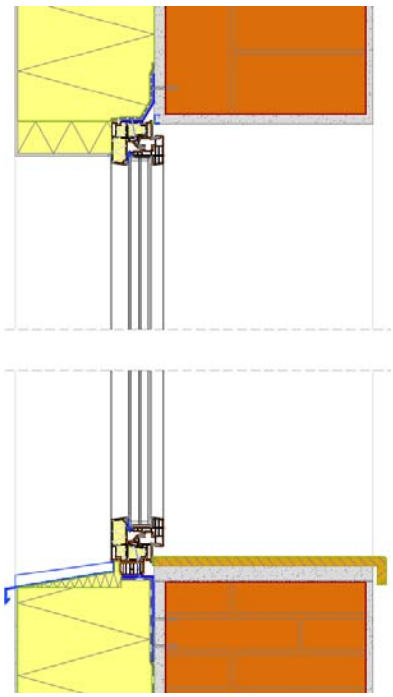
5.13.2.4 Holz-PU-Fenster



Charakteristika:

- Holzfenster thermisch optimiert durch PU/Purenitkern zwischen innerer und äußerer Holzschale,
- Rahmen lasiert oder lackiert
- Gegebenenfalls im Parapet-Bereich mit Aluabdeckung außen

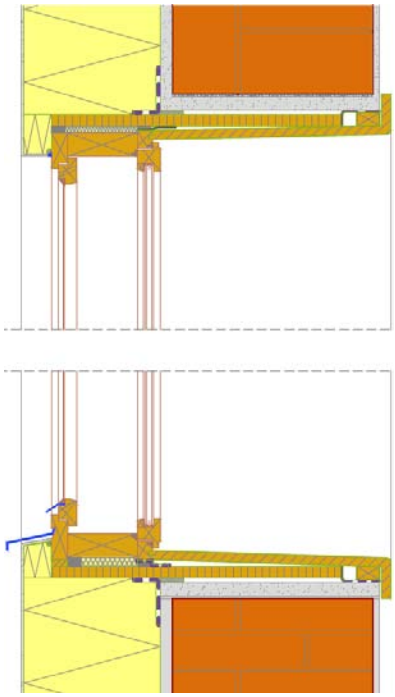
5.13.2.5 Kunststofffenster



Charakteristika:

- PVC-Fenster thermisch optimiert durch Dämmkeil
- Dämmstoff PU, XPS oder EPS plus
- Auch mit Aluabdeckung außen erhältlich, dadurch leicht erhöhte Einbauwärmebrücken auch bei Überdämmung des Rahmens

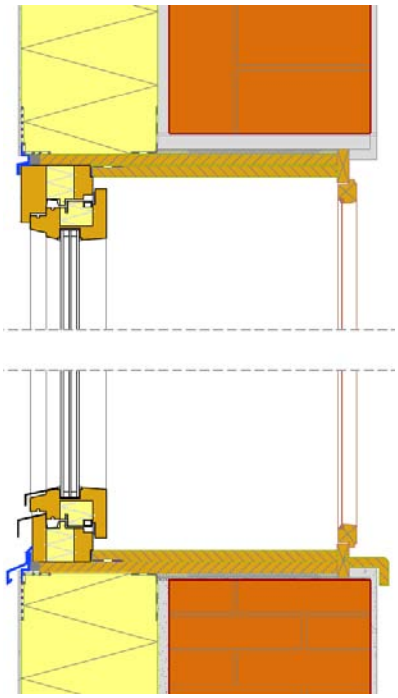
5.13.2.6 Holzfenster mit Bestandsrahmen außen



Charakteristika:

- Außenfenster des Kastenfensters ist Bestand, instandgesetzt, dadurch Optik außen unverändert
- Futter von Bestandsfenster ebenso instandgesetzt
- Innen Rahmen aus Holz neu oder Aufdopplung des alten Rahmens, 2- oder 3-fach Verglasung
- Wärmeschutz gesamt stark von Teilung der Fenster abhängig
- Kastenzwischenraum muß ausreichend dampfentspannt sein, sodass Feuchte nach außen abgegeben werden kann
- Auf Schlagregendichtigkeit besonders achten
- Hinweis: Eisblumen sind nur schwer zu vermeiden. Komfortlüftung mit leichtem Unterdruck hilft, Kondensat an der Innenseite der Außenscheibe zu vermeiden.

5.13.2.7 Holzfenster mit Bestandsrahmen innen



Charakteristika:

- Innenfenster des Kastenfensters ist Bestand, instandgesetzt, dadurch Optik innen unverändert. Ist vor allem dann sinnvoll, wenn innen im Laibungsbereich schöne alte Holzvertäfelungen vorhanden sind.
- Futter neu
- Außen neues Passivhausfenster, 2- oder 3-fach Verglasung
- Wenn kein Balkon, dann mit Wendebeschlag sinnvoll, um Ansichtsbreite zu reduzieren
- Wärmeschutz gesamt stark von Teilung der Fenster abhängig
- Auf Schlagregendichtigkeit besonders achten (bei außenbündigen Einbau)

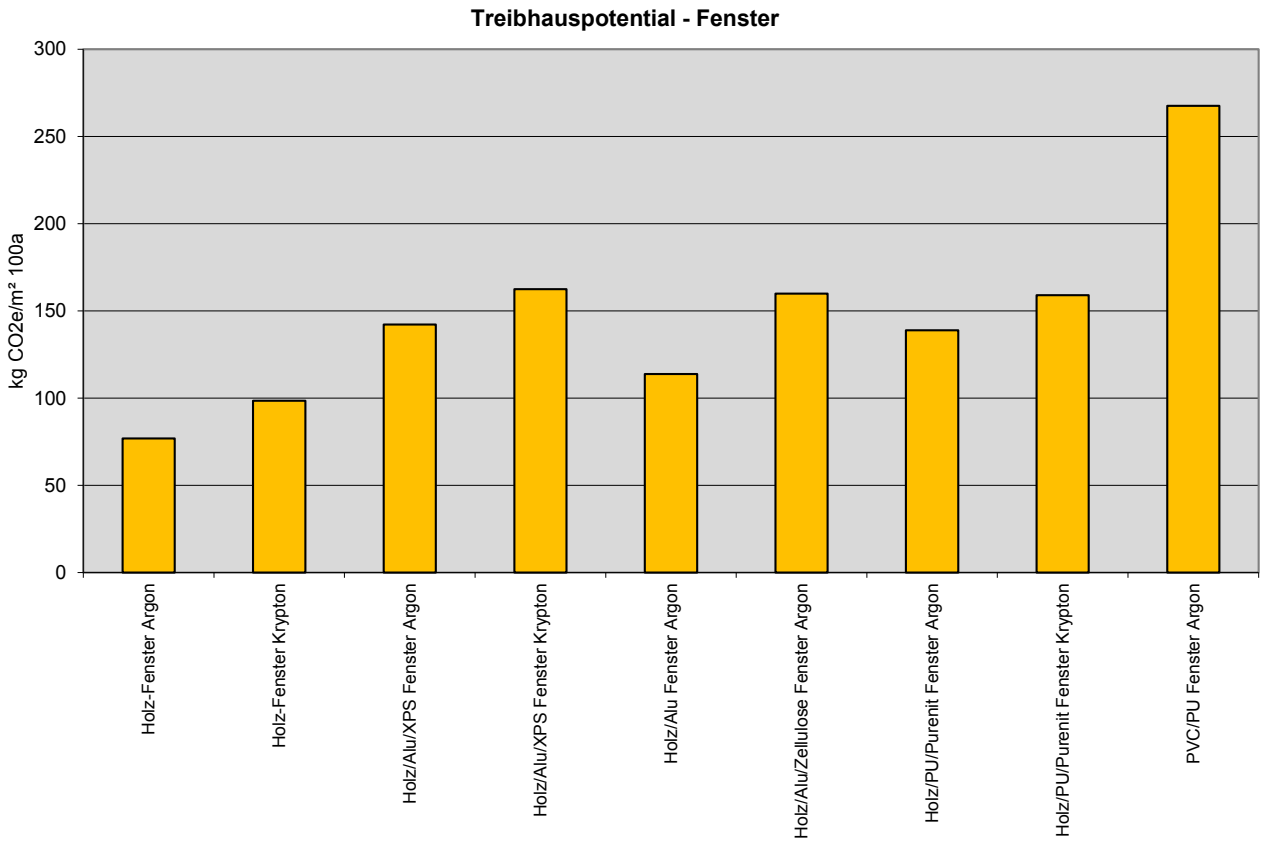
5.13.3 Zusammenschau über den Lebenszyklus

5.13.3.1 Herstellung

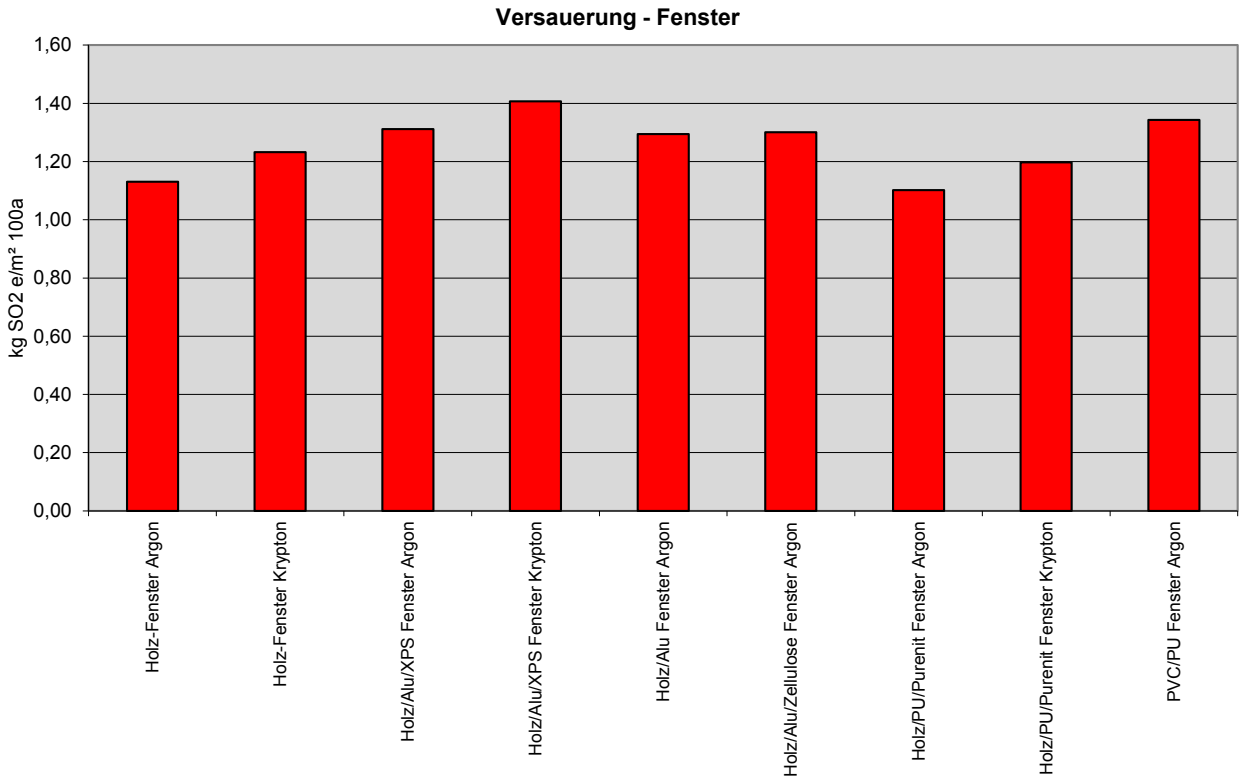
Als Hauptwerkstoff von Fensterrahmen wird in Passivhaus-Fensterrahmen meist mehrschichtverleimtes Holz eingesetzt, in seltenen Fällen PVC. Ein guter Wärmeschutz macht für die meisten Fensterrahmensysteme den Einsatz eines Dämmstoffes erforderlich. Die am Markt befindlichen Hersteller verwenden die folgenden Dämmstoffe:

- Polyurethan Hartschaum: sehr niedrige Wärmeleitfähigkeit, gut verklebbar, herstellungsökologisch ungünstig (siehe Polyurethan)
- Polyurethan Weichschaum: sehr niedrige Wärmeleitfähigkeit, meist in PVC-Rahmen eingesetzt, herstellungsökologisch ungünstig (siehe Polyurethan)
- Purenit: Wärmeleitfähigkeit zwischen Dämmstoffen und Holz, gute statische Eigenschaften, wird aus Polyurethan-Sekundärstoffen, Holz und Polyurethanklebern hergestellt
- Extrudiertes Polystyrol: hohe Feuchteunempfindlichkeit, kann Luft oder HFKW als Zellgas enthalten, gut verklebbar, herstellungsökologisch ungünstig (siehe XPS)
- Kork: Weist niedriges Treibhauspotential auf (siehe Backkork)
- Zellulose: Ausgangsrohstoff ist Altpapier (siehe Zellulose-Dämmstoffe), niedrige Belastung für Herstellung, Hüllmaterial erforderlich (z.B. Styrolbutadien)
- Poröse Holzfaserplatten: Weisen niedriges Treibhauspotential auf (siehe Holzfaserplatten), verhältnismäßig hoher Aufwand zur Herstellung

Es ergeben sich die folgenden Kennwerte für einige typische Fenster (Nutzungsdauer 33,3 Jahre, Betrachtungszeitraum 100 Jahre):


Treibhauspotential - Fenster
kg CO2e/m² 100a
300
250
200
150
100
50
0
Holz-Fenster Argon
Holz-Fenster Krypton
Holz/Alu/XPS Fenster Argon
Holz/Alu/XPS Fenster Krypton
Holz/Alu Fenster Argon
Holz/Alu/Zellulose Fenster Argon
Holz/PU/Purenit Fenster Argon
Holz/PU/Purenit Fenster Krypton
PVC/PU Fenster Argon


Primärenergiebedarf nicht erneuerbar - Fenster
MJ/m² 100a
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
Holz-Fenster Argon
Holz-Fenster Krypton
Holz/Alu/XPS Fenster Argon
Holz/Alu/XPS Fenster Krypton
Holz/Alu Fenster Argon
Holz/Alu/Zellulose Fenster Argon
Holz/PU/Purenit Fenster Argon
Holz/PU/Purenit Fenster Krypton
PVC/PU Fenster Argon



- Am günstigsten liegt das Holzfenster.
- Die Fenster mit Argonfüllung liegen günstiger als diejenigen mit Krypton.

Zu beachten ist, dass Wärmeschutz, Verglasungsanteil etc. nicht genau übereinstimmen.

5.13.3.2 Einbau und Transporte (Ausführungsmängel)

Ein passivhaustauglicher Einbau liegt dann vor, wenn das Fenster in Norm-Abmessungen (1,23 m x 1,48 m) derart eingebaut wird, dass ein Gesamt U-Wert von $U_{w,eff}$ = 0,85 W/m²K nicht überschritten wird.
Folgende Bedingungen beeinflussen die Wärmebrückenwirkung des Einbaus:

- Überdämmung des Fensterstocks
- Position des Fensters: mittig in Wärmedämmebene, innen oder außen bündig
- Einbau in Laibung, Parapet, Sturz, Sockel (bei Fenstertüren)
- Aufbau der Außenwand: Massive Schale mit Außendämmung, Leichtbau, Schalsteine
- Art der Verbindung Fensterrahmen/statisches System Außenwand: Eisenwinkel punktuell oder durchgehend, Blindstock
- Unterbringung des Jalousiekasten

Aufbau des Fensterrahmens:

- Fenster mit außenseitiger Alu-Schale: Eine Überdämmung des Stockrahmens bringt nur geringfügige Verbesserungen, da durch die hochwärmeleitfähige Aluschale viel Wärme nach außen fließen kann
- Fenster mit Holzoberfläche außen: Eine Überdämmung des Fensterstocks bringt eine deutliche Reduktion der Wärmebrückenverluste, in bestimmten Fällen ist sogar ein wärmebrückenfreier Einbau möglich. Diese Bauweise kann zur Passivhaustauglichkeit von Fensterrahmen im

eingebauten Zustand (Uw,eff <= 0.85 W/m²K) auch dann führen, wenn sie das Passivhaus-Kriterium für Fensterrahmen nicht erreichen.

Neben der thermischen Qualität muss der Einbau

- innenseitig stömungsdicht und dampfsperrend (z.B. Butylkautschukbänder, Silikondichtung/Hinterfüllband) und
- außenseitig winddicht und schlagregendicht (z.B. diffusionsoffene PE-Streifen, vorkomprimierte Dichtungsbänder)

ausgeführt werden (siehe Luftdichtigkeit im Einleitungskapitel).
Fugen zwischen Fensterstock und Außenwand werden ausgeschäumt oder mit Faserdämmstoffen ausgestopft.

Art und Qualität der Ausführung beeinflussen neben den genannten Eigenschaften eine Reihe anderer Funktionen:

- Schallschutz des eingebauten Fensters
- Tageslichtausbeute und solare Gewinne durch Laibungstiefe und Farbe
- Gestaltung der Fassade durch Einbauposition
- effektiver Lüftungsquerschnitt durch Abstand Fensterflügel von Laibung

Der Arbeitsaufwand unterscheidet sich je nach Einbaumodalitäten verhältnismäßig stark (Montage auf Blindstock, Einschäumen in Leichtbauwand, Ausstopfen der Fuge, Ausführung stömungdichte/winddichte Ebene). An Ressourcenaufwand fallen vor allem Bauhilfsstoffe wie Klebebänder, Schrauben, Blindstock, PU-Schäume, Abdichtungsmassen, vorkomprimierte Dichtungsbänder, Stopfwolle ins Gewicht, daneben wird elektrische Energie für Arbeitshilfen benötigt. Als Emissionen treten vor allem die Treibgase und Isocyanate in den Montageschäumen sowie Lösemittel in Dichtungsmassen und Klebemitteln (z.B. Silikon) auf. Die Beschichtung von Holzrahmen wird meist bereits werkseitig aufgebracht. Lösemittelfreie Beschichtungssysteme auf natürlicher Basis sind von Vorteil, ökologisch geprüfte Produkte vorzuziehen, insbesondere bei Aufbringung vor Ort.

5.13.3.3 Nutzung und Instandhaltung

Der **Wärmeschutz** eines Fensters wird durch den $U_{w,eff}$-Wert in W/m²K quantifiziert (Kennwert inkl. Einbauwärmebrücken). Dieser liegt bei Passivhauseinbau $U_{w,eff}$ <= 0,85 W/m²K.
Es ist einerseits die mittlere Oberflächentemperatur von Interesse (Einfluss auf empfundene Strahlungstemperatur im Raum), andererseits die Mindesttemperaturen in Bereichen der Wärmebrücken (meist im Bereich Glasrandverbund oder Fuge Fenster/umgebender Bauteil), die sich auf eine potentielle Schimmelbildung auswirken. Beide Kennwerte können Hinweise auf einen potentiellen Kaltluftabfall geben. Passivhausfenster liegen hier in einem optimalen Bereich.
Der solare Durchgang der Verglasung (g-Wert) sollte größer als 50 % sein. In begründeten Fällen kann er auch niedriger sein, auf einen hohen Tageslichtdurchgang ist jedenfalls zu achten.

Die natürliche **Belichtung** von Wohn- oder Arbeitsräumen wird zu einem wichtigen Teil durch Fenstereigenschaften und Einbaumodalitäten beeinflusst:

- Fensterfläche: Im Bestand meist ohne größeren Aufwand nicht vergrößerbar, da statisch kritisch. Nur Parapet kann meist leicht entfernt werden.
- Transmission der Verglasung für Tageslicht t: Auf hohen Koeffzienten achten, gegebenenfalls Weißglas verwenden
- Verglasungsanteil: Auf geringe Rahmenbreiten achten, entsprechende Passivhausrahmen sind verfügbar.
- Tiefe und Farbe der Laibung: Da die Laibung durch die Wärmedämmung tiefer wird, ist auf eine möglichst helle Farbe zu achten.
- Höhe Fenstersturz: meist nicht erhöhbar. Erhöhbar nur bei integriertem Rollladen, den man bei Sanierung der Außenwand in die Dämmebene setzen und somit die Höhe des Rollladenkasten für zusätzliche Verglasungsfläche gewinnen kann.

Die **Luftdichtigkeit** eines eingebauten Fensters ergibt sich vor allem aus der Ausführung der Fugen zwischen

- Isolierverglasung und Fensterrahmen: Ausführung mit EPDM-Einlage, die silikonisiert wird
- Flügelrahmen und Fensterstock: 2 bis 3 umlaufende Dichtungsebenen, die durch die Beschläge nicht durchbrochen werden dürfen
- Fensterstock und Regelquerschnitt: Abdichtung durch Klebebänder, Hinterfüllband/Silikon oder Innenputz/Anputzschiene: → Einleitung/Luftdichtigkeit

Der **Schallschutz** von eingebauten Fenstern hängt vor allem ab

- von den Eigenschaften der Isolierverglasung: Schalltechnische Optimierung durch unterschiedlich starke Scheiben und Scheibenzwischenräume, Einsatz von Gießharzscheiben, Einsatz von schweren Füllgasen (z.T. problematisch aus ökologischen Gründen wie SF6)
- der Luftdichtigkeit: Passivhausfenster müssen allein aus thermischen Gründen sehr dicht sein, dies wirkt sich auch positiv auf das tatsächlich erreichte Schalldämmmaß aus
- den Einbaudetails: Konstruktion von „Labyrintfugen“, Verwendung von Schwerefolie

Für den **Überhitzungsschutz** sollte der wirksame Strömungsquerschnitt von geöffneten Fenstern entsprechend groß sein:

- Art des Beschlages (Dreh, Dreh-Kipp, Schiebefenster): Bei der sommerlichen Lüftung sind meist auch Kriterien wie Regensicherheit, Sicherheit für Kinder, Einbruchschutz für die tatsächlich gewählte Stellung ausschlaggebend. Daher wird in vielen Fällen „nur“ gekippt und das Fenster nicht ganz geöffnet.
- Öffnungswinkel des Beschlags und Dimension des Fensters, insbesondere dessen Höhe und Stärke
- Der Einbau und die Art des Mauerwerks: Für die Größe des effektiven Querschnitts im gekippten Zustand ist der Abstand des Fensterflügels zur Laibung entscheidend.

Folgende Bestandteile von Fenstern können **Schadstoffe** an den Innenraum abgeben:

- Lasuren und Decklacke: → Lösungsmittel, → Biozide wenn eingesetzt
- → PU-Montageschäumen: → Isocyanate
- PVC-Fenster: → Phtalate (siehe auch → PVC)

Der **Instandhaltungsaufwand** betrifft vor allem die Außenschale des Rahmens:

- Eloxierte und pulverbeschichtete Aluminium-Rahmen benötigen keinen Aufwand zur Reinigung und Instandhaltung und sind über lange Zeit farbecht
- Lasierte Holzrahmen müssen je nach Regenbelastung alle 2 bis 3 Jahre neu gestrichen werden, Systeme mit Decklack alle 2 bis 5 Jahre. Da die höchste Belastung am Rahmenteil Parapet besteht, rüsten viele Hersteller von Holzfenstern diesen unteren Teil mit einer Alu-Deckschale aus
- PVC-Fenster benötigen einen verhältnismäßig niedrigen Instandhaltungsaufwand, allerdings findet meist über die Jahre eine Vergilbung statt

Die Nutzungsdauer hängt einerseits von technischen (vor allem Beständigkeit der Außenhaut, Dichtigkeit der Anschlüsse) und ästhetischen Gesichtspunkten ab (Vergilben, Rissbildung). Ob ein nicht mehr gebrauchstaugliches Fenster zerstörungsfrei ausgebaut werden kann, hängt davon ab, wie das Fenster eingebaut war. Günstig ist eine mechanische Befestigung von innen, ungünstig ist eine Befestigung von außen. Diesbezüglich können Ausführungen z.B. mit Blindstöcken als günstig eingestuft werden.

5.13.3.4 Rückbau, Wiederverwertung und Entsorgung

Systemkomponente	Beschreibung der Entsorgungseigenschaften
Fenster	
Trennbarkeit und Wiederverwendung	Fenster könnten i.d.R. zerstörungsfrei wieder ausgebaut werden (im Massivhaus nur eingeschränkt, je nach Verschraubung). Je nach Einbau muss die Innenputz-schicht und die Dämmung bzw. Außendeckschichte aus dem Anschluss zur Außenwand abgetragen werden. Zerstörungsfrei ausgebaute Fenster können wiederverwendet werden. Erfah-rungsberichte aus Ostösterreich erzählen von einer häufigen Zweitnutzung ausgebauter Fenster in Osteuropa.
Bestandteile	
Trennbarkeit	Üblicherweise werden Fenster auf der Baustelle gesammelt und beim Entsor-gungsbetrieb in ihre Bestandteile zerlegt. Im ersten Schritt werden die Fenster ent-glast und die Metallteile abgetrennt. Die Trennung kann händisch oder maschinell erfolgen. Glas und Metallteile können stofflich, brennbare Bestandteile energetisch verwertet werden. Die Verwertung des verbleibende Fensterrahmens ist abhängig vom Rahmenmaterial.
Fensterglas	Rohstoffe für die Flachglasherstellung müssen höchste Qualitätsanforde-rungen erfüllen. Fensterglas aus Abbrüchen wird daher nicht zur Herstel-lung von neuem Flachglas verwendet. Für die Glaswolle- und Schaum-glasherstellung werden ebenfalls nur Produktions- oder Gewerbeabfälle eingesetzt. Die Fenstergläser können auch nicht zu Verpackungsglas verarbeitet werden. Eine Downcycling-Möglichkeit besteht z.B. zu Glas-perlen bzw. Reflexionsperlen für Straßenmarkierungen. Für den Großteil der Post-Consumer-Flachglasabfälle ist derzeit von ei-ner Deponierung auszugehen.
Holzrahmen	Bau- und Abbruchhölzer sollten nur in Form von quellensortierten, unbe-handelten bzw. schadstofffrei behandelten Holzabfällen recycliert werden (BAWP 2006). Holzfenster sind in der Regel mit Bläueschutz behandelt und mit Anstrichen, Dich-tungsmitteln, Klebstoffen und Glasresten verun-reinigt. Bei Bauteilen wie Fenster, Fensterläden oder Außentüren wird daher meist präventiv von einem erhöhten Schwermetall- bzw. Holz-schutzmittelgehalt ausgegangen. Die Entsorgung des Holzrahmens er-folgt somit in der Regel in Abfall- oder Mitverbrennungsanlagen. Nach [Marutzky 2002] werden die Holzrahmen vor der energetischen Verwertung zu Spänen geschreddert und die Glas- und Anstrichpartikel abgesiebt. Die Siebung sei besonders wichtig bei Altfenstern mit weißen Anstrichen, da die darin enthalte-nen Pigmente den Betrieb der Feuerung stören können.
Holz-Alu-Rahmen	Der Aluminiumdeckschale kann vom Holzrahmen getrennt und recycliert werden. Vorteilhaft bei der Verbrennung der Holzrahmen ist das Fehlen von Holz-schutz-mitteln.
PVC-Rahmen	Da PVC problematisch bei der Verbrennung ist, nicht mehr deponiert werden darf und sich negativ auf die Recyclingfähigkeit anderer Kunst-stoffe auswirken kann, wäre eine getrennte Sammlung und anschließen-des stoffliches Recycling von PVC-Abfällen besonders wichtig. Dabei ist allerdings sicherzustellen ist, dass keine Schadstoffverschleppung, z.B. von Cadmium, stattfindet. PVC-Fensterprofile können zu Rezyklatkernen in neuen Fensterrahmen werkstoff-lich recycliert werden. Dafür muss absolute Sortenreinheit ga-rantiert sein: Sämt-liche Fremdstoffe wie Metalle, Gummi aus Fenster-dichtungen, Glasreste aus Altfenstern usw. müssen von den PVC Abfäl-len getrennt werden [Mötzl 2009].
Aluminiumrahmen	Aluminium lässt sich sehr gut recyclieren. Es ist von einer hohen Recyc-lingquote auszugehen, jedoch wird aufgrund der derzeitigen Wirtschafts-lage praktisch der gesamte Post-Consumer-Aluminiumschrott zu Gusslegierungen verarbeitet und geht somit für den Einsatz im Bauwesen verlo-ren.

