

recyclingfähig konstruieren

Subprojekt 3 zum Leitprojekt „gugler! build & print triple zero“

U. Schneider, M. Böck, H. Mötzl et al.

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

21/2011

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 aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

recyclingfähig konstruieren

Subprojekt 3 zum Leitprojekt „gugler! build & print triple zero“

Arch. Dipl. Ing. Ursula Schneider, Dipl. Ing. Margit Böck
pos architekten

Mag. Hildegund Mötzl
IBO - Österreichisches Institut für Baubiologie
und -ökologie GmbH

Wien, Dezember 2010

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

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.	Kurzfassung	9
2.	Abstract	10
3.	DEL. Best Practice Beispiele recycling	11
3.1.	Das IFD Programm, NL	11
3.2.	Designing for Deconstruction D4D	19
3.3.	Lifecycle Building Challenge	22
3.4.	Bauen mit vorgefertigten Elementen	26
3.5.	Materialexperimente mit recycelbaren Rohstoffen	44
3.6.	Weitere Beispiele	52
3.7.	Conclusio aus der best practice Recherche	56
4.	DEL. Exposé Bedingungen und Methoden für das Recycling von Baukonstruktionen unter Zugrundelegung der derzeitigen Verfahren und Betrachtung der derzeitigen Schwachstellen in Konstruktion und Recyclingprozess	59
4.1.	Rahmenbedingungen für das Recycling	59
4.2.	Abbruch und Rückbaumethoden für Gebäude	64
4.3.	Entsorgung	80
4.4.	Recyclierung	95
4.5.	Potenzielle Schwachstellen im Recyclingprozess	118
4.6.	Schlussfolgerungen zu den Demontage und Verwertungsverfahren, Recyclingpotential und Handlungsbedarf	125
5.	DEL. Übersicht Verbindungsarten und –mittel und deren Recyclingeignung	128
5.1.	Einleitung	128
5.2.	Klassifikation von Fügungen:	128
5.3.	Überblick über die Fügeverfahren	131
5.4.	Kleben	151
5.5.	Praxisbeispiele für innovative Fügetechniken	170
6.	DEL Prinzipien für kreislauffähiges Konstruieren	175
6.1.	Minimierung des ökologischen Aufwandes	175
6.2.	Lebensdauer verlängern, langfristige Werterhaltung	183
6.3.	Leichte Montage und Demontage	190
6.4.	Gute Recyclierbarkeit	192
6.5.	Gute Wiederverwendbarkeit	194
6.6.	Gute Planung	195
6.7.	Conclusio	197
7.	DEL. Entwurfsempfehlungen für kreislauffähige Konstruktionen	199
7.1.	Analyse bestehender Baukonstruktionen hinsichtlich Recyclierbarkeit	199
7.2.	Entwurfsempfehlungen für kreislauffähige Konstruktionen	206
8.	DEL Recycling von haustechnischen Anlagenteilen	223

8.1.	Einführung	223
8.2.	Bestandteile von haustechnischen Anlagen	223
8.3.	Haustechnische Anlagenkomponenten.....	224
8.4.	Haustechnische Materialien und deren Recycling(möglichkeiten).....	225
8.5.	Recycling von Photovoltaik- Modulen	231
9.	DEL Katalog recyclierbarer Konstruktionen	233
9.1.	Einleitung	233
9.2.	Bewertung von Baukonstruktionen	233
9.3.	Bewertung aus ökologischer Sicht.....	247
9.4.	Bewertung aus bauphysikalischer Sicht.....	249
9.5.	Kostenbewertung	249
9.6.	Aufbautenkatalog	250
9.7.	Übersicht über die Ergebnisse der ökologischen Bewertung.....	266
9.8.	Übersicht über die Ergebnisse der bauphysikalischen Bewertung	267
10.	DEL Synthese der Kataloge aus SP2 und SP3	270
10.1.	Gegenüberstellung und Kombination der Ergebnisse aus Subpro 2, AP3 und AP4 mit Ergebnissen SP3-AP4	270
10.2.	Bewertung und Empfehlung.....	277
11.	DEL mögl. Konstruktionspalette für Leuchtturm Gugler.....	279
11.1.	Fussboden zum Erdreich	279
11.2.	Außenwände	280
11.3.	Dach.....	282
11.4.	Fassaden	284
12.	Literatur.....	287
13.	Tabellen und Abbildungsverzeichnis.....	289
13.1.	Tabellen	289
13.2.	Abbildungsverzeichnis	289
14.	Anhang 1: Kostenbewertung der Bauteilaufbauten.....	294
15.	Anhang 2: Annahmen zur Berechnung der Recyclierbarkeit und der ökologischen Indikatorwerte.....	299
16.	Anhang 3: Sammlung von Bauteilaufbauten mit Bewertung aus ökologischer und bauphysikalischer Sicht.....	310

1. Kurzfassung

Langfristiges Ziel des Bauwesens muss es sein, den gesamten Kreislauf von der Produktion der Baustoffe und Komponenten und der Bereitstellung der Energie über ihre Verwendung bis zur Entsorgung/Weiterverwertung des Gebäudes in ein globales Nachhaltigkeitskonzept einzuordnen. Das heißt auch, dass diesem Kreislauf nur Stoffe zugeführt werden, die im Laufe ihres Lebenszyklus auf der Erde ersetzt oder/und biologisch abgebaut werden können (nawaros) oder vollständig recycelt werden können (recycros).

Um dies zu erreichen ist das Augenmerk nicht nur auf die Verwendung bereits recycelter Stoffe zu richten (siehe Subprojekt 2 „recycros“) sondern auch darauf, dass Bauweisen und Konstruktion (Stichwort: „stofffreie Fügetechniken“) recyclingfähig sind, unabhängig davon, ob neue Materialien oder recycros eingesetzt werden.

Die nähere Betrachtung dieser Bedingungen, die Formulierung von allgemeinen Regeln für recycelbares Konstruieren, die Entwicklung von höchst recycelbaren Konstruktionen und die Zusammenstellung von möglichen Konstruktionen für das ökoeffiziente Gugler- Demogebäude, sind der Inhalt dieses Subprojektes „recyclingfähig Konstruieren“. Für das Subprojekt 5 dienen die Ergebnisse des Subprojekts 3 zusammen mit den Ergebnissen weiterer Subprojekte als Grundlage zur konkreten Auswahl und Berechnung der Konstruktionen und Aufbauten des ökoeffizienten Gugler- Betriebsgebäudes in Melk.

Im ersten Arbeitspaket wird der momentane Stand der Technik bei Abbruch und Demontage von Bauteilen erhoben; Bedingungen und Schwachstellen aufgezeigt, Verbindungsmittel und Verbindungsarten in Bezug auf Recycelbarkeit erforscht, das Verbesserungspotenzial für die Demontage und Recycelbarkeit von Konstruktionen im Bauwesen abgeschätzt und daraus der aktuelle Handlungsbedarf und die Handlungsmöglichkeiten definiert.

Auf dieser Grundlage und den Ergebnissen aus der Best Practice Recherche werden Prinzipien für kreislauffähiges Konstruieren entwickelt und nach Analyse bestehender Konstruktionen hinsichtlich ihrer Recycelbarkeit Entwurfsempfehlungen für kreislauffähige Konstruktionen erarbeitet.

Auf Basis der Analyse von bestehenden Baukonstruktionen hinsichtlich ihrer Recycelbarkeit und den erarbeiteten Entwurfsempfehlungen wird schließlich ein Katalog von Aufbauten mit dem Ziel, einen Recyclinganteil von 95% zu erreichen, zusammengestellt und in einem Rückkopplungsprozess in Bezug auf Ökologie, Bauphysik und Recycelbarkeit optimiert. Besonders soll dabei darauf bedacht genommen werden, Konstruktionen auch einem upcycling zuführen zu können, das heißt sie möglichst lange in hochwertiger Verwendung zu halten und damit einen Schritt in Richtung der c2c Idee zu machen. Den vorgeschlagenen Lösungen werden konventionelle Konstruktionen mit zugehörigen Kennwerten gegenübergestellt. Dies soll Rückschlüsse auf das mögliche Ausmaß der ökologischen Verbesserung zulassen.

Für haustechnische Anlagenteile wird ebenfalls die Recycelbarkeit ermittelt, die eingesetzten Materialien und Anlagenkomponenten und deren Möglichkeiten zur Wiederverwendung werden angeführt.

Im letzten Arbeitspaket werden die Erkenntnisse aus Subprojekt 2 („Bauen mit recycros“) über recycelte Rohstoffe mit den Ergebnissen aus Subprojekt 3 „Recyclingfähig konstruieren“ zusammengeführt und bewertet. Die Ergebnisse aus der ökologisch- bauphysikalischen Bewertung und die Kombination mit den Ergebnissen aus SP2 bilden die Grundlage für die Auswahl von möglichen Konstruktionen, die den hohen Anteil an Recycelbarkeit gewährleisten können, der für das Demoprojekt gefordert wird (95%). Diese Palette stellt dann die Grundlage für das Subprojekt 5 „ökoeffektives Gebäude“ und in Folge für die konstruktive Planung des Gugler- Demogebäudes dar.

2. Abstract

The long term goal of building is to integrate the entire cycle of building, starting with the production of building materials and components and the provision of energy, going on with the use of the building and finally its disposal into a global concept of sustainability. This also means that this cycle shall be fed only by substances that can be replaced during the course of their life on earth and / or can be biologically degraded (Nawaros) or can be completely recycled (recycros).

In order to achieve that goal it is not only necessary to use raw materials that already have been recycled (see subproject 2 "recycros") but also to apply construction methods and joint techniques (material inherent bonding) that allow recycling - regardless whether recycled or new materials are being used.

The close examination of these conditions, a compilation of general rules for recyclable engineering, the development of highly recyclable structures and a selection of possible constructions for the c2c-demo-building are the subjects for this subproject „recyclable designing“.

Together with results of other sub-projects the results of this subproject will establish the basis for the selection and calculation of the design-principle and the constructional elements to be used for the ecoeffective factory building Gugler in Melk.

The first work package is the research of state-of-the-technology concerning demolition and dismantling of buildings and the conditions and weaknesses, of joints and bonding techniques regarding recycling, of state-of-the-art-projects, of potential improvements for the dismantling and recycling in the field of building and the estimation of the actual need for action and the actual possibilities.

On this base and with the results of the Best Practice research we put up general rules for recyclable construction design and after analysing existing constructions concerning recycling recommendations for recyclable design.

One part of the result is a selection of constructions that allow a high percentage of recycling (the aim for the demo-project is 95%). These possible constructions are being optimized in a feedback process that involves ecological benchmark, calculation of building physics and structural engineering and the possibility of actual implementation in the construction process.

The consideration of introducing materials in a process of up-cycling –which means materials being reused allowing the same (high) quality demands - is particularly important to make a step towards the principle of cradle-to-cradle.

The proposed solutions and the technical and ecological specifications will then be compared to standard-solutions. This will lead to conclusions about the extent of possible ecological improvements.

Recycling possibilities will also be determined for the building services gear concerning used materials and components and the possibilities of their recyclings

In the last step the results of subproject 2 (building with „recycros“) about recycled raw materials will be incorporated in the results of subproject 3 („recyclable designing“). The results concerning ecological benchmark and calculation of building physics in combination with the results of subproject 2 lead to a catalogue of possible constructions with the high percentage of recycling which is aimed for the demo- project (95%)

This selection is the basis for sub-project 5 “ecoeffective building” and as a consequence the basis for the design of the Gugler-Demo-Building.

3. DEL. Best Practice Beispiele recycling

Die vorliegende Beispielsammlung soll einen Überblick über Projekte, aber auch Bauweisen geben, die mit speziellem Fokus auf ihre Rückbaubarkeit entwickelt wurden.

Dabei werden verschiedene Programme vorgestellt, die sich zum Ziel gesetzt haben, neue industrielle Konzepte zu entwickeln und innovative Lösungen vorzustellen:

- IFD aus den Niederlanden zum Beispiel steht für "Demonstration projects Industrial, Flexible and Demountable Construction"
- Designing for Deconstruction D4D
- Lifecycle Building Challenge

Im anschließenden Kapitel „Bauen mit vorgefertigten Elementen“ soll unter den Aspekten Flexibilität, modulares Bauen, Bauen mit vorgefertigten Elementen und Materialexperimenten mit recycelbaren Rohstoffen in einigen Beispielen die Kreislauffähigkeit von Gebäuden betrachtet werden: unter spezieller Berücksichtigung der eingesetzten Materialien und der Konstruktionsweisen.

Flexibles Bauen hat in vielen Bereichen gleichzeitig Berührungspunkte mit ökologisch-abfallwirtschaftlichen Kriterien, da Bauten, die Flexibilität ermöglichen, den Anspruch haben, auch leichter rückgebaut werden zu können.

Das modulare Bauen erfordert sowohl für die Montage als auch für die Demontage die Entwicklung von neuen Verbindungselementen und –techniken, im Folgenden werden einige Beispiele, hauptsächlich aus dem Holzbau, vorgestellt.

Das Bauen mit industriell vorgefertigten Elementen bietet nicht nur den Vorteil der Herstellung in der Fabrik (und der damit einhergehenden Abfallreduktion) und der Verkürzung der Bauzeit, sondern auch den Vorteil, dass die Teile wieder demontiert werden können und- in Abhängigkeit von den gewählten Rohstoffen- auch wieder recycelt werden können.

Im Kapitel „Materialexperimente mit recycelbaren Rohstoffen“ wird schließlich der innovative Einsatz von Materialien in Hinblick auf die Kreislauffähigkeit untersucht: vom Einsatz von Karton als Baumaterial bis hin zum Bauen mit Lehm, der Einsatz eines textilen Industriegewebes als Außenhaut bis hin zu der Idee eines Wohngebäudes mit einer Gummimembran, auf der Photovoltaikzellen aufgebracht sind.

Den Abschluss bilden schließlich das Triple Zero Konzept von Prof. Werner Sobek, dessen Anspruch es ist, ein Gebäude zu errichten, das bei einem Umbau oder Abbruch am Ende seines Lebenszyklus keinen Abfall hinterlässt.

3.1. Das IFD Programm, NL

Das Programm „Demonstration projects Industrial, Flexible and Demountable Construction“ IFD wurde vom Niederländischen Ministerium für Wirtschaftliche Angelegenheiten und dem Ministerium für Wohnen, Raumplanung und Umwelt ins Leben gerufen. Dabei wurden im Rahmen von Ausschreibungen 1999-2005 innovative Projekte ausgewählt, die dazu neue Konzepte entwickeln. Im Vordergrund steht dabei industrielle Herstellung, Flexibilität bezüglich der Anforderungen des Nutzers und die Demontierbarkeit des Gebäudes.

Quellen: www.ifd.nl, www.sev.nl

Einige Beispiele werden im Anschluss vorgestellt:

3.1.1. Projekt XX, Delft, NL

Der Bau von XXArchitekten zeigt eine beispielhafte Trennung von Rohbau und Ausbau. Die tragenden Konstruktionen und die füllenden Elemente sind demontabel und so ausgebildet, dass bei der Montage und Demontage Beschädigungen der Konstruktionsteile vermeidbar sind. Alle Konstruktionen sind demontabel. Zudem sind die Innenausbauten (nicht tragende Innenwände, Bodenausbauten, etc.) von den tragenden Konstruktionen getrennt. Bei Montage und Demontage werden daher die tragenden Konstruktionsteile nicht beschädigt.

Die Installationsführung ist flexibel gelöst, Wartung und Veränderungen sind mit geringem Aufwand bei weitgehender Vermeidung von Störungen im Betrieb möglich.



Abbildung 1: Projekt XX, Delft

Quelle: www.xxarchitecten.nl

Kommentar:

Die Ausbildung demontierbarer Konstruktionen und die Trennung von Rohbau und Ausbau und die flexible Installationsführung sind wichtige Grundprinzipien des flexiblen, aber auch recyclingfähigen Konstruierens. Wichtig dabei ist, dass die bauphysikalischen Funktionen (z.B. Anforderungen an den Schallschutz) der betreffenden Konstruktionen klar definiert sind und auch in dieser Bauweise entsprechend umgesetzt werden können.

3.1.2. Smart/ Steel, Den Haag, NL

Smart/ Steel ist ein Business Center in Den Haag, das den Grundsätzen des IFD entspricht: Die Tragkonstruktion ist aus Stahl, das gesamte Gebäude, mit Ausnahme der Fundierung und der Bodenplatte besteht aus vorgefertigten Elementen.

Der wichtigste Faktor in Bezug auf die Flexibilität ist die Fassade: Die Nutzer können sich aus einem "Menü" von Fassadenelementen Typen wählen und entsprechend ihrer technischen und ästhetischen Ansprüche ihre Fassade zusammenstellen.

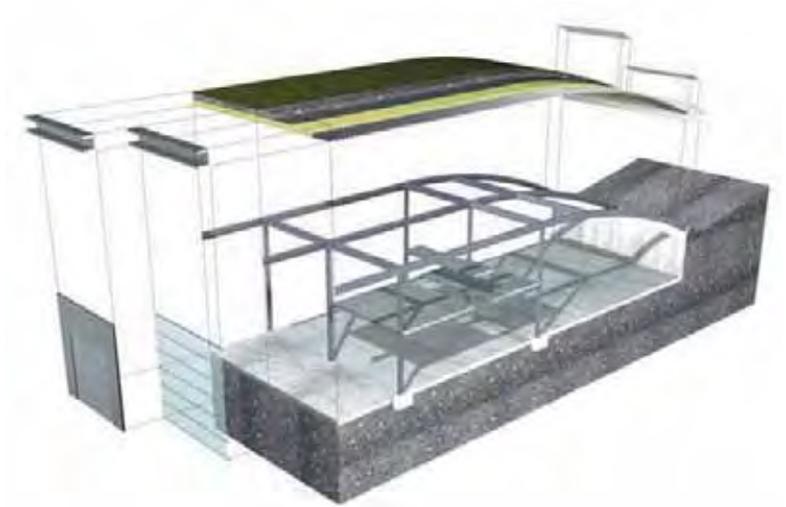


Abbildung 2: Smart/ Steel, Den Haag

Quelle: http://www.sev-realisatie.nl/ifd-projecten/pdf/IFD07c_SmartSteel_Limdek_RSCNoorderv.pdf

Kommentar:

Die „Flexibilität“ der Fassade in diesem Zusammenhang (= verschiedene Fassaden können ausgeführt werden) entspricht nicht den vorliegenden Flexibilitätsanforderungen aus dem recyclingfähigen Konstruieren (= Adaptierbarkeit an sich ändernde NutzerInnenanforderungen). Die resultierende Ausformulierung der Fassadentypen führt aber wieder zu einer einfach demontierbaren Schicht.

Die Beschreibung der Stahlbauweise lässt auf eine gut demontierbare Konstruktion schließen, vergleichbare Konstruktionen finden sich auch in einer Reihe weiterer Objekte.

3.1.3. Slimdek Building, Zoeterwoude, NL

Zur Verkürzung der Bauzeit wurden größtenteils vorgefertigte Elemente eingesetzt, die Tragstruktur ist als leichte Stahlkonstruktion ausgeführt, Deckenelemente sind im Slimdek System ausgeführt. Slimdek ist ein Flachdeckensystem, bestehend aus asymmetrischen Trägern und Verbunddecken. Der Vorteil liegt unter anderem in der geringen Bauhöhe.

Der Grundriss basiert auf einem Rastermaß von 6 und 9 m bei Deckenstärken von 28-35 cm. Die Profibleche der Deckenuntersicht bietet Platz für die Leitungsführung.