6 Komfortlüftung

6.1 Vorbemerkungen

Aufgrund der Dichtheit von heutzutage üblichen Fenstern, welche im Zuge einer Sanierung verbaut werden, kann kein hygienisch ausreichender Luftwechsel mehr sichergestellt werden. Die Möglichkeiten und Auswirkungen einer Fensterlüftung (Fensterkippen bzw. Stoßlüftung) hängen einerseits sehr stark vom Nutzerverhalten ab, andererseits auch von den baulichen Gegebenheiten (windzu- oder –abgewandte Seite, "Windschatten" z.B. durch Bäume, …), aber auch von jahreszeitlichen Unterschieden der Außentemperatur und Feuchte. Durch diese Faktoren ist bei reiner Fensterlüftung keine hygienisch und energetisch zufriedenstellende Be- und Entlüftung eines Raumes zu gewährleisten. Des weiteren ist bei unzureichender Lüftung – und damit verbundener Feuchtigkeitsabfuhr – mit dem Auftreten von Bauschäden wie z.B. Schimmelbildung zu rechnen.
Einzig für die Ablüftung von kurzzeitigen Feuchtigkeitslasten, wie sie z.B. durch Kochen, Duschen oder Waschen entstehen, ist die Fenster-Stoßlüftung in Betracht zu ziehen.
Daher ergibt sich die Notwendigkeit einer mechanischen, kontrollierten Wohnraumlüftung. Diese kann entweder "starr" (mit konstantem Volumenstrom) oder "variabel" betrieben werden. Bei variablem Volumenstrom erfolgt die Regelung der Luftmenge über sogenannte Luftqualitätsfühler, z.B. CO_2-Fühler (bevorzugt in Aufenthaltsräumen wie z.B. Wohn- und Schlafzimmer) und / oder Feuchtefühler (bevorzugt in Bad, Küche, …) welche je nach Lüftungssystem entweder auf die Ventilatoren oder auf Regelorgane (z.B. Volumenstromregler) wirken.
Sind in den Räumen bzw. Wohneinheiten der Betrieb von raumluftabhängigen Geräten wie z.B. Dunstabzug oder Gasthermen geplant, so sind unbedingt Maßnahmen zu treffen, dass diese entweder im Umluftbetrieb (z.B. Dunstabzug, …) oder raumluftunabhängig (z.B. Gasthermen, Primäröfen, …) betrieben werden können.
Bei der Planung der Leitungsführung ist zu beachten, dass beim Durchdringen von Brandabschnitten (z.B. Wohnungstrennwände, Geschoßdecken, …) brandschutztechnische Vorkehrungen zu berücksichtigen und auszuführen sind (z.B. wartungsfreie Brandschutzklappen).
Grundsätzlich ist der Einbau einer Feuchterückgewinnung z.B. über Rotationswärmetauscher speziell bei "starrer" Betriebsweise zu empfehlen. Aufgrund der geringen Feuchtigkeit der Außenluft, speziell im Winter, kann es zu unangenehmen Zuständen für den Wohnungsnutzer durch zu trockene Luft kommen. Alternativ wäre eine variable Luftmengenregelung über Feuchtefühler zu prüfen.
Bei der Planung und Verlegung von Lüftungsleitungen ist speziell bei einem zentralen Lüftungssystem darauf zu achten, dass durch die Lüftungsleitungen mehrere Wohnräume bzw. -einheiten schalltechnisch miteinander verbunden werden. Daher sind entsprechende schalldämmende Maßnahmen, wie z.B. Schalldämpfer an geeigneter Position, unbedingt vorzusehen.
Weiters ist bei der Planung der Lüftungsleitungen und der darin eingebauten Komponenten auf einen möglichst geringen Widerstand – und damit verbunden einen geringen Druckverlust – zu achten, um den Energieaufwand für den Lufttransport so gering wie möglich zu halten. Um das Passivhauskriterium von 0,45 W/m³h für das gesamte Lüftungssystem (Zu- und Abluftventilator, inkl. Regelungssystem und Hilfsantriebe)

zu gewährleisten, sind besondere Maßnahmen zu treffen. Zum Beispiel vordrucklose Volumenstromregler, Quellluftauslässe, usw.

Für die Be- und Entlüftung stehen grundsätzlich dezentrale und zetrale Systeme zur Verfügung.

6.2 Raumlüftungsgerät, mehrere Geräte pro Wohneinheit

Pro Raum wird ein dezentrales Lüftungsgerät vorgesehen. Die Filterung und Erwärmung der angesaugten Außenluft erfolgt individuell je Raum. Die Gerätemontage erfolgt vorzugsweise im Bereich der Außenwand. Auf Lüftungsleitungen kann bei dieser Variante großteils verzichtet werden, sie sind nur bei innenliegenden Räumen gegebenenfalls vorzusehen. Für jeden Raum mit einem Raumlüftungsgerät sind Öffnungen in der Außenwand zu berücksichtigen. Wegen der damit verbundenen Durchdringungen der Außenhaut ist auf die qualitativ einwandfreie Abdichtung dieser Durchdringungen zu achten, um die Luftdichtheit als solche zu gewährleisten und einen erhöhten Energieaufwand durch Luftundichtigkeiten zu vermeiden.
Zu beachten ist, dass bei dieser Variante das anfallende Kondensat mit der Fortluftleitung austritt. ACHTUNG: Gefahr von Eiszapfen und Eisbildung am Gehsteig im Winter möglich!
Die individuelle Regelung erfolgt durch z.B. Luftqualitätsfühler für jeden Raum völlig unabhängig.
Für Wartung und Reparatur ist jeweils der Zutritt zu den betreffenden Räumen zu gewährleisten. Aufgrund der Anzahl der Einzelgeräte ergeben sich auf das ganze Objekt gerechnet erhöhte Energieverluste. Weiters können keine möglichen Gleichzeitigkeiten aufgrund der Nutzung berücksichtigt werden.
Siehe auch Abb. 125: Lüftungssystem dezentral je Raum (MFH 70er Jahre)
Vorteil bei dieser Art der Be- und Entlüftung ist, dass im Prinzip die gesamten bautechnischen Maßnahmen nur in der Außenwand notwendig sind, und teilweise im Rahmen eines Fenstertausches ohne großen Mehraufwand integriert werden können.
Zu beachten ist, dass es durch die Einrichtung der Wohnung im Bereich des Lüftungsgerätes einerseits zu Zugerscheinungen kommen kann, wenn Sitzgelegenheiten zu nahe am Lüftungsgerät aufgestellt werden. Andererseits kann es durch Kästen oder Vorhänge zu einer Beeinträchtigung der Luftströmung und somit des Luftaustauschs im Raum kommen. Für eine optimale Funktion der dezentralen Lüftungsanlage ist es daher notwendig, dass das Gerät frei positioniert wird und die Luftströmung nicht durch Möbel, Vorhänge oder sonstige Einrichtungsgegenstände behindert wird. Allfällige einzuhaltende Mindestabstände sind je nach Gerätetyp und -hersteller unterschiedlich und auf die Situation und die Möglichkeiten vor Ort individuell abzustimmen.

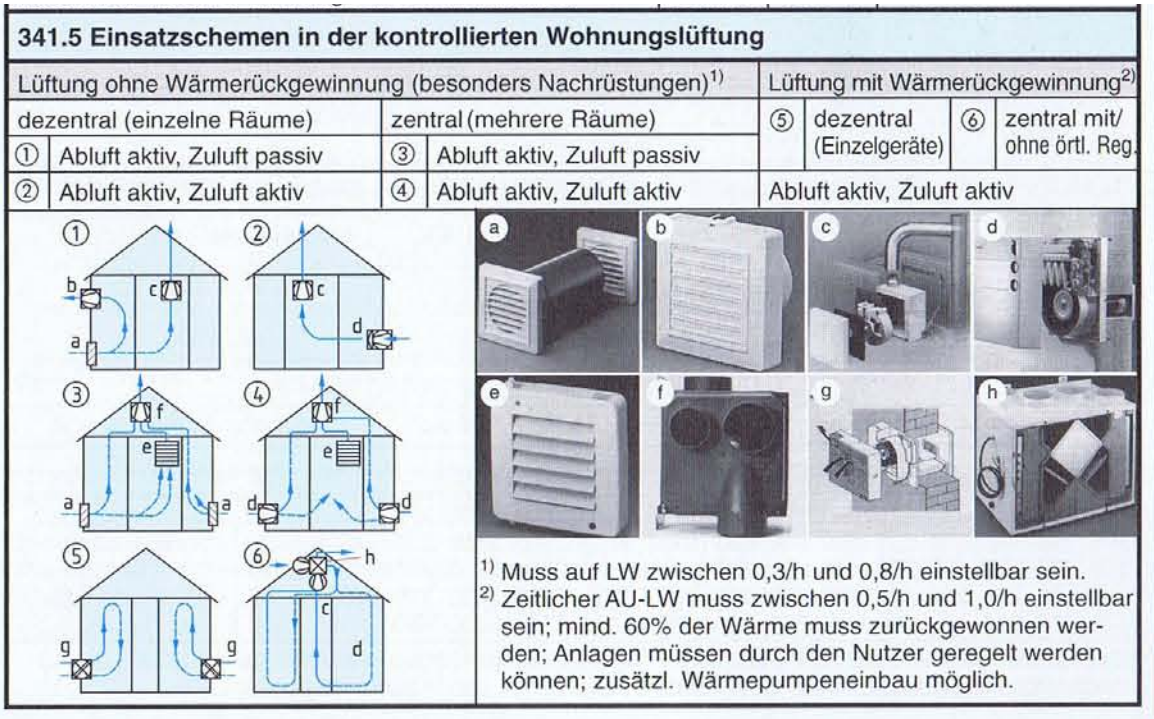


Abb. 122: Einsatzschemata in der kontrollierten Wohnraumlüftung (Quelle: Tabellenbuch Sanitär-Heizung-Lüftung, Gehlen 2000)

In Abbildung 122 sind mehrere Varianten für die Be- und Entlüftung von Räumen dargestellt. In weiterer Folge werden Systeme gemäß dem Beispiel Nr. 5 – Lüftung mit Wärmerückgewinnung, dezentral (Einzelgeräte) – näher dargestellt, da diese aufgrund der Aufgabenstellung für die gegenständliche Situation am besten geeignet sind.

Als Alternative wäre noch die Variante gemäß Bild 1 zu berücksichtigen:

- Abluft wird über Ventilator (z.B. im WC) mechanisch abgesaugt
- Zuluft strömt frei (ohne Ventilator) und nur bedingt kontrolliert in den Raum von außen nach
- Zu beachten ist hierbei, dass es keine Möglichkeit der Wärmerückgewinnung aus der Abluft gibt, und es im Bereich der Zuluftnachströmung zu unbehaglichen Zugerscheinungen kommen kann.

Ermittlung Luftvolumenstrom

Als Grundlage für die Ermittlung des erforderlichen Luftvolumenstrom wird zum Beispiel von der voraussichtlichen Raumbelegung (unabhängig von Grundfläche, Raumhöhe, …) ausgegangen, z.B. im Wohnbereich 2 Personen pro Raum. Hierdurch ergibt sich dann der erforderliche Mindestvolumenstrom. Da speziell im Aufenthaltsbereich (Wohnzimmer!) jedoch auch kurzfristig mehr Personen anwesend sein können, verfügen die meisten Lüftungsgeräte jedoch auch über eine sogenannte "Partystellung", in welcher für einen bestimmten Zeitraum eine höhere Luftmenge geliefert wird.

Grundsätzlich gibt es für diese Art der Wohnraumlüftung mehrere Produkte am Markt, welcher aber nicht oder nur zum Teil den Passivhauskriterien entsprechen.

In Tabelle 6 ist eine Übersicht über derzeit am Markt verfügbare Lüftungsgeräte, welche sich für die Sanierung und den Einbau im Fensterbereich bei Gründerzeithäusern eignen, angeführt. Die Auswahl eines geeigneten Gerätes hat immer unter der Berücksichtigung der Bedingungen vor Ort und des Umfang der geplanten Sanierungsmaßnahmen zu erfolgen.

Firma	Gerät	Luftmenge	Wärmerückgewinnung		Schall-druckpegel	Stromaufnahme		Kondensatableitung
			Art	Wirkungs-grad				
		[m³/h]	-	[%]	[dB(A)]	[W]	[W/m³/h]	
SIMKA	Komfort	15	Kreuz-Gegenstrom Wärmetauscher	90	< 20	4	0,26	Notwendig, automatische Entleerung
		20						
		30						
		45						
	Stoßlüftung	60				16	0,27	
PAUL LÜFTUNG	VENTOS 50 DC	20	Gegenstrom Wärmetauscher		18	12	0,60	Notwendig
		40		83	26	22	0,55	
		80			34	42	0,53	
		115			37	62	0,54	
FOXX-AIR	FoX-Lüftungsgerät	20	Kreuzstrom Wärmetauscher	82	20	7	0,35	notwendig
		40			27	13	0,33	
		60			33	18	0,30	
		100			46	52	0,52	
LTM	Thermolüfter 1230 / HL	36	Luftstrom-umkehr	> 80	< 22	5	0,14	Nicht notwendig
!! 2 Geräte notwendig !!		bis						
		130						
SIEGENIA AUBI	AEROMAT VT-WRG	19	Gegenstrom Wärmetauscher	62	17	10	0,53	Nicht notwendig
		42			34	21	0,50	
FOXX-AIR	DiNO-S	5	feuchtegeregeltes Nachströmelement	-	-	-	-	Nicht notwendig
		35		-	-	-	-	
Meltem	M-WRG-S	15	Kreuzstrom-plattenwärme-übertrager	76	15,5 / 19 *	3,8	0,25	nicht notwendig, über Abluftrohr
		30			24 / 24*	5,2	0,17	
		60			36 / 35 *	12,5	0,21	
mip Mittel-stands-Projekt GmbH	EB-Energie-bank 1.0	15		65	22	7	0,47	Nicht notwendig
		25		60	28	9	0,36	
		35		55	43	13	0,37	
					* = Unterputz / Aufputz			

Tab. 6: Aufstellung und technische Daten dezentrale Lüftungsgeräte bzw. Nachströmelemente

6.3 Dezentrale Lüftungsgeräte, 1 Lüftungsgerät mit WRG pro Wohneinheit

Pro Wohneinheit wird ein dezentrales Lüftungsgerät vorgesehen. Die Filterung und Erwärmung der angesaugten Außenluft erfolgt individuell je Wohneinheit. Die Außenluft kann pro Wohneinheit direkt von außen angesaugt werden, zu bevorzugen ist jedoch die Außenluftversorgung über einen zentralen Außenluftschacht. Die Fortluft ist ebenfalls bevorzugt über einen zentralen Fortluftschacht aus dem Gebäude zu führen. Die Geräteaufstellung erfolgt in einem eigenen Technikraum oder –abteil. Bei entsprechender vorhandener Raumhöhe sind auch Deckeneinbaugeräte möglich.

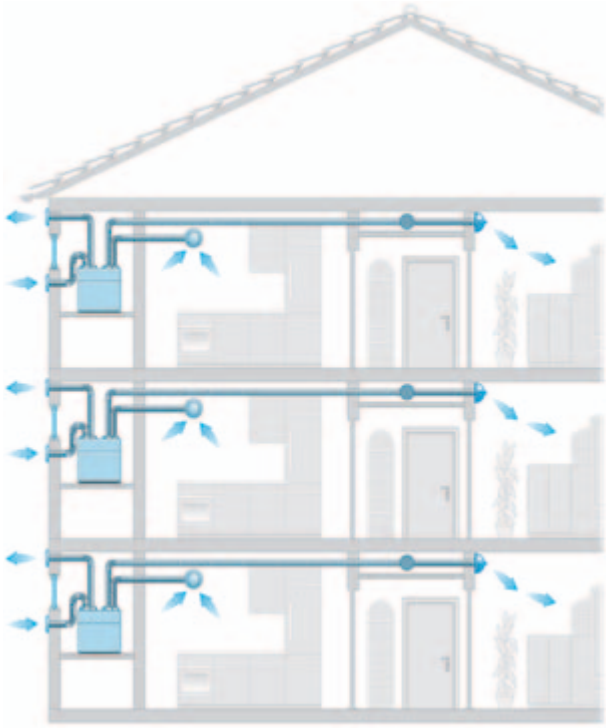


Abb. 123: Dezentrale Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung (Aerex, 2007, 13)

Die Verteilung der Lüftungsleitung erfolgt innerhalb der Wohnung z.B. über den Vorraum (Gang). Aufgrund der damit verbunden Durchdringungen der Außenhaut bei individueller Außenluft- und Fortluftführung je Wohneinheit ist auf die qualitative einwandfreie Abdichtung dieser Durchdringungen zu achten, um die Luftdichtheit als solche zu gewährleisten und einen erhöhten Energieaufwand durch Luftundichtigkeiten zu vermeiden.

Die individuelle Regelung erfolgt durch z.B. Luftqualitätsfühler für jede Wohneinheit völlig unabhängig von anderen Lüftungsgeräten / Wohneinheiten.

Für Wartung und Reparatur ist jeweils der Zutritt zu den betreffenden Wohneinheiten zu gewährleisten. Aufgrund der Anzahl der Einzelgeräte ergeben sich auf das ganze Objekt gerechnet bei dieser Variante erhöhte Energieverluste. Weiters können keine möglichen Gleichzeitigkeiten aufgrund der Nutzung berücksichtigt werden.

Siehe auch

Abb. 126: Lüftungszentral dezentral je Wohneinheit, gemeinsame Außen- und Fortluftführung (MFH 70er Jahre)

Abb. 127: Lüftungssystem dezentral je Wohneinheit, Außen- und Fortluftführung je Wohneinheit getrennt (MFH 70er Jahre)

Pro Raum bzw. pro Fenster wird ein Lüftungsgerät vorgesehen. Bei innen liegenden Räumen sind entsprechende Lüftungsleitungen nach außen zu führen, was aufgrund der geringen Luftmengen und dadurch notwendigen geringen Lüftungskanalquerschnitte einfacher zu realisieren ist als bei einer zentralen Lüftungsanlage.

Für einen ordnungsgemäßen Betrieb einer Lüftungsanlage muss die Gebäudehülle selber eine gewisse Mindestdichtigkeit aufweisen, um den effizienten Betrieb der Lüftungsanlage zu gewährleisten. Daher ist beim Einbau von neuen Fenster auf einen dichten Anschluss an das Mauerwerk zu achten, und allfällige vorhandene Öffnungen in der Fassade (z.B. Durchführung für Antennenkabel, …) sind dauerhaft zu verschließen.
Für die Dichtigkeit der Gebäudehülle sind folgende Werte einzuhalten (gemäß ÖNORM B 8110-1)

- Gebäude ohne Lüftungsanlage max. 3,0facher Luftwechsel
- Gebäude mit integrierter Lüftungsanlage max. 1,5facher Luftwechsel
- Passivhaus max. 0,6facher Luftwechsel

Unsanierte Altbauten haben in der Regel eine relativ undichte Gebäudehülle. Drucktests in 80 verschiedenen Ein- und Mehrfamilienhäusern ergaben einen durchschnittlich 7,4fachen Luftwechsel im Altbaubestand. Trotz dieser hohen Undichtigkeit können die Fugen in der Gebäudehülle keinen zuverlässigen Beitrag zur erforderlichen Belüftung des Gebäudes liefern. (Quelle Altbaumodernisierung mit Passivhaus-Komponenten, Passiv Haus Institut November 2009)
Der Luftwechsel wird bei einer Druckdifferenz von 50 Pascal zwischen innen und außen, gemittelt über Unter- und Überdruck und bei geschlossenen Ab- und Zuluftöffnungen gemessen (z.B. mittels Blower-Door-Test). Die genauen Anforderungen und Prüfverfahren sind unter anderem in der OIB-Richtlinie 6, Pkt. 7.2, sowie der ÖNORM EN 13829 festgehalten.

6.4 Zentrale Anlage

Für ein oder mehrere Objekt(e) wird ein zentrales Lüftungsgerät vorgesehen. Die Filterung und Erwärmung (evtl. im Sommer auch Kühlung) der angesaugten Außenluft erfolgt zentral pro Objekt. Die Geräteaufstellung kann z.B. entweder im Keller oder am Dachboden erfolgen. Idealerweise sollte die Aufstellung innerhalb der thermischen Gebäudehülle erfolgen, andernfalls sind spezielle Geräte zu verwenden (sogenannte wetterfeste Geräte). Auf möglichste kurze Leitungslängen ist zu achten.
Die Verteilung der Lüftungsleitungen erfolgt dann über bereits vorhandene oder neu herzustellende Steigschächte. Die Verteilung in den jeweiligen Geschoßen sollte idealerweise hauptsächlich in den Gängen erfolgen, da in diesen Bereichen eine Reduzierung der üblicherweise großzügigen Raumhöhe in der Regel vernachlässigbar ist.
Zur Einregulierung der Luftmengen sind für jede Wohneinheit entsprechende Volumenstromregler zu berücksichtigen, welche optional entweder über manuelle Regler oder Luftqualitätsfühler gesteuert werden können.
Über eine zentrale Außenluftansaugung und Fortluftausblasung wird sichergestellt, dass die Wärmeenergie der Abluft mittels Wärmetauscher auf die frisch angesaugte Außenluft übertragen wird.
Für Wartung und Reparatur genügen der Zutritt zu den betreffenden Technikräumen, welcher unabhängig von der Anwesenheit der Wohnungsnutzer erfolgen kann, und nur befugtem Personal möglich sein soll.
Siehe auch Abb. 128: Lüftungssystem zentral pro Wohnobjekt oder je Stiege (MFH 70er Jahre)

6.5 Auswahlkriterien

Bei der Sanierung eines Gebäudes sind neben den technischen und finanziellen Kriterien für die Entscheidung für ein System noch andere Randbedingungen zu berücksichtigen: Wer ist der Mieter, Wieviel soll / muss / darf der Wohnungsnutzer selbst entscheiden / verantworten / usw.
Abhängig von dem geplanten Wohnungsstandard ergeben sich unterschiedliche Möglichkeiten das Lüftungs- und Heizungssystem auszuführen

Lüftungssystem	**Mietwohnungen Standard**	**Mietwohnungen Komfort**	**Wohnungseigentum (hochwertig)**
Zentrale Lüftungsanlage konstanter Volumenstrom	o	o	-
Zentrale Lüftungsanlage variabler Volumenstrom	+	+	o
Dezentrale Lüftungsgeräte, 1 Lüftungsgerät mit WRG / Wohneinheit	-	+	+
Raumlüftungsgerät, mehrere Geräte pro Wohneinheit	-	-	-

+….. Gut geeignet 0 ….. neutral - ….. weniger geeignet

Tab. 7: Bevorzugte Einsatzgebiete von unterschiedlichen Lüftungssystemen

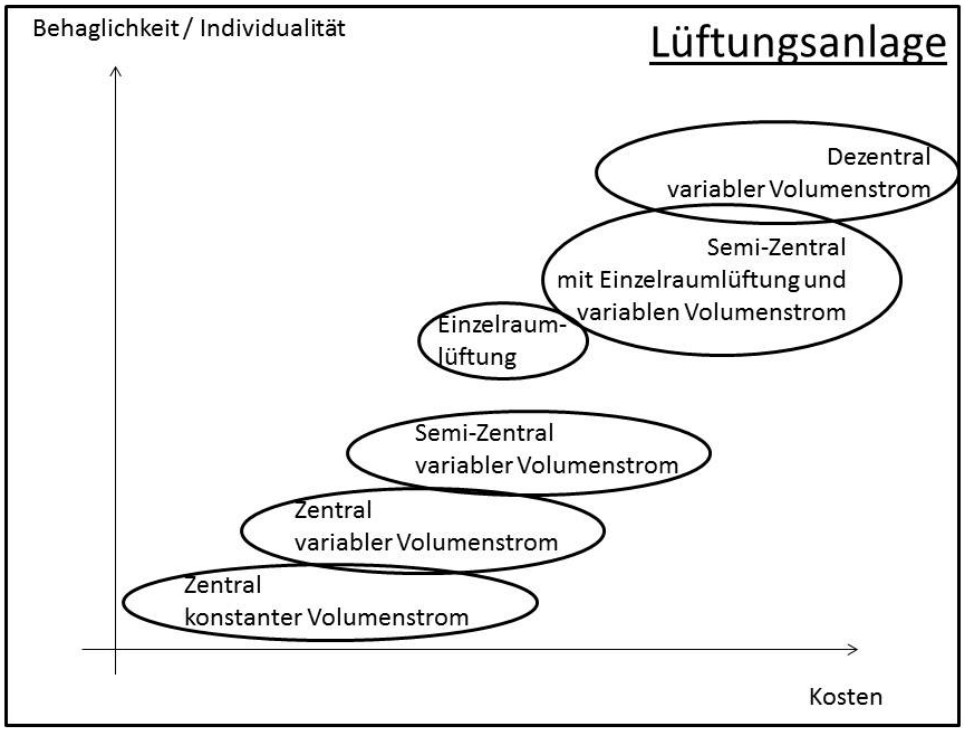


Abb. 124: Gegenüberstellung der Kosten im Verhältnis zu Behaglichkeit und Individualität bei verschiedenen Lüftungsanlagensystemen

Je nach gewähltem Lüftungssystem ergeben sich mitunter nicht zu vernachlässigende Auswirkungen auf bautechnische Gegebenheiten – speziell Schachtgrößen, aber auch die Notwendigkeit, die bestehende strukturierte Fassade bestehen zu lassen, können Auswirkungen auf die Wahl des Lüftungssystem haben.

Lüftungssystem	Lüftungsschacht (Querschnitt größer 1 m²)	Lüftungszentrale (evtl. gemeinsam mit restlicher Haustechnik)	Originalfassade (Stuck, strukturiert)
Zentrale Lüftungsanlage	Notwendig	Notwendig	Unproblematisch
Dezentrale Lüftungsgeräte, 1 Lüftungsgerät mit WRG / Wohneinheit	Bedingt notwendig	Bedingt notwendig	bei dezentraler Außenluftansaugung oder Fortluftausblasung problematisch
Raumlüftungsgerät, mehrere Geräte pro Wohneinheit	Nicht für Lüftung notwendig	Nicht für Lüftung notwendig	Problematisch (Dichtheit der Gebäudehülle, Kondensatableitung, …)

Tab. 8: Bautechnisch relevante Punkte bei unterschiedlichen Lüftungssystemen

	Dezentral raumweise	Dezentral wohnungsweise	Zentral Gebäude (semi-zentral pro Stiegenhaus)
Technische Daten			
Wirkungsgrad	**Ca. 90%**	**Ca. 90%**	**Größer 90%**
Volumenstrom	30 bis 50 m³/h	Ca. 100 – 150 m³/h	In Abhängigkeit Anzahl der Wohneinheiten pro Stiegenhaus pro Gebäude, z.B. MENERGA 5.000 – 32.000 m³/h
Abmessungen (BxHxT mm), beispielhaft	Fensterbankgerät: ca. 1130x105x220 SIMKA Wandgerät: Ca. 515x700x210 HELIOS Wandgerät Ca. 370x396x350	HELIOS Wandgerät Ca. 598x730x320 Drexel&Weiss Wandgerät ca. 600x745x600	In Abhängigkeit der Luftmenge -> Anzahl der Wohneinheiten / Lüftungsgerät z.B. MENERGA 5.000m3/h ca. 4.180x1.050x1.410cm (LxBxH)
Mindeststärke Wand	Ca. 20cm	Bei Wandmontage auf Tragfähigkeit der Wand achten	Für Lüftungsgerät statisch in der Regel nicht relevant, außer Sonderlösung
Durchmesser • Kernbohrung • Gehäuse • Luftleitung	Kernbohrung: Durchmesser ca. 35cm Fensterbankgerät: Ca. 110x10cm		
Strombedarf	ca. 8-16 Watt	Ca. 80-160 Watt	z.B. MENERGA 5.000m3/h 3,8kW

	Dezentral raumweise	Dezentral wohnungs-weise	Zentral Gebäude (semi-zentral pro Stiegenhaus)
Schall			
Schallpegel, Schalldämmung	Bsp: HELIOS Abstrahlung L_{PA} in 3m 18-30 dB(A)	Bsp: HELIOS ZUL: L_{WA} 52-64 dB(A) ABL: L_{WA} 36-48 dB(A) Abstrahlung L_{PA} in 1m 41-50 dB(A)	In Abhängigkeit der Geräteausführung, durch Schalldämpfer frei wählbar z.B. MENERGA 5.000m3/h ohne Schalldämpfer 77-88dB(A) weitere Schalldämpfer durch Fremdhersteller (z.B. TROGES, TROX, …)
Behaglichkeit Innen, Einbringung der Zuluft	Auf Außenwandseite, bedingt frei wählbar (nur gemeinsam mit Position Gerät), Behaglichkeit in starker Abhängigkeit der baulichen Gegebenheiten	Einbringung über Lüftungsaulässe, für optimale Verhältnisse individuell anordenbar, unabhängig von Gerät	Einbringung über Lüftungsaulässe, für optimale Verhältnisse individuell anordenbar, unabhängig von Gerät
Bautechnische Aspekte			
Anbindung an Luftdichtigkeitsebene	Aufgrund der Anzahl an Durchdringungen kritischer Punkt bezüglich Dichtigkeit des Objektes	Bei gemeinsamer Fort- und Außenluft nur je 1x pro gemeinsamer Durchdringung, bei individueller Fortluftausblasung und Außenluftansaugung je Wohneinheit aufgrund der Anzahl kritisch	Nur bei Durchdringung je 1x Außenluftansaugung und Fortluftausblasung
Wärmebrückenwirkung			
Schlagregenschutz	Von Typ, Hersteller und Position abhängig	Von Position abhängig, flexibler als bei Einzelraumlüftung	Eine zentrale Ansaugung und Ausblasung, bauseits herzustellen (teilw. Fertigkomponenten)
Regelbarkeit	Jeder Raum individuell (Bereich von Gerät abhängig)	Jede Wohneinheit individuell, raumweise nur mit Volumenstromregler, bedingte Nutzung Gleichzeitigkeit	Je nach Anordnung und Anzahl der Volumenstromregler jede Wohneinheit individuell -> Nutzung von Gleichzeitigkeiten bei Gesamtanlagenteilen!
Aufwand in Wohnungen			
• Montage	Pro Raum nur 1 Wanddurchbruch, Elektroanschluss, Regelung (Funk?)	Montage Lüftungsgerät, evtl. Schacht bei gemeinsamer AUL/FOL, Leitungsführung innerhalb Wohnung	Kanalführung über mehrere Geschoße notwendig –> Platzbedarf! In Wohnungen nur Volumenstromregler und Schalldämpfer, opt. Filter
• Betrieb / Wartung / Reparatur • •	Vom Wohnungsnutzer selbst zu veranlassen, in Anwesenheit, jeder Raum zugänglich	Vom Wohnungsnutzer selbst zu veranlassen, Raum mit Lüftungsgerät zugänglich, Raum (Lüftungsaulass) nur bedingt	Vom Objekteigentümer (bzw. -vertreter) zu veranlassen, Zutritt zu Technikraum notwendig, zu Wohneinheiten bzw. Räumen nur bedingt

	Dezentral raumweise	Dezentral wohnungs-weise	Zentral Gebäude (semi-zentral pro Stiegenhaus)
Hauptmaterialien (typischerweise)			
• Gehäuse	Kunststoff	Verzinktes Stahlblech	Verzinktes Stahlblech
• Leitungen/ Kanäle	Nicht notwendig	Bei Verlegung im Boden-aufbau (Platzbedarf!!!) Kunststoff, sonst verzink-tes Stahlblech	Steigleitungen verzinktes Stahlblech, in den Wohneinheiten: Bei Verlegung im Boden-aufbau (Platzbedarf!!!) Kunststoff, sonst verzinktes Stahlblech
• Leitungsein-bauten	Nicht erforderlich	Kunststoff / verzinktes Stahlblech	Vorwiegend verzinktes Stahlblech, geringfügig Kunststoff
Filterqualitäten, die Ver-fügbar sind	G3-G4, F5-F7	F7, G4	individuell
Wartung			
• Durch wen?	Durch Wohnungsnutzer	Durch Nutzer (bei zentra-len Anlagenteilen in Ab-stimmung mit Objektei-gentümer bzw. dessen Vertreter)	Durch Objekteigentümer bzw. dessen Vertretung
• Zugänglich-keit	Jeder Raum in Abstim-mung mit Nutzer	Zum "Technikraum", bzw. zu zentralen Anlagentei-len	Zu zentralen Anlagenteilen, bzw. bei dezentralen Anla-genteilen (Volumenstrom-regler, …) auch in Wohneinheiten
Instandhaltung			
• Durch wen?	Durch Wohnungsnutzer	Durch Nutzer (bei zentra-len Anlagenteilen in Ab-stimmung mit Objektei-gentümer bzw. dessen Vertreter)	Durch Objekteigentümer bzw. dessen Vertretung
• Zugänglich-keit	Jeder Raum in Abstim-mung mit Nutzer	Zum "Technikraum", bzw. zu zentralen Anlagentei-len	Zu zentralen Anlagenteilen, bzw. bei dezentralen Anla-genteilen (Volumenstrom-regler, …) auch in Wohneinheiten
Austauschbarkeit	Nur gegen gleiches Gerät oder gegen Nachfolgege-rät möglich	Meistens bestimmt der vorhandene und notwen-dige Platzbedarf die Mög-lichkeiten das Gerät ge-gen ein anderes auszus-tauschen	Innerhalb des "Systemes" (nach Hersteller unter-schiedlich) meist kein Prob-lem, bei Herstellerwechsel meist Adaptierungen not-wendig

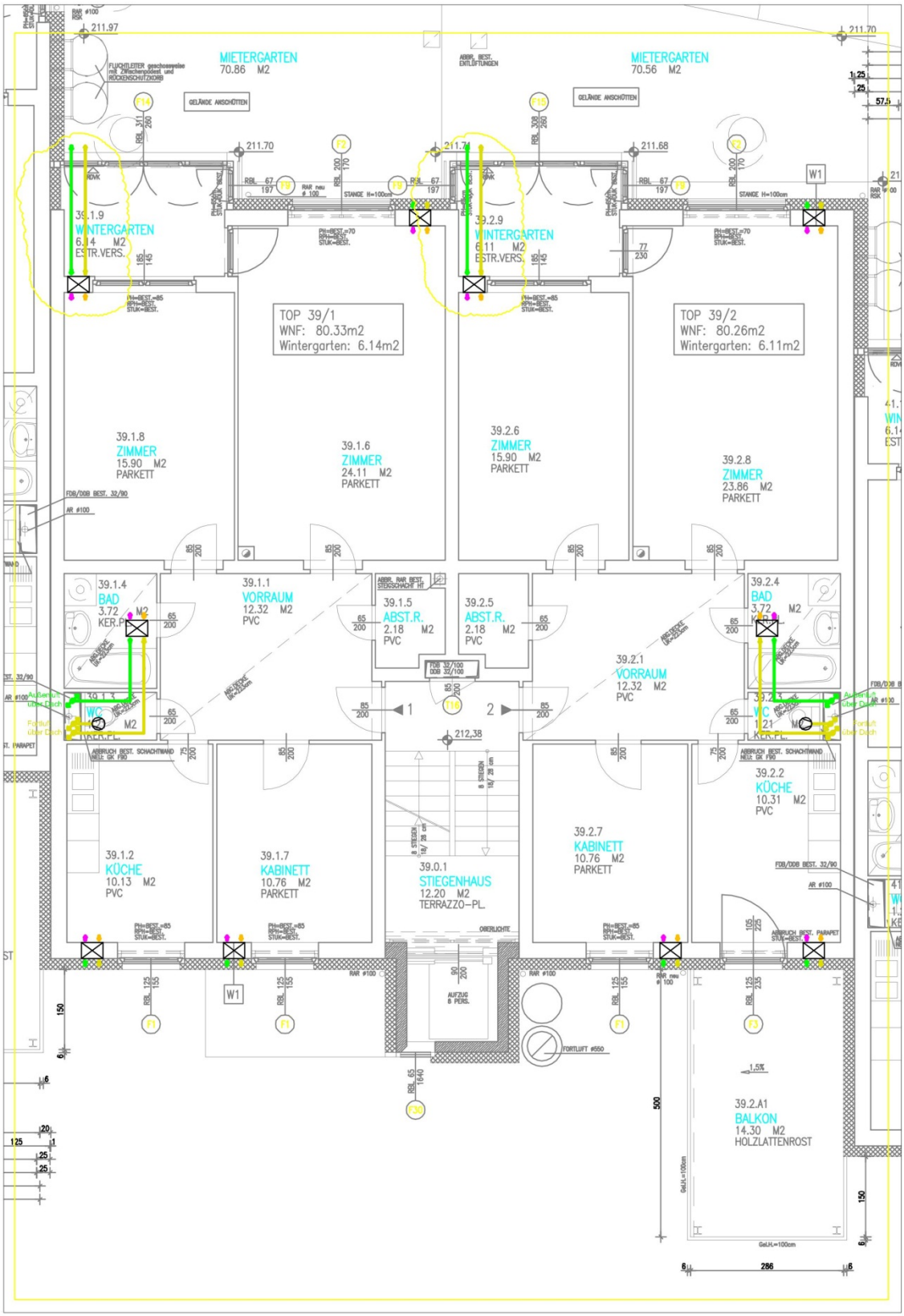


Abb. 125: Lüftungssystem dezentral je Raum (MFH 70er Jahre)

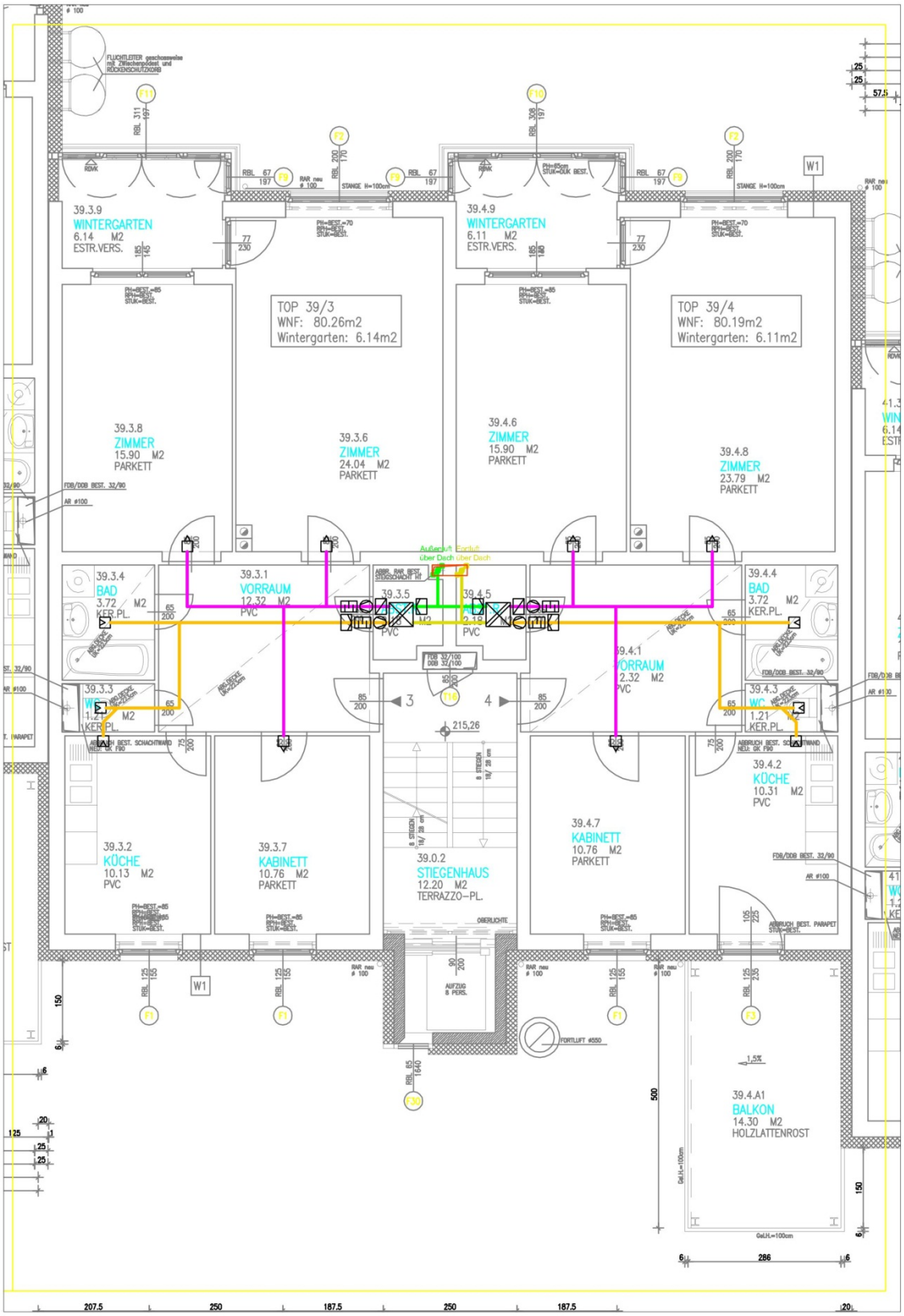


Abb. 126: Lüftungszentral dezentral je Wohneinheit, gemeinsame Außen- und Fortluftführung (MFH 70er Jahre)

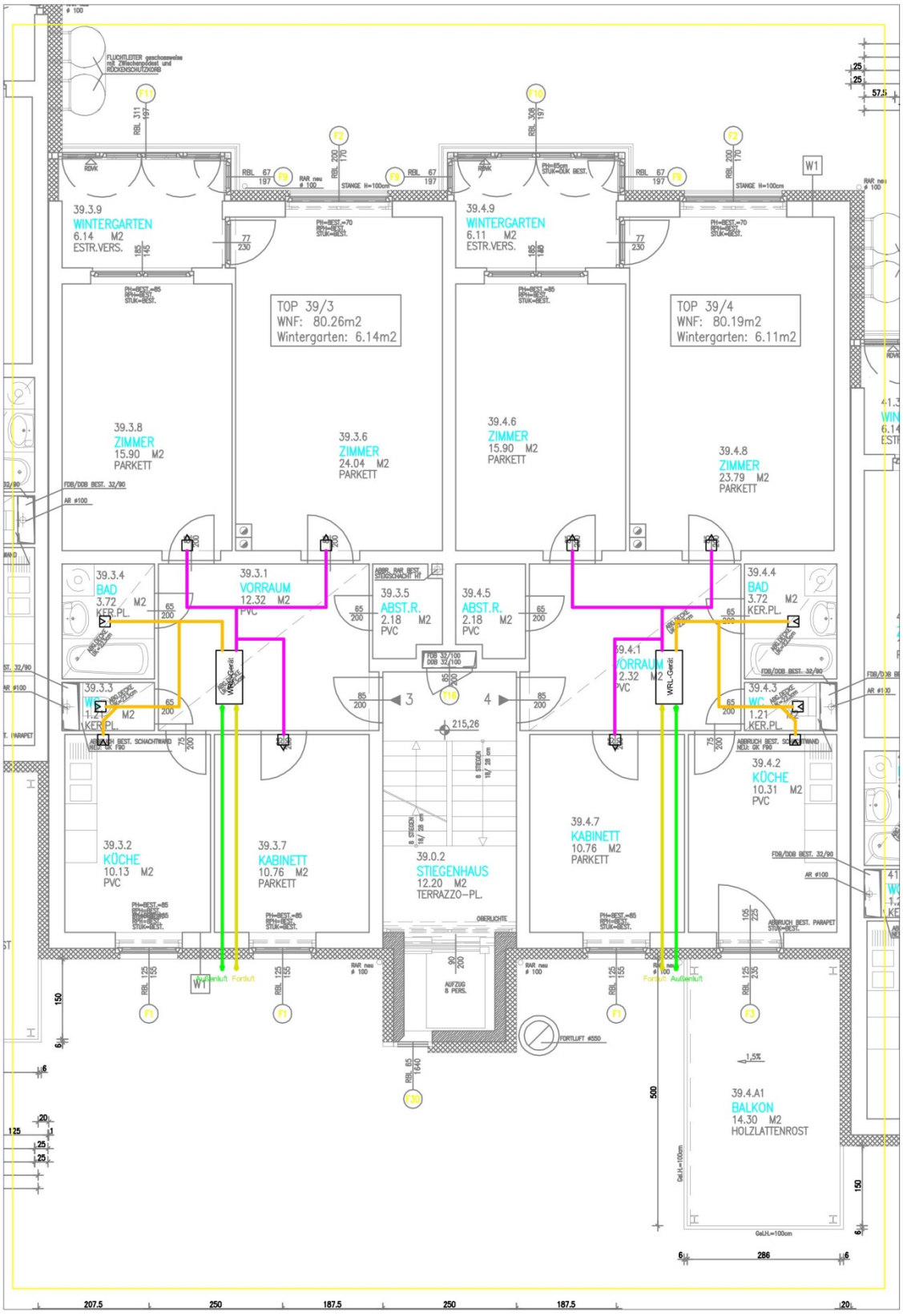


Abb. 127: Lüftungssystem dezentral je Wohneinheit, Außen- und Fortluftführung je Wohneinheit getrennt (MFH 70er Jahre)

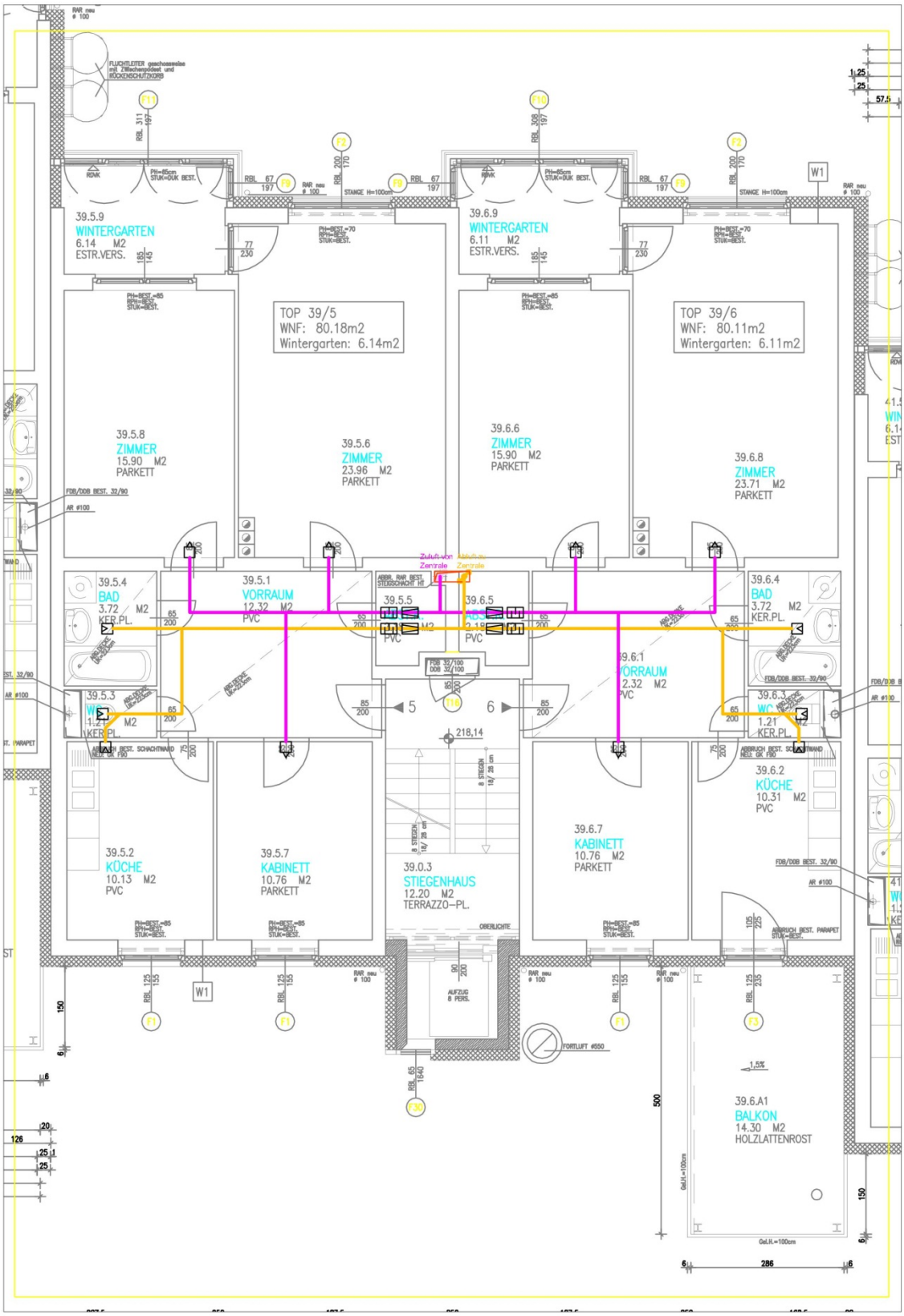


Abb. 128: Lüftungssystem zentral pro Wohnobjekt oder je Stiege (MFH 70er Jahre)

7 Schadstoffe in bestehenden Gebäuden

7.1 Gefahren und präventive Maßnahmen

Im folgenden Abschitt werden drei Gruppen von Schadstoffen betrachtet:

1. Schadstoffe, für die eine rechtliche Grundlage zum Schutz der Gebäudenutzer und der ArbeitnehmerInnen gegeben ist. Dies sind z. T. auch Schadstoffe mit Verwendungs- und/oder Herstellungsverbot
2. Schadstoffe ohne Herstellungs- und Verwendungsverbot, für die keine bzw. nur wenige rechtliche Grundlagen zum Schutz der Gebäudenutzer und ArbeitnehmerInnen existieren
3. Biogene Schadstoffe wie Schimmelpilze und holzzerstörende Pilze mit Ausnahme von Bakterien

Im Zuge von Sanierungsmaßnahmen gilt es zunächst festzustellen, ob und welche Schadstoffe in der Gebäudesubstanz enthalten sind und ob von diesen eine konkrete Gefahr[2] für die Nutzer ausgeht. Im Gefahrenbereich sind für bestimmte Belastungen Grenzwerte gesetzlich festgelegt. Dies betrifft vor allem die in Tabelle 2 aufgeführten Schadstoffe. Aufgrund gesetzlicher Regelungen besteht weiterhin die Verpflichtung, Maßnahmen zur Gefahrenabwehr zu setzen. Berg (2010) bezeichnet diese Abfolge aus Erkennen, Bewerten und Beseitigen als die „3 Verantwortungs- und Handlungsphasen". Die übergeordneten Rechtsbereiche sind nach Zwiener (2012)

1. Bereiche des öffentlichen Rechts: Bauordnungs-, Umwelt-, Arbeitsschutz- und Strafrecht
2. Bereiche des Zivilrechts: Hauptsächlich Werkvertrag als rechtliche Grundlage bei der Schadstofferkundung und Beseitigung, mit Bauherr, Werkunternehmer, Gutachter als Vertragsparteien, vertragliche oder deliktische Haftung u.a.

ÖNORM S 5730 befasst sich mit der Schadstofferkundung von Bauwerken und ist daher bei Sanierungsvorhaben neben den gesetzlichen Regelwerken zu berücksichtigen.

Wird gar der Abbruch des Gebäudes beabsichtigt, gibt die ONR 192130 ein Regelwerk für die Schadstofferkundung von Bauwerken vor Abbrucharbeiten vor. Seit dem Inkrafttreten der Novelle zum Wiener Abfallwirtschaftsgesetz 2011 ist z.B. in Wien die Schadstofferkundung für bestimmte Gebäude vorgeschrieben. Gefährliche Abfälle müssen identifiziert werden und dürfen nicht mit anderen Abfällen vermischt werden. Der Abbruch von Gebäuden ist nicht Gegenstand des Forschungsprojekts und wird daher im Folgenden nicht weiter betrachtet. Grundsätzlich sind vor der Gebäudesanierung bei Verdacht auf oder Kenntnis über Schadstoffkontamination Experten hinzuzuziehen.

Liegt keine konkrete Gefahr vor, sollten dennoch aus Vorsorgegründen Sanierungsmaßnahmen gesetzt werden, da bei Schadstoffbelastungen im Innenraum, die unterhalb des Gefahren-, jedoch oberhalb des Vorsorgebereichs liegen, gesundheitliche Risiken noch nicht ausgeschlossen werden können. Für den Vorsorgebereich existieren toxikologisch begründete, allgemein anerkannte, durch Behörden oder Fachgremien (aber nicht gesetzlich) festgelegte Richtwerte. Beim Vorsorgeprinzip wird von einer kontinuierlichen, ganztägigen Nutzung des Raumes ausgegangen. Risikogruppen werden berücksichtigt. Werden Vorsorgewerte

[2] Sachlage, die „bei ungehindertem Geschehensablauf und in überschaubarer Zukunft mit hinreichender Wahrscheinlichkeit zu einem Schaden führen wird." (http://www.juraforum.de/lexikon/gefahr-konkrete abgerufen am 30.01.2012) Im Gegensatz dazu ist die abstrakte Gefahr „eine […] mögliche Sachlage, die im Fall ihres Eintritts eine konkrete Gefahr darstellen würde." (http://www.juraforum.de/lexikon/gefahr-abstrakte, abgerufen am 30.01.2012)

eingehalten, ist davon auszugehen, dass auch bei langfristiger Exposition nicht mit einer gesundheitlichen Beeinträchtigung zu rechnen ist.

	Vorsorgebereich	Vorsorgebereich überschritten Gefahrenbereich unterschritten	Gefahrenbereich
Humantoxikologie	Keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen auch bei lebenslanger Exposition	Über das übliche Maß hinausgehende hygienisch unerwünschte Belastung	Gesundheitsgefahr anzunehmen
Handlungsbedarf	keiner	aus Vorsorgegründen	Unverzüglich, aus Gründen der Gefahrenabwehr

Tab. 9: Übersicht Vorsorge- und Gefahrenbereiche und daraus resultierender Handlungsbedarf nach http://www.umweltbundesamt.de/gesundheit/innenraumhygiene/richtwerte-irluft.htm, abgerufen am 30.01.2011. Vergleich hierzu Richtwerte I und II der Ad-hoc Arbeitsgruppe "Innenraumrichtwerte" der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden.

Die EU-Bauproduktenverordnung schreibt als übergeordnetes Regelwerk in Anhang I Grundanforderungen an Bauwerke und in Abschnitt 3 Anforderungen an Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz vor:
„Das Bauwerk muss derart entworfen und ausgeführt sein, dass es während seines gesamten Lebenszyklus weder die Hygiene noch die Gesundheit und Sicherheit von Arbeitnehmern, Bewohnern oder Anwohnern gefährdet und sich über seine gesamte Lebensdauer hinweg weder bei Errichtung noch bei Nutzung oder Abriss insbesondere durch folgende Einflüsse übermäßig stark auf die Umweltqualität oder das Klima auswirkt:

a) Freisetzung giftiger Gase;

b) Emission von gefährlichen Stoffen, flüchtigen organischen Verbindungen, Treibhausgasen oder gefährlichen Partikeln in die Innen- oder Außenluft;

c) Emission gefährlicher Strahlen;

d) Freisetzung gefährlicher Stoffe in Grundwasser, Meeresgewässer, Oberflächengewässer oder Boden;

e) Freisetzung gefährlicher Stoffe in das Trinkwasser oder von Stoffen, die sich auf andere Weise negativ auf das Trinkwasser auswirken;

f) unsachgemäße Ableitung von Abwasser, Emission von Abgasen oder unsachgemäße Beseitigung von festem oder flüssigem Abfall;

g) Feuchtigkeit in Teilen des Bauwerks und auf Oberflächen im Bauwerk.“

Die EU-Bauproduktenverordnung bezieht sich somit nicht nur auf Schadstoffbelastungen im Bestand, sondern auch auf Schadstoffe aus neuen Bauprodukten, die durch die Sanierungsmaßnahmen erst in die Gebäude eingetragen werden.

7.2 Schadstofferkundung im Altbau

Die ÖNORM S 5730 zur Erkundung von Bauwerken auf Schadstoffe und andere schädliche Faktoren unterscheidet folgende Schadstoffquellen

1. Primäre Schadstoffe: das Baumaterial selbst bzw. Bestandteile des Materials sind Schadstoffe
2. Sekundäre Schadstoffe: Übertritt von Schadstoffen aus Primärquellen in andere Materialien
3. Nutzungs- und betriebsbedingte Schadstoffkontaminationen aus Wartung, Instandhaltung und/oder Produktionsprozessen
4. Biologisch bedingte Gefährdungen
5. Geogene oder anthropogen bedingte Immissionen
6. Vorübergehende Belastungen und Emissionen aus der Nutzung

In der folgenden Übersicht werden primäre und sekundäre, inzwischen überwiegend verbotene Schadstoffe betrachtet, die in den im vorliegenden Forschungsprojekt betrachteten Epochen, d.h. bis in die 1980er Jahre verbreitet eingesetzt wurden. Es handelt sich dabei um nutzerrelevante Schadstoffe, die konkrete Maßnahmen zur Gefahrenabwehr erfordern:

1. Polycyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), die sich typischerweise in teerhaltigen Produkten finden, aber auch in Verbrennungsprodukten oder -rückständen
2. Pentachlorphenol (PCP), das vorwiegend als Holzschutzmittel eingesetzt wurde
3. Polychlorierte Biphenyle (PCB), in Bauprodukten hauptsächlich als Weichmacher oder Flammschutzmittel eingesetzt
4. Dämmstoffe aus künstlichen Mineralfasern (KMF), hier ausschließlich KMF der alten Generation (Fasern mit Länge > 5 µm, Durchmesser < 3 µm, Länge : Durchmesser > 3:1), Herstellungsdatum vor 1996 bzw. vor 2000
5. Asbestfasern

In der folgenden Tabelle sind typische Einsatzbereiche, Verwendungszeiträume und Wirkungsweisen angegeben. Bei Sanierungsvorhaben muss mit Hilfe von Sachverständigen und Schadstoffexperten unter Berücksichtigung der gültigen Verordnungen und Richtlinien geklärt werden, ob und welche Schadstoffe vorliegen und welche Sanierungs- und Entsorgungsmaßnahmen zu setzen sind.

Schadstoff	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	Pentachlorphenol (PCP)
Einsatzbereich	- Bauwerksabdichtungen: Dachbahnen/-pappen, Anstriche im erdberührten Bereich - Dämmmaterial: Teergebundene Korkdämmplatten - Bodenbeläge: Klebstoffe für Parkett und Holzpflaster, Gussasphalt und Estriche - Imprägnierung: für feuerfeste Baustoffe als Holzschutzmittel - Fugenmasse	- Vorbeugender Schutz für Holzbauteile, z.B. Fassadenverkleidungen, Dachstühle, Treppen und Geländer, Fenster und Außentüren und Holzverkleidungen - Maßnahme gegen Insektenbefall sowie vorbeugend gegen Pilze im Bereich der Dachkonstruktion - (Haus-)Schwammsanierung von Mauerwerk und Verputz - Konservierungsmittel in Lacken/Farben, Klebstoffen, Textilien, Zellstoff - Verwendung als Pflanzenschutz- und Desinfektionsmittel, im Sanitärbereich, in der Forstwirtschaft und in Kosmetika - Häufig gemeinsam mit gamma-Hexachlorcyclohexan (gamma-HCH/Lindan) verwendet - Sekundärkontamination von unbehandelten Bauteilen über die Raumluft möglich
Bauteile	- Bodenplatte - erdberührte Wände - zweischalige Außenwände - Trenn- und Bewegungsfugen - Geschoßdecken und Fußbodenaufbau - Innenwände und -decken - Dach - Kamin - Fenster/Türen	- Außenwände - Innenwände und –decken - Geschoßdecken und Fußbodenaufbau - Dach
Verwendungs-zeitraum	- Teerhaltige Parkettklebstoffe um 1900 bis (späte) 1970er - Teerhaltige Klebstoffe für Holzpflaster bis 1999 - Ab 1970 Umstieg auf Bitumen	- Ab 1945 industrielle Produktion - seit 1978 Kennzeichungspflicht - ab 1989 Produktionsverbot
Gesundheit	- Zahlreiche Verbindungen sind kanzerogen, mutagen, immuntoxisch, lebertoxisch - Reizende Wirkung über Schleimhäute, all. Hautreaktion - Veränderungen im Blutbild, Nieren- und Leberschäden, Herzversagen bei hoher Exposition - Leitsubstanz Benzo[a]pyren kann Krebs erzeugen, genetische Defekte verursachen, die Fruchtbarkeit beeinträchtigen, das Kind im Mutterleib schädigen	- Persistente organische Schadstoffe (POP) - Augen-, Haut- und Atemwegsreizungen - Akute Toxizität bei Einatmen, Hautkontakt oder Verschlucken - Kann vermutlich Krebs erzeugen (K2) - Kann das ungeborene Leben schädigen (Re2) - Verdacht auf erbgutschädigende Wirkung (M3) - herstellungsbedingt giftige Verunreinigungen mit polychlorierten Dioxinen + Furanen
Übertragungs-wege	- Nahrung - Trinkwasser - Luft/Atemwege - Haut	- Nahrung - Luft (gasförmig oder partikelgebunden) /Atemwege - Haut

Schadstoff	Polychlorierte Biphenyle (PCB)	Dämmstoffe aus künstlichen Mineralfasern der alten Generation (KMF)
Einsatzbereich	- Dauerelastische Dichtungsmassen - Farb- und Brandschutzanstrichstoffe - Buntsteinputz - Bodenbelagsklebstoffe - Verguss- und Spachtelmassen - Kabelummantelungen - Kondensatoren/Transformatoren - Hydraulikanlagen und Elektrospeicheröfen - Sekundärkontamination von unbehandelten Bauteilen über die Raumluft möglich	- Matten, Platten oder Formteile - Wärme-, Trittschall- und Akustikdämmung im Wand-, Dach- und Deckenbereich - Spritzbrandschutzisolierung, leicht mit Zement gebundene KMF - Wärmedämmmaterial im Bereich der Haustechnik (Rohrleitungen, Elektrospeicheröfen)
Bauteile	- Trenn-/Bewegungs-/Bauwerksfugen - Innenwände und -decken - Geschoßdecken und Fußbodenaufbau - Fenster/Türen - Rohre/Leitungen - Geräte/Installationen	- Außenwände - Trennfugen - Innenwände und -decken - Geschoßdecken - Träger und Stützen - Dach - Fenster/Türen - Rohre/Leitungen/Schächte - Geräte/Installationen
Verwendungszeitraum	- Herstellung/Verwendung seit 1929 - 1973 Empfehlung der OECD, PCB nur noch in geschlossenen Systemen (z.B. Kondensatoren) zu verwenden; 1978 Umsetzung der Empfehlung in dt. Recht - Verwendung PCB-haltiger Fugenmasse zwischen 1955 und 1975, z.T. bis 1990 - Ab 1983 in D keine Herstellung mehr - Verwendung in Dichtungsmassen bis ca. 1972 - Verwendung in Putzen bis ca. 1973 - Verwendung in Kondensatoren und Transformatoren bis ca. 1984 - Verbot des Herstellens, Inverkehrsetzens und Verwendens in Österreich 1993 - Weltweiter Zeit- und Maßnahmenplan gem. Stockholmer Konventionen: bis 2025 Entfernen von PCB aus allen Gerätschaften, bis 2028 Entsorgung aller PCB (gilt für Erzeugnisse > 50 ppm PCB)	- Betrifft KMF der alten Generation: Produkte, für die der Nachweis, dass sie frei vom Krebsverdacht sind, nicht erbracht werden kann - bis ca. 1996 hergestellt - Zwischen 1996 und 2000 Rezepturumstellung und übergangsweise Herstellung von KMF der alten und neuen Generation - Seit 1.6.2000 dürfen alte Mineralwolle-Dämmstoffe nicht mehr hergestellt, vermarktet und verwendet werden - Aufgrund des o.g. Verbots sind Tätigkeiten mit alten KMF nur noch im Zuge von Abbruch-, Sanierungs-, Instandhaltungsarbeiten möglich - Wenn keine Informationen darüber mehr vorliegen, ob KMF der alten oder neuen Generation zuzuordnen sind, ist aus Vorsorgegründen davon auszugehen, dass es sich um alte KMF handelt
Gesundheit	- Persistente organische Schadstoffe (POP) - Neuro-, Immun- und Lebertoxizität - Anlass zur Besorgnis, da möglicherweise krebserzeugende Wirkung (K3) - Als entwicklungsschädigend (Re2) und beeinträchtigend für die Fortpflanzungsfähigkeit (Rf2) anzusehen - herstellungsbedingt giftige Verunreinigungen mit polychlorierten Dioxinen und Furanen	- Lungengängige, biopersistente KMF-Fasern sind gemäß Richtlinie 97/69/EG in K3 (krebsverdächtig) eingestuft[3] - Hautreizungen - Für den Umgang mit krebsverdächtigen KMF-Fasern gelten technische Richtkonzentrationen (TRK-Wert) nach Grenzwerteverordnung 2011: Tagesmittelwert höchstens 500.000 Fasern/m³; Kurzzeitwerte (15-min-Mittelwert) höchstens 2.000.000 Fasern/m³[4]
Übertragungswege	- Nahrung - Haut - Luft (gasförmig oder partikelgebunden) /Atemwege	- Luft/Atemwege

[3] Ausnahmen siehe Richtlinie 97/69/EG Anmerkung Q

[4] Auf Baustellen gilt der TRK-Wert von 500 000 F/m³ als eingehalten, wenn die Gesamtzahl lichtmikroskopisch nachgewiesen unter 1.000.000 F/m³ liegt.