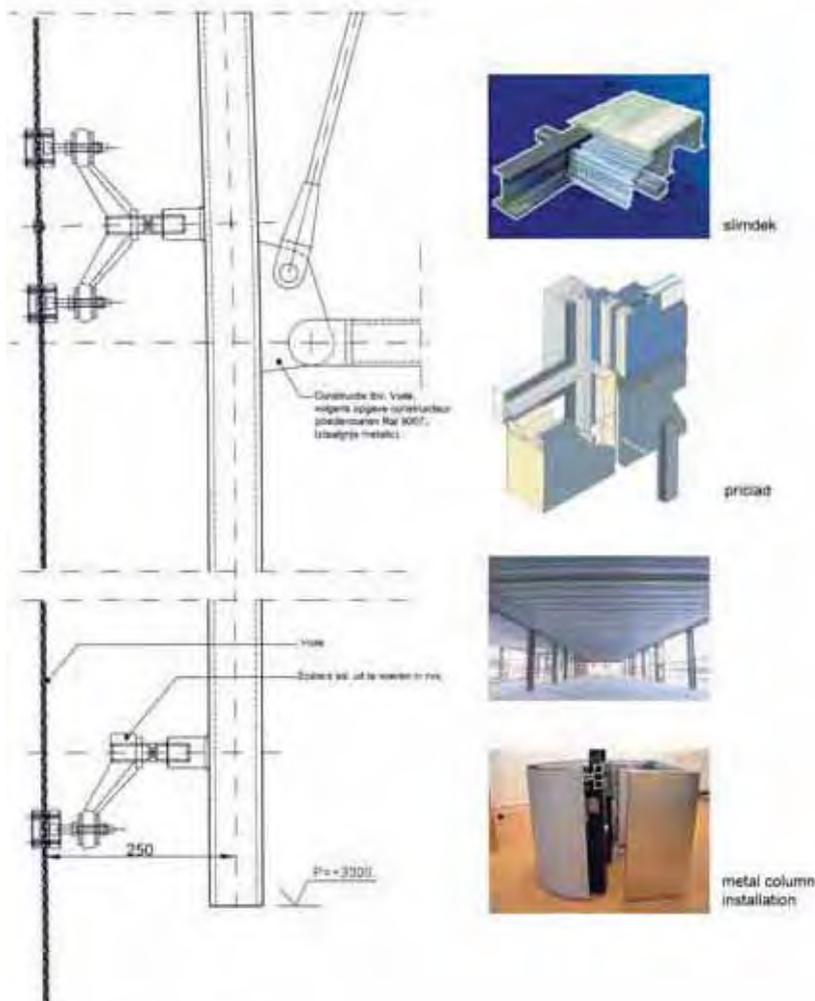


Abbildung 3: Slimdek Building, Zoeterwoude

Quelle: http://www.sev-realisatie.nl/ifd-projecten/pdf/IFD07c_SmartSteel_Limdek_RSCNoorderv.pdf

Kommentar:

Das Projekt ist in Bezug auf Vorfertigung, Rastermaß und Materialeffizienzsteigerung interessant.

3.1.4. Run Shopping Center Noorderveld, Wormermeer, NL

Das Einkaufszentrum mit einer Fläche von 41.000 m² ist aus vorgefertigten Stahlbeton-Elementen zusammengesetzt, die vor Ort verbunden werden und demontierbar sind. Durch standardisierte

Fassaden-und Dachelemente, ist es möglich, schnell und effizient zu reparieren oder Teile zu ersetzen.

Das Gebäude ist so konzipiert, dass Nutzungsänderungen jederzeit möglich sind: Durch das Öffnen der Dachflächen können sogar ganze Stiegenhäuser mit Hilfe eines Krans versetzt werden, die Innenwände sind nichttragend ausgeführt und sind somit ebenso leicht an neue Nutzungen anzupassen.



Abbildung 4: Run Shopping Center Noorderveld, Wormermeer

Quelle: http://www.sev-realisatie.nl/ifd-projecten/pdf/IFD07c_SmartSteel_Limdek_RSCNoorderv.pdf

Kommentar:

Interessant für das vorliegende Projekt sind die

- standardisierten Fassaden-und Dachelemente,
- die öffnenbaren Dachflächen und
- die versetzbaren Stiegenhäuser.

3.1.5. Flexline-Wohnkonzept, Hegelo, NL, 2002

Flexline ist die Entwicklung eines industriell gefertigten Bausystems für den sozialen Wohnbau, das größtmögliche Flexibilität in den Grundrissen zulässt. Erstmals wurden in Hegelo 18 Wohnungen mit diesem System umgesetzt.

Eine Wohnung besteht aus 4 Modulen, die vollständig im Werk vorgefertigt werden, erst auf der Baustelle werden die Elemente verbunden und die Installationen zusammengeschlossen. Durch die Modulbauweise ist eine Wohnung später jederzeit erweiterbar.



Abbildung 5: Flexline Wohnkonzept, Hegelo

Quelle: http://www.sev-realisatie.nl/ifd-projecten/pdf/IFD04f_Flexline.pdf

Kommentar:

Die modulare Bauweise kann das Spektrum an flexibler Bauweise deutlich erweitern, wenn die Module während der Lebensdauer des Gebäudes (oder des „Konglomerats an Modulen“) immer wieder umgesetzt werden können. Auch eine Wiederverwendung des Moduls ist auf diese Weise einfach möglich.

Die Module sollten auch hinsichtlich stofflichen Recyclings optimiert werden.

3.1.6. Smarthouse, Zoetermeer, NL

Das Projekt Smarthouse besteht aus 3 freistehenden Einfamilienhäusern in Zoetermeer, ein Fertigteilensystem bestehend aus einer Stahlskelettkonstruktion mit vorgehängten Fassadenelementen aus Stahl-Sandwichelementen. Ziel war es hier, einen hohen Vorfertigungsgrad zu erreichen und möglichst viele Details zu vereinheitlichen, um die Montage und eine spätere Erweiterung zu vereinfachen.



Abbildung 6: Smarthouse, Zoetermeer

Quelle: http://www.sev-realisatie.nl/ifd-projecten/pdf/IFD04b_Smarthouse_CascoFacade.pdf

Kommentar:

Als vorrangiges Ziel ist zwar der hohe Vorfertigungsgrad und die Vereinfachung der Montage beschrieben, als Nebeneffekt ist das Gebäude aber sicher auch gut wieder demontierbar. Die Recyclierbarkeit hängt dann von den restlichen Baumaterialien ab.

3.1.7. Casco Facade, Oegstgeest

Casco Facade ist ein Einfamilienhaus, bei dem durch den Einsatz von standardisierten Elementen die Bauzeit auf ein Minimum reduziert werden konnte.

Das Gebäude besteht aus einer Stahlskelettkonstruktion, alle Fassadenelemente haben die gleiche Größe, und können je nach Bedarf, geschlossen oder transparent ausgeführt werden- dadurch ist auch größtmögliche Flexibilität gewährleistet.

Alle Teile sind so zusammengefügt, dass sie auch wieder zerstörungsfrei demontiert werden können.



Abbildung 7: Casco Facade, Oegstgeest

Quelle: http://www.sev-realisatie.nl/ifd-projecten/pdf/IFD04b_Smarthouse_CascoFacade.pdf

Kommentar:

Die Themen des Gebäudes traten auch schon bei den vorher genannten IFD-konformen Gebäuden auf: Stahlskelettkonstruktion, standardisierte Elemente, flexible Fassadengestaltung, zerstörungsfreie Demontierbarkeit.

3.2. Designing for Deconstruction D4D

Designing for deconstruction setzt sich zum Ziel durch geeignete Wahl der Bauweisen und der Materialien Gebäude zu errichten, die am Ende ihres Lebenszyklus ohne negative Einflüsse auf die Umwelt demontiert und wiederverwendet oder abgebrochen und recycelt werden können.

Die folgenden Beispiele aus verschiedenen Gebäudekategorien zeigen, wie diese Vorgaben umgesetzt werden könnten.

3.2.1. Genesis Center, Taunton, UK/ Archetype Architects, 2006

Das Genesis Center für das Somerset College of Arts and Technology ist ein Demonstrationsgebäude, bei dem verschiedenste nachhaltige Materialien und Konstruktionsmethoden untersucht wurden.

Zweck des Centers ist, die Vielfalt an technischen Möglichkeiten und Materialien für nachhaltige Konstruktionen in ihrem direkten Einsatz zu präsentieren.

Durch einen zentralen Pavillon gelangt man zu fünf weiteren. Bei jedem dieser Pavillons wurde ein anderer Schwerpunkt in Bezug auf Material und Konstruktion gesetzt: Lehm, Stroh, Stampflehm, Holz und Wasser.

Darüber hinaus wurden auch Recycling- Materialien eingesetzt. Bodenfliesen aus gebrauchten Autoreifen, Waschbecken aus alten Yoghurtbechern, Holzwände isoliert mit Zellulose, etc...

Das Gebäude ist als Experiment gedacht, um verschiedene Bauweisen und Materialien über ihren gesamten Lebenszyklus beobachten zu können. Die neuen Techniken und Technologien werden untersucht und durch Messungen überwacht, mit aktuellen Standards und untereinander verglichen, um den Einsatz der unterschiedlichen Materialien optimieren zu können.

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts sollen später auf einer breiteren Ebene angewendet werden.





Abbildung 8: Genesis Center, Taunton, UK

Kommentar:

Das Center erfüllt den speziellen Zweck nachhaltige Materialien zu präsentieren, grundsätzlich sei aber erwähnt, dass eine hohe Materialvielfalt eher kontraproduktiv für ein späteres Recycling ist (kleine Mengen je Material, aufwändige Logistik).

Die gewählten Schwerpunkte sind aber dennoch hoch kreislauffähige Materialien, die sowohl in natürlichen als auch in technischen Kreisläufen recycelt werden können.

3.2.2. Iigus-Fabrik, Köln/ Nicholas Grimshaw & Partners, 2001

Die neue igus-Zentrale sollte nicht nur in der Lage sein, das organisatorische und soziale Gefüge der Firma aufzunehmen und weiterzuentwickeln, sondern ebenso ihre technisch-kreative Gedankenwelt gestalterisch zum Ausdruck bringen.

So wurde die Schaffung eines erweiterbaren, extrem flexiblen Raumes "in dem alles überall passieren kann" zum Hauptziel des Entwurfes.

Dabei entstand nicht ein "Public-Relations-Prachtbau", sondern ein Bauwerk, das zugleich fertiges Objekt und Prozess ist, denn sein durchgehend modulares System ermöglicht eine schrittweise und unkomplizierte Erweiterung.

Zu diesem Zweck entwickelten die Architekten ein interaktives Design, das für notwendige Veränderungen und wachsende Erfahrungen der Firma offen ist. Sowohl innere Funktionen, wie Büros, Kantine, Produktentwicklung und -erprobung, Produktion, Lager und Versand, als auch einzelne Gebäudeelemente, wie Fassadenpaneele, Türen und Fenster können dabei beliebig oft verändert, verfeinert und verbessert werden.



Abbildung 9: Iigus-Fabrik, Köln

Die vier gelben Pylonen des geplanten Ausbaus stellen so nunmehr die einzige Konstante des Gebäudes dar. Sie sind mit ihren über 30 m Höhe nicht nur das Erkennungszeichen und wesentliche Corporate-Identity-Objekt des Betriebes, sondern zugleich seine "tragenden Säulen".

Denn sie machen eine umständliche Tragkonstruktion mit zahllosen internen Stützen überflüssig und verleihen der Fabrik ihre enorme Flexibilität.

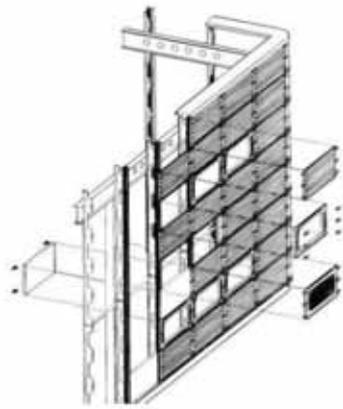
Auch die über das gesamte Dach verteilten Lichtkuppeln mit einem Durchmesser von sechs Metern, tragen zur Anpassungsfähigkeit des Gebäudes bei. Ihre nördliche Ausrichtung gewährleistet die Versorgung der gesamten Halle mit nahezu studioartigem Tageslicht und verleiht dem Inneren eine "Aura der Großzügigkeit". Die durch den Produktionsprozess verbrauchte Luft gelangt hier auf natürliche Weise nach außen; zudem schmelzen die Kuppeln bei Erreichen eines kritischen Hitzegrades, etwa im Brandfall, und verhindern damit das plötzliche Kollabieren der gesamten Hallenkonstruktion.

Der Hallenboden ist ebenfalls Teil des allgegenwärtigen Flexibilitätskonzepts: sämtliche Medien gelangen von der Decke aus an jede beliebige Stelle innerhalb des Gebäudes und ermöglichen damit eine individuelle Platzwahl für alle Aktivitäten. Das gilt ebenso für die produktionsbezogenen Tätigkeiten im offenen Hallenbereich, wie für die Verwaltungs- und Entwicklungstätigkeiten, die unterhalb oder in den schallisolierten "Gondeln" untergebracht sind.

Etwa vier Meter über dem Hallenboden auf gelben Beinen stehend, wurden diese Baukörper je nach Bedarf einzeln oder zu größeren Räumen gruppiert aufgestellt. Innerhalb von 14 Tagen lassen sich einige von ihnen demontieren und an anderer Stelle wieder aufbauen - der Zeitaufwand soll sich zukünftig dank einer Luftkissen-Lagerung auf ein Wochenende verringern. Alle Hallenbereiche verbindet schließlich ein Wegesystem aus leichten Stegen. In Höhe der Gondeln montiert, lassen sich hier sowohl Besichtigungstouren durchführen, als auch größere Distanzen zwischen den Arbeitsgruppen zügig und ohne Störung des Produktionsprozesses überwinden.

Die Wandpaneele sind flexibel abnehmbare Module, die schnell und einfach neu zusammengefügt werden können. Damit können sie im Fall einer Erweiterung wiederverwendet werden.





Cladding panels are located with satin-silver anodized aluminum clamps fixed to mullions made from standard shelving uprights stiffened with flat steel plates

Abbildung 10: Iglas- Fabrik, Köln

Quelle: www.design4deconstruction.org

Kommentar:

Das Gebäude weist eine außergewöhnliche Konsequenz hinsichtlich flexiblen Bauens auf.

3.3. Lifecycle Building Challenge

Lifecycle Building Challenge zeichnet seit 2007 jedes Jahr innovative Projekte aus, die den Energieverbrauch und die Treibhausgas-Emissionen minimieren, indem bereits gebrauchte Materialien wiederverwendet und Konstruktionen eingesetzt werden, die eine Demontage und Weiterverwendung möglich machen.

3.3.1. (Un)Modular Design for Deconstruction, 2009

Dieses Gebäude wird als eine vorläufige Ruhestätte für Materialien definiert. Das Projekt zeigt das Potenzial für ein Gebäude, das sich mit der Zeit entwickelt, weil sich Materialien, Moden, Technologien und der Gebrauch ändern. Anstatt zu versuchen, ein immer wiederverwendbares Modul zu finden, schafft das Projekt Rahmenbedingungen für die Verwendung von gebrauchten Materialien.

Die Grundstruktur besteht aus Stahlrahmen, die entsprechend den Raumanforderungen mit Paneelen gefüllt werden. Diese Paneele sind zerlegbar, Steckverbindungen gewährleisten eine einfache Montage und Demontage. Die Paneele selbst sind Rahmenelemente, die mit gebrauchten Materialien „befüllt“ werden, wobei die Außenseite wetterfest ausgeführt wird.

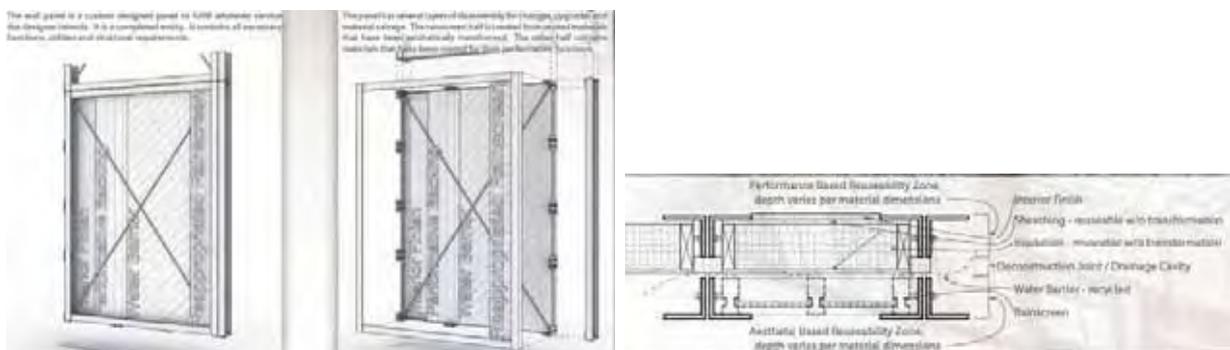




Abbildung 11: (Un)Modular Design for Deconstruction

Quelle: <http://2009.lifecyclebuilding.org/entries/show/27>

Kommentar:

Dieses System ist ein Beispiel für einfache Montage und Demontage, Flexibilität und Anpassungsfähigkeit. Materialien können leicht von den Paneelen getrennt werden, genauso einfach können aber auch die Paneele selbst ausgetauscht werden. Einzelne Räume können wiederum vom ganzen Gebäude getrennt werden. Die Paneele selbst sind mit gebrauchten Materialien „befüllt“.

Es wirft jedoch die Frage auf, ob die gebrauchten Materialien von der toxikologischen und technischen Betrachtung her tatsächlich alle Ansprüche eines zukunftsorientierten Gebäudes erfüllen, und daher der Nutzraum wirklich ein Qualitätsgebäude ist, oder ob es nur eine vorübergehende Lagerstätte für nicht verwertbaren oder problematischen Abfall ist.

3.3.2. School M.O.D., 2009

Dieser Prototyp für eine Schule beweist Nachhaltigkeit durch seinen Fokus auf einfache Durchführbarkeit und das Maximum an Flexibilität durch modulare Bauweise.

Ein Schulgebäude muss verschiedenste Funktionen aufnehmen können, die Größe der Klassenräume muss flexibel und schnell anpassbar an neue Nutzungen sein. Die Entscheidung für die geeignete Tragstruktur ist deshalb von größter Bedeutung, um den Raum optimal ausnutzen zu können. Spätere Nutzungsänderungen und Erweiterungen können durch Anfügen oder Demontieren von einzelnen Modulen erfolgen.

School MOD ist das Ergebnis einer Kombination von 3 Struktursystemen: M= modular system, O= open building system and D= dual structure grids system.

Die Offenheit wird durch die Skelettkonstruktion und die Füllelemente erreicht, die modulare Bauweise gewährleistet nicht nur eine Reduzierung der Bauzeit, sondern unterstützt durch die leichte Montage auch erforderliche Änderungen.

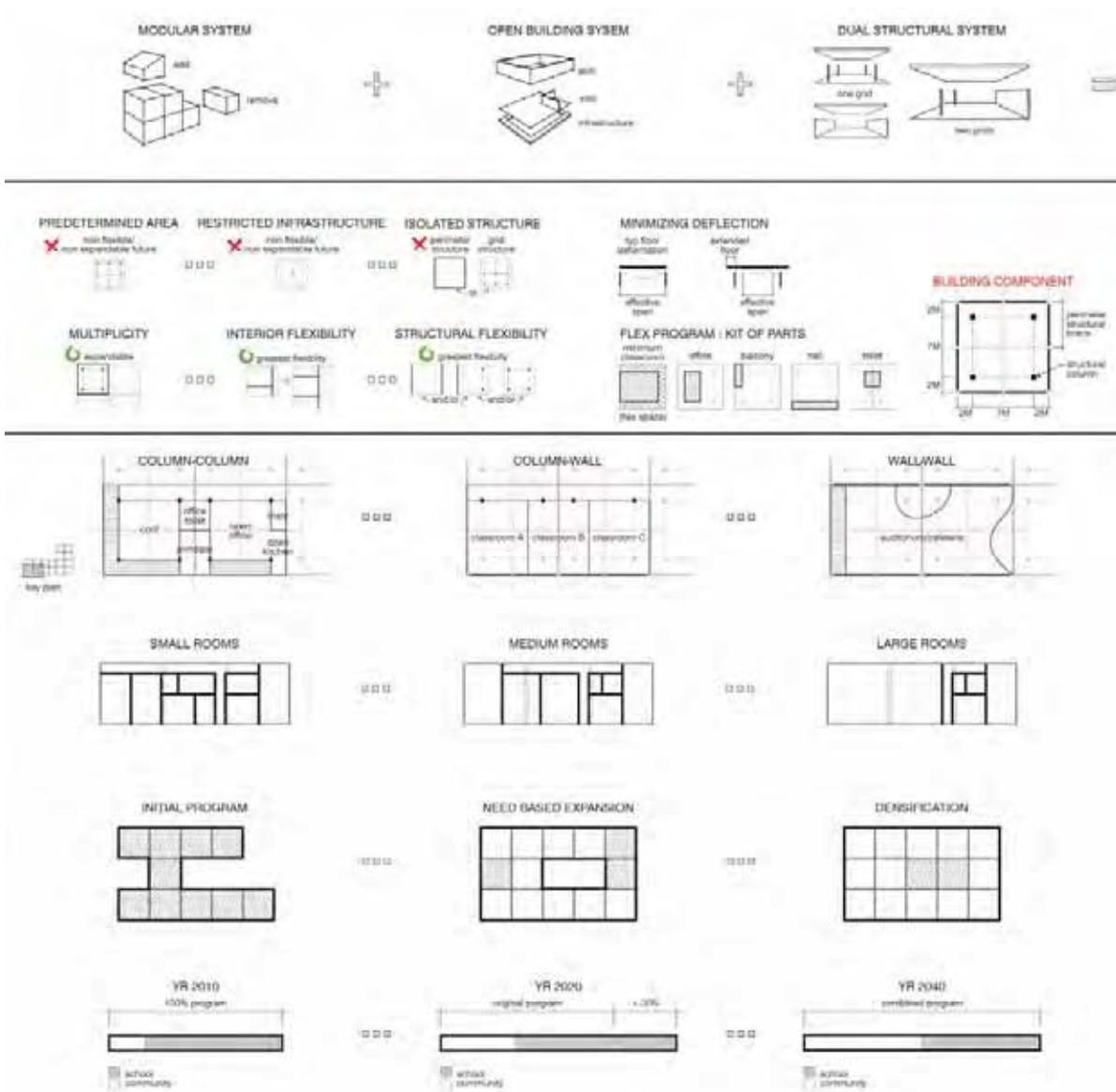


Abbildung 12: School M.O.D.