Schadstoff	Asbestfasern
Einsatzbereich	Schwach gebundene Asbestprodukte mit einer Dichte < 1.000 kg/m³, Asbestgehalt bis 100 % - Spritzasbest als Brandschutzisolierung - Asbesthaltige Diatomeenerde als Rohrisolierung - Leichte asbesthaltige Platten als Brandschutz-, Kanal- oder Stützenverkleidung - Asbestschnüre als Isolierung von Elektrozuleitungen, Rohrdurchführungen, an Heizkesseln - Asbestpappe als Bestandteil von Boden- und Wandbelägen - Asbestputze - Asbeststopfmassen - Asbestgewebe Fest gebundene Asbestprodukte mit einer Dichte > 1.000 kg/m³, Asbestgehalt bis 15 % - Asbestzementplatten als Dach- oder Fassadenbekleidung, Fensterbank - Asbestzementrohre und -formteile, z.B. Blumenkübel, Schachtverkleidungen, Abdeckungen - Asbest-PVC-Produkte als Bodenbelag
Bauteile	- Außenwände - Trenn- und Anschlussfugen - Innenwände und -decken - Gescho?decken - Träger und Stützen - Dach - Fenster/Türen - Rohre/Leitungen/Schächte - Geräte/Installationen (Heizgeräte, Lift)
Verwendungs-zeitraum	- Großtechnische Einführung der Asbestfasern mit Asbestzement um 1900 - Erzeugungshöhepunkt Mitte der 1970er Jahre - Verbote im deutschsprachigen Raum: 1984 Deutschland, 1989 Schweiz (schrittweiser Ausstieg, 1990 Österreich
Gesundheit	- Gesundheitlich besonders relevant sind schwach gebundene Asbestprodukte - K1 krebserzeugend - Langfristig chronische Toxizität - Hohe Latentzeit 10–60 Jahre (Fasern haben eine sehr hohe Beständigkeit gegenüber dem Milieu der Lunge) - Asbestose/Lungenfibrose - Lungen- und Kehlkopfkrebs - Mesothelium (Tumore des Herzbeutels, Rippen- oder Bauchfells)
Übertragungs-wege	- Luft/Atemwege

Tab. 10: Übersicht typischer primärer und sekundärer Schadstoffe im Altbau. Quellen: ÖN S 5730, Zwiener 2006, Berg 2010.

Schadstofferkundungen sind nur von Personen mit einschlägiger Sachkenntnis durchzuführen. Die Vorgehensweise nach ÖN S 5730 sieht die Erstellung eines Schadstofferkundungskonzepts vor, welches in einem abschließenden Erkundungsbericht auch zu beschreiben ist. Es besteht aus:

1. Festlegung des Zwecks und Beschreibung der Motive
2. Recherche der Standort-, Bau und Nutzungssituation
3. Begehung
4. Probenahmeplanung
5. Probenahme und Analytik
6. Bewertung der Ergebnisse der Schadstofferkundung
7. Dokumentation und Berichtslegung

Der Schadstofferkundungsbericht ist ausschlaggebend für die weiteren Sanierungsmaßnahmen. Die schadstoffbelasteten Bauteile müssen entsprechend der festgelegten Sanierungsmaßnahmen unter Berücksichtigung der in Kapitel 7.6 genannten gesetzlichen und normativen Vorgaben sowie Leitfäden entfernt, räumlich abgetrennt, beschichtet, bekleidet oder chemisch behandelt/beschichtet werden. Gegebenenfalls können auch nur belastete Bereiche oder Einzelflächen von Bauteilen entfernt werden. Sekundärbelastete Materialien oder Gegenstände, z.B. Möbel oder Textilien, sind entsprechend der Sanierungsvorgaben zu entfernen oder reinigen. Nach Beendigung der Sanierungsarbeiten sollen keine gesundheitlichen Gefahren mehr für den Nutzer bestehen. Der Erfolg der Sanierung sollte z.B. durch Raumluftmessung nachgewiesen werden. Idealerweise werden dabei die Vorsorgewerte (siehe Kapitel 7.3 Schadstoffbelastungen in Innenräumen durch neue Bauprodukte) eingehalten (Zwiener 2006). Für die Behandlung und Entsorgung gelten die entsprechenden abfallrechtlichen Vorschriften.

7.3 Schadstoffbelastungen in Innenräumen durch neue Bauprodukte

Nach der Schadstoffsanierung des Gebäudes können im Zuge von thermischen Sanierungsmaßnahmen, Umbauten und sonstigen Renovierungsarbeiten durch neue Bauprodukte erneut Schadstoffe eingetragen werden. Besonders relevant können dabei Emissionen aus Bodenbelägen und Bodenbelagsklebern, Holz- und Holzwerkstoffen, Lacken und Beschichtungen, Dicht- und sonstigen Klebstoffen, Dämmaterialien, Reinigungs- und Pflegemitteln sein. Die Emissionen können eine Vielzahl von flüchtigen organischen Verbindungen wie z.B. Aldehyde, Ketone, Styrol, Glykolverbindungen, Isothiazolinone oder Terpene umfassen. Die gesundheitlichen Auswirkungen der Emissionen äußern sich in allgemeinen Symptomen wie Unwohlsein, Kopfschmerzen usw., die von diversen Stoffen ausgelöst werden können. Einige Stoffe besitzen außerdem

1. reizende und/oder sensibilisierende,
2. reproduktionstoxische, mutagene und/oder kanzerogene Wirkungen.

Auch neue Bauprodukte können zudem umwelt- und humantoxikologisch relevante Inhaltsstoffe wie z.B. Biozide, Weichmacher und Schwermetalle enthalten. Es können während der Nutzung außerdem Reaktions- oder Zerfallsprodukte entstehen, die als Sekundäremissionen in der Innenraumluft nachweisbar sind.
Um Schadstoffbelastungen der Innenraumluft im Sinne einer gesundheitlichen Vorsorge weitestgehend zu vermeiden, sollten bei der Sanierung schadstofffreie bzw. wo dies nicht möglich ist, schadstoffarme und insbesondere emissionsarme Bauprodukte ausgewählt werden. Nach Zwiener (2006) ist der Begriff „emissionsarme Bauproukte“ bisher nicht allgemeingültig definiert. Im Rahmen von Zertifizierungsprogrammen für Bauprodukte[5] existieren jedoch konkrete Anforderungen. Als Beispiel zeigt Tabelle 3 die Emissionsgrenzwerte von natureplus e.V. für innenraumrelevante Bauprodukte.

[5] z. B. Der Blaue Engel, EMICODE® Siegel, natureplus Qualitätszeichen, Österreichisches Umweltzeichen

Innenraumluftindikatoren	Prüfmethode/Messzeitpunkt	Grenzwert
VOC (Flüchtige organische Verbindungen)	**DIN EN ISO 16000-6, -9, -11; nature-plus-Ausführungsbestimmungen**	**in µg/m³**
VOC (VOC, VVOC, SVOC) eingestuft in: Verordnung (EG) Nr. 1272/ 2008: Kategorien Carc. 1A und 1B, Muta 1A und 1B, Repr. 1A und 1B; TRGS 905: K1, K2, M1, M2, R1, R2 *; IARC Gruppe 1 u. 2A; DFG MAK-Liste III1, III2	3 d nach Prüfkammerbeladung	n. n. **
Summe flüchtige organische Verbindungen (TVOC)		≤ 3000
Summe flüchtige organische Verbindungen (TVOC), davon:	28 d nach Prüfkammerbeladung	≤ 300
Summe bicyclische Terpene	28 d nach Prüfkammerbeladung	≤ 200
Summe sensibilisierende Stoffe gem. MAK IV, BgVV-Liste Kat. A **, TRGS 907	28 d nach Prüfkammerbeladung	≤ 100
Summe VOC (VOC, VVOC, SVOC) eingestuft in: Verordnung (EG) Nr. 1272/2008: Kategorie Carc. 2, Muta 2, Repr. 2; TRGS 905: K3, M3, R3; IARC: Gruppe 2B; DFG MAK-Liste: III3	28 d nach Prüfkammerbeladung	≤ 50
Summe Aldehyde, C4-C11, acyclisch, aliphatisch	28 d nach Prüfkammerbeladung	≤ 100
Styrol	28 d nach Prüfkammerbeladung	≤ 10
Methylisothiazolinon (MIT)	28 d nach Prüfkammerbeladung	n.n. ***
Benzaldehyd	28 d nach Prüfkammerbeladung	≤ 20
Summe flüchtige organische Verbindungen (TVOC) ohne NIK	28 d nach Prüfkammerbeladung	≤ 100
Summe schwer flüchtige organische Verbindungen (TSVOC)	28 d nach Prüfkammerbeladung	≤ 100
R-Wert	28 d nach Prüfkammerbeladung	≤ 1,0
Aldehyde	**DIN EN ISO 16000-3, 11; DIN EN 717-1,**	**in µg/m³**
Formaldehyd	28 d nach Prüfkammerbeladung	≤ 24
Acetaldehyd		≤ 24
Geruch	**natureplus-Ausführungsbestimmung 6-stufige Notenskala**	**[-]**
	24 h nach Prüfkammerbeladung	≤ 3

Tab. 11: Emissionsgrenzwerte für innenraumrelevante Bauprodukte nach der Richtlinie RL1102 Gipsplatten des internationalen Umweltzeichens natureplus. * K = kanzerogen; M = mutagen; R = reproduktionstoxisch; Einteilung gem. GefStoffV (D), ** Nicht nachweisbar, Nachweisgrenze: 1 µg/m³, * BgVV (Hrgs.: Detlev Kayser, Eva Schleder): „Chemikalien und Kontaktalergie – eine bewertende Zusammenstellung“. Quelle: http://www.natureplus.org/uploads/tx_usernatureplus/RL1002_Gipsplatten.pdf, abgerufen am 30.01.2012**

Unter der Voraussetzung, dass konsequent emissionsfreie bzw. sehr emissionsarme Bauprodukte eingesetzt werden, kann eine hohe Qualität der Innenraumluft erreicht werden. Bei Innenraumluftkonzentrationen flüchtiger organischer Verbindungen dient der TVOC-Wert der Abschätzung eines Zusammenhangs zwischen gesundheitlichen Beschwerden der Nutzer und der Innenraumluftkontamination (Ad-hoc-AG IRK/ALOG 2007). Eine Aussage über die Dosis-Wirkungsbeziehung kann nur über Messwerte von Einzelsubstanzen gegeben werden. Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten (Ad-hoc-AG IRK/ALOG 2007) zeigt Tabelle 12:

TVOC-Wert	Bewertung
< 300 µg/m³	Hygienisch unbedenklich, sofern kein Einzelrichtwert überschritten wird. Zielwert für Neubauten und nach Sanierungsarbeiten
> 300 < 1.000 µg/m³	Noch hygienisch unbedenklich, sofern kein Einzelrichtwert überschritten wird. Notwendigkeit für verstärktes Lüften
> 1.000 < 3.000 µg/m³	Hygienisch auffällig. Auf max. 12 Monate befristete Obergrenze für länger genutzte Aufenthaltsräume. Möglichst keine längerfristigen Konzentrationen > 1000 µg/m³. Deutliche Senkung der TVOC-Konzentration innerhalb von 6 Monaten anzuraten.
> 3.000 < 10.000 µg/m³	Hygienisch bedenklich Räume gar nicht oder allenfalls befristet (max. 1 x im Monat) bei gleichzeitig verstärkten Lüftungsmaßnahmen nutzen Reduzierung des Wertes < 3.000 µg/m³ innerhalb 1 Monats. Toxikologische Einzelstoff-/Stoffgruppenbewertung vornehmen.
> 10.000 µg/m³	Hygienisch inakzeptabel Räume nicht oder allenfalls befristet (wenige Stunden) bei gleichzeitig verstärkten Lüftungsmaßnahmen nutzen. Bei Werten > 25.000 µg/m³ ist generell von einer Raumnutzung abzusehen.

Tab. 12: Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten nach (Ad-hoc-AG IRK/ALOG 2007)

In den Kriterienkatalogen der österreichischen Gebäudebewertungssysteme klima:aktiv[6] (Lebensministerium) und Total Quality Building TQB[7] (Österreichische Gesellschaft für nachhaltiges Bauen ÖGNB) sind Zielwerte für emissionsarme Bauprodukte und Schadstoffe in der Innenraumluft festgelegt. Die Anforderungen liegen je nach Produktgruppe zwischen 100 und 500 µg/m³. Die Gesamt-Innenraumluftkonzentrationen werden in einem Punktesystem bewertet. Erreichen die TVOC-Konzentrationen in der Raumluft mehr als 3000 µg/m³ werden keine Punkte vergeben. Darunter werden die Konzentrationen in vier weiteren Abstufungen bewertet. Die höchste Anforderungsstufe von maximal 300 µg/m³ entspricht dem Zielwert für Neubauten und nach Sanierungsarbeiten in Tabelle 12.

[6] Siehe Abschnitt D.2 und D.3 des Kriterienkatalogs klima:aktiv Bauen und Sanieren, Kriterienkatalog Wohngebäude Sanierung, Version 3.0, 01.01.2012, erstellt von: Energieinstitut Vorarlberg, Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, im Auftrag von: Lebensministerium, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie; download unter http://www.klimaaktiv.at/article/articleview/75401/1/27218

[7] Siehe Abschnitt D.2.2 der Dokumentation von TQB für Wohngebäude; download unter https://www.oegnb.net/tqbtest.htm

7.4 Biologisch bedingte Gefährdungen – Schimmelpilze

7.4.1 Innenraumrelevante Schimmelpilze

Von den über 100.000 bekannten Pilzarten treten 200 im Zusammenhang mit Feuchteschäden auf, davon lediglich 50 Arten häufig. Nur wenige Arten sind charakteristisch für feuchte Baumaterialien bzw. feuchte Bausubstanz. (Zwiener 2012)

Art	Typische Quelle
Stachybotrys chartarum, Accremonium spp.	Zellulosehaltiges Baumaterial, sehr feucht
Phialophora spp., Engyodontium album	Feuchter Putz
Aspergillus penicillioides, Aspergillus restrictus, Eurotium spp., Wallemia sebi	Zellulosehaltiges Baumaterial, leicht erhöhte Feuchtigkeit
Aspergillus versicolor, Chaetomium spp., Trichoderma spp	Feuchte Bausubstanz

Tab. 13: Für feuchte Baumaterialien oder Bausubstanz typische Schimmelpilzarten. Tabelle nach Zwiener (2012, S. 488)

7.4.2 Ursachen für Schimmelpilzbefall im Innenraum

Die Ursache für den Befall von Innenräumen mit Schimmelpilzen ist eine erhöhte Feuchtigkeit im Innenraum. Diese ist

1. hygrothermisch bedingt, d.h. sie entsteht durch unzureichendes Lüften und/oder Heizen, mangelnde Luftzirkulation oder durch Baumängel wie Wärmebrücken
2. bauschadensbedingt, d.h. Bauteile sind z.B. durch aufsteigende Feuchte, Dachleckagen oder Havarien wie Wasserrohrbruch stark durchfeuchtet
3. und/oder auf zusätzliche Feuchteeinträge wie Wäsche oder Pflanzen zurückzuführen

Neben erhöhter Innenraumfeuchte sind u.a. Raum- und Oberflächentemperatur, Nährstoffangebot, pH-Wert, Oberflächenbeschaffenheit und die Pilzbelastung im Umfeld Faktoren für das Wachstum und die Verbreitung von Schimmelpilzen. Bei Bauteildurchfeuchtungen beginnt bei guten Wachstumsbedingungen das Pilzwachstum bereits 3–7 Tage nach dem Havariefall. Der Zeitfaktor spielt also bei der Schadensbehebung bzw. -vermeidung ebenfalls eine entscheidende Rolle (UBA 2005).

7.4.3 Wirkungen von Schimmelpilzen auf die Gesundheit

Die gesundheitsgefährdende Wirkung von Schimmelpilzen geht aus den fadenförmigen Zellen (Hyphen/Myzelien), den Vermehrungseinheiten (Sporen/Konidien) sowie den Stoffwechselprodukten in/an Sporen und Myzelien (Mykotoxine) und den mikrobiologisch erzeugten flüchtigen organischen Verbindungen (MVOC) hervor. Letztere sind als typischer Schimmelgeruch wahrnehmbar und häufig Indikatoren für nicht sichtbaren Schimmelpilzbefall. Diese Bestandteile und Emissionen der Pilze bewirken insbesondere bei geschwächten Personengruppen wie Allergikern, immunsupprimierten Personen oder Personen mit chronischen Atemwegserkrankungen

1. Sensibilisierungen und allergische Reaktionen wie Asthma, Rhinitis, allergische Alveolitis

2. Atemwegs-, Augen- und Hautreizungen wie MMIS (Mucous Membrane Irritation Syndrom), ODTS (Organic Dust Toxic Syndrom)
3. Infektionen wie pulmonale Mykose (selten, bei besonders geschwächten Personen)
4. Intoxikationen (Mykotoxine) mit u.a. karzinogener, neurotoxischer, mutagener, immunsuppressiver und organschädigender Wirkung

Typische Syptome sind die o.g. Reizerscheinungen oder allergische Reaktionen, Grippesymptome, Erschöpfungserscheinungen (Chronic Fatigue Syndrom), Konzentrationsstörung, Verdauungsstörungen und Übelkeit. (Zwiener 2012)

7.4.4 Vorgehensweise bei (Verdacht auf) Schimmelpilzbefall

Bei Verdacht auf Schimmelpilzbefall, z.B. aufgrund

1. sichtbarer Schäden
2. Materialfeuchtigkeit oder bauphysikalischer Auffälligkeiten ohne sichtbare Schaden
3. Gesundheitlicher Beschwerden oder
4. Geruchsbelästigung (charakteristischer Schimmelpilzgeruch)

wird eine gründliche Gebäudeanamnese durchgeführt. Die Gebäudeanamnese kann z.B. in Anlehnung an den „Schimmelpilz-Leitfaden“ (UBA 2002) bzw. „Schimmelpilzsanierungs-Leitfaden“ (UBA 2005) erfolgen. Sie besteht aus einer Ortsbegehung und Erhebung der Randbedingungen. Wird ein starker sichtbarer Schimmelpilzbefall festgestellt, werden eine abschließende Beurteilung, u.U. gestützt durch Material- oder Oberflächenkontaktproben, und das Sanierungskonzept erstellt.

Besteht lediglich ein Verdacht auf Schimmelpilzbefall, d.h. ist kein Befall sichtbar, wird unter Berücksichtigung des Anlassfalls der Begehung (Materialfeuchtigkeit, gesundheitliche Beschwerden oder Geruchsbelästigung) eine Messstrategie entwickelt. Als Nachweisverfahren eignen sich

1. Materialproben bei Materialfeuchtigkeit, bei der Sanierungskontrolle oder bei Desinfektionsverdacht[8]
2. Luftproben (auch ergänzend zu Materialproben) zur Ermittlung von Konzentration und Arten, damit verbunden auch von Hinweisen auf Quellen
3. Staubproben bei Verdacht auf Sekundärkontamination
4. Spürhund bei verdecktem Befall und Verdacht auf MVOC

Das Verfahren schließt wieder mit einer Beurteilung und der Erstellung eines Sanierungskonzepts ab. Sind umfangreiche Sanierungsmaßnahmen erforderlich, die immer von Facharbeitern durchgeführt werden müssen, ist zur Vorbereitung der Sanierungsmaßnahmen die Dringlichkeit der Sanierung und die Gefährdung der Nutzer und ArbeitnehmerInnen (siehe hierzu auch Verordnung biologische Arbeitsstoffe – VbA) festzustellen. Dementsprechend werden die notwendigen Schutzmaßnahmen getroffen und die erfordelichen Sanierungsmaßnahmen durchgeführt. Zu beachten ist, dass eine Desinfektion allein oft nicht ausreicht, da auch von abgetöteten Pilze (siehe oben, Mykotoxine) Gesundheitsgefahren ausgehen können. Die Arbeiten sollten immer mit einer Feinreinigung und der Kontrolle der Sanierungsmaßnahmen abschließen. Ziel der

[8] Desinfektionsverdacht: es besteht der Verdacht, dass (bei früheren Sanierungsmaßnahmen) Desinfektionsverfahren eingesetzt, befallene Materialen aber nur unzureichend und nicht sachgemäß entfernt wurden.

Sanierung schimmelpilzbelasteter Innenräume ist es, die Nutzbarkeit der Räume bzw. des Gebäudes wiederherzustellen.

7.5 Biologisch bedingte Gefährdungen – Holz zerstörende Pilze

Holzzerstörende Pilze stellen eine weitere biologisch bedingte Gefährdung von Gebäuden dar. Der Fokus liegt hierbei jedoch auf dem Erhalt der Bausubstanz, da mit dem Befall von Holz und Holzwerkstoffen auch die konstruktiven Elemente innerhalb eines Gebäudes betroffen sein können und somit die Sicherheit der Nutzer nicht mehr gewährleistet werden kann. Gesundheitliche Beeinträchtigungen spielen eine untergeordnete Rolle, obwohl auch einige Arten der holzzerstörenden Pilze ebenso wie Schimmelpilze eine reizende oder sensibilisierende Wirkung haben können. Holzzerstörende Pilze benötigen für Wachstum und Verbreitung vor allem eine hohe Feuchtigkeit, deshalb ist die Gefahr, dass gleichzeitig Schimmelpilzbefall, verbunden mit entsprechenden Wirkungen auf die Gesundheit auftritt, durchaus gegeben.
Holzbesiedelnde Pilze, die im Gegensatz zu den holzzerstörenden Pilzen keine Schwächung oder Zerstörung der Bausubstanz bewirken, werden hier nicht betrachtet. Sie können jedoch sehr wohl ein Hinweis auf erhöhte Feuchtigkeit und damit auch auf (nicht sichtbaren) Befall durch holzzerstörende Pilze sein. (Berg 2010)

7.5.1 Ursachen, Quellen und Verbreitung holzzerstörender Pilze

Holzzerstörende Pilze benötigen für Verbreitung und Wachstum eine erhöhte Materialfeuchte, je nach Pilzart deutlich oberhalb der von der Holzart abhängigen Fasersättigung von durchschnittlich 30 %. Eine Ausnahme bildet der Echte Hausschwamm, der auch mit geringerer Holzfeuchte auskommt. Mögliche Ursachen für die erhöhte Materialfeuchte sind

1. Bauschadensfälle größeren Ausmaßes wie starke Bauteildurchnässung infolge Rohrbruchs, Kellerüberflutung o.ä.
2. Undichte Stellen in Wänden, Dach oder erdberührten Bauteilen
3. Bauphysikalisch bedingte erhöhte Feuchte z.B. aufgrund von Wärmebrücken und daraus resultierender Kondensatbildung
4. Unzureichende Austrocknungszeiten bei Neubau oder Gebäudesanierung (Zwiener 2012)

Wie auch bei den Schimmelpilzen geht der Befall der Bauteile von den Sporen aus, die über die Luft verbreitet werden. Aus diesen bilden sich bei günstigen Wachstumsbedingungen[9] Myzelien und später Fruchtkörper. Weiters werden holzzerstörende Pilze durch bereits infizierte (Bau-)Materialien aus feuchtebelasteten Gebäudebereichen oder durch die Wieder-/Weiterverwendung von Baumaterial wie Altholz oder Mauersteinen aus Abbruchmaßnahmen eingeschleppt. Es besteht zudem die Gefahr der Verbreitung von Sporen durch die Nutzer. Holzzerstörende Pilze befallen Bauteile und Einbauten aus Holz und Holzwerkstoffen wie z.B. konstruktive Holzbauteile in Dach- und Wandkonstruktionen, Türen, Bodenbeläge, Wandbauplatten so-

[9] Laut ÖNORM B 3802-3 tritt Pilzbefall ab einer langfristigen oder regelmäßigen Holzfeuchte von mehr als 20 % und Temperaturen zwischen 5 °C und 25 °C auf. Literaturangaben zufolge ist eine Holzfeuchte von mehr als 30 % erforderlich (Ausnahme Echter Hausschwamm)

wie andere zellulosehaltiges Material (Bücher, Tapeten, etc.). Einge Arten wachsen auch auf (porösem oder rissigem) Mauerwerk.
Die holzzerstörenden Pilze zersetzen die Biomasse von außen, aber auch von innen. Oftmals ist die Schädigung des Holzes daher schon sehr weit fortgeschritten, obwohl der Befall von außen nicht erkennbar ist. Ist hingegen ein Fruchtkörper sichtbar, ist auch die Schädigung des Holzes schon weiter fortgeschritten. Einige Pilzarten bevorzugen Bereiche, die vor Luftzug geschützt sind. Sie bleiben daher z.B. hinter Wandbauplatten, im Fußboden- oder Deckenbereich häufig lange Zeit unentdeckt. Bei nicht sichtbarem Befall sind Schäden an der Konstruktion (z.B. Absacken des Fußbodenbelags), ein pilztypischer oder modriger Geruch und/oder Sporenstaub auf den Oberflächen Indizien für den verdeckten Befall. (Berg 2010)
Myzelien können zudem Trockenperioden überdauern (z.B. Echter Hausschwamm ca. 2 Jahre) und auch Sporen bleiben über Jahre hinweg keimfähig. Liegen dann wieder günstigere Wachstumsbedingungen vor, d.h. wird vor allem wieder Feuchte zugeführt, keimen die Sporen wieder bzw. breiten sich die Myzelien aus. Aus diesem Grund kann unter Umständen nach einer bereits durchgeführten, aber unzureichenden Bekämpfung erneut ein Schaden durch holzzerstörende Pilze entstehen, wenn die Sporen und Myzelien nicht vollständig abgetötet worden waren.

7.5.2 Abbauverhalten holzzerstörender Pilze

Das Abbauverhalten holzzerstörender Pilze ist eine artspezifische Eigenschaft und die Pilze werden anhand ihres Fäuletyps unterschieden. Für Gebäude sind Braun- und Weißfäule, untergeordnet auch die Moderfäule relevant. Sie sind in Tabelle 14 zusammen mit den jeweiligen Pilzarten dargestellt. Ein gleichzeitiger Befall durch Pilze unterschiedlicher Fäuletypen ist möglich. (Zwiener 2012)

Fäuletyp	Erscheinungsbild	Pilzart/-gruppe[10]
Braunfäule: Abbau von Cellulose und Hemicellulose, Modifikation von Lignin	Braunfärbung, Zerfall in Längs- und Querrichtung der Fasern, Würfelbruch und bei fortgeschrittener Fäule bis hin zu pulverähnlichem Zerfall des Holzes bei Berühren	- *Echter Hausschwamm (Serpula lacrymans)* - *Kellerschwämme (Coniophora spp.)* - *Porenschwämme (überwiegend weiße Porenschwämme: Antrodia)* - *Blättlinge (Gloeophyllum spp.)* - Braunfäuleerreger mit Lamellen, z.B. Muschelkrempling oder Grubenschwamm (Paxillus bzw. Tapinella panuoides) - Fältlingshäute (Leucogyrophana spp.) - Wilder Hausschwamm (Serpula himantioides)
Weißfäule: Simultanfäule, d.h. zeitgleicher Abbau von Lignin, Cellulose und Hemicellulose zu ungefähr gleichen Teilen	Holz wird weich, hellt sich stark auf, Zerfall in Längsrichtung der Fasern, Gewichtsverlust	- *Ausgebreiteter Haussporling (Donkioporia expansa)* - *Weißfäuleerreger mit Lamellen, z.B. Seitlinge (Pleurotus spp.)* - Sternsetenpilze (Asterostroma spp.) - Stachelsporlinge (Trechispora spp.) - Schicht- und Rindenpilze, z.B. Dünnfleischiger Rindenpilz (Hyphoderma praetermissum)[11]
Moderfäule: Abbau von Cellulose und Hemicellulose Benötigt ständige Feuchte oder Erdkontakt. Bei anhaltend hoher Holzfeuchtigkeit auch im Gebäudeinneren möglich, spielt aber bei Schäden in Innenräumen nur eine untergeordnete Rolle.	Ähnlich der Braunfäule, Würfelbruch, dunkle, schwarze bis silbrige Färbung. Bei feuchter Oberfläche modrig bis schmierig	- Klasse der Ascomyceten: Chaetomium - Klasse der Deuteromyceten (Funghi imperfecti: Phialophora, Paecilomyces, Trichoderma

Tab. 14: Gebäude charakteristische Pilzarten und deren Abbauverhalten nach Berg (2010, S. 300ff)

[10] Die in/an Gebäuden häufigsten Arten nach Berg (2010), darin Häufigkeiten nach Huckfeldt (2006) über 5 % kursiv geschrieben.
[11] Überwiegend Weißfäule

7.5.3 Identifizierung holzzerstörender Pilze, deren Quelle und Ursache – Vorbereitung der Bekämpfungsmaßnahmen

Für die eindeutige Identifizierung der Pilzarten und die Ursachen des Befalls, die Bewertung des Pilzbefalls und die Vorbereitung und Durchführung von Bekämpfungsmaßnahmen sind Kenntnisse über holzzerstörende Pilze, ihre Lebens-, Wachstums- und Verbreitungsbedingungen aber auch Kenntnisse in der Baukonstruktion und Bauphysik unerlässlich. Daher sind qualifizierte Fachleute, Fachfirmen oder Sachverständige, ggf. auch Experten des Denkmalschutzes mit den o.g. Aufgaben zu betrauen. Dabei gelten die Vorgaben von ÖNORM B 3802-3 Holzschutz im Hochbau - Teil 3: Bekämpfungsmaßnahmen gegen Pilz- und Insektenbefall

Zunächst sind im Rahmen einer Gebäudebegehung die Stellen zu orten, durch die Feuchte in das Gebäude eintritt. Dies betrifft allgemein die Gebäudeaußenhaut und insbesondere Abdichtungen, Eindeckungen, regenableitende Bauteile oder kritische Stellen der Gebäudegeometrie (Ecken, Kehlen, einbindende Bauteile, etc.). Durch

1. Öffnen von Konstruktionen und Sichtkontrolle
2. mechanische Prüfung des Holzzustands (z.B. durch Klopfen, ggf. auch Bohrwiderstandsmessung), insbesondere auch der Beurteilung der Standsicherheit statisch wirksamer Bauteile
3. genaue Untersuchung des Mauerwerks und der Fugen, ggf. Herausbrechen einzelner Steine, ergänzt durch die Kontrolle von Verputz, Verkleidung, Hohlräumen (Sonderfall Verdacht auf Echten Hausschwamm) und/oder
4. endoskopische Prüfung, wenn eine zerstörungsfreie Analyse der Bausubstanz erforderlich ist (Sonderfall Denkmalschutz)

werden (mögliche) betroffene Bereiche genauer untersucht. Pilze können anhand makroskopischer Merkmale des Fruchtkörpers und, falls ein solcher nicht vorhanden ist, auch der Myzelien bestimmt werden. Häufig ist zusätzlich eine mikroskopische oder molekularbiologische Analyse zur eindeutigen Bestimmung der Pilzart erforderlich. Letztere wird vor allem dann angewendet, wenn das befallene Holz bereits stark abgebaut ist und Fruchtkörper und Myzelien für eine mikroskopische Analyse nicht vorhanden sind. Der Erfolg dieser Analysemethode ist jedoch davon abhängig, ob noch ausreichend DNS der/des Pilze/s im Holz vorliegt. (Berg 2010)

7.5.4 Bekämpfung von holzzerstörenden Pilzen

Nachfolgend sind auszugsweise Bekämpfungsmaßnahmen von holzzerstörenden Pilzen nach ÖNORM B 3802-3 beschrieben. Bei Bekämpfungsmaßnahmen sind jedenfalls die Bestimmungen zum Arbeits- und Nutzerschutz einzuhalten. Die wesentlichen Schritte sind:

1. Freilegung der Bauteile und mechanisches Entfernen der Pilze, d.h. aller Holzteile deutlich über den erkennbaren Befall hinaus, ggf. Abtöten der Pilze durch Chemikalien oder Hitzebehandlung
2. Rekonstruktion von Bauteilen, ggf. Wiederherstellen der Tragfähigkeit
3. Falls erforderlich, vorbeugender chemischer Holzschutz, insbesondere in statisch beanspruchten Bereichen (z.B. Balkenköpfe)
4. Konstruktive, energetische und/oder technische Sanierung, d.h. (langfristige) Beseitigung der Feuchtigkeitsquelle und ggf. Trockenlegung durchfeuchteter Bereiche

5. Fachgerechte Entsorgung, idealerweise durch Verbrennen, um das Risiko einer erneuten Infizierung von Gebäuden, Bauteilen oder Material so gering wie möglich zu halten

Einen Sonderfall stellt der Echte Hausschwamm dar, der aus den folgenden Gründen besonders schwer zu bekämpfen ist:

1. verdeckter Wuchs in luftzuggeschützten Bereichen
2. benötigt weniger Holzfeuchte für das Wachstum, Myzelien bleiben daher auch länger lebensfähig
3. Ausbreitung nicht nur auf Holz, sondern auch in Mauerwerk, Schüttmaterial oder Kanälen/Rohrleitungen
4. weitreichende Strangmyzelien (mehrere Meter von der Feuchtequelle entfernt)
5. durch sein dichtes Oberflächenmyzel wird die Austrocknung der befallenen Stelle verhindert (Zwiener 2012)

Bei Befall mit Echtem Hausschwamm sind daher weitere bzw. abweichende Maßnahmen zu setzen (deutlich ausgeweitete Untersuchung an den Befall angrenzender Bauteile und Räume, Behandlung der befallenen Stellen mit Chemikalien und durch Abflämmen), die in ÖN B 3802-2 ausführlich erläutert werden.

7.6 Relevante Regelwerke und weiterführende Literatur

Der folgende Abschnitt nennt die wichtigsten Regelwerke zum Kapitel 7 Schadstoffe in Gebäuden. Gesetzesblätter und Verordnungen sind in der jeweils geltenden Fassung anzuwenden und unter www.ris.bka.gv.at einsehbar. Verweise auf weitere gesetzliche und normative Vorgaben in den jeweiligen Regelwerken sind zu berücksichtigen.

7.6.1 Arbeitnehmer/innenschutzvorschriften

5. BGBl. Nr. 450/1994, ArbeitnehmerInnenschutzgesetz – ASchG,
6. BGBl. Nr. 218/1983, Allgemeine Arbeitnehmerschutzverordnung – AAV
7. BGBl. Nr. 340/1994, Bauarbeiterschutzverordnung – BauV
8. BGBl. II Nr. 253/2001, Grenzwerteverordnung 2011 – GKV 2011

ergänzend für Asbestfasern:

9. EU-Richtlinie 83/477/EWG, Richtlinie des Rates vom 19. September 1983 über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Asbest am Arbeitsplatz (Zweite Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 8 der Richtlinie 80/1107/EWG)
10. ÖNORM M 9406:2001 08 01, Umgang mit schwach gebundenen asbesthaltigen Materialien
11. ÖNORM M 9405:1993 10 01, Messung von Asbestfaserkonzentrationen in der Luft
12. Technische Regel für Gefahrstoffe 519, Asbest: Abbruch-, Sanierungs- oder Instandhaltungsarbeiten (TRGS 519), Ausgabe: Januar 2007, berichtigt März 2007, Ausschuss für Gefahrstoffe, BAuA Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-519.html
13. Ergänzung zur Asbest-Kampagne 2006: Ein praxisbezogener Leitfaden zu den optimalen Verfahren zur Verhinderung oder Minimierung von asbestbezogenen Risiken bei Arbeiten, die im Zusammenhang mit Asbest stehen (oder stehen können) – für Arbeitgeber, Arbeitnehmer und Arbeitsaufsichtspersonen, herausgegeben vom Ausschuss Hoher Arbeitsaufsichtsbeamter (SLIC), EUROPÄISCHE KOMMISSION, Arbeit, Soziales und Chancengleichheit, Sozialer Dialog, soziale Rechte, Arbeitsbedingungen, Anpassung an den Wandel, Gesundheit, Sicherheit und Hygiene am Arbeitsplatz, http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/0B28C0C7-D2E0-46BE-9C3C-A472CE1B6700/0/Leitfaden_Asbest.pdf

ergänzend für Künstliche Mineralfasern (KMF):

14. EU-Richtlinie 97/69/EG, Richtlinie 97/69/EG der Kommission vom 5. Dezember 1997 zur dreiundzwanzigsten Anpassung der Richtlinie 67/548/EWG des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften für die Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe an den technischen Fortschritt

7.6.2 Toxikologie

15. BGBl. Nr. 210/1993, Verbot von halogenierten Biphenylen, Terphenylen, Naphthalinen und Diphenylmethanen
16. BGBl. I Nr. 53/1997, Chemikaliengesetz 1996 – ChemG 1996
17. BGBl. II Nr. 81/2000, Chemikalienverordnung 1999 – ChemV 1999

18. BGBl. II Nr. 477/2003, Chemikalien-Verbotsverordnung 2003 – ChemVerbotsV 2003

19. BGBl. II Nr. 126/2003, Giftliste-Verordnung 2002

20. BGBl. III Nr. 158/2004, Stockholmer Übereinkommen über persistente organische Schadstoffe

21. Chemikalienverbotsverordnung 2010 – ChemVerbotsV 2010 (Entwurf)

7.6.3 Produkteigenschaften, -kennzeichnung und -verpackung

22. Europäische Bauprodukteverornung, Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates

23. REACH-Verordnung, Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Chemikalienagentur, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission

24. CLP-Verordnung, Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006

7.6.4 Abfall und Entsorgung

25. BGBl. II Nr. 227/1997, Festsetzungsverordnung 1997

26. BGBl. I Nr. 102/2002, Abfallwirtschaftsgesetz 2002

27. BGBl. II Nr. 389/2002, Abfallverbrennung – Sammelverordnung

28. BGBl. II Nr. 570/2003, Abfallverzeichnisverordnung

29. BGBl. II Nr. 39/2008, Deponieverordnung 2008

7.6.5 Biogene Schadstoffe – Schimmelpilze und holzzerstörende Pilze

30. BGBl. II Nr. 237/1998, Verordnung biologische Arbeitsstoffe – VbA

31. Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen („Schimmelpilz-Leitfaden“), Erstellt durch die Innenraumlufthygienekommission des Umweltbundesamtes, Umweltbundesamt Berlin, 2002

32. Leitfaden zur Ursachensuche und Sanierung bei Schimmelpilzwachstum in Innenräumen („Schimmelpilzsanierungs-Leitfaden“). Erstellt durch die Innenraumlufthygienekommission des Umweltbundesamtes, Umweltbundesamt Dessau, 2005

33. ÖNORM B 3802-3:2003 10 01 Holzschutz im Hochbau - Teil 3: Bekämpfungsmaßnahmen gegen Pilz- und Insektenbefall

34. DIN 68800-4 Holzschutz – Teil 4: Bekämpfungs- und Sanierungsmaßnahmen gegen Holz zerstörende Pilze und Insekten Ausgabedatum: 2012-02

7.6.6 Holzschutz im Hochbau

35. ÖNORM B 3801: 2009 01 01, Holzschutz im Hochbau – Benennungen und Definitionen sowie Grundlagen

36. ÖNORM B 3802-1: 1995 12 01, Holzschutz im Hochbau – Baulicher Schutz des Holzes

37. ÖNORM B 3802-2: 1998 04 01, Holzschutz im Hochbau – Chemischer Schutz des Holzes

38. DIN 68800-1:2011 10 Holzschutz – Teil 1: Allgemeines

39. DIN 68800-2:2012 02 Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau (Gilt in Verbindung mit DIN 68800-1 (2011-10))

40. DIN 68800-3:2012 02 Holzschutz – Teil 3: Vorbeugender Schutz von Holz mit Holzschutzmitteln (Gilt in Verbindung mit DIN 68800-1 (2011-10))

8 Dämmstoffrelevante Einträge[12]

8.1.1 Ammoniumpolyphosphate

Brandschutzmittel für Zellulose-, Holzfaser-, Flachs- und Hanfdämmstoffe. Ammoniumpolyphosphate werden in großtechnischen Verfahren aus Phosphaten in Ammoniak-Atmosphäre hergestellt. Ammoniumpolyphosphate gelten als vergleichsweise gesundheits- und umweltverträgliche Flammschutzmittel. Im Brandfall entstehen Ammoniak und Phosphoroxide.

8.1.2 Benzol

Rohstoff für Polystyrol- und Syntheselatex-Produktion. Benzol ist der einfachste Vertreter der aromatischen Kohlenwasserstoffe. Die Gewinnung erfolgt aus dem Pyrolysegas des Crackprozesses und der Aromatenfraktion des Reformatprozesses. Benzol ist nachweislich erbgutschädigend und krebserzeugend (Kategorie 1 ➔ krebserzeugende Arbeitsstoffe). Die Chemikalien-Verbotsverordnung 2003 (BGBl. II Nr. 477/2003) verbietet daher das Inverkehrsetzen von Zubereitungen, die als Lösemittel Benzol enthalten. Benzol kommt in Lösemitteln nun nur noch als geringfügige Verunreinigung vor. Seit dem Benzolverbot sind die Hauptquellen für Benzol in der Innenraumluft die Außenluft und Tabakrauch.

8.1.3 Borsalze, Borate

Gemeinsam mit Borsäure als Brandschutzmittel in Dämmstoffen. Borax (Natriumborat), das bedeutendste Borat, wird aus Rohboraten, die durch Austrocknung von Salzseen („Boraxseen“) entstehen, gewonnen. Große Vorkommen befinden sich z.B. in Kalifornien. Zur Trennung von den Verunreinigungen in den Rohboraten bedient man sich hier der vorzüglichen Wasserlöslichkeit von Boraten (55 g pro 100 g Wasser). Zunächst werden die Minerale über einen Magnetschneider geführt, unter Rühren aufgeschlämmt und bis nahe zum Sieden erhitzt. Nachdem Borax in Lösung gegangen ist, wird der Schlamm ausgewaschen und entfernt, danach wird die reine Boraxlösung über ein Eindickersystem geführt. Zuletzt wird im Vakuumkristallisator unter Temperatureinstellung das Dekahydrat (oder das Pentahydrat) kristallisiert und die Kristalle getrocknet [Gann 1992].
Borate sind in normalen Konzentrationen (5–20 mg/kg Boden) für Pflanzen essentiell, in höheren Konzentrationen (über 20 mg/kg) toxisch. In Müllsickerwässern wurden Boratkonzentrationen von 2,0–8,5 mg/l gemessen. [Zwiener/Mötzl 2006].
Borate über spezifischen Konzentrationsgrenzen (z.B. über 8,5 % bei Boraxdekahydrat) sind als reproduktionstoxisch Kategorie 1 B eingestuft (1. ATP zur CLP-Verordnung, Verordnung (EG) Nr. 790/2009). Die Kennzeichnung erfolgt mit dem Zusatz H360FD (Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann das Kind im Mutterleib schädigen).

[12] Aktualisierter Text aus IBO Passivhaus Bauteilkatalog 2009

8.1.4 Borsäure

Borsäure wird zusammen mit Borax als Flammschutzmittel (Antischwelmittel) in Dämmstoffen eingesetzt. Natürlich kommt Borsäure (Orthoborsäure, Summenformel: H_3BO_3) in Wasserdampfquellen in der Toskana vor. Technisch wird Borsäure aus Natriumborat oder Calciumboraten hergestellt. Da Borsäure eine schwache Säure ist, kann sie mit starken Mineralsäuren (z.B. konzentrierter Schwefelsäure) aus ihren Salzen verdrängt werden. Daran schließt eine Reinigung durch Umkristallisation oder fraktionierte Kristallisation an, wobei Gips als Nebenprodukt ausfällt. Borsäurekristalle entstehen beim langsamen Abkühlen von Starklaugen. Der Ansatz wird so gewählt, dass die Lauge möglichst lange klar bleibt, ehe die Kristallisation beginnt. Fremdsalz, wie Natriumchlorid oder Natriumsulfat muss entfernt werden, um die Bildung unansehnlicher Kristalle zu vermeiden. Zuletzt wird gewaschen und getrocknet. Zur Herstellung von chemisch reinen Schuppen muss mehrmals umkristallisiert werden [Gann 1992].
Aufgrund tierexperimenteller Befunde wurde festgestellt, dass Borsäure ein kumulatives Gift sein kann, wenn sie als Salbe auf Wundflächen aufgebracht wird. Das betrifft auch im besonderen Maße borsäurehaltige Mundspülungen. Diese Anwendungsbereiche befinden sich daher bereits seit Jahren auf dem Rückzug. Der Inhalation von Borsäurestäuben folgt kurze Irritation, jedoch keine progressive Erkrankung.
Borsäure über 5,5 % Konzentration ist in reproduktionstoxisch Kategorie 1 B eingestuft (1. ATP zur CLP-Verordnung, Verordnung (EG) Nr. 790/2009). Die Kennzeichnung erfolgt mit dem Zusatz H360FD (Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann das Kind im Mutterleib schädigen) (siehe auch ➔ Borsalze)

8.1.5 Dicumylperoxid

Flammschutzmittel in EPS- und XPS-Platten, Vernetzungsmittel für Polyolefine und Elastomere, Härter von ungesättigten Polyesterharzen. Dicumylperoxid ist die Kurzbezeichnung für Bis(1-methyl-1-phenylethyl)peroxid ($C_{18}H_{22}O_2$). Es ist in H242 (Erwärmung kann Brand verursachen), H315 und H319 (Verursacht Hautreizungen und verursacht schwere Augenreizung) und in H411 (Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung eingestuft.

8.1.6 Flüchtige organische Verbindungen

siehe Volatile Organic Compounds (VOC)

8.1.7 Formaldehyd

Raumluftschadstoff, Bestandteil von Bindemitteln (➔ Formaldehydhältige Harze) und Bestandteil von Konservierungsmittel in Anstrichsystemen. Formaldehyd ist ein farbloses, stechend riechendes Gas, giftig (H311 Giftig bei Hautkontakt, H301 Giftig bei Verschlucken). Bereits in geringen Konzentrationen kann er zu Reizungen der Schleimhäute führen, bei höheren Konzentrationen sind Lungenschäden möglich (H330 Lebensgefahr bei Einatmen). Bei Hautkontakt mit Formaldehydlösungen können Verätzungen (H314 Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden) und Allergien ausgelöst werden (H317 Kann allergische Hautreaktionen verursachen)..
Formaldehyd gilt als krebserzeugend und ist daher in Carc. 2 mit dem Zusatz H351 (Verdacht auf Krebs erzeugende Wirkung) eingestuft. Von der International Agency on Research of Cancer (IARC) wird aufgrund von Studien und Tierversuchen die Evidenz für den Zusammenhang mit Krebs des Nasenrachenraums beim Menschen als ausreichend angesehen (IARC 2005). Das Bundesinstitut für Risikoforschung (BfR) hat

eine toxikologische Bewertung vorgenommen: Die krebsauslösende Wirkung von Formaldehyd geht mit einer Veränderung der Erbinformation einher. Auf der Basis von Tierdaten zur Zellproliferation sowie von Humandaten zur sensorischen Irritation des oberen Respirationstraktes wurde für Formaldehyd eine tolerierbare Luftkonzentration als sogenannter „safe“ level abgeleitet, die bei 0.1 ppm (parts per million) – das sind 0,124 mg/m³ - liegt. Dies ist eine neue Vorgangsweise: In der Vergangenheit wurde bei der Bewertung von Substanzen, deren krebserzeugende Wirkung über eine Veränderung der Erbinformation ausgelöst wird, der Ansatz zugrunde gelegt, dass jede Menge als schädlich angesehen wurde und kein Schwellenwert abgeleitet.

8.1.8 Formaldehydhältige Harze

Bindemittel in Holzwerkstoffen und Mineralwolle. Formaldehydhältige Harze sind Harnstoff-Formaldehyd-Harze (UF), Phenol-Formaldehyd-Harze (PF) und Melamin-Formaldehyd-Harze (MF), sog. Aminoplaste. UF-Harze, die vor allem in Holzwerkstoffplatten für Möbel eingesetzt werden, können sich bei hohen Luftfeuchten zurückbilden und weisen daher unter ungünstigen Bedingungen besonders hohe Formaldehydemissionen auf.
Die bedeutendsten Quellen für Formaldehyd in Innenräumen sind Tabakrauch und Holzwerkstoffplatten. Bei der Formaldehydfreisetzung aus Holzwerkstoffen handelt es sich um einen Prozess, der während der gesamten Lebensdauer eines solchen Produkts zu beobachten ist. Die Anfangsemission nimmt zwar schnell ab, nähert sich dann aber einem – über einen langen Zeitraum – relativ konstanten Wert. Formaldehydhältige Anstriche verursachen dagegen nur eine vorübergehende Belastung.
Für Holzwerkstoffe sind die Anforderungen hinsichtlich der Formaldehydabgabe in der Formaldehydverordnung (Österreich, BGBl 194/1990) bzw. in der Chemikalien-Verbotsverordnung (Deutschland, 13. Juni 2003 (BGBl. I S. 867), zuletzt geändert 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212)) geregelt. Sie dürfen nur in Verkehr gebracht werden, wenn die durch sie verursachte Ausgleichskonzentration des Formaldehyds in der Luft eines Prüfraumes 0,1 ppm nicht überschreitet. Die Bedingungen im Prüfraum (Luftwechsel, Beladung, Temperatur, Feuchte) stimmen allerdings oft nicht mit den Bedingungen in realen Innenräumen überein. Umweltzeichen wie natureplus, Österreichisches Umweltzeichen oder Blauer Engel setzen daher strengere Grenzwerte für die Formaldehydemissionen an.

8.1.9 Harnstoff-Formaldehyd-Harz

Siehe formaldehydhältige Harze

8.1.10 Hexabromcyclododecan (HBCDD)

Bromiertes Flammschutzmittel in EPS- und XPS-Platten, Textil- und Teppichrückenbeschichtungen. Ausgangsstoff ist Butadien (➔ krebserregender Arbeitsstoff Kategorie 1 gem. [MAK 2011]). Unter Zuhilfenahme der Katalysatoren Titan, Chrom oder Nickel erfolgt die Cyclotrimerisation zu Cyclododecatrien (CDT). CDT wird zu Hexabromcyclododecan (HBCDD) bromiert. Brom wird aus Meerwasser gewonnen. Die genaue Zusammensetzung von HCBDD variiert je nach Herstellungsverfahren. HBCDD weist ein extrem hohes Bioakkumulationspotential auf und kommt bereits in allen Umweltkompartimenten (Luft, Wasser, Boden) vor. Es wurde bereits auch in Lebensmitteln (z.B. Fisch, Fleisch, Eier, Milch) und in Hausstaubproben gefunden.

HBCDD konnte ebenfalls in der Muttermilch schwedischer Frauen nachgewiesen werden. Die akute Toxizität ist gering. Der Stoff ist in der ➔ REACH-Verordnung Anhang XIV im Verzeichnis der zulassungspflichtigen Stoffe und in der REACH-Kandidatenliste der besonders besorgniserregenden Stoffe aufgeführt. Grund für die Aufnahme in die REACH-Kandidatenliste ist, dass HBCDD persistent, bioakkumulierend, toxisch ist (Artikel 57 d REACH Verordnung: Stoffe, die nach den Kriterien des Anhangs XIII der vorliegenden Verordnung persistent, bioakkumulierbar und toxisch sind).

8.1.11 HFKW und HFCKW

HFKW (teilfluorierte Kohlenwasserstoffe) sind die chlorfreie Alternative zu HFCKW (teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe) und werden als Treibmittel in Dämmschäumen verwendet. HFCKW wurden zuerst als Ersatzstoffe für FCKW (Fluorkohlenwasserstoffe) eingesetzt. Wegen der ozonschicht- und klimaschädigenden Wirkung wurde die Verwendung von HFCKW in Österreich in Schaumstoffen mit 1.1.2000 bzw. für neue Kälteanlagen mit 1.1.2002 verboten (HFCKW-VO: BGBl. 750/1995).

HFKW sind nicht ozonschichtschädigend, jedoch ebenso klimaschädlich wie FCKW und HFCKW. Die österreichische HFKW-FKW-SF6-Verordnung, BGBl. II Nr. 447/2002 idgF (BMLFUW 2002), verbietet die Herstellung und die Vermarktung der meisten HFKW-geschäumten Hartschaumstoffe, erlaubt aber einige Ausnahmen:

- Platten mit Dicken über 8 cm dürfen weiter mit bestimmten HFKW (solchen mit einem GWP100 < 300) geschäumt werden.
- Die Landeshauptleute können im Rahmen der mittelbaren Bundesverwaltung (österreichweit gültige) Ausnahmegenehmigungen erteilen. Von dieser Möglichkeit wurde in der Vergangenheit auch Gebrauch gemacht.

8.1.12 Kanzerogene, mutagene, reproduktionstoxische Stoffe (KMR-Stoffe)

KMR-Stoffe sind gemäß Richtlinien 67/548/EWG bzw. 1999/45/EG folgendermaßen definiert:

- Als krebserzeugend (kanzerogen) gelten Stoffe und Zubereitungen, die beim Einatmen, Verschlucken oder bei Hautresorption Krebs erregen oder die Krebshäufigkeit erhöhen können.
- Erbgutverändernde (mutagene) Stoffe und Zubereitungen können beim Einatmen, Verschlucken oder bei Hautresorption vererbbare genetische Schäden zur Folge haben oder ihre Häufigkeit erhöhen.
- Stoffe und Zubereitungen, die beim Einatmen, Verschlucken oder bei Hautresorption nicht vererbbare Schäden der Nachkommenschaft hervorrufen oder die Häufigkeit solcher Schäden erhöhen oder eine Beeinträchtigung der männlichen oder weiblichen Fortpflanzungsfunktionen oder -fähigkeit zur Folge haben können, werden als die Fortpflanzung

beeinträchtigend (reproduktionstoxisch) eingestuft.

Diese Definitionen für KMR-Stoffe stimmen weitgehend mit den Definitionen in der CLP-Verordnung (Verordnung (EG) Nr. 1272/2008) überein. Allerdings werden Zubereitungen in der CLP-Verordnung als Gemische bezeichnet.

8.1.13 Künstliche Mineralfaser (KMF)

Künstliche Mineralfasern (KMF) können bei Tätigkeiten mit Mineralwolle-Produkten freigesetzt werden. Nach der Richtlinie 97/69/EG der Kommission sind Mineralfasern in K3 (krebsverdächtig) eingestuft. Diese

Richtlinie enthält allerdings in der Anmerkung Q Freizeichnungskriterien, nach denen KMF in keine krebserzeugende Kategorie eingestuft werden, wenn sie die geforderten Kriterien erfüllen. Seit dem Jahr 2000 dürfen nur mehr Mineralfaser-Produkte, welche die Freizeichnungskriterien erfüllen, hergestellt und verwendet werden. Einer Exposition mit Mineralfasern ist durch vorschriftsmäßigen Umgang und persönliche Schutzausrüstung vorzubeugen. Durch luftdichte Konstruktionen wird der Eintrag feiner Fasern in die Wohnräume vermieden.

8.1.14 Kunststoff-Stützfasern

Stützfaser und Bindemittel in Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen. Die Stützfasern bestehen aus einer Mantel-Kern-Kombination von thermoplastischen Polymeren, z.B. Polyethen(PE)-Mantel und Polyethylenterephthalat(PET)-Kern. Diese Kombination ermöglicht der Faser bei Erwärmung in den Randbereichen zu schmelzen und damit eine Verbindung zu den Naturfasern des Dämmstoffes zu schaffen. Der innere Kern hat einen höheren Schmelzpunkt, schmilzt nicht und ist für die Festigkeit verantwortlich. Nach Abkühlung ist das gesamte Fasermaterial fix, jedoch elastisch verbunden.
Die Stützfasern bestehen zu 100 % aus fossilen Rohstoffen und werden in einem großtechnischen Prozess hergestellt. Sie sind in der Umwelt stabil und werden biologisch über sehr lange Zeiträume praktisch nicht abgebaut. Durch die Größe der Fasern und ihre schlagzähen Eigenschaften ist eine Inhalation praktisch nicht möglich.