Quelle: <http://2009.lifecyclebuilding.org/entries/show/31>

Kommentar:

Bei diesem Projekt begegnen wir wieder dem Prinzip der modularen Bauweise mit sehr hoher Konsequenz. Sie wird verbunden mit einem offenen Gebäudekonzept, bei dem die Gebäudehaut von der Infrastruktur und dem Ausbau getrennt ist (open building system) und einer Skelettkonstruktion in Gitterstruktur (dual structure grids system).

3.3.3. Multi Family Housing, 2007

Die Grundidee für das wachsende Mehrfamilienhaus war die Standardisierung sämtlicher Gebäudekomponenten und die Schaffung von Verbindungssystemen, um das Gebäude einfach demontieren, wiederverwenden und recyceln zu können.

Sämtliche Bauteile wie Außen- und Innenwände, Böden und Decken, Fenster und Türen sind standardisiert, so dass es möglich ist, sie wiederzuverwenden, ohne unnötigen Abfall zu produzieren oder sie bei der Demontage zerstören zu müssen. Die Größe der Einzelemente wird durch die Anforderung an ihre Nutzung bestimmt.

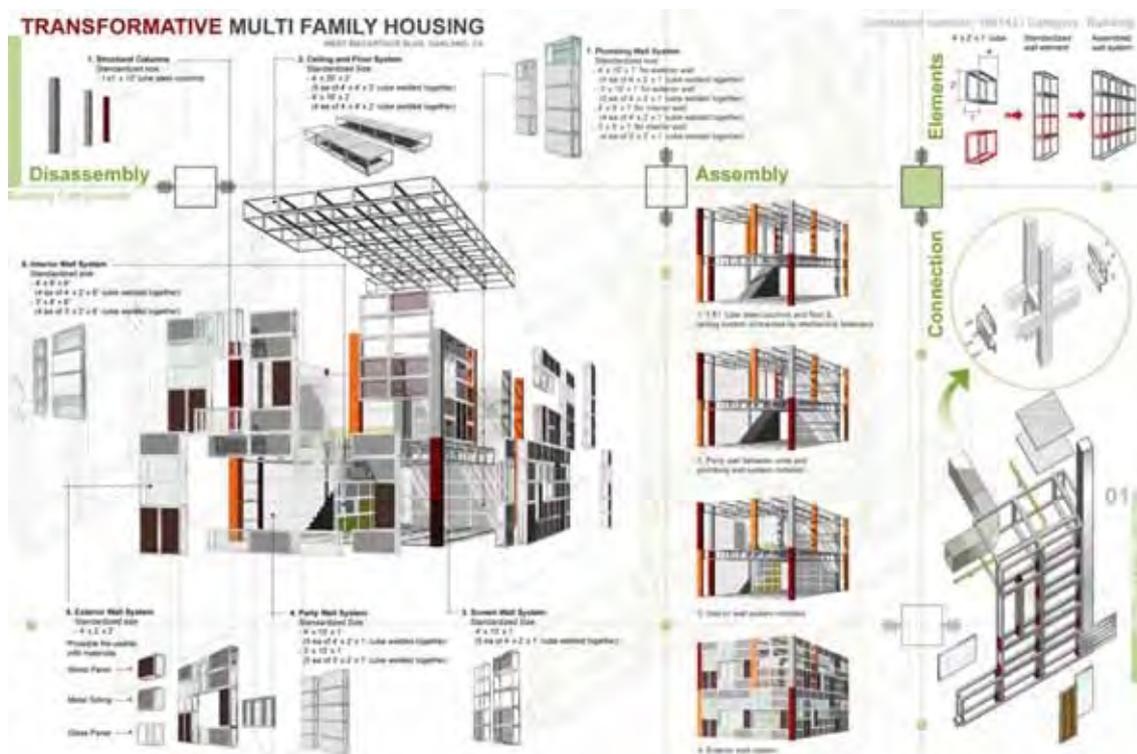


Abbildung 13: Multi Family Housing

Quelle: <http://www.lifecyclebuilding.org/2007/gallery-detail.php?EntryID=17>

Kommentar:

Bei diesem Objekt finden wir wieder in sehr weitgehender Weise die Prinzipien: Modularität, Standardisierung, zerstörungsfreie Demontage. Besonders interessant für das Projekt „Recyclingfähig Konstruieren“ sind die entwickelten Verbindungssysteme, um das Gebäude einfach demontieren, wiederverwenden und recyceln zu können.

3.3.4. Pavilion in the Park, Seattle, 2007

Die Vorgabe des Bauherrn für dieses Ausstellungszentrum war die Wiederverwendbarkeit – deshalb musste das Gebäude so konzipiert werden, dass es jederzeit demontiert und anderswo wiederaufgebaut werden könnte. Die Lösung war die Aufteilung in 4 Module, die einzeln transportiert und an einem neuen Ort wieder zusammengebaut werden können, mit dem Nebeneffekt, dass das Gebäude auch erweitert oder auch verkleinert werden kann.



Abbildung 14: Pavilion in the Park, Seattle

Quelle: <http://www.inhabitat.com/2007/10/15/lifecycle-building-challenge-pavilion-in-the-park/>

Kommentar:

Bei diesem Projekt steht die Wiederverwendbarkeit des gesamten Ausstellungszentrums im Vordergrund. Dies wird umgesetzt durch transportierfähige, kleinere Einheiten, die in flexibler Anzahl aneinander gereiht werden können.

3.4. Bauen mit vorgefertigten Elementen

3.4.1. Kieran Timberlake Associates

Kieran Timberlake Architects sind federführend in der Auseinandersetzung mit den Produktionsbedingungen des Entwerfens und sondieren das Innovationspotential von umweltverträglichen Baukomponenten. Aufsehen erregte ihr 2008 im New Yorker Museum of Modern Art gezeigtes fünfgeschossiges Cellophane House; ihr Buch „Refabricating Architecture“ (2004) ist ein wegweisendes Manifest. Timberlake lehrt und forscht u.a. an der University of Pennsylvania's School of Design.

3.4.1.1.1. Loblolly House, Maryland, USA

Das Loblolly House ist ein vollständig im Werk vorgefertigtes Wohngebäude. Sämtliche Holzbauteile sind vorfabriziert und können in weniger als sechs Wochen auf eine Aluminium-Rahmenkonstruktion montiert werden, alle wandbildenden Elemente sind aus Holz. In der Wahl der Materialien und durch die Minimierung der Eingriffe in die Natur reagiert das Gebäude sensibel auf seinen Kontext und hinterlässt im Sinne der Nachhaltigkeit kaum Spuren.



Abbildung 15: Loblolly House, Maryland

<http://www.treehugger.com/files/2008/03/kieran-timberlake-livinghomes.php>

<http://www.detail.de/Plus/Wettbewerbe/De/DETAILPreis2009/Index>

Kommentar:

Neben der Vorfertigung und der verwendeten Baumaterialien Aluminium und Holz ist an diesem Beispiel die Erhaltung des Bodens und der Fläche unterhalb des Gebäudes besonders hervorzuheben. Die Fundamente der leichten Holz-Aluminium-Konstruktion sind aus Holz errichtet.

3.4.1.1.2. Cellophane House- Prototyp für die Kreislaufwirtschaft, 2008

„Industrielle Vorfertigung spielte in der US-amerikanischen Bauindustrie schon zu Beginn des 19. Jahrhunderts eine wichtige Rolle. Und fast alle Pioniere der amerikanischen Architektur des 20. Jahrhunderts – allen voran Richard Buckminster Fuller – haben sich während ihrer Laufbahn mit Möglichkeiten des industriellen Bauens befasst. Das Museum of Modern Art in New York konnte also aus einem reichen historischen Fundus schöpfen, als es im Herbst 2008 die Ausstellung „Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling“ ausrichtete. Ergänzend zu dem historischen Rückblick wurden auf dem Freigelände des Museums fünf Prototypen für Fertigbauten des 21. Jahrhunderts realisiert.

Einer von ihnen war das „Cellophane“ House von KieranTimberlake Architects aus Philadelphia.



Abbildung 16: Cellophane House

http://www.detail.de/rw_6_Plus_Galerie_De_HoleFoto_3636_Vollbild.htm#

Das Gebäude interpretiert die Forderung, zeitgemäße Möglichkeiten industriellen Bauens auszuloten, auf radikal ökologische Art. KieranTimberlake erläutern ihre Haltung folgendermaßen: „Ein Gebäude ist im Grunde nichts anderes als ein Gefüge von Materialien, die eine Umgrenzung bilden. Diese Materialien stammen aus einer bestimmten Quelle, werden eine Zeitlang durch Konstruktionstechniken zusammengehalten und gehen irgendwann in der Zukunft in einen anderen Zustand über. Wir betrachten Gebäude gewöhnlich als etwas Dauerhaftes. Doch diese sind im Grunde nur ein Ruhezustand für Materialien, ein vorübergehendes Gleichgewicht, das vorherbestimmt ist, durch die Kräfte der Entropie aus der Balance gebracht zu werden.“

Auch das Cellophane House stellt keinen Anspruch auf Dauerhaftigkeit: Alle Fügungen halten so lange zusammen, wie es der Besitzer wünscht, und können hinterher wieder voneinander getrennt werden. „Materialehrlichkeit“ bedeutet hier vor allem den Verzicht auf Kompositmaterialien und die im Bauwesen allgegenwärtigen Verklebungen.

Architektonischer Ausdruck und Raumformen folgen den Gesetzen der vorgefertigten Konstruktion, deren Basis ein verschraubter (und eben nicht verschweißter) Aluminiumrahmen bildet. Wände, Geschosßböden und -decken, Treppen, Fassadenteile und Sanitärinstallationen lassen sich jederzeit entfernen, wenn sie an ihrem Lebensende angelangt sind oder die Bewohner ihren Austausch wünschen.



Abbildung 17: Cellophane House

Quelle: KieranTimberlake Architects

Darüber hinaus nutzt das Gebäude ein Maximum an Sonnenenergie. Die Fassaden bestehen aus „SmartWrap“, einer mit Photovoltaik bestückten, mehrlagigen Folienkonstruktion, die Strom an eine Batterie liefert und laut KieranTimberlake einen geringeren U-Wert besitzt als jedes Fensterglas. Die übrigen Materialien für die Raumboflächen können je nach Vorlieben und Geldbeutel frei gewählt werden.

Jedes „Cellophane House“ entsteht in einem durchgängig computergestützten Entwurfs- und Herstellungsprozess. Auf diese Weise wollen KieranTimberlake gewährleisten, dass alle Komponenten des Gebäudes gleichzeitig und an beliebigen Orten hergestellt werden können, ohne dass ein Gewerk auf die Arbeitsergebnisse des anderen warten müsste. Das virtuelle Gebäudemodell ist dabei die einzige Datenquelle für Detailkonstruktionen, Terminplanung, Teilelisten und Fabrikationszeichnungen. Da für Herstellung und Zusammenbau keine Spezialwerkzeuge erforderlich sind, kann potenziell eine große Zahl an Betrieben am Bau der Häuser partizipieren.

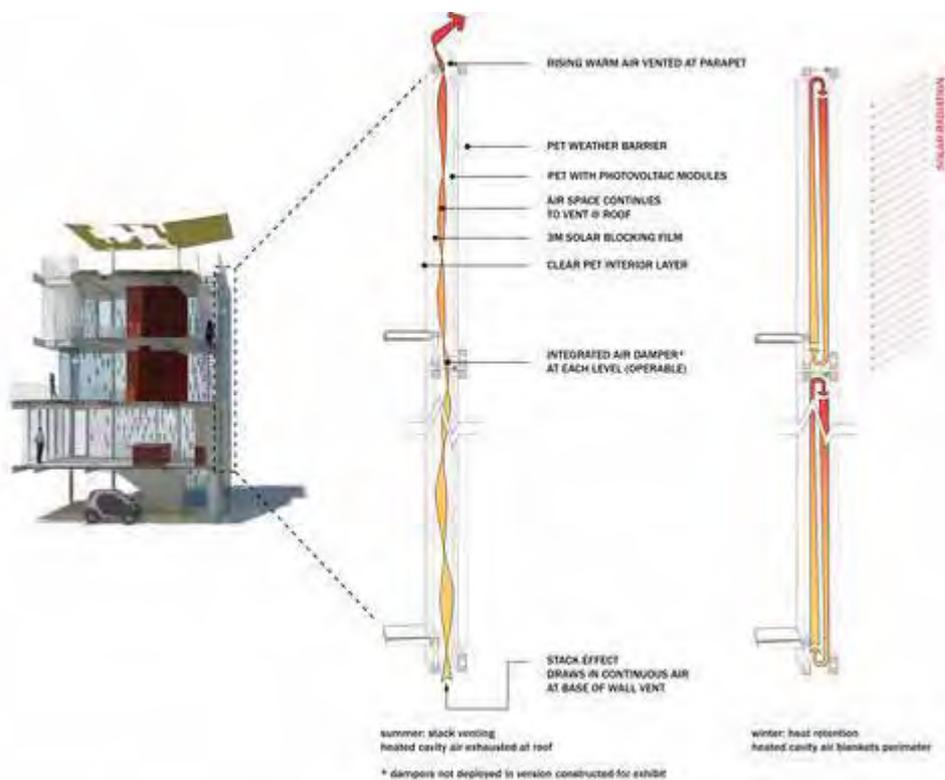


Abbildung 18: Cellophane House

Quelle: KieranTimberlake Architects

Nach Ende seiner Lebenszeit verschwindet das Cellophane House ebenso schnell, wie es entstanden ist. Alle Innenwände sind lediglich über leicht lösbare Klemmverbindungen an der Rahmenkonstruktion befestigt. KieranTimberlake planen die bevorzugte Verwendung von Glas, Kunststoffen und Aluminium, für die bereits industrielle Recyclingverfahren etabliert sind. Im Grunde, so KieranTimberlake, bedeutet das „Cellophane House“ die Übernahme der Konstruktionsprinzipien aus der Automobilindustrie ins Bauwesen. In Europa hergestellte Autos müssen schon seit Jahren zu mindestens 95 Prozent rezykliert werden. Erreichbar ist diese Marke nur, weil alle Teile standardisiert sind und jeweils zu Tausenden hergestellt werden – und weil die Präzision der Herstellungsverfahren einen weitgehenden Verzicht auf nicht lösbare Verbindungen möglich macht.“

Quelle: http://www.detail.de/artikel_cellophane-house-kierantimberlake-architects_24305_De.htm

Kommentar:

Beim „Cellophane House“ kommt ein neuer, bisher noch nicht angesprochener, aber für die Recycelbarkeit des Gebäudes wichtiger Aspekt zum Tragen: die genaue Aufzeichnung aller eingesetzter Materialien. Durch den „durchgängigen computergestützten Entwurfs- und Herstellungsprozess“ können alle Details ohne zusätzlichen Aufwand abgelegt und beim Rückbau wieder aufgerufen werden.

Ein weiterer innovativer Aspekt für das Bauwesen ist die Verwendung standardisierter Teile und die Präzision der Herstellungsverfahren, die einen weitgehenden Verzicht auf nicht lösbare Verbindungen möglich machen (wie die leicht lösbaren Klemmverbindungen für die Innenwände).

Die „bevorzugte Verwendung von Glas, Kunststoffen und Aluminium, für die bereits industrielle Recyclingverfahren etabliert sind“ ist aus heutiger Recyclingpraxis im Bauwesen außer für Aluminium noch fragwürdig. Kunststoffe aus dem Bauwesen werden vorwiegend thermisch verwertet, PC-Flachglas downgecycled (siehe auch Kommentar zu 3.6.1: Triple Zero).

3.4.2. Brückenhaus aus Fertigteilen, 2009

Das Haus über dem Fluss, eine Autostunde von Adelaide entfernt, ist in doppelter Hinsicht ein gutes Beispiel für Nachhaltigkeit: vorgefertigte Stahlfachwerkträger bilden die Grundstruktur dieses Hauses, die schmalen Fundamente aus Beton sind die einzigen Eingriffe, die der australische Architekt Max Pritchard in die Landschaft vorgenommen hat, während der Baukörper selbst leicht über dem Boden schwebt. Die Verkleidung der Fassade mit Wellblechpaneelen verstärkt dabei die horizontale Ausrichtung des eingeschossigen Hauses, dessen Boden aus Beton gegossen und ausreichend gedämmt ist. Sämtliche Fassadenbauteile wurden als Einzelelemente installiert, die leicht zu demontieren und wieder recycelbar sind.

Wo immer möglich, wurden umweltfreundliche Materialien für den Bau verwendet, die lokal produziert wurden, die wieder verwertbar oder recycelbar sind, die einfach und mit wenig Einsatz von Maschinen verarbeitet werden können und wenig Abfall produzieren.

Im ganzen Haus wurden weitgehend Stahl- und Aluminiumkonstruktionen in wiederverwendbaren Größen eingesetzt. Für die Sekundärkonstruktion wurde Kiefernholz aus der Umgebung verwendet. Wand- und Deckenverkleidungen sind aus Stahlblech.



Abbildung 19: Brückenhaus aus Fertigteilen

Quelle: <http://inhabitat.com/2009/07/10/prefabricated-bridge-house-crosses-creek-sustainably/>,
www.archinect.com/features/article.php?id=90142_0_23_0_C

Kommentar:

Neben der Demontierbarkeit und die weitgehende Verwendung recycelbarer Materialien ist an diesem Beispiel die Erhaltung des Bodens und der Fläche des Gebäudes besonders hervorzuheben. Der großzügige Einsatz von Metall begünstigt die Recyclierbarkeit, geht aber auf Kosten der Ökobilanz für die Herstellung des Gebäudes.

3.4.3. Das mitwachsende Haus

1999 präsentierte die Fachhochschule für Technik und Wirtschaft (FHTW) Berlin auf der baufach'01 in Leipzig realisierbare Entwürfe unter dem Titel „das mitwachsende Haus“. Sämtliche Teile der Fertighäuser in Massivholzbauweise oder aus Holzständerbau-Fertigteilen, aus Stahlbeton oder Porenbeton sind demontierbar. Aus jeder Außenwand kann eine Innenwand, aus einem Haus mit fünf Zimmern auf diesem Weg ein Haus mit sieben Zimmern werden.