8.1.15 Lösemittel, organische

Einsatz in Farben, Lacken und Klebstoffen. Organische Lösemittel (auch: Lösemittel) wie Alkohole, Glykole, Ester, Ketone sind flüssige organische Stoffe und deren Mischungen, mit denen man andere Stoffe auf physikalischem Weg in Lösung bringt. Die Lösemittel gehören zur Gruppe der flüchtigen organischen Verbindungen (➔ VOC). Sie entweichen während und nach der Verarbeitung in die Luft und werden überwiegend über die Atmung und die Haut aufgenommen. Viele organische Lösemittel sind feuergefährlich, brennbar und zum Teil auch mehr oder weniger stark giftig. Das Toxizitätsspektrum reicht von Kopfschmerzen, Übelkeit und Müdigkeit bis zu kanzerogenen, mutagenen und fruchtschädigenden Wirkungen. Lösemittel können das Zentralnervensystem, Leber und Nieren schädigen. Allgemein wirken Lösemittel narkotisch, berauschend.
Nach gesetzlicher Definition in Österreich (Lösungsmittelverordnung, BGBl. II Nr. 398/2005) und Deutschland(Lösemittelhaltige Farben- und Lack-Verordnung vom 16. Dezember 2004, BGBl. I S. 3508, letzte Änderung 20. Dezember 2010, BGBl. I S. 2194) haben organische Lösemittel einen Siedepunkt unter 250 °C. Organische Verbindungen mit einem Siedepunkt über 250 °C zählen zu den schwer flüchtigen organische Verbindungen (SVOC). Sie sind definitionsgemäß keine Lösemittel und müssen nicht als solches deklariert werden. Dennoch besitzen sie vergleichbare Eigenschaften und können zu langanhaltenden Emissionen in den Innenraum führen.

8.1.16 MAK-Wert

Die Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK) ist jene Konzentration eines Stoffes als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der Luft am Arbeitsplatz, bei welcher die Gesundheit von ArbeitnehmerInnen im Allgemeinen

nicht beeinträchtigt wird. MAK-Werte werden für gesunde Personen im erwerbsfähigen Alter festgelegt. Im Einzelfall, insbesondere bei schwangeren oder stillenden Arbeitnehmerinnen, kann jedoch auch bei Einhaltung der MAK-Werte eine gesundheitliche Beeinträchtigung oder unangemessene Belästigung nicht ausgeschlossen werden.
Für nachgewiesenermaßen krebserzeugende und erbgutverändernde Arbeitsstoffe werden keine MAK-Werte angegeben, da bei solchen Stoffen keine Konzentrationsschwelle ermittelt werden kann, unterhalb derer ein solcher Stoff nicht krebserzeugend bzw. erbgutverändernd wirkt [MAK 2011] [Zwiener/Mötzl 2006]. Die in Österreich geltenden MAK-Werte sind im Anhang I der Grenzwerteverordnung (GKV) aufgelistet.

8.1.17 MAK-Wert für biologisch inerte Schwebstoffe

Die Bezeichnung „MAK-Wert für biologisch inerte Schwebstoffe“ ersetzt seit Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit über Grenzwerte für Arbeitsstoffe und über krebserzeugende Arbeitsstoffe (Grenzwerteverordnung 2011, BGBl. II Nr. 253/2001, zuletzt geändert BGBl. II Nr. 429/2011) die bislang gebräuchliche Bezeichnung „allgemeiner Staubgrenzwert“.
Der MAK-Wert für biologische Schwebstoffe beträgt für die einatembare Fraktion:

- als Tagesmittelwert: 10 mg/m³
- als Kurzzeitwert in einem Beurteilungszeitraum von 1 Stunde: 20 mg/m³
- als Kurzzeitwert in einem Beurteilungszeitraum von 8 Stunden: höchstens zwei Mal 20 mg/m³

für die alveolengängige Fraktion:

- als Tagesmittelwert: 5 mg/m³
- als Kurzzeitwert in einem Beurteilungszeitraum von 1 Stunde: 10 mg/m³
- als Kurzzeitwert in einem Beurteilungszeitraum von 8 Stunden: höchstens zwei Mal 10 mg/m³

8.1.18 Paraffin

Hydrophobierungsmittel. Paraffine enthalten Wasser, gesättigte Kohlenwasserstoffe und kationische Emulgatoren. Sie werden aus Erdöl in energieaufwendigen Prozessen hergestellt. Paraffine sind sehr reaktionsträge und daher ungiftig.

8.1.19 Phenol-Formaldehyd-Harz

Siehe Formaldehydhältige Harze

8.1.20 Polyurethan-Kleber

Polyurethane sind eine Gruppe von Polymeren (Kunststoffen), die unterschiedlichste Eigenschaften aufweisen können und Ausgangsstoff für Klebstoffe bei Holzwerkstoffen und Dämmstoffen, Montageschäume, Kleber und Lacke. Für Dämmstoffe und Holzwerkstoffe werden Polyurethan-Kleber aus PMDI und höherwertigen Alkoholen (Polyole) hergestellt. PMDI ist die Kurzbezeichnung für polymeres MDI (Diphenylmethan-4,4’-diisocyanat oder 4,4’-Methylendiphenyldiisocyanat), das in Kategorie 4 der ➔ krebserzeugenden Arbeitsstoffe und eingestuft ist [MAK 2011]. Der Herstellungsprozess verläuft mehrstufig über eine Reihe von gesundheitsgefährdenden Zwischen- und Nebenprodukten wie Nitrobenzol, Chlorgas, Phosgen und Formaldehyd. Trotz der üblicherweise deutlichen Unterschreitung der MAK-Werte in medizinischen Unter-

suchungen sind Erkrankungen bei isocyanatexponierten Arbeitnehmern feststellbar. Besonders bei der Verarbeitung von 2K-Produkten (z.B. Montageschäume) sind daher umfangreiche Arbeitsschutzmaßnahmen nötig. Bereits ausgehärtete Polyurethane sind dagegen unproblematisch. Im Brandfall erfolgt bei polyurethanhältigen Materialien eine der Bildungsreaktion analoge Rückreaktion und größere Mengen Isocyanate werden freigesetzt [Zwiener/Mötzl 2006].

8.1.21 Primärenergieinhalt (PEI)

Als Primärenergieinhalt (PEI) wird der zur Herstellung eines Produktes oder einer Dienstleistung erforderliche Verbrauch an energetischen Ressourcen bezeichnet, für die Bereitstellung von Energieträgern und Rohstoffen. Er bezieht sich auf alle Vor- und Herstellungsprozesse bis zum auslieferfertigen Produkt. Zur Klassifizierung wird der obere Heizwert der Ressourcen verwendet. Die Umstellung auf den unteren Heizwert, wie in der EN 15804 vom April 2012 vorgeschrieben, ist in Umsetzung, im vorliegenden Bericht jedoch noch nicht umgesetzt. Beim „Bedarf an nicht erneuerbaren energetischen Ressourcen“ wird nur die Bereitstellung von nicht-erneuerbarer Energieträger als Beurteilungskriterium einbezogen. Anteile erneuerbarer Energieträger werden nicht berücksichtigt.

8.1.22 PVAc

Rohstoff für Klebstoffe (Weißleim), Dispersionsfarben, Lacke und Spachtelmassen. Dispersion von Polyvinylacetat (PVAc); PVAc ist toxikologisch unbedenklich, das Monomer Vinylacetat ist als krebsverdächtig Kategorie 3A der ➔ krebserzeugenden Arbeitsstoffe eingestuft. [MAK 2011]

8.1.23 Quarzsand

Rohstoff für Glaswolle, Porenbeton, Mineralschaumplatte, Zuschlagstoff in Putzmörtel. Abbau von Quarzsand in Sandgruben, Waschen, ev. Eisen- und Feldspatflotation, und Klassierung (Trennung) zu Quarzsanden unterschiedlicher Korngröße.
Ausreichende Vorkommen; geringer Energiebedarf für die Quarzsandaufbereitung (bedeutendster Faktor ist der Energieaufwand für die Trocknung). Lokale Wirkungen durch Lärm- und Staubemissionen und LKW-Transporte
Die alveolengängige Staubfraktion von Quarz ist in Kategorie 1 der ➔ krebserzeugenden Arbeitsstoffe [MAK 2011] eingestuft. Gefahrenquellen bestehen durch Staubentwicklung bei der Gewinnung, Be- oder Verarbeitung. Bei beruflicher Exposition gegenüber quarzhaltigen Stäuben stehen Lungenveränderungen an erster Stelle. Nach Langzeit-Exposition werden Silikose und das Auftreten von Lungentumoren festgestellt. Daneben gibt es Hinweise auf ein vermehrtes Auftreten von Tumoren, die auf das Abschlucken inhalierter Quarzpartikel zurückgeführt werden [Zwiener/Mötzl 2006].

8.1.24 REACH-Verordnung

Nicht amtlicher Kurztitel der „Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr.

1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission“ Dient insbesondere auch der human- und ökotoxikologischen Bewertung von Stoffen, die vor 1981 auf den Markt gebracht wurden („Altstoffe“) [Zwiener/Mötzl 2006].

8.1.25 Silikone

Verwendung als Hydrophobierungsmittel, Dichtungs- und Dämpfungsmaterial. Silikone (auch: Polysiloxane, Polyorganosiloxane oder Siloxane) sind thermisch und chemisch außerordentlich beständige synthetische Verbindungen. Sie unterscheiden sich von anderen Kunststoffen dadurch, dass das Skelett des Silikonmoleküls keine Kette von Kohlenstoffatomen, sondern eine Kette von Silicium- und Sauerstoffatomen darstellt. In der Silanchemie werden chlorierte Kohlenwasserstoffe eingesetzt. Beim Aushärten emittieren Silikondichtstoffe Substanzen wie Essigsäure (Acetatsysteme) oder das krebserzeugende und sensibilisierende 2-Butanonoxim (Oximsysteme). Silikone selbst sind als toxikologisch unproblematisch einzustufen. Silkon-Dichtungsmassen enthalten in der Regel aber Weichmacher, ggf. können fungizide Wirkstoffe enthalten sein (Sanitärsilikon) wie z.B. hoch toxisches Tributylzinn oder andere zinnorganische Verbindungen.

8.1.26 Styrol

Rohstoff für Styrol-Butadien-Kautschuke, EPS- und XPS-Platten. Ethen und Benzol werden in einer Friedl-Crafts-Alkylierungsreaktion zu Ethylbenzol umgesetzt und im darauffolgenden Herstellungsschritt unter Anwesenheit von Festbettreaktoren, in denen Eisenoxidkatalysatoren verschiedener Zusammensetzung zum Einsatz kommen, zu Styrol dehydriert. Die Herstellung erfordert einen hohen Aufwand an Energie, Chemikalien und Infrastruktur, insbesondere zur Herstellung des Ethylbenzols; prozessbedingt dominieren Emissionen von Kohlenwasserstoffen in die Luft. Styrol ist ein Nervengift und als krebserzeugender Arbeitsstoff in Kategorie 5 eingestuft [MAK 2011], d.h. Styrol zählt zu den Stoffen mit krebserzeugender und gentoxischer Wirkung bei denen unter Einhaltung des MAK- und BAT-Wertes ein sehr geringer Beitrag zum Krebsrisiko für den Menschen zu erwarten ist.

8.1.27 SVOC

Schwerflüchtige organische Verbindungen, siehe VOC

8.1.28 Treibhauspotential (GWP)

Das Treibhauspotential (Global Warming Potential, GWP) ist ein Maß für die relative Klimawirksamkeit eines Gases. Bezugsgröße ist das wichtigste Treibhausgas Kohlendioxid, dessen GWP-Wert mit 1 festgelegt ist. Für jede treibhauswirksame Substanz wird damit eine Äquivalenzmenge Kohlendioxid in Kilogramm errechnet [kg CO_2-Äquivalent], die von der Wärmeabsorptionseigenschaft der Gase und ihrer Verweildauer in der Atmosphäre abhängt.
Das Treibhauspotential kann für verschiedene Zeithorizonte (20, 100 oder 500 Jahre) bestimmt werden. Der kürzere Integrationszeitraum von 20 Jahren ist entscheidend für Voraussagen bezüglich kurzfristiger Veränderungen aufgrund des erhöhten Treibhauseffekts, wie sie für das Festland zu erwarten sind. In der vorliegenden Arbeit wird die Integrationszeit von 100 Jahren herangezogen. Sie ist angebracht für die Evaluation des langfristigen Anstiegs des Wasserspiegels der Weltmeere.

8.1.29 TRK-Wert

Die Technische Richtkonzentration (TRK) ist die niedrigste Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz, die nach dem Stand der Technik erreicht werden kann. Die Einhaltung des TRK-Wertes verringert das Risiko von Gesundheitsschäden, vermag es aber nicht völlig auszuschließen. Die in Österreich geltenden TRK-Werte sind im Anhang I der Grenzwerteverordnung (GKV) aufgelistet.

8.1.30 Versäuerungspotential (AP)

Versäuerung wird hauptsächlich durch die Wechselwirkung von Stickoxiden (NO_x) und Schwefeldioxiden (SO_2) mit anderen Bestandteilen der Luft verursacht. Durch eine Reihe von Reaktionen, wie die Vereinigung mit dem Hydroxyl-Radikal, können sich diese Gase innerhalb weniger Tage in Salpetersäure (HNO_3) und Schwefelsäure (H_2SO_4) umwandeln – beides Stoffe, die sich sofort in Wasser lösen. Die angesäuerten Tropfen gehen dann als saurer Regen nieder. Die Versäuerung ist im Gegensatz zum Treibhauseffekt kein globales, sondern ein regionales Phänomen.
Schwefel- und Salpetersäure können sich auch trocken ablagern, etwa als Gase selbst oder als Bestandteile mikroskopisch kleiner Partikel. Es gibt immer mehr Hinweise, dass die trockene Deposition gleiche Umweltprobleme verursacht wie die nasse.
Die Auswirkungen der Versäuerung sind noch immer nur bruchstückhaft bekannt. Zu den eindeutig zugeordneten Folgen zählt die Versäuerung von Seen und Gewässern, die zu einer Dezimierung der Fischbestände in Zahl und Artenvielfalt führt. Die Versäuerung kann in der Folge Schwermetalle mobilisieren, welche damit für Pflanzen und Tiere verfügbar werden. Darüber hinaus dürfte die saure Deposition an den beobachteten Waldschäden zumindest beteiligt sein. Durch die Übersäuerung des Bodens kann die Löslichkeit und somit die Pflanzenverfügbarkeit von Nähr- und Spurenelementen beeinflusst werden. Die Korrosion an Gebäuden und Kunstwerken im Freien zählt ebenfalls zu den Folgen der Versäuerung.
Das Maß für die Tendenz einer Komponente, säurewirksam zu werden, ist das Säurebildungspotential AP (Acidification Potential). Es wird relativ zu Schwefeldioxid angegeben [g SO_2-Äquivalent] und für jede säurewirksame Substanz eine Äquivalenzmenge Schwefeldioxid in Kilogramm umgerechnet.

8.1.31 Volatile Organic Compounds (VOC)

Flüchtige organische Verbindungen (Volatile Organic Compounds, VOC) gehören zu den nach Vorkommen und Wirkung bedeutungsvollsten Verunreinigungen der Raumluft. Erhöhte VOC-Konzentrationen in Innenräumen werden für vielfältige Beschwerde- und Krankheitsbilder verantwortlich gemacht. Zu den Symptomen zählen u.a. Reizungen an Augen, Nase, Rachen, trockene Schleimhäute, trockene Haut, Nasenlaufen und Augentränen, neurotoxische Symptome wie Müdigkeit, Kopfschmerzen, Störungen der Gedächtnisleistung und Konzentrationsfähigkeit, erhöhte Infektionsanfälligkeit im Bereich der Atemwege, unangenehme Geruchs- und Geschmackswahrnehmungen. Einige der in Innenräumen zu findenden organischen Verbindungen stehen im Verdacht, krebserregend zu sein [Mølhave 1982].
Das Spektrum der VOC ist äußerst heterogen und vielfältig. Typische VOC-Stoffklassen sind Alkane und Cycloalkane, aromatische Kohlenwasserstoffe, halogenierte Kohlenwasserstoffe, Terpene, Alkohole, Glykole/Glykolether/Glykolester, Aldehyde, Ketone, Ester und Carbonsäuren.

Eine einheitliche Definition gibt es nicht, VOC-Definitionen müssen immer in Zusammenhang mit den verwendeten Probenahmetechniken gesehen werden. In gesetzlichen Regelungen werden VOC meist als „Organische Verbindungen mit einem Siedepunkt (oder Siedebeginn) von höchstens 250°C bei normalen Druckbedingungen definiert (z.B. 2004/42/EG). In der vorliegenden Studie wurde die Definition einer Arbeitsgruppe der WHO aus dem Jahr 1989 übernommen, die auch in für die vor-liegende Studie wichtige Grundlagen wie die Richtwerte Arbeitskreis Innenraumluft des BMLFUW, die VDI-Richtlinie 4300 Bl. 6, die natureplus-Vergaberichtlinien oder das AgBB-Schema Eingang fanden:

1. Leichtflüchtige organische Verbindungen (VVOC): Siedepunktbereiche von 0 °C bis 50-100 °C
2. Flüchtige organische Verbindungen (VOC6-16): Retentionsbereich von C6 bis C16 (entspricht einem Siedepunktbereich von 50-100 °C bis 240-260 °C).
3. Schwerflüchtige organische Verbindungen (SVOC): Retentionsbereich von C16 bis C22 (entspricht einem Siedepunktbereich 240-260 °C bis 380-400 °C.
4. Staubgebundene organische Verbindungen (POM, z.B. PAK): Siedepunktbereich > 380 °C

Zur Unterscheidung des allgemeinen und des spezifischen VOC-Begriffs wird in der Studie der spezifische Begriff mit dem Index „6-16“ (Retentionsbereich C6 bis C16) versehen (VOC enthält somit VVOC, VOC6-16, SVOC und POM).

9 Entsorgungsmöglichkeit von typischen Abbruchprodukten

9.1 Verwertungsorientierter Rückbau ([Schneider 2010])

Nach Beendigung der Nutzungsdauer soll eine effektive Zerlegung des Gebäudes erfolgen z. B. mit Hilfe eines Abbruch- bzw. Rückbaukonzeptes, das bereits in der Planungsphase erstellt worden ist. Man spricht in diesem Fall von verwertungsorientiertem Rückbau anstatt von Abbruch. Rückbau bedeutet, dass Bauwerke und Bauwerksteile derart abzubauen sind, dass die anfallenden Materialien weitgehend einer Verwertung und / oder Wiederverwendung (Recycling) und / oder der ordnungsgemäßen Entsorgung zugeführt werden können.
Der Rückbau folgt im Wesentlichen der umgekehrten Reihenfolge der Errichtung/Montage. Unabhängig von allen Kategorisierungen wird natürlich zuerst nach Zugänglichkeit rückgebaut und demontiert (das was direkt zugänglich ist, kommt zuerst).
Die ÖNORM B 2251 „Abbrucharbeiten, Werkvertragsnorm“ enthält Regelungen für die Abbrucharbeiten. Einen Leitfaden für den Abbruch bietet die Normungsregel ONR 22251 „ Mustertexte für umweltgerechte bauspezifische Leistungsbeschreibung“. Unter Berücksichtigung des Abfallwirtschaftsgesetzes, der Abfallverzeichnisverordnung, der Normregel zur Schadstofferkundung von Gebäuden vor dem Abbruch sowie den Richtlinien für Recycling- Baustoffen enthält das Dokument Vorschläge für Ergänzungstexte für die Ausschreibung, um die Verringerung von Transporten, eine sortenreine Trennung, das Recycling von Abfällen etc. weiter voranzutreiben.

9.2 Abbruchfraktionen ([Mötzl 2009])

9.2.1.1 Allgemeines

Das Recycling von Baurestmassen bietet unbestreitbare Vorteile wie

- Reduktion der abzulagernden Reststoffe,
- Geringerer Verbrauch von Deponievolumen,
- Schonung der natürlich vorkommenden Primärmaterialien,
- Vermeidung von Transporten
- Landschaftsschutz durch geringere Materialentnahme und verbesserter Grundwasserschutz.

Mineralische Baustoffe stellen den mit Abstand größten Massenanteil im Gebäude dar. Prinzipiell ist eine Wiederverwendung von mineralischen Bauteilen (z.B. von Betonfertigteilen) möglich, in der Regel ist jedoch von einer stofflichen Verwertung auszugehen. Dabei werden die mineralischen Baurestmassen in mobilen oder stationären Aufbereitungsanlagen zerkleinert und je nach Stoffzusammensetzung und Korngrößenverteilung als Kies-, Sand- oder Mehlersatz für die unterschiedlichsten Anwendungen verwertet. Qualitätskriterien für Recyclingbaustoffe werden vom Österreichischen Baustoffrecyclingverband (BRV) definiert.

Die Verwertbarkeit einer konkreten Fraktion hängt von der stofflichen Qualität des Inputs ab. Für ein erfolgreiches Recycling von Baurestmassen ist daher die bestmögliche Trennung beim Abbruch auf der Baustelle notwendig.

Gemäß Deponieverordnung ist die Ablagerung von Abfällen mit einem TOC-Gehalt (Gesamtanteil an organischem Kohlenstoff) über 50 mg/kg TM (Reststoffdeponie) verboten. Ausnahmen sind für konkrete Abfälle mit mehr als 50 mg/kg TOC vorgesehen, wenn eine mechanisch biologische Behandlung technisch nicht möglich oder ökologisch und ökonomisch nicht zweckmäßig ist. Viele Baustoffe aus organischen Rohstoffen lassen sich einem Produkt- oder Stoffrecycling zuführen. Sie haben in der Regel einen hohen Heizwert und eignen sich grundsätzlich für die thermische Verwertung in Mitverbrennungs- oder Abfallverbrennungsanlagen.

9.2.1.2 Betone

Die Betone können entsprechend ihrem Recyclingverhalten in folgende Gruppen zusammengefasst werden.

Betondachstein, Betonpflasterstein	können wiederverwendet werden, stoffliche Verwertung wie Gruppe 3
Betonelemente (Betonhohldielendecke, Betonhohlkörper mit Aufbeton, Betonfertigteile)	können ev. wiederverwendet werden, stoffliche Verwertung wie Gruppe 3
Normalbeton, Stahlbeton, WU-Beton, Betondrainagestein, Aufbeton, Füllbeton)	bei getrennter Sammlung stofflich sehr gut verwertbar, häufig aber mit anderen Schichten verklebt (Dämmstoffe, Fußbodenbeläge, etc.)
Leichtbeton mit mineralischen Zuschlägen Ziegelsplittbeton, Blähton-Leichtbeton)	bei getrennter Sammlung stofflich gut verwertbar, unter Berücksichtigung des Leichtzuschlags
Magerbeton, Schütt und Stampfbeton	bei getrennter Sammlung stofflich gut verwertbar, geringer Zementgehalt
Estriche	werden wegen möglicher Zusatzstoffe und des hohen Feinanteils aus der Aufbereitung nur eingeschränkt verwertet.
Beton mit verklebten Bitumenbahnen (Schwarze Wanne, Betondecke für Flachdach)	werden stofflich nicht verwertet
Polystyrolbeton	Recycling erforderlich wegen fehlender Entsorgungsalternativen, muss von den anderen Betonen getrennt werden, kann dann wieder als Zuschlag für Polystyrolbeton eingesetzt werden.

9.2.1.3 Ziegel

Gut erhaltene Dachziegel können wiederverwendet werden. Ziegelabbrüche mit großer stofflicher Homogenität (Ziegelanteil > 80 – 90%) können stofflich verwertet werden.

Ziegelanteile > 80 % erreicht man bei Dacherneuerungsarbeiten, die eine relativ sortenreine Sammlung gebrauchter Dachziegel ermöglichen, aber auch bei gut sortiertem Mauerwerkbruch. Herkömmlicher Ziegelschutt aus Mauerwerk enthält ca. 24 % Fremdanteile von Putzen und Mörteln. Nach [Scheibe 2003] ist Ziegelschutt mit Kalkmörtel leicht aufschließbar, durch den Betrieb einer kontinuierlich arbeitenden Versuchsanlage mit einer kombinierten Sturzsiebtrommel konnte eine Reinheit der Ziegel von 94 % erreicht werden. Ziegelschutt mit Zementmörtel konnte nicht ausreichend gereinigt werden.

9.2.1.4 Holzspan-Mantelsteine

Eine Verwertung von Abbruchmaterial in der Produktion ist derzeit nicht bekannt. In Österreich ist mit Hilfe einer Ausnahmeregelung eine Deponierung auf Baurestmassendeponie zulässig.
Die thermische Entsorgung von Holzbeton ist wegen des hohen Gehaltes an mineralischen Stoffen und der damit verbundenen geringen Brennbarkeit nicht sinnvoll.

9.2.1.5 Ungebrannter Lehm

Da kein Brennvorgang stattfand, kann die Tonbindung durch Neuansetzen mit Wasser immer wieder rückgebildet werden. Alle „echten" Lehmbaustoffe sind daher wiederverwertbar und verursachen kein Problem in der Beseitigung (je nach Bestandteilen organischer Zusatzstoffe auf Baurestmassen-, Massenabfalldeponien oder Kompostieranlagen).
Bei Baustoffen aus Leichtlehm kann der TOC-Gehalt über 5 M.-% betragen. In diesem Fall ist eine Deponierung erst nach vorheriger Aufbereitung erlaubt.

9.2.1.6 Gipsbaustoffe

Gips wird zur Herstellung von Stuckgips, Gipsputzmörteln und Gipsspachtelmassen, Gipsplatten und -formsteinen verwendet. Anhydrit findet in Calciumsulfatestrichen breite Anwendung.
Gipsputze und Gipsspachtel müssen in Aufbereitungsanlagen durch mechanische Verfahren von den Recyclingbaustoffen getrennt werden. Die gipsreiche Fraktion wird in der Regel deponiert.
Bei der üblichen Einbausituation ist von einer Wiederverwendung von Gipsbauplatten nicht auszugehen, Gipsbauplatten können aber im Gegensatz zu Gipsputzen und –spachteln sortenrein rückgebaut und einem stofflichen Recycling zugeführt werden. In Aufbereitungsanlagen können Gipskartonplatten zerkleinert und zermahlen werden, der Karton wird mechanisch vom Gips abgetrennt und abgesaugt. Dieses Verfahren wird für Neumaterialien und Verschnitte bereits angewandt. In Österreich findet Recycling von PC-Gipsprodukten statt. Auf der Deponie können Gipsprodukte Sulfate freisetzen.

9.2.1.7 Holz

Bei Tragkonstruktionen in gutem Zustand ist von einer hohen Wieder- oder Weiterverwendungsrate auszugehen. Sie können z.B. als intakte Bauhölzer wiederverwendet oder im Garten- und Landschaftsbau weiterverwendet werden.
Eine stoffliche Verwertung von Bau- und Abbruchhölzern sollte gemäß Bundesabfallwirtschaftsplan (2006) nur für quellensortierte, unbehandelte bzw. schadstofffrei behandelte Holzabfälle erfolgen. In der Papier- und Zellstoffindustrie ist der Einsatz von Bau- und Abbruchholz nicht zulässig.
Bei folgenden Sortimenten wird präventiv von einem erhöhten Schwermetall- oder Holzschutzmittelgehalt ausgegangen:

- in der Regel mit Holzschutzmittel behandelte Bauteile wie Fenster, Fensterläden, Außentüren
- in der Regel mit einer Oberflächenbeschichtungen versehenen Elementen wie Holzböden und Parkette

- während der Nutzungsdauer zugängliche Holzteile wie Fassadenbretter, Wandbretter im Innenbereich, offen liegende Balken

9.2.1.8 Anorganisch gebundene Holzwerkstoffe

Zu den anorganisch gebundenen Holzwerkstoffen zählen Holzwolle-Leichtbauplatten, Gipsspanplatten und zementgebundene Spanplatten. Der Holzfaseranteil liegt bei diesen Spanplatten zwischen 30 und 60 M.-%. Als anorganische Bindemittel werden Gips, Zement und Magnesit verwendet. Eine stoffliche Verwertung ist wegen des anorganisch – organischen Verbunds nur in geringem Ausmaß möglich, eine thermische Beseitigung aufgrund der dafür notwendigen hohen Temperaturen nicht sinnvoll.

10 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms

10.1 Einpassung in das Programm

Laut Leitfaden für die Projekteinreichung (Kap. 3) adressiert das Projektvorhaben die folgenden Themen: Energetische und qualitative Gebäudemodernisierung: Multiplizierbare Sanierungskonzepte aller Baualtersklassen auf Passivhausstandard und/oder vergleichbare Standards.

10.2 Beitrag zum Gesamtziel des Programms

Zentrales Ziel dieses Projektes – wie auch des Programmes HdZ+– ist die Entwicklung wirtschaftlich umsetzbarer, innovativer technischer Lösungen im Sinne einer CO2-neutralen Gebäudesektors.
Das Anliegen der Schaffung einer technologischen Basis für das Gebäude der Zukunft, haben das Programm HdZ+ und unser Projektvorschlag gemeinsam.
Das Gebäude der Zukunft wird in einem Zeithorizont der nächsten 50 Jahre ganz überwiegend ein saniertes Haus sein!
Daher realisiert sich das Anliegen der Schaffung einer technologischen Basis dafür im Programm HdZ+ wie in unserem Projektvorschlag durch einen Schwerpunkt auf Gebäudemodernisierung.
Mit der angestrebten Publikation in deutscher und englischer Sprache wird die internationale Vernetzung der österreichischen Know-how-TrägerInnen, die das MitarbeiterInnen- und KonsulentInnenteam bilden, gefördert.
Der Projektvorschlag nimmt auch die Ausrichtung des Programms auf das Motiv „„Plus“ Technologieführerschaft“ auf, in dem es den österreichischen Technologieführerschaft bei der Umsetzung des Passivhausstandards auch bei Sanierungsaufgaben und der nachträglichen Integration von Lüftungsanlagen befestigen möchte.

10.3 Einbeziehung der Zielgruppen (Gruppen, die für die Umsetzung der Ergebnisse relevant sind) und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt

Die folgenden Zielgruppen sind für die Umsetzung der Sanierung auf Passivhausstandard relevant:

- Architekten
- Baumeister
- Handwerker
- Hausverwaltungen, Häuslbauer
- Behörden

Durch die detailgenaue Darstellung von hocheffizienten Lösungen ist eine direkte Umsetzung in konkreten Sanierungsprojekten leicht möglich. Gerade die Detaillierung der Anschlüsse wird in Workshops und auf Veranstaltung als das große Desiderat für die Umsetzung dargestellt.