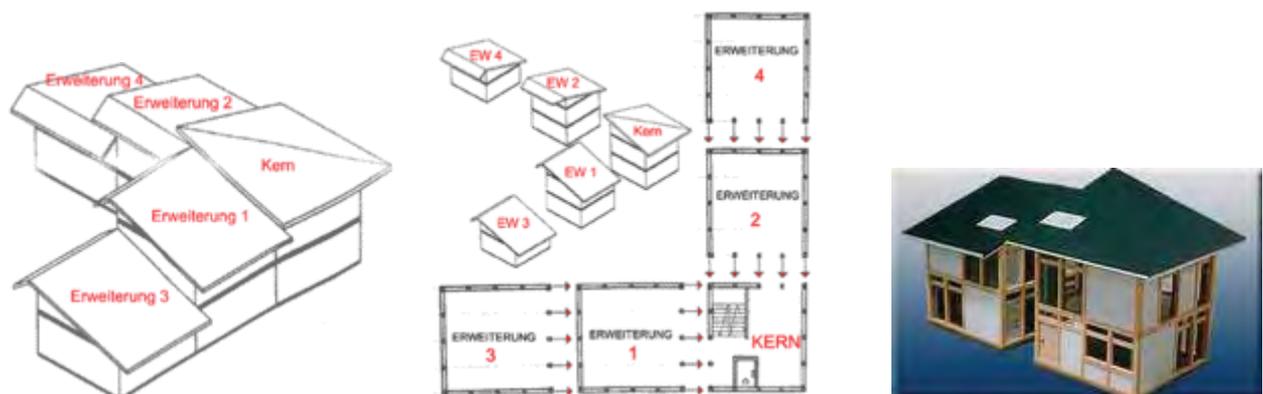


Abbildung 20: Das mitwachsende Haus

Quelle: <http://rzb.f2.htw-berlin.de/typo4/1051.html>

Kommentar:

Bei diesem Gebäudeentwurf bleiben alle Fragen offen: Wie wird aus einer Außenwand tatsächlich eine Innenwand? Wieso eignen sich die (konventionellen) verwendeten Materialien (Stahlbeton, Porenbeton, Holz) besonders für die flexible Erweiterung? Was ist das Besondere daran, an ein

Gebäude seitlich anzubauen? Wie flexibel ist (will man) der Außenraum zu gestalten? Wie erfolgt die Versorgung der Erweiterungen?

3.4.4. Modcell

Die englische Firma ModCell bietet sowohl Planungsleistungen als auch die Errichtung von Passivhäusern an und verwendet dafür standardisierte vorgefertigte Elemente. Holzrahmenkonstruktionen werden unter Dach in unmittelbarer Nähe der Baustellen, in sogenannten „fliegenden Fabriken“ zusammengestellt, mit Dämmstoff (Stroh oder Hanf) gefüllt und verputzt. Die Produktion wird also dezentral durchgeführt, wodurch Transportwege verkürzt werden und zusätzlich in der örtliche Umgebung Wertschöpfung erzielt wird.



Abbildung 21: Modcell- von der Flying Factory zur Baustelle

Quelle: www.modcell.co.uk

Kommentar:

Die hier eingesetzten „fliegenden Fabriken“ (ist nicht jede Baustelle eine „fliegende Fabrik“?) berühren unser Thema „Recyclingfähiges Bauen“ nicht direkt. Könnten „fliegende Fabriken“ aber nicht gerade für den Rückbau interessant sein (z.B. ein Fabrik mit mobilen Aufbereitungsanlagen und Kompressoren für ausgebaute Dämmstoffe).

3.4.5. LOPAS Passivhaus- Modulbauweise: Holzrahmenelemente mit Strohbällen

Die Firma Lopas entwickelte eine Modulbauweise aus Holz, Stroh und Lehm. Die Module werden als geschoßhohe Elemente gefertigt und gewährleisten so die schnelle Montage auf Ihrer Baustelle.

Im „Haus der Zukunft“ Projekt des BMVIT „Das Lehm- Passiv Bürohaus Tattendorf“ wurde der Prototyp für eine energieeffiziente Modulbauweise aus Holz, Stroh und Lehm entwickelt. Ermöglicht wurde dies unter anderem durch die neuartige Lehm-Vlies-Technik, die höchste Luftdichtheit gewährleistet.

Die Konstruktion der Wandmodule besteht in einem Einschluss der 40 cm dicken Strohdämmung als Kern zwischen zwei Lehmbaustoffschichten auf Rauschalungen zur ständigen kapillaren Entfeuchtung des feuchteempfindlichen Dämmstoffs. Die äußere Lehmbaustoffschicht besteht aus Biofaserlehm für Außenanwendung. Diese neu entwickelten Produkte wurden nach dem Ersteinsatz im Projekt freigegeben und ins Vertriebsprogramm aufgenommen.

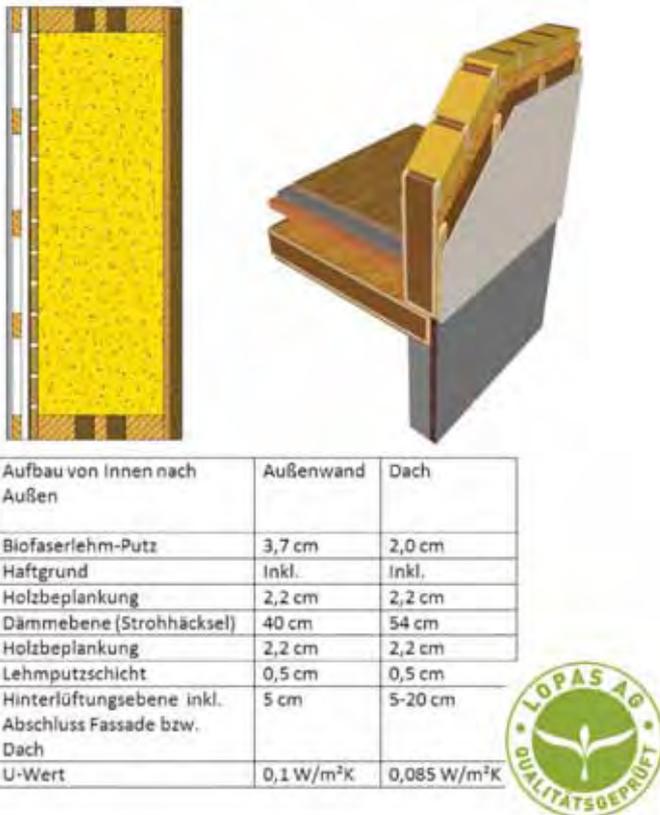


Abbildung 22: Lopas Passivhaus- Modulbauweise

Die neu entwickelte Lehm-Vliestechnik kann die üblichen technischen Dampfbremsbahnen ersetzen. Durch diese n&l Lehm-Vliestechnik wurde ein völlig neuartiger, dampfbremsender, luftdichter, aber trotzdem weitgehend diffusionsoffener lehmbautechnischer Aufbau der PH-Gebäudehülle möglich. Im Gegensatz zur üblichen Dampfbremspapierlage behindert eine Lehm-Vlieslage nicht den, der Dampfdiffusion gegenläufigen Prozess der kapillaren Entfeuchtung einer Wand in Richtung zur wärmeren Innenraumseite.



Abbildung 23: Versetzen der Wandelemente, Bürohaus Tattendorf

Die Entwicklung des Prototyps wurde im Aufbau weiter verbessert und ist das Herz des heute erhältlichen LOPAS-Bausystems. Die hohe Speichermasse des LOPAS-Wandaufbaus und die höchste effiziente natürliche Dämmung liefern neben den Faktoren der Wohngesundheit vor allem höchste Energieeffizienz. Die Module werden als geschoßhohe Elemente gefertigt und gewährleisten so die schnelle Montage auf Ihrer Baustelle.



Abbildung 24: Einfamilienhaus, Hohe Wand, Arch. Reinberg ZT GmbH

Durch die Naturbelassenheit der Rohstoffe sind LOPAS-Häuser umfassend recyclingfähig. 99% der Masse eines LOPAS-Hauses können wieder dem natürlichen Kreislauf zugeführt werden.

Quelle:

Haus der Zukunft, Das Lehm- Passiv Bürohaus Tattendorf, R. Meingast, 2005

www.lopas.ag

Kommentar:

Das Recyclingprinzip beruht auf der Verwendung naturbelassener, biogener Baustoffe (Natürlicher Kreislauf nach C2C).

3.4.6. Strohhallenhaus in Modulbauweise - system/haus/bau

Die Vorfertigung der Module aus natürlichen Baustoffen wie Holz, Strohballen, Holzfaserplatten und Lehm erfolgt wettergeschützt in der Halle. Nach dem Befüllen und Komprimieren der Baustrohballen werden die Module beidseitig beplankt und können leicht transportiert werden.

Wandelemente im Rastermaß von 80 cm, bestehend aus TJI Trägern, 40 cm Strohballendämmung und beidseitiger Beplankung (Passivhausqualität), sind aufgrund ihrer Größe leicht zu transportieren und durch die Nut-Federverbindungen einfach zu montieren.



Abbildung 25: system/haus/bau Modulbauweise

Auf der Baustelle werden die Module auf eine bauseits errichtete Fundamentplatte gestellt und an den Nut- und Feder-Stößen winddicht verklebt und danach (im Ausbauhaus) die Installationsebene (Heraklith BM) und die Biolehmplatte (mit Feinputz glatt gerieben) im Trockenbau montiert. Dadurch kommt keine Feuchtigkeit in die Wandteile, es besteht keine Gefahr von Schimmelbildung während der Ausbauphase.

Als wetterschützende Fassade wird ein eingefärbter Silikatputz auf einer Weichfaserplatte aufgebracht oder eine hinterlüftete Holzfassade montiert.

Die system|haus Deckenmodule werden auf zwischen den Modulen integrierten Deckenbalken (Leimbinder im Abstand 240 cm) eingehängt.



Abbildung 26: system/haus/bau

Quelle: www.systemhausbau.at

Kommentar:

Das Recyclingprinzip beruht auf der Verwendung naturbelassener, biogener Baustoffe (Natürlicher Kreislauf nach C2C).

3.4.7. Holzbausystem Cross-House

Die Schweizer Firma Cross-House entwickelte ein Holzbausystem, bei dem vorgefertigte Module für mehrgeschossige Gebäude (maximal 3 Geschosse) eingesetzt werden können.

Die Grundkonstruktion besteht aus vorgefertigten Elementen im Rastermaß 1,25 m. Es werden aber auch halbe Rastermaße (62,5 cm) als Standardprodukt angeboten.

Die Wandelemente bestehen aus einem Brettschichtträger mit Hartholzeinlagen für verstärkte Lasteinleitungsteile (Deckenaufleger). Bei Obergeschossen weisen die Wandelemente jeweils nur oben einen Deckenanschluss auf und werden bodenseitig mit dem Verbindungselement des darunterliegenden Geschoss verbunden.

Die Deckenelemente bestehen aus einer Fichtensperrholzplatte mit aufgeleimten Hartholzgurten, sowie Hartholzendstücke für die Lasteinleitung des Verbindungselementes.

Über die Langlöcher im Gurtbereich werden die Schrauben des Verbindungselementes eingeführt. Die zentralen Aussparungen dienen zur rasterübergreifenden Verlegung der Hausinstallationen.

Die Wandstärken sind von 20-40cm erhältlich, die Deckenstärke beträgt 40cm bei einer maximalen Spannweite von 6,25 m. Abweichungen in Abhängigkeit von den wärmetechnischen bzw. der statischen Anforderung ist möglich.

Sämtliche Wand bzw. Deckenelemente werden mittels identischen Verbindungselementen zusammengefügt, das einerseits aus zwei Stahlwürfeln besteht, die zusammen mit M16 Schrauben, Unterlegplatten und Tellerfedern die Zug- und Druckkräfte aufnehmen, und andererseits aus dem Scherkraftverbinder aus Hartholz und Stahlklammern.

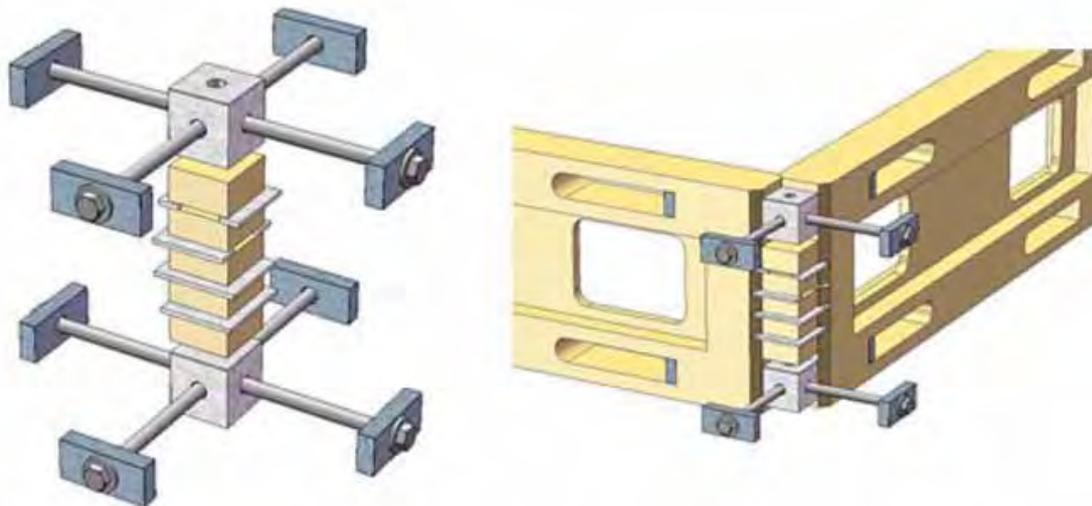


Abbildung 27: Holzbausystem Cross- House

Das System kann auf Streifenfundament, Kellergeschoss ohne Decke, sowie Kellergeschoss mit Betondecke montiert werden.



Abbildung 28: Holzbausystem Cross- House

Quelle: www.cross-house.ch

Kommentar:

Für das vorliegende Projekt interessant: Rastermaß, innovative Holzkonstruktion, zentrale Aussparungen zur rasterübergreifenden Verlegung der Hausinstallationen, ein Verbindungselement für sämtliche Konstruktionen

3.4.8. Holz100, Thoma Holz GmbH

An Stelle belastender Leime oder Metalle werden Häuser als massive Holzhüllen, praktisch setzungsfrei und winddicht gebaut. Als Verbindungsmaterial dienen Jahrtausende bewährte Holzdübel. In richtiger Stärke und Anzahl verbinden sie die einzelnen Holzlagen zu unverwüstlichen Massivholzblöcken. Verwendete Holzarten sind: Fichte / Tanne / Kiefer, Dübel in Buche. Durch die ausgeklügelte Lage der einzelnen Schichten wurden die neu gewonnenen Bauelemente neuerdings auch hoch wasserfest.

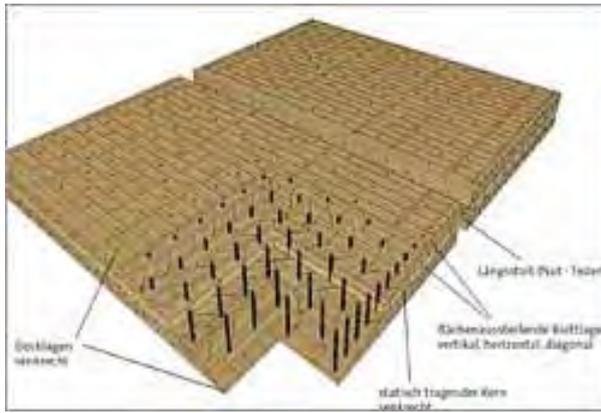


Abbildung 29: Holz100 leim- und metallfreie Verbindung

Die Thoma HOLZ100 – Elemente bestehen aus Brettschichten von 24 mm bis 50 mm Dicke, welche innen und außen kreuzweise verlegt sind (horizontal, vertikal und diagonal) und mit einem stehenden Kern bzw. Ober- und Untergurt von 60 bzw. 80 mm mittels im Raster versetzter Buchendübeln $d=21$ mm verbunden werden. Die Außenwände werden werkseitig mit einer Lage Windpapier, das zwischen zwei Brettlagen gelegt wird, versehen.

Die mechanisch verdichteten und staubtrockenen Hartholzdübel werden hydraulisch eingepresst, dabei befeuchtet, nehmen zusätzliche Umgebungsfeuchte auf und quellen dann unlösbar in das umgebende Holz. Der Durchmesser des vorgebohrten Loches ist um ca. 0,5 mm kleiner als der Dübelndurchmesser.

Auf Kunstharzverleimungen und Nagelungen wird verzichtet, sodass eine massive Holzwand (bis zu einer Größe von 3 x 8 m und einer Stärke von bis zu 40 cm) entsteht, welche nichts anderes als pures Holz enthält.



Abbildung 30: Wohnhaus, System Holz100

Quelle: www.thoma.at

Kommentar:

Die Elemente der Konstruktion noch einmal im Überblick:

- Massive Holzhüllen aus Brettschichten von 24 mm bis 50 mm Dicke,
- Stehender Kern bzw. Ober- und Untergurt von 60 bzw. 80 mm,
- Verbindung mit Holzdübel aus Buche statt Verklebungen und Vernagelungen,
- Windpapier wird zwischen zwei Brettlagen gelegt wird

- Reine Holzkonstruktion - kein Verbund mit Dämmschicht

Das Thoma HOLZ100 Bausystem ist bereits Cradle to Cradle zertifiziert. Das Holz für die massiven Wände wird nach besonderen Kriterien geerntet. Daher stellt sich auch die Frage, ob die nachhaltige Verfügbarkeit des Baumaterials bei massiver Nachfrage gegeben ist.

3.4.9. HIB Bausystem

Das HIB Bausystem besteht aus Holzbauelementen, die in Baukastenweise ohne Kran aufeinander gesteckt werden. Dies bringt sehr kurze Aufbauzeiten und – im Falle der Einbringung von Eigenleistung beim Bau – große Einsparpotentiale mit sich.



Abbildung 31: HIB Bausystem

Der Baustein: Material: 95% Holz, Breiten: 50/75/100 cm, Höhe: 50 cm, Tiefen: 16/24/30 cm, Gewicht: max. 22 kg.

Zwei flächengleiche, rechteckige Platten werden durch mehrere Stege zusammengehalten. Durch eine Art Nut-und-Feder-Prinzip werden sie Schicht um Schicht aufeinander gesteckt – horizontale Verschiebungen werden durch klassische Schwalbenschwanzverbindungen vermieden.

Die Oberflächen erlauben innen und außen eine beliebige Oberflächengestaltung von Holz bis Putz.

Gearbeitet wird bei HIB ausschließlich mit Naturhölzern ohne chemische Behandlung. Die außen eingesetzten wasserfesten Verbundplatten sind durch den holzeigenen Stoff Lignin gebunden. Sie dienen als Dampfbremse und ermöglichen den Verzicht auf den Einsatz von Folien.

Für die Wärmedämmung werden ebenfalls natürliche Materialien herangezogen:



Abbildung 32: HIB Bausystem Wärmedämmung

- Hobelspan-Lehm-Muschelkalkmischung
- Holzweichfaserplatten
- Hanf oder ähnliche Naturprodukte
- Flusskieselsteine (als zusätzlicher Wärmespeicher und Schallschutz)

Mit der bei HIB schwerpunktmäßig verwendeten Hobelspan-Lehmfüllung lassen sich standardmäßig U-Wert zwischen 0,19 und 0,16 W/(qm x K) erzielen, die auf Wunsch noch verbessert werden können.

Der Dämmstoff wird mit einer speziellen Maschine eingeblasen und hoch verdichtet. So wird nicht nur die Bildung sogenannter "Nester" vermieden – die durch den Lehmanteil bedingte hohe Masse bewirkt vor allem auch im Dachbereich einen guten Schutz vor sommerlicher Hitze oder dem Auskühlen im Winter.

Eine auf Wunsch integrierte innenliegende Installationsebene ermöglicht auch nach Fertigstellung der Rohwände die einfache und flexible Elektroverlegung.

Doppelte Livingboardplatten als massive Wandbeplankung bieten zudem mit ihren engen Stegen durchgehend hervorragende Befestigungsmöglichkeiten für Küchenschränke und andere Möbel.

Untersuchungen der Technischen Universität Karlsruhe belegen, dass die Konstruktion Erdbeben- und Sturmsicherheit mit bis zu 3 Vollgeschossen gewährleistet. Alternativ kann die Konstruktion auch mit Betondecken ausgeführt werden.

Quelle: www.hib-system.com

Kommentar:

Das System beruht auf Holzbauelementen in Baukastenweise. Die Dämmung kann direkt in die Hohlräume eingebracht werden. Es werden nur naturbelassene natürliche Materialien eingesetzt. Eine verputzte Oberfläche ist möglich, verschlechtert aber die Recyclierbarkeit.

Wie erfüllt das System den erforderlichen Brandschutz?

Nebenbemerkung: statt Flussskiessteinen wären Füllungen aus Recyclingmaterialien interessant.

3.4.10. Bürogebäude in Hausleiten/ Lukas Lang Technologies

Das Bürogebäude wurde in dem von Lukas Lang Technologies entwickeltem Holzbaukonzept umgesetzt. Nach einer Vorfertigungszeit von 3 Monaten konnte das Gebäude in nur 8 Wochen gebaut werden.

Die erstmals 100%ige industrielle Fertigung aller Einzelteile eines Gebäudes – von der Tragkonstruktion bis zur Haustechnik – macht das Bauen nicht nur günstig, sondern auch extrem flexibel.

Aufgrund der vorgefertigten, kleinteiligen Komponenten und der einfachen Schraub- und Steckverbindungen, können die Bauteile beliebig kombiniert und gegebenenfalls auch wieder verändert werden.

Die Grundkonstruktion besteht aus einzelnen Punktfundamenten und Spindelsäulen, die im Rastermaß von 1,40 x 1,40 m auf tragendem Untergrund fixiert werden.

In die Spindelsäulen werden je nach Anordnung der Grundkonstruktion unterschiedlich lange Träger eingehängt.

Die 2,80 m Säulen werden mit den Spindelsäulen und den Trägern verbunden und sind Anschlusspunkte für die Tragkonstruktion des nächsten Geschosses.

Die Gebäudehülle wird als vorgehängte Fassade ausgeführt. Sie ist in jedem Knotenpunkt an der Tragkonstruktion fixiert und bleibt somit jederzeit während und nach der Bauzeit veränderbar.

Die Dachkonstruktion wird an das letzte Geschoß gekoppelt und ist - entsprechend dem flexiblen System - für zukünftige Aufstockung des Gebäudes auch wieder demontierbar.

Innerhalb des Lukas Lang Rastermaßes von 1,40 x 1,40 m können alle 70 cm Zwischenwände, Schiebewände und Türen gesetzt und jederzeit wieder abgebaut und anders positioniert werden.

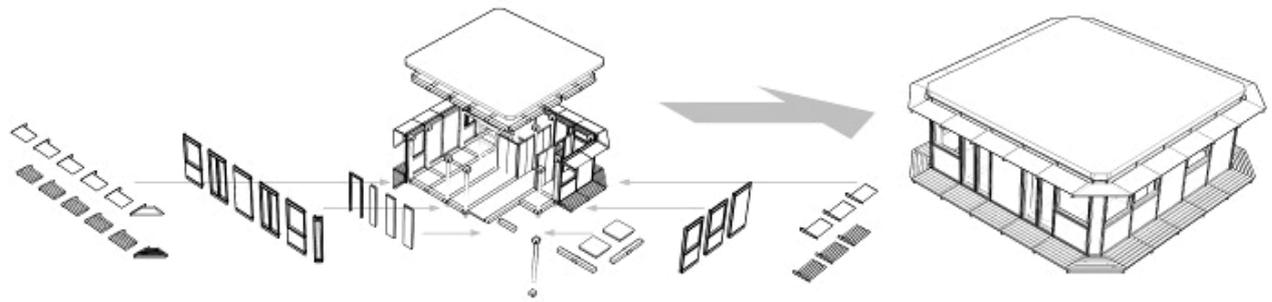


Abbildung 33: Holzbaukonzept Lukas Lang Technologies

Quelle: www.lukaslang.com

Kommentar:

Die Betonung des Konstruktionsprinzips liegt auf 100%iger industrieller Fertigung bis zur Haustechnik, kleinteiligen Komponenten und einfachen Schraub- und Steckverbindungen. Konstruktionsaufbau: Grundkonstruktion aus einzelnen Punktfundamenten und Spindelsäulen im Rastermaß auf Untergrund, darin eingehängte Träger, Gebäudehülle als vorgehängte Fassade, demontierbare Dachkonstruktion

3.4.11. Induo Systemholztechnik

Das modulare Raumsystem in Holz- und Holzverbundbauweise wird mit einem sehr hohen Vorfertigungsgrad im Werk hergestellt, bei Objektgrößen ab 60 Modulen kann die Produktion auch am Bauort, in geschützten „Feldfabriken“, stattfinden.

Mit einer eigens entwickelten Verbindungstechnik bestehend aus induo- Ankern und induo- Modulecken werden alle Bauelemente und modularen System kraftschlüssig und exakt verbunden.

Die Module bestehen in ihren tragenden Bestandteilen aus einem Skelettsystem aus nicht imprägnierten, getrockneten Holzstützen und Hauptträgern.

INDUO®-MODULRAUMTECHNIK BIETET
Mehrfachnutzen bei Produktion und Montage



Die INDUO®- Modulraumtechnik basiert auf

- den induo®- Ankern
- den induo®- Modulecken



Abbildung 34: Induo Systemholztechnik

Quelle: www.induo.de

Kommentar:

Holzskelettbauweise. kraftschlüssige Verbindung mit eigens entwickelten Verbindungstechnik aus Anker und Modulecken; Möglichkeit der „Feldfabriken“, ab 60 Modulen

3.4.12. Lignotrend Massivholz Bausystem

Lignotrend stellt Massivholz- Elemente für den Wohnungsbau sowie für den kommunalen und gewerblichen Objektbau her.

Die Wandelemente bestehen aus massiven Brettsperrholz-Elementen, die Dämmebene wird hier mit dem U*psi-Dämmständer ausgeführt. Einblasdämmungen wie Zellulose (z.B. isofloc) oder auch mattenförmige Dämmstoffe eignen sich als Wärmedämmung.

Die Fassade kann entweder hinterlüftet oder mit geeigneten Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS) auch verputzt ausgeführt werden.

Elektroleitungen können bereits während der Montage im Werk in dafür vorgesehene Hohlräume eingelegt werden. Dies hat zur Folge, dass auf der Baustelle kein Schlitzen von Leitungen notwendig ist und die bauphysikalischen Funktionen somit nicht beeinträchtigt werden.

Dachelemente stehen sowohl für die Ausführung eines Steildachs als auch eines Flachdachs zur Verfügung.

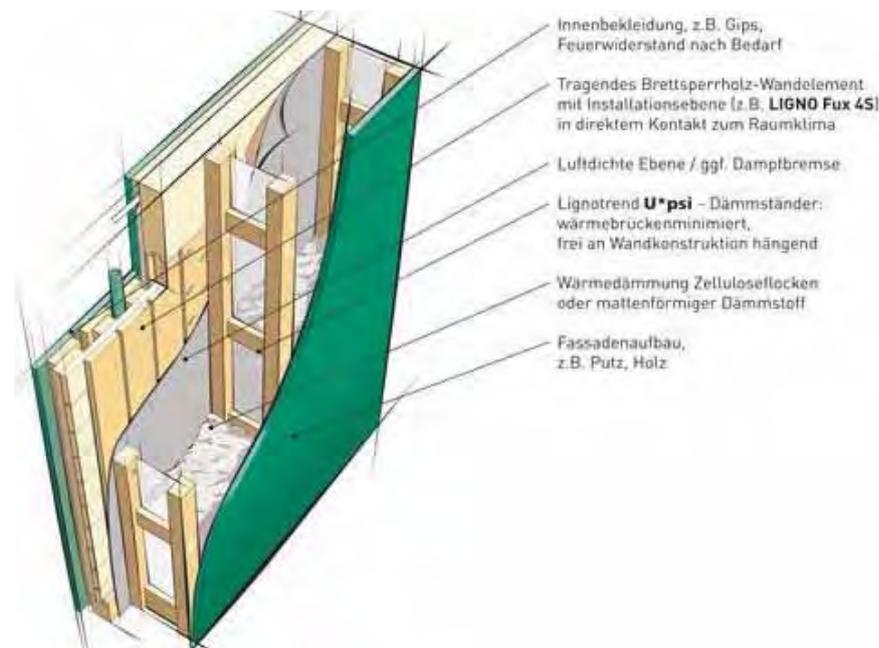


Abbildung 35: Lignotrend Wand

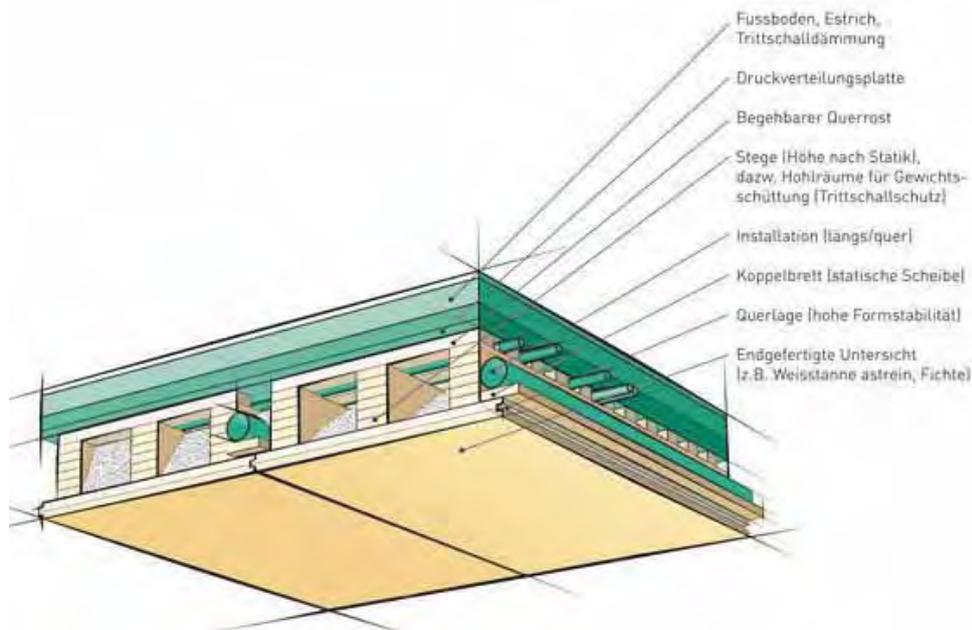


Abbildung 36: Lignotrend Decke

Quelle: www.lignotrend.com

Kommentar:

Dach-, Decken und Wandelemente aus massivem Brettsperrholz; Wandelemente mit mit wärmebrückenminimierten Dämmständern, ausgesparte Hohlräume für Installationen.

Ein Bestandteil des Wandaufbaus (Ligno Fux 4s) ist natureplus zertifiziert, ebenso das Trennwandsystem Universa der Firma Lignotrend.

3.4.13. Redbloc - Ziegelfertigteilsystem

Bei Redbloc handelt es sich um Produkt der Fa. WalzerBauSysteme in Retz, die fertige Wandelemente produziert. Diese werden aus Ziegelsteinen hergestellt, die mit einem patentierten Trockenkleber (PU- Kleber) verbunden und maschinell mit einer Wasserstrahlschneideanlage auf Maß zugeschnitten werden. Gemäß den von den ArchitektInnen entworfenen Plänen werden Wandelemente mit integrierten Kabelkanälen, Dosenvorbohrungen und Überlagern gefertigt. Durch die witterungsunabhängige maschinelle Vorfertigung und die kurze Errichtungszeit ergeben sich Kostenersparnisse im Vergleich zur konventionellen Massivbauweise. Die Endfertigung (Verputzen etc.) erfolgt an der Baustelle.



Abbildung 37: Redblock Ziegelfertigteilsystem

Quelle: www.redbloc.at

Kommentar

Vorteile für die Recyclierbarkeit der Konstruktion ergeben sich in diesem Fall aus unserer Sicht nicht durch die Vorfertigung. Ob die Verklebung mit PU.Kleber Nachteile beim Recycling hat ist uns nicht bekannt, es ist aber eher unwahrscheinlich, dass der Kleber den Recyclingprozess behindert. Die toxischen Inhaltsstoffe (Isocyanate) sind bei der Entsorgung bereits schon lange abgebunden und sollten in den geringen eingesetzten Mengen keine wesentlichen Verunreinigungen darstellen. Aus Recyclingsicht ist das vorgefertigte Wandsystem daher vermutlich mit einer konventionellen, mit modernem Mörtel verklebten Ziegelwand zu vergleichen.

3.4.14. Nomad Home

Das von Gerhard Peham entwickelte „Nomad Home“ ist ein modulares System basierend auf 11 m²-Modulen, die auf der Baustelle miteinander verbunden werden. Je nach Anzahl der Module sind unterschiedliche Wohnungsgrößen realisierbar – beginnend ab 22 m² inkl. Bad, WC, Küche, Wohn- und Schlafbereich – die jederzeit erweitert werden können. Durch verschiedene Zusatzmodule wie Eingangsbereich, Terrasse und Carport lässt sich das Gebäude weiter konfigurieren.

Die Wände sind in Sandwichbauweise mit einer Stahlskelettkonstruktion hergestellt, die Außenfassade ist in unterschiedlichen Materialien und Farben wählbar.

Die Modulbauweise ermöglicht einen mehrmaligen Auf- und Abbau und ist innerhalb weniger Tage möglich, das Haus kann bei einem Wohnortwechsel mitgenommen werden.



GRUNDAUSSTATTUNG

- Fassade in verschiedenen Oberflächen steckbar (s. Preisliste)
- Grundkonstruktion in Sandwichbauweise (Stahlkonstruktion-Dämmung-OSB)
- Dach-Wand-Abdichtung mit Kunstkautschuk, 1-lagig lt. Ö-Norm
- Holz-Alu-Fenster 2-fach verglast, k-Wert 1,1
- Außenbeleuchtung
- Aussenraffstore 80 mm Alulamellen elektrisch gesteuert

ELEKTROTECHNIK

- Indirekte dimmbare Beleuchtung
- Elektroverteiler fertig angeschlossen mit Prüfzeugnis
- Komplette steckfertige vorinstallierte Elektrotechnik mit Steckdosen, EDV mit EIB BUS-System

SANITÄRTECHNIK

- Sanitärinstallation komplett mit Prüfzeugnis
- Rohinstallation (Anschlüsse) für WC, Dusche und Küche

HEIZ-/KLIMANLAGE

- Super-Digital-Inverter-Gerät für Heizen und Kühlen auf Luft-Wärmepumpen-Basis
- Innenverteiler für Heiz- und Klimaanlage
- Lüftungskanäle isoliert in die Deckenkonstruktion integriert, mit zugfreiem Auslassdrall

INNENAUSBAU

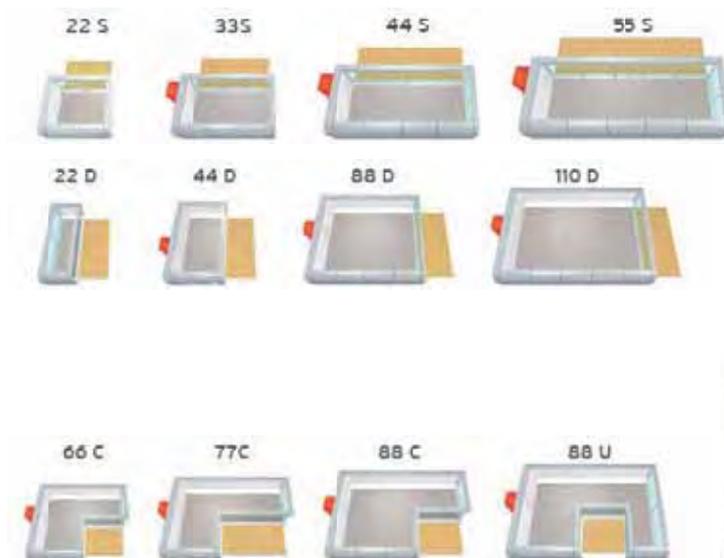
- Innenschale in MDF-Trägerplatte mit Formholzteilen und Furniture Linoleum kombiniert
- Farben lt. Kollektion mit Stecksystem für einfachen Austausch
- Boden in Linoleum lt. Kollektion oder Parkett
- Haustechnikbox Sandwichbauweise mit integrierter WC-Schiebetür

SONDERAUSSTATTUNG

- Spezialfassaden (Digitaldruck)
- Innenschale in Linoleum furniert, lackiert
- Alufenster 2-fach verglast, k-Wert 0,9
- Rollläden mit integriertem Insektenschutzgitter
- Einzel-Klimageräte mit Ionen- und Filtertechnik
- Funk-Bus-System
- Bose-Soundsystem
- Toilette lt. Kollektion
- Dusche lt. Kollektion
- Waschtische lt. Kollektion
- Badewanne
- Trennwände in Kunststoffwaben-Platten
- Modulares Raumtrennsystem individuell versetzbar mit integrierter Schiebetür
- Innenschale roh, furniert oder lackiert
- Boden roh, Laminat, Parkett oder eigenes Material
- Sonnensegel

VARIATIONS

NOMADHOME TREND



Fassade Hinterlüftung	40 mm
EPDM Dachabdichtung	2 mm
ME-F-Platte	18 mm
Dämmung WD-Klammern RG 35	120 mm
ME-F-Platte	22 mm
Dampfsperre	
Dämmung Fixrock RG 35	80 mm
MDF-Platte	16 mm
Decktap	2 mm
Gesamte Aufbauhöhe	315 mm U-Wert ca. 0,16

Abbildung 38: Nomad Home

Quelle: www.nomadhome.com

Kommentar

Modulare Bauweise mit Schwerpunkt Wiederverwendbarkeit. Die Recyclierbarkeit der Konstruktionsbestandteile weist Verbesserungspotenzial auf.

3.5. **Materialexperimente mit recycelbaren Rohstoffen**

3.5.1. **Ro&Ad Architecten**

Die beiden niederländischen Architekten Ro Koster und Ad Kil von Ro&Ad Architecten sagen über sich selbst, dass sie selten einfach geradeaus denken, sondern - stattdessen - viele Dinge richtig tun wollen. Der gemeinsame Nenner ihrer Entwürfe ist das Thema Nachhaltigkeit, dem sie sich schon früh verschrieben haben. Einen besonderen Einfluss auf ihre Entwürfe übte die „Cradle to Cradle“-Philosophie aus. Insbesondere der Grundgedanke, dass der geschlossene Stoffkreislauf in der Natur zum Vorbild für den Menschen und dessen künstlich hergestellte Produkte werden müsse. Der Abfall, der entsteht, müsse als Nahrung wiederverwertet werden, z. B. durch „Rückbau“ statt Abriss eines alten Gebäudes und die Verwendung der vorgefundenen Baumaterialien an einer anderen Stelle. Auf diese Weise könne sogar eine Wertsteigerung stattfinden.

Ganz dieser Philosophie verpflichtet, kreierten die beiden Planer im Jahr 2005 ein Bürointerieur, mit dem sie überregionale Aufmerksamkeit erlangten. Arbeitstische, Regale und Trennwände eines Grafikbüros in Eindhoven bestehen komplett aus Karton-Waben-Platten mit einer Dicke von ein bis zwölf Zentimetern. Mit dem billigen, kurzlebigen und recycelfähigen Material entstand eine außergewöhnliche und gleichzeitig sehr atmosphärische Bürowelt, die den Anforderungen des Auftraggebers nach einem temporären Büro erfüllte, das mit einem kleinen Budget ermöglicht werden konnte.