10.4 Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projektergebnisse

Zielmärkte sind einerseits die Fachöffentlichkeit des Bauwesens, die als Nutzer der Projektergebnisse wie auch als Kunden und Auftraggeber der Konsortiumsmitglieder und der Konsulenten in Frage kommen.
Das Marktpotenzial für die ökologische, energetische und technische Beratung und bauphysikalische Betreuung von Sanierungsprojekten ist immens, denn in den nächsten 50 Jahren wird das „Gebäude der Zukunft“ ganz überwiegend ein saniertes Gebäude sein. Die Wertentwicklung des österreichischen Immobilienbestandes wird entscheidend von der Sanierbarkeit und dem erreichten Sanierungsniveau der Objekte abhängen.
Die Verwertungsstrategie liegt in einer deutsch- und englischsprachigen Publikation nach dem Muster des IBO Passivhaus-Bauteilkataloges (für Neubau), der international vertrieben wird.
Die Mitglieder des Konsortiums sowie die Konsulenten können damit ihre Bekanntheit als kompetente Ansprechpartner in Gebäudesanierungsfragen steigern und festigen und ihre Ausgangspositionen in der Auftragsaquisition verbessern.
Hinzu kommen: Vorträge, Veranstaltungen des Antragstellers IBO (Werkstattgespräche, BauZ!-Jahreskongresse), Einsatz in der Lehre (green academy), Lehrtätigkeit der Konsulenten an Universitäten, Fachhochschulen, …
Die gesellschaftliche Bedeutung der Projektergebnisse ist durch die Brisanz der notwendigen Sanierung des Gebäudebestandes auf ein energetisch sehr hohes Niveau in den kommenden Jahren und Jahrzehnten in Österreich, und weltweit, gegeben.
Der volkswirtschaftliche Nutzen dieser unumgänglichen Sanierungsanstrengung besteht

- in der lokalen Beschäftigungswirksamkeit von Sanierungsmaßnahmen
- dem Erfahrungszuwachs österreichischer Produzenten relevanter Ausrüstungsgüter wie Fenster, Türen, Lüftungsanlagen, ökologische günstige Baustoffe, innovative Baustoffe, usw.,
- dem vermehrten Bedarf nach solchen Güter, auch im Ausland
- der Einsparung von Energie und damit der Verringerung der Energieimporte und
- der Abhängigkeit von solchen Importen, damit auch
- der zunehmenden Sicherheit der österreichischen Energieversorgung

KundInnen erhalten durch die Publikation der Ergebnisse eine breite Palette von Handlungsoptionen bei Sanierungsprojekten, die zu qualitativ hochwertigen, technisch sicheren und ökologisch günstigen Lösungen anleiten.

11 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Grundsätzlich konnte im Laufe des Projektes die Vielfalt an Bestands-Bauaufgaben bestätigt werden. Planer und insbesondere Ausführende sind ob der hohen Dämmstärken überracht. In den durchgeführten Workshops konnte aber anhand von gemeinsam durchgeführten Übungen an typischen Anschlüssen die Praktikabilität der Lösungswege aufgezeigt werden.

12 Ausblick und Empfehlungen

Auf dem Weg zu einem energieautarken (bzw. energieautonomen) Österreich 2050 nimmt die hochwertige Sanierung des Gebäudebestandes eine entscheidende Rolle ein. Dabei ist in Zukunft nicht nur die Sanierung mit Passivhauskomponenten relevant, sondern auch die Integration von energiegewinnenden Systemen. Die Integration in den Bestand und eine verlässliche Ertragsprognose auch im verdichteten Gebäudebereich erscheint als eine der wesentlichen Lösungen.
Weiters ist die Frage einer sicheren Planung und Ausführung von Innendämmung besonders im Verbund mit Holzbalkendecken noch nicht gegeben, hier ist eine Vertiefung der Thematik dringend notwendig.

13 Literaturverzeichnis

[Adensam 2006] Adensam, H.: Lichtblicke. Integrierte Bewertung von Tageslichtlenksystemen für eine verstärkte Tageslichtnutzung im Gebäudebestand. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 04/2006

[Ad-hoc-AG IRK/ALOG 2007] Bekanntmachung des Umweltbundesamtes, Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten, Handreichung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden, Beurteilung Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 2007 50:990–1005, DOI 10.1007/s00103-007-0290-y, Online publiziert: 21. Juni 2007, © Springer Medizin Verlag 2007

[Ahnert 2009] Ahnert, R; Krause, K.: Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960 zur Beurteilung der vorhandenen Bausubstanz, Band 3; HUSS-MEDIEN GmbH, 7. Auflage, Berlin 2009

[AkP16 1999] Protokollband Nr. 16 des Arbeitskreises Kostengünstige Passivhäuser: Wärmebrückenfreies Konstruieren; Passivhaus Institut Eigenverlag, 1. Auflage, Darmstadt 1999

[AkP21 2002] Protokollband Nr. 21: Architekturbeispiele: Wohngebäude, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser; Passivhaus Institut; Darmstadt 2002

[AkP24 2003] Feist, Wolfgang (Hrsg.): Passivhaustechnologien bei der Altbau-Modernisierung, Protokollband 24 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser, 2003

[AkP32 2005] Feist, Wolfgang (Hrsg): Faktor 4 auch bei sensiblen Altbauten: Passivhauskomponenten + Innendämmung; Protokollband 32 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser, 2005

[AkP35 2007] Protokollband Nr. 35 Wärmebrücken und Tragwerksplanung - die Grenzen des wärmebrückenfreien Konstruierens; Passivhaus Institut Eigenverlag, 1. Auflage, Darmstadt 2007

[Ambrozy 2007] Ambrozy, H. G.; Lange, K.: Qualitätssicherung von Passivhäusern in Holzbauweise. Kriterienkatalog zur Qualitätssicherung in der Ausführung von Passivhäusern in Holzbauweise. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 23/2007

[Anders 2000] Anders Evald: Energy from Wood. dk-TEKNIK Energy and Environment. Soborg, Denmark. Cost E9. Präsentation in Helsinki, März 2000

[Arbeitsinspektion 2012] www.arbeitsinspektion.gv.at, abgefragt am 28. und 30. März 2012

[Arbeitsstoffe 2009] Arbeitsstoffe. Leitfaden – gefährliche Arbeitsstoffe, Wien, 2009, 3. Auflage, Bundesministerium für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz [Hrsg.], Sektion VII - Zentral-Arbeitsinspektorat, Favori-

tenstraße 7, 1040 Wien, Allgemeine Unfallsversicherungsanstalt, Adalbert Stifterstraße 65, 1201 Wien, als pdf auf http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/2B8BC7E5-3FFD-42A9-B533-5DA58838F6F3/0/arbeitsstoffe_2009_broschuere.pdf downloadbar

[Balak 2008] Balak M., Pech A.; Mauerwerkstrockenlegung – Von den Grundlagen zur praktischen Anwendung; Springer Wien New York, 2. Auflage; P.O. Box 89, Sachsenplatz 4 - 6, 1201 Wien, ISBN 978-3-211-75777-2

[Bednar 2000] Bednar, T.: Beurteilung des feuchte- und wärmetechnischen Verhaltens von Bauteilen und Gebäuden – Weiterentwicklung der Meß- und Rechenverfahren. Dissertation TU Wien, 2000.

[Bednar 2012] Bednar, T.: HAM4D: Simulationspaket zur 3-dimensionalen hygrothermischen Simulation inkl. Luftströmungen. TU Wien, 2012.

[Berg 2010] Berg, A.: Schadstoffe in Innenräumen und an Gebäuden, Köln: Müller 2010

[BfR 2009] BfR rät von Nanosilber in Lebensmitteln und Produkten des täglichen Bedarfs ab, Stellungnahme Nr. 024/2010 des Bundesinstitut für Risikobewertung vom 28. Dezember 2009, abgerufen unter http://www.bfr.bund.de/de/presseinformation/2010/08/nanosilber_gehoert_nicht_in_lebensmittel__textilien_und_kosmetika-50963.html am 30.04.2012.

[Biermayr 2005] Biermayr, P; Schriefl, E.; Baumann, B. et al.: Maßnahmen zur Minimierung von Reboundeffekten bei der Sanierung von Wohngebäuden (MARESI). Berichte aus Energie- und Umweltforschung 6/2005

[BKA 2012] www.ris.bka.gv.at, abgefragt am 28. und 29. März 2012

[Blümel 2004] Blümel, E.; Nussmüller, W.; Rosegger, R. et.al.: Systemische Siedlungssanierung im sozialen Wohnbau. Sanierung im interdisziplinären Team mit Berücksichtigung der Nachhaltigkeitskriterien auf Mikro- und Makroebene. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 2004

[Böhmer 2010] Böhmer, H.; Fanslau-Görlitz, D.; Zedler, J.: U-Werte alter Bauteile: Arbeitsunterlagen zur Rationalisierung wärmeschutztechnischer Berechnungen bei der Modernisierung; Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verlag 2010

[Brandl 2005] Brandl, M.; Dreyer, J.; Hofbauer, W. et al.: Ökologische Sanierung eines denkmalgeschützten Gebäudes mit Passivhaustechnologien. Haus der Zukunft Forschungsbericht, Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften. 1. Zwischenbericht. Wien: November 2005

[Bucar 2004] Bucar, G.; Baumgartner, B.: „Contracting als Instrument für das Althaus der Zukunft“. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 18/2004

[Burkhardt 2005] Burkhardt, M., Kupper, T., Rossi, L., Chevre, N., Singer, H., Alder, A.C., Boller, M. 2005. Biozide in Fassadenbeschichtungen - Auswaschung mit Folgen. Coviss 2(7): 6-9., abgerufen unter http://www.coviss.ch/index.cfm?s=beitrag&beitragID=44 am 30.04.2012

[Burkhardt 2008] Burkhardt, M.; Zuleeg, S.; Marti, T.; Lamani, X.; Bester, K.; Vonbank, R.; Simmler, H.; Boller, M.: Auswaschungen aus Fassaden versus nachhaltiger Regenwasserentsorgung? Erschienen in: Helmuth Venzmer. Biofilme und funktionale Baustoffoberflächen: 8. Dahlberg-Kolloquium vom 25. bis 26. September 2008 im Zeughaus Wismar; Vorträge. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verlag (u.a.), 2008., abgerufen unter http://www.juwoe.de/aktuelles/news/Fassaden.html am 30.04.2012

[Burkhardt 2009] Burkhardt, M.; Vonbank, R.: Nanosilber in Fassadenbeschichtungen. Auswaschung im Vergleich mit Titandioxid und organischen Bioziden, Dübendorf 1. Dezember 2009, im Auftrag des Bundesamt für Umwelt BAFU Abteilung Abfall, Stoffe, Biotechnologie Sektion Biozide und Pflanzenschutzmittel, 3003 Bern, abgerufen unter http://www.bafu.admin.ch/chemikalien/01389/01391/ am 30.04.2012

[Burkhardt 2011] Burkhardt, M.; Vonbank, R.: Auswaschung von verkapselten Bioziden aus Fassaden, Rapperswil, 1. September 2011, im Auftrag des Bundesamt für Umwelt BAFU Abteilung Abfall, Stoffe, Biotechnologie Sektion Biozide und Pflanzenschutzmittel, 3003 Bern, abgerufen unter http://www.umtec.ch/Baustoffe.7462.0.html?&content=23669&id_project=881 am 30.04.2012

[CML 2001] CML Centre of Environmental Science, Leiden University (Guinée, M.; Heijungs, Huppes, G.; Kleijn, R.; de Koning, A.; van Oers, L.; Wegener Seeswijk, S.; de Haes, U.); School of Systems Engineering, Policy Analysis and Management, Delft University of Technology (Bruijn, H.); Fuels and Materials Bureau (von Duin, R.); Interfaculty Department of Environmental Science, University of Amsterdam (Huijbregts, M.): Life Cycle assessment: operational guide to the ISO standards. Final Report, May 2001.

[Comsol 2012] http://www.comsol.de/ am 14.3.2012

[DIN 4108-3] Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Ausgabe 2001-07

[DIN EN 15026] Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation. Ausgabe 2007-04

[Domenig-Meisinger 2007] Domenig-Meisinger, I.; Willensdorfer, A.; Krauß, B.; Aschauer, J.; Lang, G.: Erstes Mehrfamilien-Passivhaus im Altbau. Passivhausstandard und -komfort in der Altbausanierung am Beispiel eines großvolumigen MFH in Linz. Haus der Zukunft Forschungsbericht 21/2007

[Ebel 2000] Ebel, Witta; Eicke-Hennig, Werner; Feist, Wolfgang; Groscurth, Helmuth-Michael: Energieeinsparung bei Alt- und Neubauten; 1. Auflage, Heidelberg, 2000

[ecoinvent 2009] ecoinvent Data v2.1. The Life Cycle Inventory Data version 2.1. Hg.v. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2009.

[Eisenmenger 2008] Eisenmenger, H.; Weber, C.; Spielmann, G.; Tappeiner, G.; Lipp, B.; Fellner, M.: Wohnhaussanierung „Tschechenring“. Umfassende Sanierung einer denkmalgeschützten Arbeiterwohnanlage (1880) in Felixdorf NÖ. 1. Zwischenbericht, Jänner 2008

[Eusch 2005] Eusch, I.; Moser, G.; Seiler, A.: Produkt- und Systementwicklung zur thermischen Sanierung von Altbauten durch den Einsatz von magnesitgebunden Holzwolle-Leichtbauplatten. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 2005

[Fechner 2002] Fechner, J. (Hg.): Altbaumodernisierung: der praktische Leitfaden; Springer Wien New York 2002

[Fechner 2007] Fechner, J.; Hajszan, R.; Belazzi, T.; Lechner, R.: HdZ Best of Diffusion. Verbreitung von Ergebnissen der Programmlinie Haus der Zukunft. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 22/2007

[Feist 1999a] Feist, W. (Hg.): Protokollband Nr. 17 Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase II „Dimensionierung von Lüftungsanlagen in Passivhäusern“ Darmstadt: Passivhaus-Institut 1999

[Feist 1999b] Feist, Wolfgang: Energieeffizienz – Wohlstand – Lebensqualität; im Tagungsband zur 3. Passivhaustagung, Bregenz 1999

[Feist 2003a] Feist, W. (Hg.): Protokollband Nr. 22 Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase III „Lüftungsstrategien für den Sommer“ Darmstadt: Passivhaus-Institut 2003

[Feist 2003b] Feist, W. (Hg.): Protokollband Nr. 23 Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase III „Einfluss der Lüftungsstrategie auf die Schadstoffkonzentration und -ausbreitung im Raum“ Darmstadt: Passivhaus-Institut 2003

[Feist 2003c] Feist, W. (Hg.): Protokollband Nr. 24 Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase III „Einsatz von Passivhaustechnologien bei der Altbausanierung“ Darmstadt: Passivhaus-Institut 2003

[Feist 2004] Feist, W. (Hg.): Protokollband Nr. 30 Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase III „Lüftung bei Bestandessanierung: Lösungsvarianten“ Darmstadt: Passivhaus-Institut 2004

[Feist 2005] Feist, W. (Hg.): Protokollband Nr. 31 Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase III „Energieeffiziente Raumkühlung“. Darmstadt: Passivhaus-Institut 2005

[Feist 2012a] Feist, W. (Hg.): EnerPHit-Planerhandbuch. Altbauten mit Passivhaus-Komponenten fit für die Zukunft machen; Passivhaus-Institut, 1. Auflage, Darmstadt 2012

[Feist 2012b] Feist, W. (Hg.): Tagungsband / 16. Internationale Passivhaustagung 2012; Passivhaus-Institut, Darmstadt/Innsbruck 2012

[Ferle 2006] Ferle, A.; Essl, O.: Praxis- und Passivhaustaugliche Sanierungssysteme für Dach und Wandbauteile unter Verwendung von Hochleistungswärmedämmsystemen. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 76/2006

[Fink 2002] Fink, C.; Blümel, E.; Kouba, R. ; Heimrath, R.: Passive Kühlkonzepte für Büro- und Verwaltungsgebäude mittels luft- bzw. wasserdurchströmten Erdreichwärmetauschern. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 35/2002

[Flannery 2007] Flannery, T.: Wir Wettermacher. Frankfurt am Main 2007

[Fries 2009] Fries, R.; Greßler, S.; Simkó, M.; Gazsó, A.; Fiedeler, U.; Nentwich, M.: Nanosilber, nano trust dossiers Nr. 010, Institut für Technikfolgen-Abschätzung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, April 2009, abgerufen unter http://nanotrust.ac.at/dossiers_sum.html#010 am 30.04.2012

[Frischknecht 1996] Frischknecht, R.; Bollens, U.; Bosshart, St.; Cior, M.; Ciseri, L.; Doka, G.; Hischier, R.; Martin, A.; Dones, R.; Gantner, U.: Ökoinventare von Energiesystemen. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. ETH Zürich Gruppe Energie – Stoffe – Umwelt (3. Aufl.) 1996

[Frischknecht 2009] Frischknecht, R.; Steiner, R.; Jungbluth, N..: Mehtode der ökologischen Knappheit – Ökofaktoren 2006. Bern 2009

[Giebeler 2008] Giebeler, G.; Fisch, R.; Krause, H.; Musso, F.; Petzinka, K.; Rudolphi, A. et al.: Atlas Sanierung : Instandhaltung, Umbau, Ergänzung; 1. Auflage, Basel; Boston, Mass.; Berlin: Birkhäuser München: Ed. Detail, 2008

[Gnoth 2005] Gnoth, S.; Jurk, K.; Strangfeld, P.: Hygrothermisches Verhalten eingebetteter Holzbalkenköpfe im innengedämmten Außenmauerwerk. Heizungstechnisch gestützte Innendämmung bei Holzbalkendecken. In: Bauphysik 27, 2/2005, S. 117-128

[Guschlbauer-Hronek 2004] Guschlbauer-Hronek, K.; Grabler-Bauer, G. et al.: Altbausanierung mit Passivhauspraxis. Strategien zur Marktaufbereitung für die Implementierung von Passivhauskomponenten in der Althaussanierung. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 02/2004

[Haas 2012] Haas, Haider, Bednar, Stieldorf, Wimmer; Gebäudeintegration - Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung; Endbericht Haus der Zukunft Plus 2012 (zur Veröffentlichung vorbereitet)

[Hagentoft 2001] Hagentoft, C.: Introduction to Building Physics, Studentlitteratur 2001

[Hänggi 2011] Hänggi, M.: Ausgepowert. Das Ende des Ölzeitalters als Chance. Zürich 2011

[Harreither 2012] Harreither, C.: Decision Support Method for Flat Roofs using Probabilistic Tools to calculate Life Cycle Costs and Energy Efficiency, IBPC Kypto, 2012

[Haselsteiner 2005] Haselsteiner, E.; Havel, M.; Guschlbauer-Hronek, K.: Neue Standards für alte Häuser. Nachhaltige Sanierungskonzepte für Einfamilienhaus-Siedlungen der Zwischen- und Nachkriegszeit. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 7/2005

[Haupt 2005] Haupt, W. (2005). Do's and Don'ts of CFD-Simulations on Free Convection. Aus Tagungsband: 7th symposium on Building Physics in the Nordic Countries, June 13-15th, 2005

[Heiß 2006] Heiß, D.; Walser, S.; Ortler, A.: Haus Zeggele in Silz. Energietechnische Sanierung eines historisch erhaltenswerten Wohngebäudes. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 00/2006

[Hess 1943] Hess, F.: Konstruktion und Form im Bauen. Stuttgart: Julius Hoffmann Verlag, 1943

[Hischier 2009] Swiss Centre for Life Cycle Inventories (Hrsg): Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Final report ecoinvent v2.1 No. 3, Hischier R. et al., St. Gallen, 2009

[Hoberg 1997] Hoberg, H.: Recycling von Aluminium. Lehrstuhl für Aufbereitung, Veredlung und Entsorgung. Vortrag im Rahmen der Veranstaltung „Aluminiumwirtschaft im Wandel – Ein moderner Werkstoff im Spannungsfeld zwischen Ökonomie und Ökologie“ bei der KFA Jülich (Forschungszentrum Jülich) am 13. Juni 1997. *http://www.iar.rwthaachen.de/eng/publications/downloads/bis1999/V09_SFB525.pdf*

[Hofbauer 2008] Hofbauer, W.; Weihs, Ph.; Bednar, T.; Mach, T. et al.: Ökologische Sanierung eines denkmalgeschützten Gebäudes mit Passivhaustechnologien. Projektnummer 805813, AuftragnehmerIn: Arbeitsgemeinschaft Hofbauer Mühling. 2. Zwischenbericht, 2008-02-28

[Hofer 2006] Hofer, G. et al.: Ganzheitliche ökologische und energetische Sanierung von Dienstleistungsgebäuden. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 75/2006

[Hoffmann 1994] Hoffmann, H.D.: Luftqualität im Passivhaus Darmstadt. Bewertung von Styrolexpositionen. BASF Abteilung Toxikologie. Ludwigshafen: Oktober 1994

[IBO 2008] IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie (Hrsg.): Passivhaus-Bauteilkatalog/Details for Passive Houses. Ökologisch bewertete Konstruktionen/A Catalogue of Ecologically Rated Constructions. Springer Wien New York, 2., aktualisierte und erweiterte Auflage, 2008

[IBO-Richtwerte 2007] IBO-Richtwerte für Baumaterialien – Wesentliche methodische Annahmen. Boogman Philipp, Mötzl Hildegund. Version 2.2, Stand Juli 2007, mit redaktionellen Überarbeitungen am 9.10.2009 und 24.02.2010, URL: http://www.ibo.at/documents/LCA_Methode_Referenzdaten_kurz.pdf

[IFB 2008] Atlas Bauen im Bestand: Katalog für nachhaltige Modernisierungslösungen im Wohnungsbaubestand ; mit 168 Tabellen / Institut für Bauforschung e.V. (IFB), Köln: R. Müller 2008

[IPCC 2007] Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2007. Working group III Preport: Mitigation of Climate Change, Cambridge 2007.

[Jäger 2005] Jäger-Klein, C.: Österreichische Architektur des 19. und 20. Jahrhunderts. Wien ; Graz : NWV, Neuer Wissenschaftlicher Verlag 2005

[Kammerhofer 2005] Kammerhofer, K.; Ferle, A.; Köppl, M.: Wege zur Steigerung des Bauvolumens um 500 % bei standardisierter thermischer Althaussanierung. Entwicklung praxistauglicher Methoden zur Intensivierung und Rationalisierung von Prozessen in der Althaussanierung bei Ein- und Zweifamilienhäusern, die im Zeitraum 1945 bis 1982 in Oberösterreich erbaut wurden. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 24/2005

[Kautsch 2006] Kautsch, P. et al.: Zellulose-Innendämmung ohne Dampfsperre. Untersuchungen zur grundsätzlichen Eignung aufgespritzter und verputzter Zelluloseschichten. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 84/2006

[Klauß 2010] Klauß, S.; Kirchhof, W.: Altbaukonstruktionen – Materialien und U-Werte im Gebäudebestand: Baustoffe und Bauweisen mit regionalem Bezug; Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2010

[Köhler 2004] Köhler, R.-G.: Modernisierung von Bestandeswohnungen mit Wärmerückgewinnungsgeräten aus der Sicht der Wohnungswirtschaft. In [Feist 2004]

[König 2012] König, H.; Mandl, W.: Bauteilkatalog Altbau für Wohngebäude. Bausubstanz sicher beurteilen, Maßnahmen wirtschaftlich ent-

scheiden, Altbaukonstruktionen erfolgreich instand setzen und modernisieren. WEKA MEDIA GmbH, Augsburg 2012

[Kolbitsch 1989] Kolbitsch, A.: Altbaukonstruktionen : Charakteristika, Rechenwerte, Sanierungsansätze. Springer-Verlag Wien-New York 1989

[Krus 2008] Krus, M.; Fritz, C.; Sedlbauer, K.: Latentwärmespeicherzusätze und IR-Anstriche zur Reduktion des Bewuchsrisikos an Außenfassaden, In: Venzmer, H.: Biofilme und funktionale Baustoffoberflächen. Vorträge: 8. Dahlberg-Kolloquium vom 25. bis 26. September 2008 im Zeughaus Wismar. Berlin: Beuth, 2008. (Altbausanierung 2), pp. 91-100, abgerufen unter http://www.ibp.fraunhofer.de/publikationen/konferenzbeitraege/ am 30.04.2012

[Künzel 2006] Künzel, H.M.; Fitz, C., Bauphysikalische Eigenschaften und Beanspruchung von Putzoberflächen und Anstrichstoffen, In: Gänßmantel, J.: Vorträge zum Hindelanger Baufachkongress 2006. Ganzheitliche Bausanierung und Bauwerkserhaltung nach WTA: Sonderheft zum Hindelanger Baufachkongress 2006. München: WTA, 2006. (WTA-Schriftenreihe 28), pp. 49-72, abgerufen unter http://www.hoki.ibp.fhg.de/wufi/wufi_frame_e.html am 30.04.2012

[Lang 2004] Lang, G.; Plöderl, H.; Zelger, T.; Muss, Ch.; Krauß, B.; Obermayr, H. Ch.: Erste Passivhaus-Schulsanierung. Ganzheitliche Faktor 10 Generalsanierung der Hauptschule II und Polytechnischen Schule in Schwanenstadt mit vorgefertigten Holzwandelementen und Komfortlüftung. Haus der Zukunft Forschungsbericht 22/2004

[Lang 2007] Lang, G.; Lang, M.; Krauß, B.; Panic, E.; Obermayr, H. C.; Wimmer, R.: Erstes Einfamilien-Passivhaus im Altbau. Umsetzung des Passivhausstandards und –komforts in der Altbausanierung von Einfamilienhäusern am Beispiel EFH Pettenbach. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 38/2007

[Leibundgut 2011] Leibundgut, H.: lowEx. Zürich 2011.

[Lorbek 2003] Lorbek, M.; Stosch, G.: Architekturhistorisch differenzierte, energetische Sanierung. Vergleichende Analyse von Sanierungsmethoden bei Bauten der Nachkriegsmoderne, exemplarisch durchgeführt am Objekt Sonderschule Floridsdorf. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 28/2003

[Loga 2003] Loga, Tobias; Feldmann, Rainer; Diefenbach, Nikolaus; Großklos, Marc; Born, Ralf: Wiesbaden – Lehrstraße 2, Energetische Modernisierung eines Gründerzeithauses. Eine Untersuchung im Auftrag der Stadt Wiesbaden in Kooperation mit der Klimaschutz-Agentur Wiesbaden e.V., Darmstadt 2003.

[Lorbek 2005] Lorbek, M.; Stosch, G. et al.: Katalog der Modernisierung. Fassaden- und Freiflächenmodernisierung mit standardisierten Elemen-

ten bei Geschoßwohnbauten der fünfziger und sechziger Jahre. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 15/2005

[Marutzky 2002] Rainer Marutzky (WKI, Braunschweig): Holzfenster Verwertung nach Gebrauch. Initiative ProHolzfenster eV (Hrsg). Stand 01/2002

[Mauerwerk-Kalender 2009] Mauerwerk-Kalender 2009, Ausführung, Instandsetzung, Lehmmauerwerk, Hrsg. Wolfram Jäger, Berlin, Ernst & Sohn, 2009

[Mötzl 2009] Mötzl, H. et al.: ABC-Disposal – Maßzahlen für die Entsorgungseigenschaften von Gebäuden und Konstruktionen für die Lebenszyklusbewertung. Anhang 2 Entsorgungswege der Baustoffe. Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie und Österreichisches Ökologie-Institut. Gefördert von BMVIT/Haus der Zukunft. FFG-Projektnr. 813974. Wien, Dezember 2009

[Mück 2005] Der Echte Hausschwamm oder die Vergänglichkeiten von Bauten, ZT DI Wolfgang Mück, IBO-Magazin 4/05, http://www.ibo.at/documents/hausschwamm.pdf

[Müller 2011] Müller, U.: Holzbalkenköpfe in historischem Mauerwerk. Zwischen Luftumspülung und Innendämmung. In: Holzbau Die Neue Quadriga Nr.1/2011, Seite 13–17

[Münzenberg 2003] M. Pritsch, U. Münzenberg und J. Thumulla, "Schadstoffe in Innenräumen : Eine kurze übersicht über mittel- und schwerflüchtige Schadstoffe (SVOC) in Gebäuden, gesundheitliche Beschwerden der Gebäudenutzer und Nachweismethoden" In: Wohnung und Gesundheit, Fachzeitschrift fuer oekologisches Bauen und Leben, 25 (2003), H. 106, S. 34-36

[Obernosterer 2005] Obernosterer, R. et al.: Praxis-Leitfaden für nachhaltiges Sanieren und Modernisieren bei Hochbauvorhaben. Checkliste für eine zukunftsfähige Baumaterial-, Energieträger-, Entwurfs- und Konstruktionswahl. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 26/2005

[ÖNORM B 2202] Arbeiten gegen aufsteigende Feuchtigkeit bei Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk – Werkvertragsnorm; Ausgabe 2007-07-01; Österreichisches Normungsinstitut, Heinestraße 38, 1021 Wien.

[ÖNORM B 3345] Sanierputzsysteme für feuchte- und schadsalzbelastetes Mauerwerk – Anforderungen, Prüfverfahren, Hinweise für die Verarbeitung; Ausgabe 2009-06-01; Österreichisches Normungsinstitut, Heinestraße 38, 1021 Wien.

[ÖNORM B 3355-1] Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk – Teil 1: Bauwerksdiagnose und Planungsgrundlagen; Ausgabe 2011-01-15; Österreichisches Normungsinstitut, Heinestraße 38, 1021 Wien.

[ÖNORM B 3355-2] Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk – Teil 2: Verfahren gegen aufsteigende Feuchtigkeit im Mauerwerk; Ausgabe 2011-01-15; Österreichisches Normungsinstitut, Heinestraße 38, 1021 Wien.

[ÖNORM B 3355-3] Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk – Teil 3: Flankierende Maßnahmen; Ausgabe 2011-01-15; Österreichisches Normungsinstitut, Heinestraße 38, 1021 Wien.

[ÖNORM B 8110-3] Wärmeschutz im Hochbau, Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung; Ausgabe 2012-03-15; Österreichisches Normungsinstitut, Heinestraße 38, 1021 Wien.