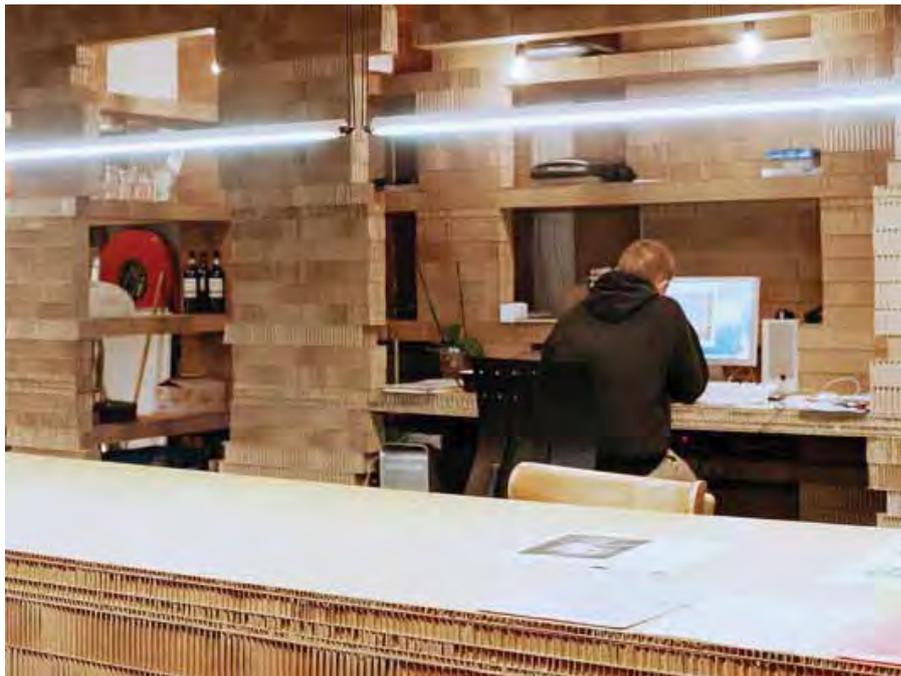


Abbildung 39: RO&Ad Architecten: Einrichtung aus Karton-Waben-Platten

Derzeit arbeitet das Büro an dem Entwurf für ein Schulungszentrum der Fluglinie Qatar Airways, das komplett aus Naturmaterialien bestehen soll: Die Schulungsräume im Inneren werden in Lehmbauweise errichtet, eine Gitterschale aus Holz trägt das begrünte Dach. Formal orientieren sich die Planer an einem vogelähnlichen Körper.

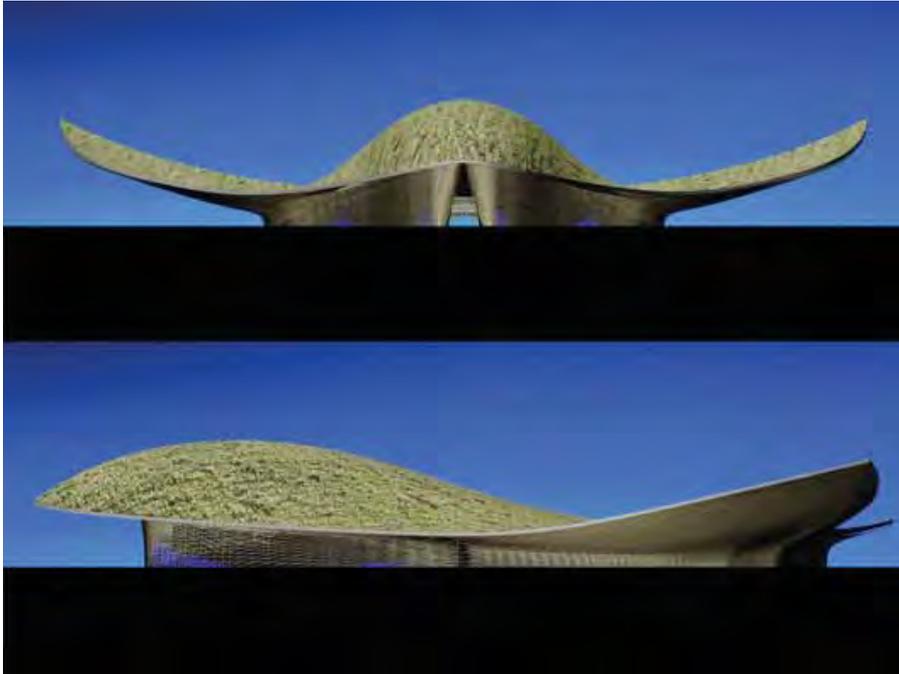


Abbildung 40: RO&Ad Architekten: Schulungszentrum der Fluglinie Qatar Airways

Fotos: Ro&Ad Architekten, Bergen op Zoom/NL

Quelle: http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Nachhaltig-Bauen-Materialexperimente-mit-recyclbaren-Rohstoffen_843415.html

Kommentar:

Dieses Beispiel ist für uns weniger wegen der besonderen Kreislauffähigkeit von Karton interessant (in dieser Hinsicht kann er unbehandeltes oder natürlich behandeltes Vollholz sicher nicht schlagen), sondern aus zwei Aspekten: die Reduktion vieler Anforderungen auf ein Material und die einfachen Umgestaltungsmöglichkeiten, welche besonders für temporäre Nutzung wie im vorliegenden Bürobeispiel interessant sind.

Sind die Kartons verklebt oder können die Wände und Möbel jederzeit wieder auseinandergenommen und neu zusammengestellt werden?

3.5.2. WellpappWelle – experimenteller Messestand

Der Stand aus Wellpappe wurde im Rahmen eines studentischen Entwurfswettbewerbs 2008 an der TU Darmstadt aus einer Vielzahl von Ideen entwickelt und von einer Gastjury prämiert. Die Teilnehmer dieses Projektes hatten durch eine Realisierung im Maßstab 1:1 die Gelegenheit sich mit Faktoren auseinanderzusetzen, die für Bauvorhaben entscheidend sind: Zeitplanung, Kosten, Baulogistik und Kooperation mit der Industrie und Handwerksunternehmen, außerdem Ergonomie, Materialtechnologie und Fertigungstoleranzen.



Abbildung 41: WellpappWelle

Die Sitzlandschaft aus aneinander gefügten Pappschichten bietet einen besonderen Blickfang und wirkt als Informationsträger für die Inhalte des Fachbereichs. Mit Hilfe einer Wellenform werden vielfältige Nutzungszonen ermöglicht: Stehen an einer Theke, Sitzen in verschiedenen Haltungen, Ausstellen von Architekturmodellen und Display von Büchern. Für die Umsetzung wurde das regelbasierte Objekt 3D modelliert und durch Segmentierung in digitale 2D Datensätze überführt, die die direkte CNC Fertigung der 324 verschiedenen Teile im Wasserstrahlschneiderverfahren ermöglichte. Wellpappe wurde als umweltfreundliches und recyclingfähiges Material gewählt, das sich gegenüber anderen Baustoffen als besonders kosten- und gewichtseffizient herausgestellt hat.

Quelle: http://www.architektur.tu-darmstadt.de/studieren/foerderpreise/jakobwilhelmenglerpreis/mengler_2008_mehr.de.jsp

Kommentar:

Die Sitzlandschaft aus aneinander gefügten Pappschichten kann vor allem im Vergleich zu Polstermöbel punkten, da alle Funktionen durch ein Material erfüllt werden. Im Vergleich zu entsprechend designten Holzmöbeln könnte der Vorteil ev. im Preis und im Gewicht liegen.

3.5.3. Cardboard House

Das Haus aus Pappe repräsentiert einerseits vereinfachte Technologien und andererseits die Vereinfachung der Bedürfnisse. Die homogene Struktur aus einem Material ermöglicht es, Bauteile zu 100% zu recyceln. Die Bauweise ist eine Herausforderung an den konventionellen Wohnbau in Bezug auf Kosten und Umweltbewusstsein.

Die niedrigen Kosten und die leichte Transportfähigkeit könnten dem Cardboard House zu einem vielfältigen Einsatz verhelfen: als Wohnmöglichkeit, während das eigene Haus gebaut oder renoviert wird, als Notunterkunft oder als kurzfristige Übernachtungsmöglichkeit.





Abbildung 42: Cardboard House

Quelle: www.superuse.org/story.php?title=Cardboard-house

Quelle: <http://ecobites.com/eco-news-articles/alternative-energy/735-cardboard-house>

Kommentar:

Interessant für temporäres Wohnen mit geringen Anforderungen.

3.5.4. **Edouard Francois: SoDD**

SoDD ist eine Installation des Pariser Architekten Edouard Francois, die 2009 bei der FIAC (Foire internationale d'art contemporain) in Paris präsentiert wurde. SoDD ist die Idee für ein ökologisches Wohnhaus, hergestellt aus vorgefertigten Modulen aus Holzrahmen gefüllt mit Zellulosedämmung. An der Außenfläche wird eine Gummimembran befestigt, die sich unter dem Druck der Zellulosefüllung aufwölbt. Direkt auf die Membran sind Photovoltaikzellen aufgebracht.





Abbildung 43: Edouard Francois: SoDD

Quelle: www.designboom.com/weblog/cat/9/view/7956/edouard-francois-sodd.html

Kommentar:

Ob und wie Zellulosefaserdämmung tatsächlich recycelt wird, muss die Praxis noch zeigen.

Der Vorteil der Membran liegt vor allem in der Materialreduktion. Von einem Recycling ist aufgrund der Beanspruchungen aus der Nutzung nicht zu rechnen. Sie wird vermutlich nach Abtrennen der Solarmodule thermisch verwertet.

3.5.5. Haus Längle-Ess in Feldkirch/ Architekt Walter Unterrainer

„Das ungewöhnlichste Merkmal des Einfamilienhauses in Feldkirch - Blumenau ist sicherlich die Fassade. Ein schwarzes dichtes Industriegewebe aus umweltfreundlichem Polyethylen umhüllt die vorgefertigten hoch gedämmten Holzrahmenelemente. Die ca. zwei Meter breiten Bahnen weisen eine hohe Winddichtigkeit und Witterungsbeständigkeit auf. Nahtsäume aus sichtbaren Edelstahlschrauben unterstreichen den textilen Charakter. Der Grundriss in L-Form nutzt das kleine Grundstück optimal. Die Wohnräume orientieren sich süd- und westseitig mit großzügigen Holzfenstern zum Garten und einem geschützten Außenraum.

Straßenseitig ist die Fassade fast durchgehend geschlossen. Der westliche Teil besteht aus den nicht beheizten Nebenräumen, Eingang und Garage. Die Wohnräume mit Industrieparkett sind mit Lehmplatten verkleidet. Eine Erweiterung durch Überbauung der Dachterrasse und eine Teilung in zwei separat nutzbare Einheiten sind konzeptionell vorgegeben.

Die Konzeption des Wohnhauses aus Holzfertigteilen und umhüllendem Kunststoffgewebe ermöglicht eine kurze Bauzeit und geringe Baukosten. Wesentlicher Aspekt der Entwurfsüberlegung ist aber die Nutzung alternativer Energien und Bauen im Sinne von Nachhaltigkeit.“

www.architekt-unterrainer.com



Abbildung 44: Haus Längle- Ess, Architekt Walter Unterrainer

Kommentar:

Die Holzrahmenbauweise unterstützt durch ihre Trennbarkeit jedenfalls die Kreislauffähigkeit von Gebäuden. Inwieweit die eingesetzten Materialien recycelbar sind, müsste im Detail betrachtet werden. Polyethylen ist gut recycelbar, die Beanspruchung aus der Nutzungsphase wird aber – sollte sich die Recyclingpraxis in Zukunft nicht maßgeblich ändern – einer hochwertigen Recyclierung entgegenstehen.

Interessant ist auch die konzeptionelle Vorbereitung zur Trennung in zwei separat nutzbare Einheiten.

3.5.6. S- House, Böhheimkirchen

Das S-House ist ein Zentrum für nachwachsende Rohstoffe und Nachhaltige Technologien.

Am Gebäude wird die Funktionalität von Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen demonstriert. Neben den Strohballenwänden wurden auch Wandaufbauten mit anderen Dämmstoffen (z.B. Hanf, Flachs, Schafwolle, Zellulose) eingebaut. Es wurden unterschiedliche ökologische Oberflächenmaterialien (z.B. Putze, Holzverschalungen, Textilien) und verschiedene natürliche Oberflächenbehandlungsmittel (Lacke, Wachse, Lasuren) eingesetzt.

Mit dem S-House wird das „Faktor 10“-Konzept im Baubereich umgesetzt und den Kriterien nachhaltigen Bauens entsprochen. Die Reduktion des Energieverbrauchs auf ein Zehntel im Vergleich zum heutigen Stand der Technik wird durch den Einsatz der Passivhaustechnologie erreicht. Durch die Verwendung nachwachsender Rohstoffe und die Minimierung fossiler und mineralischer Materialien verringert sich der Ressourcenverbrauch ebenfalls beträchtlich. Der Vergleich einer Strohwandkonstruktion mit einem konventionellen Wandaufbau hat gezeigt, dass die Strohwand in allen Berechnungskriterien um bis zum Faktor 10 besser abschneidet. Durch die Verwendung von Stroh als Baustoff können somit die negativen Auswirkungen auf die Umwelt wesentlich verringert werden. Diese Erkenntnisse gelten in ähnlichem Umfang auch für viele andere Produkte aus regional verfügbaren nachwachsenden Rohstoffen.

Das S- House ist ein Beispiel für rückbaufreundliche Planung. Die gesamte Gebäudehülle ist aus nachwachsenden Rohstoffen gefertigt, sodass alle nicht weiterverwendbaren Bauteile wie etwa die Dämmung, z.B. durch Kompostierung entsorgt werden können. Die Elemente der modular aufgebauten Haustechnik sind einfach, vollständig und beschädigungsfrei vom Gebäude zu trennen, es verlaufen keine Kabel oder Rohre in den Wänden. Anstatt eines Estrichs wurden Natursteinplatten verwendet, die in einer mit Kalkcasein gebundenen Schüttung verlegt sind. Die Platten können bei sorgsamer Demontage zerstörungsfrei entfernt und für einen gleichwertigen Zweck wiederverwendet werden. Selbst die Punktfundamente sind so gestaltet, dass sie relativ einfach wieder rückgebaut werden können; außerdem wird die Menge an Baurestmassen im Vergleich zu Streifen- oder Plattenfundamenten wesentlich verringert.





Abbildung 45: S-House, Böhmeikirchen

Zur Befestigung der Lattung der hinterlüfteten Fassade an den Strohballen wurde die Treeplast Schraube entwickelt.

Das Granulat, der Rohstoff für die Treeplast Schraube, besteht aus Lignin mit einem Anteil an Holzfasern und ist zu 100% biologisch abbaubar, jedoch wasserbeständig.

Quellen: www.s-house.at, www.nachhaltigwirtschaften.at/results.html/id3133

Kommentar:

Neben der Strohballenbauweise ist an diesem Objekt die Verwendung von Natursteinplatten auf kaseingebundener Schüttung interessant. Bei den „wertvolleren“ Natursteinplatten ist eine sorgsame Demontage wahrscheinlicher als bei einem konventionellen Trockenestrich.

Weiter zu verfolgen sind auch die modular aufgebaute Haustechnik und das Freihalten der Wände von Kabeln oder Rohren.

Diese Lösung scheint besonders interessant für Standorte, bei denen die professionelle Recycling-Infrastruktur nicht so gut ausgebaut ist wie in großen Ballungsräumen.

3.5.7. Wohnhaus aus Lehm, Schlins, 2008



Abbildung 46: Wohnhaus aus Lehm, Martin Rauch

Das aus dem Hang "herausgeschnittene" Wohnhaus des Lehmbauspezialisten Martin Rauch ist von Böden, Deckengewölben, Wand- und Deckenverputzen, Stufen, Fliesenbelägen, Waschtischen bis zu den Ziegeln am Flachdach zu 85 % aus Erdmaterial geformt, gestampft, gebacken, gepresst, gestrichen, gespachtelt und gegossen. Es zeigt, wie aus Naturmaterialien und handwerklicher Qualität hochwertigste Gebäudehüllen geschaffen werden können. Von der erdig-rohen Atmosphäre des Untergeschosses gelangt man in lichte, weißgrau schimmernde Räume.

Am Anfang wurde der gesamte Aushub auf 0-30 mm gesiebt, mit unterschiedlichsten Verarbeitungstechniken in den Bau zurückgeführt und zu verschiedenen Zwecken wieder verwendet z.B. als tragende Wände, Stampflehm-Öfen, Fertigteilmwände, Lehmstampfböden und Drainageabdichtungen.

Die mit Pressluftstampfern in der Schalung verdichteten dreigeschossigen, statisch voll belasteten 45cm dicken Wände, bleiben unbehandelt. Alle erdberührenden Lehmstampfwände sind mit Bitumen- und Schaumglasisolierung außen abgedichtet. Das 10 Meter hohe Stiegenhaus hat außen und innen rohe unbehandelte Lehmwände, und ist durch die aufliegende Glassteinkuppel belichtet. Die Stufen aus Trasskalk gebundenem Aushubmaterial sind 9cm stark, geschliffen und einseitig in die Außenwände eingespannt.

Quelle: www.lehmtonerde.at

Kommentar:

Wir haben es hier sicher mit einem hoch kreislauffähigem Gebäude zu tun – mit Ausnahme der Bitumen- und Schaumglasisolierung, die schwer zu ersetzen sind. Die unbehandelten Lehmwände können der Natur wieder zugeführt werden. Die Ausführung solcher Gebäude wird vermutlich Ausnahmetalenten wie Martin Rauch vorbehalten bleiben.

Der Bedarf erfahrener Handwerkerarbeit steht vordergründig im Gegensatz zu kostensparender Schnellbauweise (industriell vorgefertigten Bausystemen). Jedoch muss dieser Ansatzweise die Förderung von hochwertiger Handwerkerleistung hinsichtlich sozialer Auswirkung auf die Schaffung qualitativ hochwertiger Arbeitsplätze zu Gute geschrieben werden.

In diesem Fall kann mit Sicherheit gesagt werden, dass die ökologische und soziale Effektivität klar vor der wirtschaftlichen Effizienz steht. Eigentlich eine sehr wünschenswerte Lösung auch aus Sicht von Cradle to Cradle.

3.5.8. Das Deutsch-Chinesische Haus, Expo 2010, Shanghai

„Das Konzept des „Deutsch-Chinesischen Hauses“ stammt vom Designer und Installationskünstler Markus Heinsdorff. Bereits für die vorherigen Stationen von „Deutschland und China – Gemeinsam in Bewegung“ hatte er rund 20 filigrane Pavillons aus Bambus konstruiert und den in China traditionsreichen Baustoff so zu einem Markenzeichen der Veranstaltungsreihe gemacht. Heinsdorffs Bauten sind moderne multifunktionale Räume und Kunstobjekte in einem. Sie schaffen eine Symbiose von Natur und High-Tech-Materialien. Bambus ist ein besonders umweltfreundlicher und ressourcenschonender Baustoff. Das Gras wächst bis zu 30 cm täglich – schneller als jede andere Pflanze. Wer mit Bambus arbeitet, muss dafür keinen einzigen Baum fällen. Kaum ein anderes natürliches Material ist so elastisch und zugleich hart und fest. Und nicht zuletzt besitzt Bambus einen einzigartigen Charme.“

Für die planerische Umsetzung und das umfangreiche Genehmigungsverfahren war das deutsch-chinesische Architekturbüro MUDI aus Shanghai verantwortlich. Die Messebaufirma Shanghai Oriental Expo Services realisierte den Bau.

Das Haus von „Deutschland und China – Gemeinsam in Bewegung“ ist ein Bambus- Membranbau mit einer begehbaren Fläche von 330 Quadratmetern über zwei Etagen. Für die Trägerkonstruktion des Dachs wurden acht Meter lange Rohre aus Julong-Bambus – einer speziellen Riesenbambus-Art aus Südchina – verwendet. Der Bambus wurde vor dem Bau mit einem besonderen Feuerschutz behandelt und hat erstmals das Prüfsiegel für Brandschutz erhalten. Im Inneren des Hauses wurde mit verleimten Bambus-Lamellen gearbeitet. Für beide Materialien wurden eigens neue Verbindungs- und Verarbeitungstechniken entwickelt. Die bis zu sechs Meter langen tragenden Balken aus Bambus-Lamellen ermöglichen einen freitragenden Raum im Obergeschoss. Am Dach halten Verbindungsknoten aus Stahl das Stabtragwerk aus Bambus zusammen. Diese sind einbetoniert in HVFA-Beton (Entwicklung TU Darmstadt, DI Baumert), der durch einen sehr hohen Flugaschegehalt gekennzeichnet ist. Das Dach besteht aus einer speziellen PVC-Membran. An den Fassaden ist der Bambus mit lichtdurchlässigen ETFE-Folien kombiniert. Das Gebäude ist umweltfreundlich und mobil: Es kann zerlegt und an anderer Stelle wieder aufgebaut werden. Die eingesetzten Materialien sind wiederverwendbar oder recycelbar.“

Quelle: www.deutschland-und-china.com

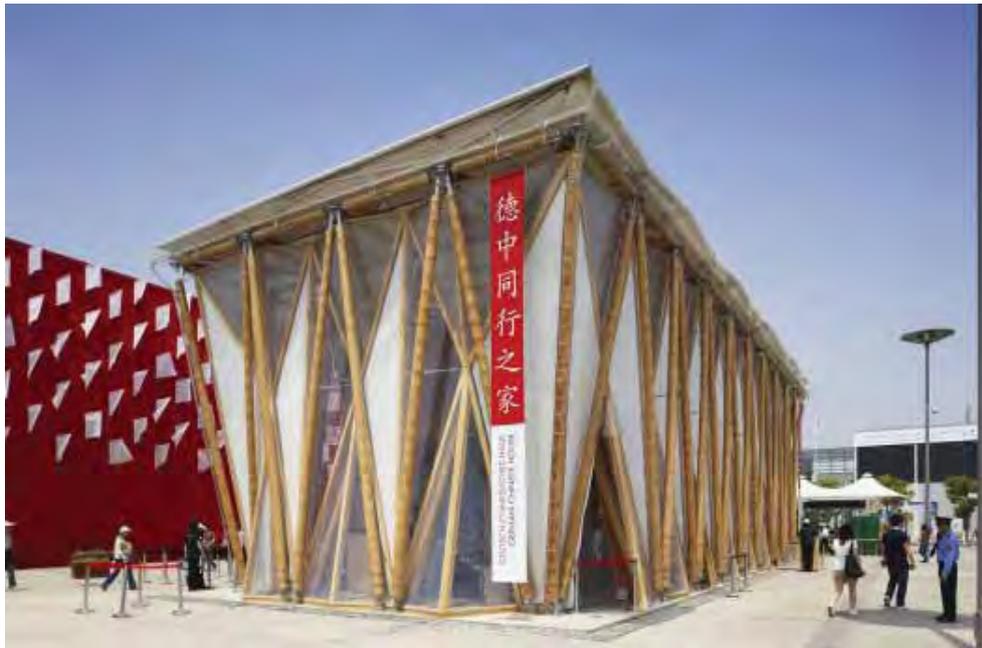


Abbildung 47: Das Deutsch- Chinesische Haus, Expo 2010

Quelle: www.archdaily.com

Kommentar:

Das Gebäude zeichnet sich durch eine gute Rückbaubarkeit aus, was aber auch an den niedrigen Funktionsanforderungen liegt. Dadurch kann die Außenhülle auf Tragstruktur und Membran reduziert werden. Die halogenhaltigen Folien (PVC und ETFE) entsprechen nicht unserem ökologischen Anspruch an Materialien, denn heutzutage muss man davon ausgehen, dass die Membranen nicht recyclet, sondern verbrannt werden.

3.6. Weitere Beispiele

3.6.1. Werner Sobek: Triple Zero® R128

Werner Sobek ist Architekt und Bauingenieur, ordentlicher Professor an der Universität Stuttgart und Leiter des Instituts für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK) sowie Mies van der Rohe Professor am Illinois Institute of Technology in Chicago. Sobek ist Inhaber der Firmengruppe Werner Sobek, die Niederlassungen in Stuttgart, Frankfurt, New York, Moskau, Dubai und Kairo unterhält.

Triple Zero® ist ein von Werner Sobek entwickelter Standard, der definiert, welche Anforderungen ein Gebäude erfüllen muss, um nachhaltigen Ansprüchen gerecht zu werden. Der Name Triple Zero® ist markenrechtlich geschützt. Ein Gebäude, das dieses Konzept sehr anschaulich verdeutlicht, ist R128.



Abbildung 48: R128, Werner Sobek

Quelle: www.wernersobek.de

Zero Energy Building

Das Gebäude benötigt keine (NULL) Energie. Die Gutschrift aus regenerativ erzeugter Energie, die am Gebäude oder auf dem unmittelbaren Grundstück erzeugt wird, ist mindestens so groß wie der Gesamtprimärenergiebedarf des Gebäudes für Heizen, Kühlen, Warmwasser, Hilfsstrom und Strom für alle typischen internen Anwendungen.

Zero Emission Building

Das Gebäude produziert keine (NULL) CO₂-Emissionen. Bezugsgröße ist der Gesamtprimärenergiebedarf, der in CO₂-Emission umgerechnet wird. Auf dem Grundstück oder im Gebäude dürfen keine Verbrennungen stattfinden.

Zero Waste Building

Das Gebäude hinterlässt bei Umbau oder Abbau keinen (NULL) Abfall. Alle Bauteile können am Ende des Lebenszyklus vollständig, ohne jedweden zu verbrennenden oder zu deponierenden Anteil, recycelt werden. Das Grundstück kann ohne Altlasten oder sonstige verbliebene Rückstände renaturiert werden.

R128 ist ein viergeschossiges Gebäude, das sich auf einem steilen Grundstück am Rande des Stuttgarter Talkessels befindet. Es wurde als vollkommen recycelbares, im Betrieb emissionsfreies Nullheizenergie-Gebäude entworfen.

Das vollkommen verglaste Gebäude besitzt eine hochwertige Dreifachverglasung mit einem U-Wert von 0,4. Es ist modular aufgebaut und aufgrund des Zusammenbaus durch Steck- und Schraubverbindungen nicht nur leicht auf- und abbaubar, sondern auch vollkommen recycelbar.



Abbildung 49: R128, Werner Sobek

Quelle: www.wernersobek.de

Das Gebäude kommt ganz ohne Schalter, Türgriffe, Armaturen etc. aus, da sämtliche Bewegungs- und Steuerungsvorgänge durch berührungslose Radarsensoren, Mikrowellensensoren bzw. voice control gesteuert werden. Beispielsweise ermöglicht das System vom unteren Geschoss aus die Fenster im obersten zu schließen. Schranktüren, Wasserhähne und Toilettenspülungen lassen sich ebenso berührungslos wie hygienisch per Handbewegung dirigieren. Abgehängte Aluminiumdecken- Paneele verbergen Beleuchtungskörper und Luftöffnungen. Der im Haus benötigte elektrische Strom wird durch Photovoltaik erzeugt.

Um das Haus als emissionsfreies Nullenergiehaus bauen zu können, wurde ein neuartiges computergesteuertes Energiekonzept entwickelt; dieses kann bei Bedarf von jedem Ort der Erde per Telefon und Computer kontrolliert werden. Einstellungen am Computer ermöglichen einen automatischen Luftaustausch, sodass ein optimiertes Raumklima beibehalten wird.

Das Tragwerk des Gebäudes wird aus einem durch Diagonalen ausgesteiften Stahlskelett gebildet, das auf einer Stahlbeton- Bodenplatte steht. Die Decken bestehen aus Elementen in Massivholzbauweise. Alle tragenden und nichttragenden Elemente sowie die Fassade sind modular aufgebaut und werden durch leicht lösbare Verbindungen zusammengehalten. Es gibt keinerlei Putz oder Estrich, so dass auch keine schwierig oder gar nicht zu entsorgende Werkstoffverbunde entstehen. Entsprechend konsequent gibt es keine Unterputzleitungen. Alle Ver- bzw. Entsorgungssysteme sowie Kommunikationsstraßen liegen in Blechkanälen, die entlang der Fassaden angeordnet und in die Deckenkonstruktion integriert sind.

Das Haus wurde komplett aus vorgefertigten Teilen hergestellt. Die Bauzeit ist rekordverdächtig: in nur 4 Tagen stand das Stahlgerüst und nicht mehr als 10 Wochen waren nötig, um das Haus komplett zu installieren.

Das vollkommen verglaste Gebäude besitzt eine hochwertige Dreifachverglasung mit Edelgasfüllung sowie eine Konvektionsbarriere nach dem Heat-Mirror-Prinzip, die gleichzeitig Überhitzung und Wärmeverluste verhindert. Der U- Wert beträgt $0,4 \text{ W/ m}^2\text{K}$.

Die durch die Fassade in das Gebäude eingestrahelte Sonnenenergie wird über wasserdurchflossene Deckenelemente absorbiert und anschließend einem Wärmespeicher zugeführt, aus dem das Gebäude im Winter durch Umkehrung des Wärmeaustauschprozesses

beheizt wird. Die Deckenelemente wirken dann als Wärmestrahler, eine zusätzliche Heizung ist nicht erforderlich.

Der Zugang zum Gebäude erfolgt über eine Brücke, die zur obersten Ebene führt. In dieser Ebene befinden sich Küche und Essbereich. Nach unten schließen sich dann die Wohnebene, die Schlafenebene und das Kinderzimmer mit Technikbereich an. Die vier Nutzungsebenen werden jeweils durch wenige Möbelstücke definiert. Damit wird das Konzept der maximalen Transparenz auch im Inneren des Bauwerks umgesetzt.

Das Haus wird auf 6 x 4 vollkommen identische, frei verfügbare Flächen reduziert. Alle sind offen zum Hausinneren. Sichtbarer Sonnenschutz existiert nicht mehr und wird verbessert durch die Reduktion auf eine Folie und die Glasfüllung zwischen den Glasscheiben. Damit ändert sich das Äußere des Hauses gewaltig. Dies war jedoch keine architektonische Entscheidung, sondern angewandte Forschung aus dem Institut für Leichte Flächentragwerke mit „Smart Materials“. Während die früheren Bauten Fassadengliederungen aus Stützen und Glasflächen hatten, reduziert der Stuttgarter Bau von Sobek die Fassaden auf eine kontinuierliche Glashülle mit innenliegenden Stützen. Türdrücker und ähnliches werden auf unsichtbare Tasten reduziert. Haustür und Lüftungsfenster sind eine von 104 identischen Fassadenscheiben, nur eben beweglich. Die Zugänge, der Steg, die Terrasse und auch die Innentreppe sind alle auf ein Material, verzinkte Stahlträgerroste reduziert. Die Unterkonstruktionen lösen das Haus aus seiner Umgebung. Das Ergebnis ist ein außergewöhnliches Gebäude mit ungewöhnlich hoher technischer Präzision, wie sie im Bauwesen heute nicht üblich ist.

Quelle: www.wernersobek.de

www.raumhilfe.com/bilder/r128.pdf

www.architectureweek.com/2008/0319/building_1-1.html

Kommentar :

Die konsequente Umsetzung des Kreislaufgedankens enthält wichtige Anregungen für das Projekt Gugler.

Aus unserer Sicht ist die massive Anwendung von Glas hinterfragenswert – einerseits wegen des hohen Energiebedarfs zur Herstellung (wurde diese beim ZERO Emission-Nachweis berücksichtigt?), andererseits aus der heutigen Recyclingpraxis. Unseres Wissens über die Recyclingpraxis in Österreich nach

- wird in der Flachglasproduktion überhaupt kein PC-Glas eingesetzt;
- werden in der Dämmstoffindustrie ausschließlich Produktions- und Gewerbeabfälle recycelt;
- werden Fensterglasabfälle vorwiegend zu Glasperlen und ähnlichen Anwendungszwecken verwertet (Downcycling).

In ein paar Jahrzehnten, wenn der Rückbau des Gebäudes tatsächlich ansteht, könnte sich die Recyclingsituation für Fensterglas aber auch schon wesentlich gebessert haben.

Weiters ist zu hinterfragen, ob der intensive Einsatz von Steuer- und Regeltechnik für Fenster, Türen, Schranktüren und sogar Toilettenspülung hinsichtlich langfristig nachhaltiger Strategie sinnvoll ist. Es ist zu vermuten, dass diese raffinierte Technik viel Elektrotechnik, Mikroprozessoren und Leiterplatten verlangt. Moderne energieeffiziente Elektronik enthält verhältnismäßig viel seltene Metalle (u. a. Silber, Gold, Lanthan, Neodym etc.). Durch den Ausbau erneuerbarer Energietechnologien werden solche seltenen Elemente verstärkt nachgefragt (exponentielles Wachstum der Nachfrage) und Knappheiten am Markt zeichnen sich bereits ab. Ist es da nicht sinnvoller, dem Bewohner durchaus triviale muskelgetriebene feinmotorische Handgriffe zuzumuten, und sich die entsprechende Gerätetechnik (samt High-tech-Elektronik) zu sparen? Abgesehen von der Tatsache, dass dadurch weniger Strom im Haus verbraucht wird (vor allem für Sensoren und Microchips) und dadurch die Energie- und CO₂-Bilanz des Hauses noch besser wird.

Ein weiterer Kritikpunkt ist die Anforderung, im Gebäude oder auf dem Grundstück nichts verbrennen zu dürfen. Grillparties sind damit ausgeschlossen, Kerzenlicht ebenfalls? Einschränkung alltäglicher Lebensfreiheiten erscheint nicht eine besonders elegante Lösung.

3.6.2. Das globalrecyclingfähige Haus, 2002 (Hans Löfflad)

Hans Löfflad versucht in „Das globalrecyclingfähige Haus“, 2002, ein Bewertungssystem für die Errichtung und Nutzung und Wiederverwertung eines Gebäudes zu schaffen.

Er definiert Globalrecycling als Wiedereingliederung anthropogen beeinflusster Stoffflüsse in die biogenen und geogenen Kreisläufe der Natur.

Nur globalrecyclingfähige Materialien, Konstruktionen und Gebäude sind aus der ganzheitlichen Betrachtung von Recycling im eigentlichen Sinn recyclingfähig.

Für die Beurteilung der Globalrecyclingfähigkeit von Materialien wird nicht nur die endgültige Eingliederung in die biogenen und geogenen Stoffkreisläufe betrachtet, sondern auch die Globalrecyclingfähigkeit der Abfälle und der Emissionen, die während der einzelnen Phasen seines Lebenszyklus entstehen. Das sind auch die gesamten Emissionen und Reststoffe, die während der Herstellung entstehen und beseitigt werden müssen.

Kategorie	Beschreibung	Beispiele
1	Globalrecyclingfähige Stoffe: <ul style="list-style-type: none"> Nachwachsende Rohstoffe Mineralien, naturbelassen oder nur mechanisch verändert 	Holz, Schnittholz, Holzwolle, Schilfrohr, Flachs, Hanf, Schilfgras, Stroh, Kork, Schafwolle, Natursteine, Lehm
2	Bedingt globalrecyclingfähige Stoffe: <ul style="list-style-type: none"> Nachwachsende Rohstoffe Mineralien, mechanisch und chemisch verändert 	Holzwerkstoffe, Naturfarben, gebrannte Lehmziegel, Portlandzement-Klinker, Kalksandsteine, Metalle, (jeweils ohne Zusätze von Stoffen der Kategorie 3)
3	Nicht globalrecyclingfähige Stoffe: <ul style="list-style-type: none"> Organische nicht nachwachsende Rohstoffe 	Produkte aus Erdöl, Kohle, Erdgas, sowie Kunststoffe, synthetische Farben und Lacke, synthetische Kleber

Tab. 6.2 Bewertungshilfe Globalrecyclingfähigkeit

Abbildung 50: Das globalrecyclingfähige Haus, Hans Löfflad

Um die Umsetzung des globalen Recyclings in das tägliche Baugeschehen leicht zu ermöglichen, steht ein Planerkatalog zur Verfügung. Weitere Informationen zur konkreten Umsetzung werden durch die Baubeschreibung eines idealen globalrecyclingfähigen Gebäudes gegeben.

3.7. Conclusio aus der best practice Recherche

Die vorgestellten Beispiele geben einen Querschnitt über die Vielzahl der Möglichkeiten, an das Thema Recycling heranzugehen.

Ziel sollte in jedem Fall ein recyclingfähiges Gebäude sein, d.h. ein flexibles, erweiterbares, sich an die Nutzeranforderungen anpassendes Gebäude, das die Umgebung möglichst wenig beeinträchtigt. Das Gebäude soll nach Beendigung der (möglichst langen) Nutzungsdauer am Standort eine Wiederverwendungen an einem anderen Standort oder eine effektive und effiziente Zerlegung des Gebäudes erlauben. Effizienz und hochwertige Recyclierbarkeit stehen bei der Materialauswahl im Vordergrund. recyclingfähig sein.

Ein Faktor, der in vielen Projekten als Grundprinzip für die Rückbaubarkeit und Wiederverwendung genannt wird, ist die **Flexibilität**. Die Anpassung an geänderte Nutzungsanforderungen sorgt für eine Verlängerung der Lebensdauer eines Gebäudes; deswegen ist es wichtig, dass bereits in der Planung eine Umnutzung bedacht wird. Im Run Shopping Center Noorderveld erlauben offenbare Dachflächen sogar die Versetzung des Stiegenhauses.

Demontagefähigen Verbindungen, die klare Trennung von Tragwerk und Ausbauelementen, die Trennung der Installationsführung von den Konstruktionselementen sind die Grundlagen für flexibles Bauen. An diesem Punkt treffen sich auch die Anforderungen an recyclingfähiges Bauen.

Das Bauen mit **industriell vorgefertigten modularen Elementen** erleichtert in vielen Fällen die Trennung, gleichzeitig ist aber auch die Wahl der Verbindungsmittel und die Demontierbarkeit ein wichtiges Thema.

Durch die **Industrialisierung** des Bauens sollen grundsätzlich mehrere Aspekte gleichzeitig abgedeckt werden: die Vorfertigung von Bauelementen in der Werkstatt, die präzisere Ausführung der Module, die Reduktion der Baustellenabfälle und die Demontagefreundlichkeit (was sich leicht zusammensetzen lässt, lässt sich auch wieder leicht auseinandernehmen).

Ein nicht-materieller Aspekt, der durch industrielle Vorfertigung und einen durchgängigen computergestützten Entwurfs- und Herstellungsprozess unterstützt wird, ist die genaue Dokumentation des Gebäudes, inklusive Aufzeichnung aller eingesetzten Details und Materialien (z.B. „Cellophane House“). Wenn die Gebäudedokumentation während der Nutzungsdauer des Gebäudes enjourné gehalten wird, kann sie bei der Planung des Rückbaus des Gebäudes wertvolle Dienste leisten.

Zur Rationalisierung der Montage und Demontageprozesse werden daher immer wieder neue Techniken für die **Verbindung** entwickelt:

- Die Induo Systemholztechnik entwickelte eine eigene Verbindungstechnik, bestehend aus Ankern und Modulecken, mit der alle Bauelemente und modularen System kraftschlüssig und exakt verbunden werden.
- Beim Holzbausystem Cross- House werden sämtliche Wand bzw. Deckenelemente mittels identischen Verbindungselementen aus Stahl zusammengefügt.
- Beim Holz 100 System von Thoma Holz GmbH werden die Verbindungen mit Holzdübeln hergestellt. Dabei werden die Dübel eingepresst und befeuchtet, durch das Aufquellen verbinden sie sich unlösbar mit dem umgebenden Holz. Der enorme Vorteil ist, dass dieses System kein zusätzliches Material wie Stahl benötigt, sondern dass es eine reine Holzkonstruktion bleibt.

Auch andere Bausysteme kommen durch die Anwendung von Nut- Feder- Verbindungen ohne Stahlverbindungen aus. So zum Beispiel erfolgt Zusammensetzen der Wände bei system/haus/bau, oder das Zusammenstecken wie bei einem Baukastensystem bei HIB-Bausystem.

Nachteilig könnten sich bei vorgefertigten Elementen allerdings die dabei anfallenden **Transportwege** auswirken. Eine Variante zwischen Industrieller Vorfertigung und Baustellenarbeit sind „fliegende Fabriken“ (Modcell) oder „Feldfabriken“ (induo), geschützte temporäre Fertigungsstätten in der unmittelbaren Umgebung der Baustelle. Diese „Feldfabriken“ stellen einen interessanten Ansatz für die Demontage von Gebäuden dar. Die abgebauten Materialien könnten schon vor Ort aufbereitet bzw. für den Abtransport vorbereitet (z.B. komprimiert) werden, um danach direkt recycelt oder zur weiteren Verarbeitung transportiert zu werden.