[ÖNORM EN 15804] Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltdeklarationen für Produkte – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte. Ausgabe: 2012-04-01; Österreichisches Normungsinstitut, Heinestraße 38, 1021 Wien.

[ÖNORM EN ISO 14040] Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. Ausgabe: 2006-10; Österreichisches Normungsinstitut, Heinestraße 38, 1021 Wien.

[ÖNORM EN ISO 14044] Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen. Ausgabe: 2006-10; Österreichisches Normungsinstitut, Heinestraße 38, 1021 Wien.

[ÖNORM S 5730] Erkundung von Bauwerken auf Schadstoffe und andere schädliche Faktoren, Ausgabe: 2009-10-15; Österreichisches Normungsinstitut, Heinestraße 38, 1021 Wien.

[Ortler 2005] Ortler, A.; Krismer, R.; Wimmers, G.: Energetische Sanierung in Schutzzonen. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 27/2005

[Öttl-Präkelt 2010] Öttl-Präkelt, H. ; Leustenring, E.; Präkelt, W.: Balkone und Terrassen: Planen und Ausführen; 6. Auflage, Köln: R. Müller 2010

[Paech 2012] Paech, N.: Befreiung vom Überfluss. Auf dem Weg in die Postwachstumsökonomie. München 2012

[Panic 2008] Panic, E.; Fürstenberger A.; Lang, G.; Pachner, P.: Erste Altbausanierung auf Passivhausstandard mit VIP´s. Sanierung eines 150 Jahre alten Bauernhauses auf Passivhausstandard nach PHPP unter Einsatz von Vakuumdämmung. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 2008

[Patent 2012] Wegerer, P.; Bednar, T.: Europäisches Patent Nummer 12162831.7 – 2303 Anordnung und Vorrichtung zum Temperieren von Tramköpfen

[Peper 1999] Peper, S.; Feist, W.; Sariri, V.: Luftdichte Projektierung von Passivhäusern, CEPHEUS-Projektinformation Nr. 7, Passivhaus Institut, Darmstadt 1999

[Pfluger 2003] Pfluger, R.: Lufthygiene im Passivhaus. In [Feist 2003b]

[Pfluger 2004] Pfluger, R.: Integration von Lüftungsanlagen im Bestand – Planungsempfehlungen für Geräte, Anlagen und Systeme. In [Feist 2004]

[Pfluger 2005] Pfluger, R.: Kleinwärmepumpen für Heizung und Kühlung – Kompaktgeräte auch für den Sommer? In [Feist 2005]

[Plöderl 2006] Plöderl, H.; Berger, M.; Lang, G.; Muss, Ch.; Krauß, B.; Obermayr, H.Ch.; Weingartsberger, H.: Demonstrationsprojekt Erste Passivhaus-Schulsanierung. Ganzheitliche Faktor 10 Generalsanierung der Hauptschule II und Polytechnischen Schule in Schwanenstadt mit vorgefertigten Holzwandelementen und Komfortlüftung. Haus der Zukunft Forschungsbericht. Zwischenbericht.

[Plöderl 2008] Plöderl, H.; Berger, M.; Lang, G.; Muss, Ch.; Krauß, B.; Obermayr, H.Ch.; Weingartsberger, H.: Demonstrationsprojekt. Erste Passivhaus-Schulsanierung. Ganzheitliche Faktor 10 Generalsanierung der Hauptschule II und Polytechnischen Schule in Schwanenstadt mit vorgefertigten Holzwandelementen und Komfortlüftung. Haus der Zukunft Forschungsbericht.

[Poppe 2004] Poppe, H.; Prehal, A.; Kahlert, C.; Rochard, U.; Menz, W.; Pichler, J.; Ulbrich, S.; Gruber, H.: ZSG – Zukunftsfähige Konzepte in der Stadt- und Gebäudesanierung – Trollmannkaserne Steyr. Haus der Zukunft Forschungsbericht 23/2004

[Prehal 2004] Prehal, A.; Poppe, H.; Fadenberger, V.; Gutmann, R.; Krauß, B.; Panic, E.; Zelger, T.: WOP – Wohnbausanierung mit Passivhaustechnologie. Haus der Zukunft Forschungsbericht NN/2004

[Pusch 2006] Pusch, Ch.; Reinberg, G.; Fink, Ch.; Bruck, M.; Tappeiner, G.; Ganneshofer, W.: Passivhaussanierung Klosterneuburg Kierling. Sanierung einer Wohnhausanlage aus den 1970er Jahren auf Passivhausqualität unter Nutzung erneuerbarer Energie. Haus der Zukunft Forschungsbericht. Zwischenbericht, April 2006

[Raisch 1928] Raisch, E.: Die Luftdurchlässigkeit von Baustoffen und Baukonstruktionen; gi 30 (1928)

[Rietschel 1994] Rietschel, H.; Esdorn, H.: Raumklimatechnik Band 1: Grundlagen. 16. Auflage, korrigierter Nachdruck, Springer 1994.

[Rischanek 2007] Rischanek, U.: Demonstrationsvorhaben Menzelgasse. Begleitung der Bau- und Besiedlungsphase der beiden als seniorenbezogene Bauvorhaben ausgeführten Projekte (Neubau und Sockelsanierung), Dokumentation und verallgemeinerbare Schlussfolgerungen. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 12/2007

[Ruhs 2005] Ruhs, H.; Six, E.; Strasser, H.: SAQ – Sanieren mit Qualität. Qualitätskriterien für die Sanierung kommunaler Gebäude. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 42/2005

[Ruisinger 2011] Ruisinger, U.; Risikofaktor Balkenkopf? Holzbalkendecken und die Innendämmung. In: Holzbau Die Neue Quadriga Nr.1/ 2011, S. 18–22

[Sandbichler 2004] Sandbichler, B.: Revitalisierung mit S.A.M. SYNERGIE AKTIVIERENDE MODULE. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 10/2004

[Sedlbauer 2001] Sedlbauer, K.: Vorhersage von Schimmelpilzebildung auf und in Bauteilen, Dissertation Universität Stuttgart 2001

[Sedlbauer 2002] Sedlbauer, K.; Gabrio, Th.; Krus, M.: Schimmelpilze – Gesundheitsgefährdung und Vorhersage; Gesundheitsingenieur 123(2002), Heft 6, S. 285ff.

[Sedlbauer 2003] Sedlbauer, Klaus; Kurs, Martin: Schimmelpilze in Gebäuden – Biohygrothermische Berechnungen und Gegenmaßnahmen. In: Cziesielski, Erich (Hg.): Bauphysik-Kalender 2003. Berlin 2003, S. 435-530.

[Sedlbauer 2004] Sedlbauer, K.; Krus, M., Lenz, K.; Paul, M.: Einfluss der Außenwandkonstruktion auf nächtliche Betauung und mikrobiellen Bewuchs, IBP-Mitteilung 438, 2004, abgerufen unter http://www.ibp.fraunhofer.de/publikationen/IBP-Mitteilungen/ index.jsp am 30.04.2012

[Scheibe 2003] Scheibe, W.; Grandissa, K.: Gewinnung von hochwertigem Ziegelsplitt aus Bauschutt. In: Aufbereitung und Recycling, Tagung der Ges. für Umweltverfahrenstechnik und Recycling e.V. Freiberg (UVR), Wiss.-techn. Ges. für Verfahrenstechnik Freiberg e.V. (FIA), Ges. für Aufbereitungstechnik und Recycling e.V Freiberg (GAR). Freiberg, am 13. Nov. 2003

[Schleevoigt 2004] Schleevoigt, P.: Erfahrungen mit Planung und Ausführung bei der Integration von Wohnungslüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung in Bestandesgebäuden. In [Feist 2004]

[Schmitt 1967] Schmitt, H.: Hochbaukonstruktion: Die Bauteile u.d. Baugefüge, Grundlagen d. heutigen Bauens; 4. Auflage, Ravensburg: Otto Maier 1967

[Schneider 2005] Schneider, U.; Brakhan, F.; Zelger, T.; Moser, W.; Bednar, T.: ALTes Haus. Barrierefreies Wohnen im GründerzeitPassivHaus.

[Schneider 2006] Schneider, U.; Birnbauer, G.; Brakhan, F.; Zelger T.; Haas, Ch.; Pokorny, K.; Berger, M: Grünes Licht. Licht, Luft, Freiraum und Gebäudebegrünung im großvolumigen Passivhauswohnbau. Haus der Zukunft Forschungsbericht 03/2006

[Schneider 2010] Schneider, U.; Böck, M.; Mötzl, H. et al.: Recyclingfähig Konstruieren. Subprojekt 3 zum Leitprojekt „gugler! build & print triple zero“. POS-Architekten und IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie. Gefördert von BMVIT/Haus der Zukunft. FFG-Projektnr. 826004. Wien, Dezember 2010

[Schnieders 2003] Schnieders, J.: Wirkung von Position und Art der Lüftungsöffnungen auf den Schadstoffabtransport. In [Feist 2003b]

[Schnieders 2005] Schnieders, J.: Ökonomischer Vergleich unterschiedlicher Systeme am Beispiel eines Bürogebäudes. In [Feist 2005]

[Schnieders 2009] Schnieders, J.: Einfluss von Kellerdeckendämmung auf die Feuchtebelastung von Kellerräumen.
aus http://www.passiv.de/01_dph/UntBH/BerFL/Feuchtebelastung_Keller.pdf

[Schweizer 2006] Schweizer, P.: Modellregion BAU-LAND-GEWINN Pongau. Projektnummer 811588. Haus der Zukunft Forschungsbericht. 1. Zwischenbericht, 2006-12-04

[Sonderegger 2007] Sonderegger, A.; Nadler-Kopf, B.; Bertsch, G.; Zettler, L.: Sanierung ökologischer Freihof Sulz. Begegnungsstätte; Gebäudehülle mit kulturellem Erbe Energie sparend sanieren; ökologische Materialien; Adaption zukunftsträchtiger alter Bautechniken; erneuerbare Energien. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 31/2007

[Stopp 2010] Stopp, H.; Strangfeld, P.; Toepel, T.; Anlauft, E.: Messergebnisse und bauphysikalische Lösungsansätze zur Problematik der Holzbalkenköpfe in Außenwänden mit Innendämmung. In: Bauphysik 32, 2/2010, S. 61-72

[Strangfeld 2012] Strangfeld, Peter, Staar, Andrea, Toepel Torsten, Stopp Horst: Das hygrothermische Verhalten von Holzbalkenköpfen im innengedämmten Außenmauerwerk (Teil1 +2); Bautenschutz 2/3 2012

[Streicher 2010] Streicher, W.; Schnitzer, H.; Titz, M., Tatzber, F.; Heimrath, R.; Wetz, I.; Hausberger, S.; Haas, R.; Kalt, G.; Damm, A.; Steininger, K.; Oblasser, S.: Energieautarkie für Österreich 2050. Innsbruck 2010

[Suschek-Berger 2006] Suschek-Berger, J.; Ornetzeder, M.: Kooperative Sanierung. Modelle zur Einbeziehung von BewohnerInnen bei nachhaltigen Gebäudesanierungen. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 54/2006

[Thelandersson 2009] Thelandersson, S.; Isaksson, T.: Modelling of onset of mould growth for wood exposed to varying climate conditions. Paper prepared for the 40th Annual Meeting Beijing, China 24-28 May 2009.

[Tritthart 2004] Tritthart, W.; Baumgartner, B.; Bleyl, J. et al.: Dienstleistungsangebote des Baugewerbes zur Durchführung ökologischer Althaussanierungen. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 3/2004

[UBA 2002] Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen („Schimmelpilz-Leitfaden“), Erstellt durch die Innenraumlufthygienekommission des Umweltbundesamtes, Umweltbundesamt Berlin 2002, (download unter http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2199.pdf)

[UBA 2005] Leitfaden zur Ursachensuche und Sanierung bei Schimmelpilzwachstum in Innenräumen („Schimmelpilzsanierungs-Leitfaden“). Erstellt durch die Innenraumlufthygienekommission des Umweltbundesamtes, Umweltbundesamt Dessau 2005, download unter http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2951.pdf

[VDI 6022] VDI 6022 - Hygiene-Anforderungen an Raumlufttechnische Anlagen und Geräte. 2006

[Viitanen 1996] Viitanen, H.: Factors affecting the development of mould and brown rot decay in wooden material and wooden structures. Effect of humidity, temperature and exposure time. Dissertation, Swedish Univ. of Agricultural Science Dept. of Forest Products, Uppsala 1996.

[Waldschmidt 1999] Waldschmidt, R.; Schickedanz, J.: Der Einsatz von Weitwurfdüsen als Zuluftventile in Wohnräumen. In [Feist 1999]

[Wefers 2009] Wefers, H.; Cameron, P.; Vengels, J.: Nano-Silber – der Glanz täuscht, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V (BUND) Friends of the Earth Germany, Berlin, 2009, abgerufen unter http://www.bund.net/themen_und_projekte/nanotechnologie/nanomaterialien/nanosilber/ am 30.04.2012

[Wegerer 2010] Wegerer, P.: Beurteilung von Innendämmsystemen – Langzeitmessung und hygrothermische Simulation am Beispiel einer Innendämmung aus Schilfdämmplatten. Diplomarbeit am Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz, Institut für Hochbau und Technologie, TU Wien 2010.

[Wegerer 2012] Wegerer, P.; Neusser, M.; Bednar, T.: Auswirkungen der Luft(un)dichtheit auf die Feuchtebelastung von Konstruktionen mit Innendämmsystemen, 7th International Symposium on Building and Ductwork Air Tightness in Practice, May 11-12, 2012, Stuttgart, Germany.

[Welzer 2008] Welzer H.. Klimakriege. Wofür im 21.Jahrhundert getötet wird. Frankfurt am Main 2008

[Werner 1999] Werner, J.; Laidig, M.: Grundlagen der Wohnungslüftung im Passivhaus. In [Feist 1999]

[Wimmer 2008] Wimmer, R.:Informationsknoten für Nachwachsende Rohstoffe und ökologische Materialien (II). Internetplattform, Informations- und Serviceangebot und Haus der Zukunft Transfermaßnahmen. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 5/2008

[WTA 2009/D] WTA-Merkblatt 6-4/D: Innendämmung nach WTA I: Planungsleitfaden, München, WTA e.V., Ausgabe 05–2009.

[Zelger 2009] Zelger, T.; Waltjen, T.: PH-Sanierungsbauteilkatalog. Auswertung gebäudesanierungsbezogener HdZ-Forschungsberichte mit konstruktiven, bauphysikalischen und bauökologischen Ergänzungen. Wien 2009

[Zwiener 2006] Zwiener, G.; Mötzl, H.: Ökologisches Baustoff-Lexikon, Heidelberg: C. F. Müller 2006

[Zwiener 2012] Zwiener, G. (Hrsg.): Handbuch Gebäude-Schadstoffe und Gesunde Innenraumluft, Berlin: Erich Schmidt 2012

14 Anhang

14.1 Verwendete Abkürzungen

EPS … Expandiertes Polystyrol

MVA … Müllverbrennungsanlagen

PBT … persistenter, bioakkumulierbarer toxischer Stoffe

PC-Abfälle … Postconsumer-Abfälle (fallen nach dem Gebrauch an, i.e. bei Baustoffen nach dem Ausbau aus dem Gebäude

PE … Polyethylen

PP … Polypropylen

XPS … Extrudiertes Polystyrol

WDVS … Wärmedämmverbundsystem

14.2 Klimarandbedingungen

Für die Berechnungen wird das Außenklima von Klagenfurt sowie ein sinusförmiges Innenklima herangezogen. Im Folgenden werden die wesentlichen Klimarandbedingungen angeführt.

14.2.1 Außenklima

Das Außenklima wird anhand der Jahresverläufe der Temperatur, der relativen Luftfeuchte sowie der Gesamtsolarstrahlung dargestellt. Es werden jeweils Stundenmittelwerte in blau und gleitende Monatsmittelwerte in rot angegeben.

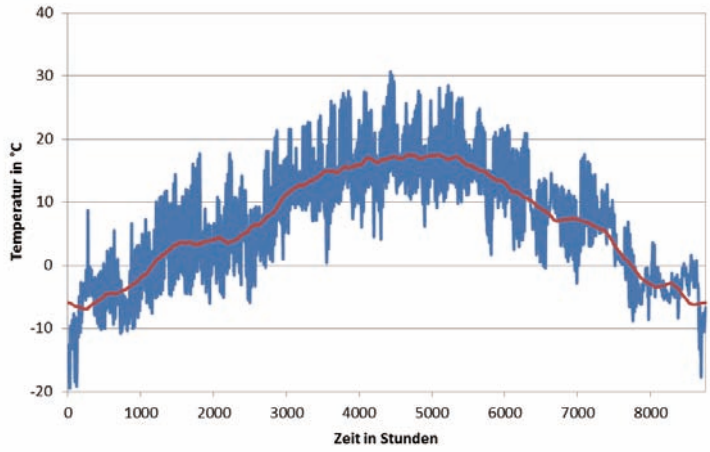


Abb. 129: Jahresverlauf der Außentemperatur anhand von Stundenmittelwerten (blau) und gleitenden Monatsmittelwerten (rot)

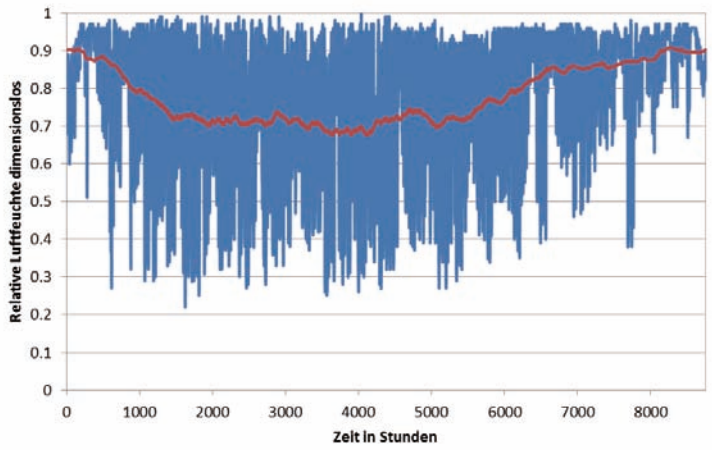


Abb. 130: Jahresverlauf der relativen Luftfeuchte der Außenluft anhand von Stundenmittelwerten (blau) und gleitenden Monatsmittelwerten (rot)

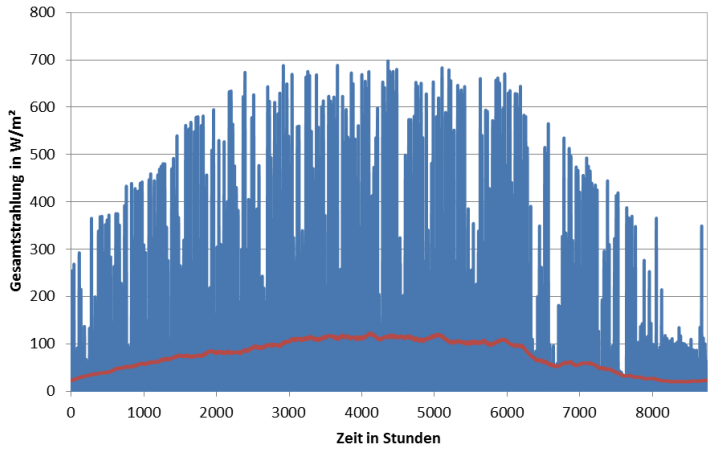


Abb. 131: Jahresverlauf der Gesamtsolarstrahlung anhand von Stundenmittelwerten (blau) und gleitenden Monatsmittelwerten (rot)

14.2.2 Innenklima beheizter Raum

Das Innenklima wird als typischer Sinusverlauf angenommen. Dieser bewegt sich zwischen 22 °C / 40 % im Winter und 26 °C / 60 % im Sommer.

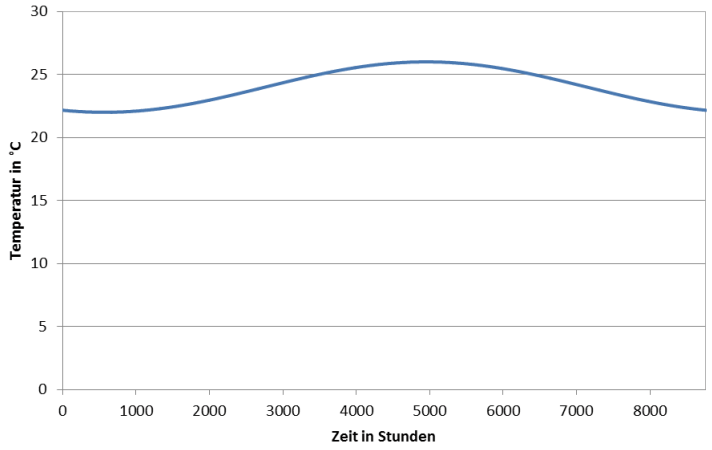


Abb. 132: Jahresverlauf der Innentemperatur anhand von Stundenmittelwerten

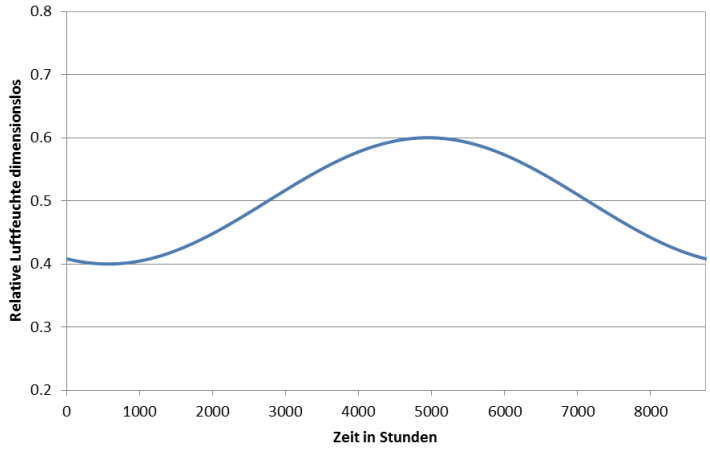


Abb. 133: Jahresverlauf der relativen Luftfeuchte der Innenluft anhand von Stundenmittelwerten

14.3 Materialparameter

Es sind die Materialfunktionen für die Berechnungen mit dem Simulationsprogramm wesentlich. Vor allem für die Flüssigkeitsleitung über Diffusion und Flüssigwassertransport sind diese Funktionen ausschlaggebend. Im Folgenden werden die Feuchtespeicherfunktion, die Saugspannungskurve sowie Feuchtigkeitsleitung für die drei für die hygrischen Zustände maßgeblichen Materialien dargestellt.

14.3.1 Mauerwerk

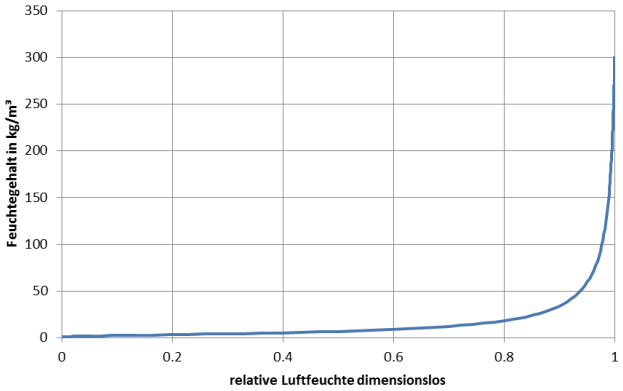


Abb. 134: Feuchtespeicherfunktion des Mauerwerks

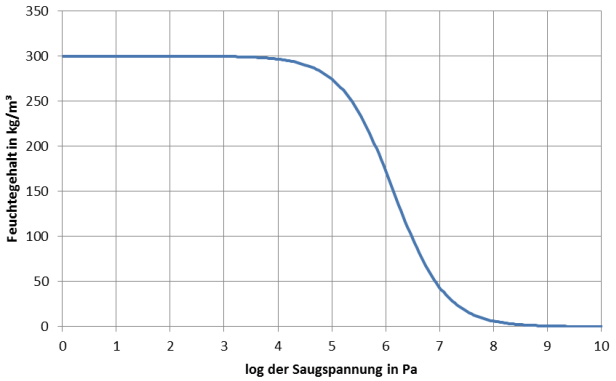


Abb. 135: Saugspannungskurve des Mauerwerks

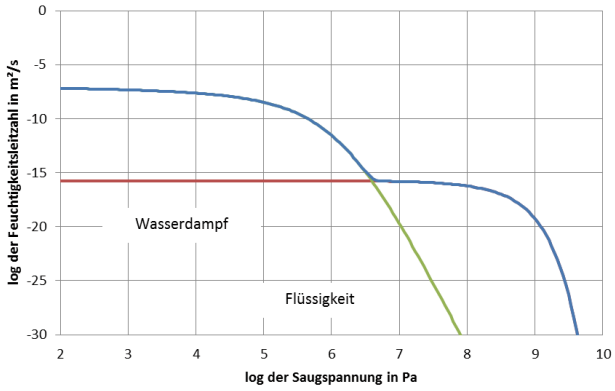


Abb. 136: Feuchtigkeitsleitung des Mauerwerks

14.3.2 Außenputz

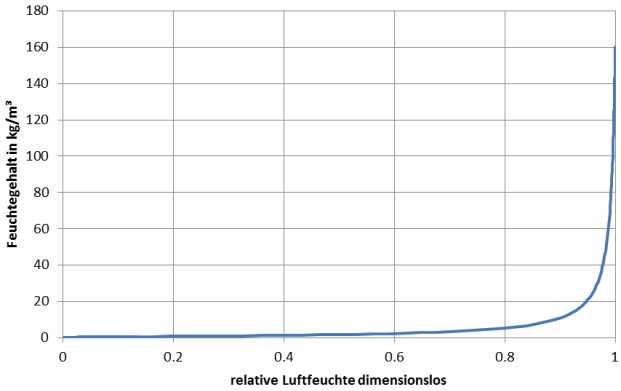


Abb. 137: Feuchtespeicherfunktion des Außenputzes

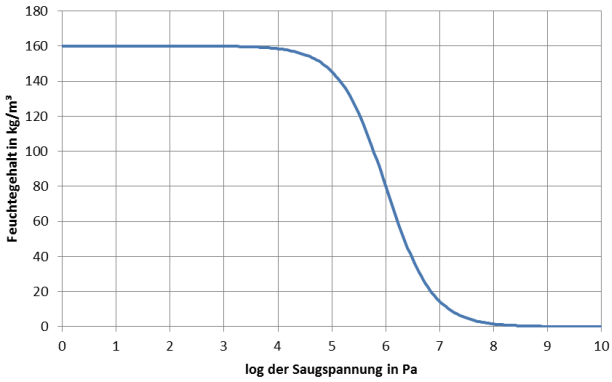


Abb. 138: Saugspannungskurve des Außenputzes

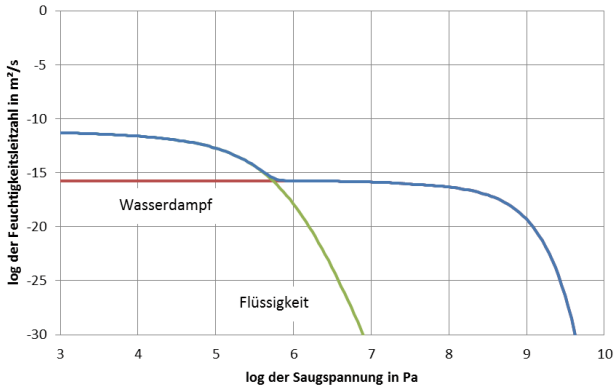


Abb. 139: Feuchtigkeitsleitung des Außenputzes

14.3.3 Lehmboden

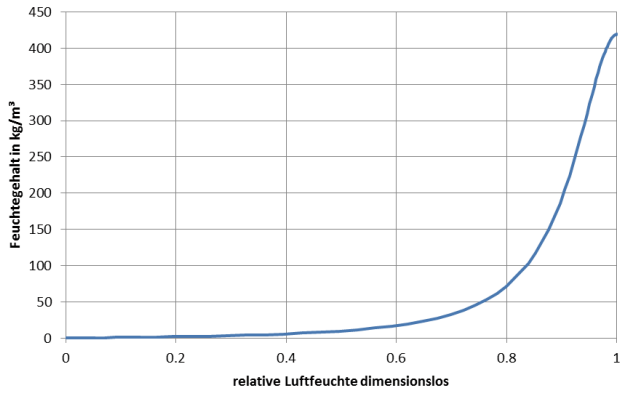


Abb. 140: Feuchtespeicherfunktion des Lehmbodens

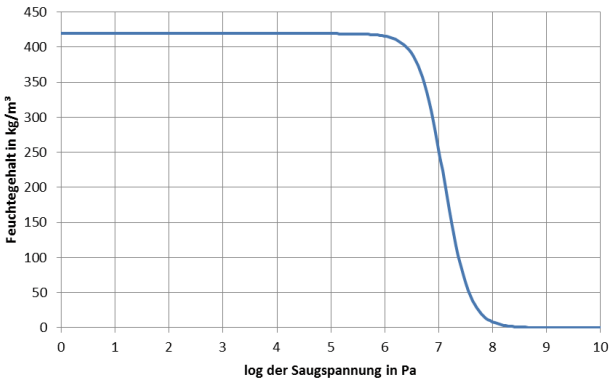


Abb. 141: Saugspannungskurve des Lehmbodens

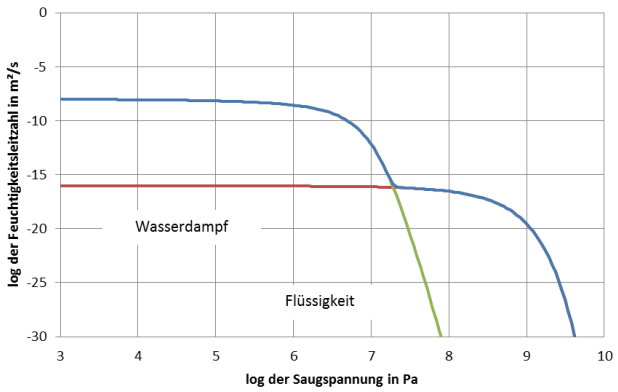


Abb.142: Feuchtigkeitsleitung des Lehmboden