Es gibt eine große Anzahl von **vorgefertigten Holzkonstruktionen**, die den Ansprüchen des flexiblen, demontierbaren Bauens am nächsten kommen. Als Baumaterial ist Holz in vorgefertigten Tafелеlementen mit einem (Leicht-) Baukastensystem vergleichbar – relativ unaufwändig und platzsparend transportierbar, mittels intelligenter Verbindungstechnik schnell montierbar, ebenso demontabel und sogar mobil. Die Vorfertigung ganzer Wand- und Deckenelemente in der Werkstatt reduziert auch die Baustellenabfälle in erheblichem Maß. Eine Reihe von Holzkonstruktionen beinhalten vorgefertigte Elemente für das Verlegen des Dämmstoffs (Dämmständer, Hohlräume, etc). Eine spezielle Entwicklung stellt Holz100 dar, das gänzlich ohne Dämmstoff auskommt.

Ganz andere Ansätze finden sich bei den Beispielen zu den Experimenten mit **recycelbaren Materialien**, wo der Fokus verstärkt auf der Wahl der Materialien liegt.

Die ausgewählten Projekte zeigen unterschiedliche Möglichkeiten auf, die vom Einsatz von recycelbaren Materialien in neuem Kontext – zum Beispiel den Einsatz von Karton als Baumaterial – über Lehm als konstruktives Element bis hin zum Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen reichen. Diese Projekte legen den Schwerpunkt auf naturbelassene natürliche Materialien (Wohnhaus aus Lehm, Strohballenhaus in Modulbauweise, LOPAS) und setzen darauf, dass die Materialien am Ende ihres Lebenszyklus wieder in natürliche Kreisläufe zurückgeführt werden.

Die Innovation beim Haus Längle-Ess in Feldkirch zum Beispiel ist nicht nur der Einsatz einer textilen Bespannung, sondern das Zusammenfassen mehrerer Funktionen in eben dieser „Haut“:

Sie ist gleichzeitig Winddichtung und Sichtfläche der Fassade (und trägt damit auch wesentlich zu einer Kostenreduktion bei). Das trägt einerseits zur Minimierung des Materialeinsatzes bei und reduziert gleichzeitig die Zahl der unterschiedlichen Stoffe, die entsorgt werden müssen.

Einige Beispiele, wie das „Deutsch-Chinesische Haus“ der Expo 2010 in Shanghai oder das Cardboard House, profitieren von den niedrigen Funktionsanforderungen an das Gebäude.

Zwei Beispiele beziehen außerdem noch den Boden im Gebäude in ihre Betrachtung ein. Um den Baugrund so wenig wie möglich zu beeinträchtigen, sind sie auf Pfählen errichtet.

Abschließend lässt sich sagen: Aus der Summe der Beispiele lassen sich viele Maßnahmen formulieren, die dazu beitragen, ein Gebäude kreislauffähig zu machen. Welche Prinzipien tatsächlich zur Ausführung gelangen werden, hängt jedoch immer von den Anforderungen an das konkrete Projekt ab.

4. DEL. Exposé Bedingungen und Methoden für das Recycling von Baukonstruktionen unter Zugrundelegung der derzeitigen Verfahren und Betrachtung der derzeitigen Schwachstellen in Konstruktion und Recyclingprozess

Das Exposé gliedert sich im Wesentlichen in 4 Teile. Zuerst werden die Rahmenbedingungen dargestellt, unter denen heute recycelt wird, dann die Abbruch- und Rückbaumethoden. Daraufhin wird der Weg der Materialien und Bauteile weiterverfolgt bis hin zu Deponie, Verbrennung oder Recycling. Der letzte Teil beschäftigt sich mit derzeitigen Schwachstellen im Recyclingprozess.

4.1. Rahmenbedingungen für das Recycling

4.1.1. Rechtliche Rahmenbedingungen

4.1.1.1. Abfallwirtschaftsgesetz 2002

Das AWG formuliert neben den allgemeinen Zielen der Abfallwirtschaft (§ 1 Abs.2: Vermeidung vor Verwertung vor Entsorgung) insbesondere ein Verwertungsgebot (§ 16 Abs.7) beim Abbruch von Baulichkeiten. Wobei hier eine Abgrenzung des Abfallbegriffs wichtig ist, da Material, das bei Baumaßnahmen anfällt, aber vor Ort durch bautechnische Maßnahmen (bautechnischer Nutzen und die bautechnische Notwendigkeit stehen im Vordergrund) wieder Verwendung findet, nicht unter die Regelung des Verwertungsgrundsatzes fällt, da das eingesetzte Material laut AWG aufgrund der fehlenden Entledigungsabsicht kein Abfall ist. Auch wird im AWG das Vermischen und Vermengen von Abfall verboten (§ 15 Abs. 2).

4.1.1.2. Baurestmassentrennungsverordnung (BGBL Nr. 259/1991)

Die „Verordnung über die Trennung von bei Bautätigkeiten anfallenden Materialien“ schreibt die getrennte Sammlung und Verwertung der verwertbaren Baurestmassen vor und ist mit 1. Jänner 1993 in Kraft getreten.

Für den verpflichtenden Nachweis des Verbleibs von Baurestmassen wird das von der Wirtschaftskammer Österreich, Geschäftsstelle Bau herausgegebene „Baurestmassennachweis-Formular“ empfohlen.

4.1.1.3. Abfallnachweisverordnung

Die Abfallverzeichnisverordnung dient als einheitliches Abfallverzeichnis für nicht gefährliche und gefährliche Abfälle. Als Nachweis zur Erfüllung der Bestimmungen der Abfallnachweisverordnung und der Baurestmassenverordnung im Zuge von Bautätigkeiten wurde vom Fachverband der Bauindustrie und der Bundesinnung Bau das „Baurestmassennachweisformular“ herausgegeben.

(siehe www.bau.or.at-Technik-Umwelt,
http://portal.wko.at/wk/format_detail.wk?angid=1&stid=124388&dstid=131&opennavid=25006)

4.1.1.4. Deponieverordnung 2008

Die Deponieverordnung unterscheidet 4 Deponietypen:

- Bodenaushubdeponie;
- Inertabfalldeponie;
- Deponie für nicht gefährliche Abfälle:
 - Baurestmassendeponie,
 - Reststoffdeponie,
 - Massenabfalldeponie;
- Deponie für gefährliche Abfälle (nur als Untertagedeponie).

4.1.1.5. Altlastensanierungsgesetz (ALSAG 2006)

Das ALSAG schreibt Altlastenbeiträge für jede Form des langfristigen Ablagerns von Abfällen (Deponieren), das Verfüllen von Geländeunebenheiten (u.a. das Verfüllen von Baugruben oder Künnetten), das Lagern von Abfällen und das Befördern von Abfällen zur langfristigen Ablagerung außerhalb Österreichs fest und stellt die rechtliche Grundlage der Finanzierung der Sanierung von Altlasten dar.

4.1.1.6. Abfallverzeichnisverordnung

Die Abfallverzeichnisverordnung dient als einheitliches Abfallverzeichnis für nicht gefährliche und gefährliche Abfälle.

Quellen:

www.br.v.at

Abfallvermeidung und -verwertung von Baurestmassen, Umweltbundesamt, M. Scheibengraf und Hubert Reisinger, 2005

4.1.1.7. Vom Abfall zum Baustoff – die fehlende Abfallendeverordnung

In den im Rahmen des Forschungsprojekts wurden Interviews mit Recyclingunternehmen und Abfallexperten durchgeführt. Während von den Beteiligten die rechtlichen Rahmenbedingungen als sehr gut angesehen werden, ist doch auffällig, dass der Gesetzgeber zwar die getrennte Weiterbehandlung von Abfällen unterstützt, jedoch keine Vorschriften setzt, die aktiv den Nachweis der Kreislauffähigkeit eines Produktes zum Ziel hätten.

Österreich hat ausgezeichnete Regelwerke, unsere Richtlinien sind führend in Europa. In der Theorie ist Österreich ein Musterland. Problem in Österreich sind die Anwendung, Anwendungsgesetze und die Überprüfung der Einhaltung von Auflagen. Teilweise können die Gesetze nicht vollzogen werden. Eine Hoffnung liegt im neuen EDM (elektronischen Datenmanagement), das eine bessere Nachvollziehbarkeit und bessere Kontrolle ermöglichen könnte.

Dringend erforderlich ist eine sogenannte Abfallende-Verordnung. Derzeit bleibt ein Sekundärrohstoff so lange Abfall bis er wieder neu eingebaut ist, auch wenn er längst weiterverarbeitet wurde.

Mineralische Baurestmassen werden in der Regel nach dem Abbruch zu Recycling-Baustoffen aufbereitet (sortiert, gebrochen und klassiert). Auch ein qualitätsgesichert hergestellter Recycling-Baustoff ist abfallrechtlich noch immer kein Produkt, sondern Abfall. Die Klassifizierung umfasst bautechnische Eigenschaften und den Nachweis der Umweltverträglichkeit. Qualitätsklassen sind A+, A und B.

Die Qualitätssicherung muss nachgewiesen werden, wenn kein ALSAG (Altlastensanierungsbeitrag) anfallen soll. Dabei bleibt der Recycling-Baustoff solange Abfall, bis die Qualitätssicherung durch den Lieferanten nachgewiesen ist und der Recycling-Baustoff eingebaut – d.h. verwertet – wurde. Das Risiko ALSAG entrichten zu müssen liegt derzeit beim Käufer des Altstoffes (neuer Besitzer).

Als Grundlage dafür könnte die Vergabe eines Gütesiegels (erfolgt derzeit nur in der rechtlich unverbindlichen Form durch den Österreichischen Güteschutzverband Recycling-Baustoffe) dienen oder der Nachweis der chemischen und bautechnischen Eignung des eingebauten Recyclingmaterials

Daher wird seit langem der Beschluss einer „Abfallendeverordnung“ angestrebt, nach der schon der Hersteller aus dem Abfall ein neues Produkt machen würde und die Abfalleigenschaft schon beim Recycler enden würde.

(Quelle: Interviews G. Gretzmacher (Baustoff-Recyclingverband) und M. Scheibengraf (MA22))

Mit einer neuen EU-Richtlinie wird dieser Forderung entsprochen und ein Nebenprodukt gilt schon als Produkt bei der Entstehung, vorausgesetzt es gibt einen Markt dafür und das Produkt hält bestehenden Anforderungen ein.

Die neue Abfallrahmenrichtlinie der EU (2008/98/EG) soll bis Ende 2010 in nationales Gesetz der Mitgliedsstaaten umgesetzt werden. Es wird ein fünfstufiger, hierarchischer Umgang mit Abfall vorgesehen:

1. Vermeidung
2. Vorbereitung zur Wiederverwendung
3. Recycling
4. sonstige Verwertung, zum Beispiel energetische Verwertung
5. Beseitigung.

Somit wird eine klare Vorgabe geleistet und Ressourcen sollen unbedingt nach dieser Reihenfolge genutzt werden. Neu ist auch in dieser Richtlinie, dass ein „Ende der Abfalleigenschaft“ erreicht werden kann, wenn nach einem Verwertungsverfahren ein verwendungsfähiges Produkt vorliegt (Artikel 6). Dementsprechend gelten auch andere Rahmenbedingungen für diese neuen „Nebenprodukte“, z.B. auch auf den Transport bezogen.

4.1.2. Wirtschaftliche Rahmenbedingungen

Ob ein Recycling von Baustoffen durchgeführt wird, hängt wesentlich von den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ab.

Grundvoraussetzung für die Bereitschaft zur Umsetzung ist, dass das Recyclingprodukt nicht teurer ist als ein gleichwertiges Produkt aus Primärbaustoffen, das betrifft die Summe aller anfallenden Kosten vom Abbruch bis fertigen Produkt.

Demgegenüber stehen gleichzeitig die noch immer zu geringen Deponiekosten, die die Recyclingbemühungen erschweren.

Bedingt durch die hohen Lohnkosten ist im Normalfall die Aussortierung und Aufbereitung kleiner Fraktionen (z.B. Kunststoff) unwirtschaftlich, bei einzelnen Verbundstoffen ist schon die Trennung unwirtschaftlich, weshalb eine Verbrennung zur Energiegewinnung der einzige Ausweg ist.

Der erforderliche Zeitaufwand für die Aussortierung und Aufbereitung muss also in entsprechendem Verhältnis zum Gewinn stehen, der Wert der Rohstoffe muss den Aufwand rechtfertigen (wie zum Beispiel bei den Metallen).

Daraus lässt sich folgendes ableiten:

- die Wahrscheinlichkeit zum Recycling würde bei einem geänderten Verhältnis von Lohnkosten zu Materialkosten (d.h. wenn Arbeit billig ist und Material teuer) sehr signifikant steigen.
- die knapper werdenden Ressourcen und die damit einhergehenden steigenden Kosten der Rohstoffe werden langfristig die Bereitschaft zum selektiven Rückbau bzw. zur gezielten Aufbereitung der Baustoffe und Herstellung von Recyclingprodukten erhöhen.
- es ist von hohem Interesse, dass alle Produkte mit ihren wahren Kosten gehandelt werden, dass also die Umweltkosten bei der Produktion von Produkten (z.B. die Kosten einer Belastung wie der Katastrophe im Golf von Mexiko) im Preis der Produkte enthalten sind und nicht auf Umwegen von Gesamtbevölkerungen getragen werden.

In anderen Ländern dieser Erde (wie z.B. in Indonesien) wird der Rückbau von Gebäuden wesentlich umfangreicher betrieben und dauert daher auch wesentlich länger als ein Abbruch bei uns.

Dies resultiert einerseits daraus, dass in Ländern wie Indonesien die Arbeit im Verhältnis zum Material viel weniger kostet und zweitens daraus, dass den rückgebauten Materialien ein Restwert zugeschrieben wird. In Indonesien ist es so, dass der Abbruch nicht nur nichts kostet, im Gegenteil, der ehemalige Besitzer erhält für den Abbruch eine Vergütung.

Je nach der Präzision und Qualität der Arbeit, mit der rückgebaut wird, kann die Abbruchfirma dann beim Weiterverkauf der Materialien mehr oder weniger Gewinn machen.

Recycling funktioniert also dann, wenn der Rohstoff knapp oder teuer ist. So funktioniert das Recycling von Metallen nicht nur deswegen so gut, weil es technisch so gut möglich ist, sondern

auch wegen des hohen Handelswerts der Rohstoffe: Kupfer, Aluminium oder Zink haben im neuen Jahrhundert eine enorme Preissteigerung erlebt. Dies betrifft nicht nur Primärmetalle, sondern auch Recyclingmetalle. Der Handelswert von Recyclingmetallen liegt bei Metallen wie Kupfer oder Aluminium in der Größenordnung des Handelswertes von Primärmetallen.

Bei Metallen kommt ein weiterer Aspekt hinzu der die Recyclingquote nach oben schnellen lässt: Für die Aufbereitung von Metallschrotten ist deutlich weniger Energie erforderlich als für die Metallgewinnung aus Erzen. Je höher der Energiepreis, desto höher die Attraktivität der Abfallverwertung. Dies trifft z.B. auch für die Altglasverarbeitung bei der Herstellung von Dämmstoffen wie Glaswolle oder Schaumglas zu.

Viele Abfälle, die verwertet werden könnten, werden dennoch deponiert, weil die Deponiekosten zu gering sind. Dennoch sind auch zumindest z.T. auf wirtschaftliche Rahmenbedingungen zurückzuführende Erfolge zu verbuchen (ABC-Disposal, 2009):

Der stoffliche Verwertungsgrad an mineralischen Baurestmassen stieg in den letzten zwei Jahrzehnten von ursprünglich 15 % (1985) auf 70 % (BAWP, 2006, Seite 151). Als wesentliche Triebfeder für die Steigerungsrate wirkte die mit 1. Jänner 1993 in Kraft getretene Baurestmassen-Trennverordnung (BGBl. Nr. 259/1991). Österreich verfügt mittlerweile über ein fast flächendeckendes Netz an Recycling-Betrieben, die mineralische Baurestmassen übernehmen und daraus Recyclingmaterialien herstellen. Anreiz für die Übergabe der Bauabfälle an Recyclingunternehmen gibt es aber auch in finanzieller Hinsicht wie die folgenden Beispiele zeigen (CAR, 2005):

- Einem Deponiedurchschnittspreis von 12,10 € pro Tonne für reinen Bauschutt stand 2005 ein Annahmepreis von 9,58 € pro Tonne beim Recycling-Betrieb gegenüber.
- Der durchschnittliche Annahmepreis von Asphalt und Beton liegt bei 60 bis 70 Prozent des bei Deponierung notwendigen Altlastenbeitrags (Asphalt: 4,30 €, Beton: 5,62 €)
- Seit 1. Jänner 2006 ist die Anwendung von Baustoff-Recycling nur mehr mit einem Qualitätssicherungssystem altlastenbeitragsfrei möglich (Altlastenbeitrag: 8 € pro Tonne).

Auch die Kosten für Abbruch bzw. verwertungsorientiertem Rückbau spielen eine wesentliche Rolle. Die beim verwertungsorientierten Rückbau anfallenden Kosten setzen sich aus Planung, Demontage, Entsorgung und Transport zusammen. Die Demontagekosten steigen im Allgemeinen mit höherem Separationsgrad, die Entsorgungskosten sinken. In der Regel ergeben sich daher bei einer selektiven Entsorgung die geringsten Gesamtkosten. Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit des verwertungsorientierten Rückbaus sind aber entsprechend hohe Beseitigungsgebühren für nicht getrennte Baurestmassen (SCHEIBENGRAF, REISINGER, 2005).

Daher ist auch für ein Abbruchunternehmen, das keine Deponie besitzt ist, der Anreiz sorgfältig rückzubauen und zu trennen wesentlich größer, da die Deponierung von gemischten mineralischen Fraktionen (wie vorab angeführt) bei einem externen Deponiebetreiber teurer ist.

4.1.3. Recyclingnachweis bei Produktzulassung

Im Entwurf zur Bauprodukteverordnung vom Mai 2008 wird unter den Basisanforderungen an Bauwerke unter Punkt 7 auch das Thema der nachhaltigen Nutzung der natürlichen Ressourcen behandelt. Darin wird gefordert:

Das Bauwerk muss derart entworfen, errichtet und abgerissen werden, dass die natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt werden und Folgendes gewährleistet ist:

- Das Bauwerk, seine Baustoffe und Teile müssen nach dem Abriss recycelt werden können.
- Das Bauwerk muss dauerhaft sein.
- Für das Bauwerk müssen umweltfreundliche Rohstoffe und Sekundärbaustoffe verwendet werden.

Ein weiteres Kapitel der Bauprodukteverordnung, welches das Thema Recycling / Entsorgung berührt, ist Abschnitt 3 Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz:

„Das Bauwerk muss derart entworfen und ausgeführt sein, dass es weder die Hygiene noch die Gesundheit der Bewohner und der Anwohner 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, [...]
- d) Freisetzung gefährlicher Stoffe in Trinkwasser, Grundwasser, Meeressgewässer oder Boden, [...]"

Die Umsetzung dieser Anforderungen ist in den harmonisierten Produktnormen zu regeln. Um horizontale Regelungen z.B. zu Prüfmethode bemüht sich derzeit ein Technisches Komitee des CEN, CEN TC 351 „Release of dangerous substances“. Bis zur normativen Umsetzung hat die Einhaltung dieser Anforderungen bei Abriss, Recycling und Beseitigung praktisch keine Relevanz bei der Produktzulassung.

4.2. Abbruch und Rückbaumethoden für Gebäude

4.2.1. Allgemeines

In Wien werden hauptsächlich Bürogebäude, Fabriken, Industrie- und Gewerbegebäude abgebrochen; Wohngebäude nur selten.

Wichtig für die Vorgehensweise beim Abbruch ist die

- Klärung der früheren Gebäudefunktion, um eventuell vorhandene Schadstoffe bereits vor dem Abbruch zu entfernen
- Klärung der Bauweise des Gebäudes
- Klärung der örtlichen Gegebenheiten: Möglichkeiten zum Aufstellen von Containern, Entfernung zur nächsten Recyclinganlage, wie ist die Anlage ausgestattet etc.
- Trennung der einzelnen Stoffgruppen

4.2.2. Theorie und Praxis des Rückbaues

4.2.2.1. Was wird als Rückbau bezeichnet?

In den einzelnen europäischen Ländern ist derzeit die Nomenklatur unterschiedlich, in der Schweiz wird auch ein konventioneller Abbruch als Rückbau bezeichnet, während man in Österreich und Deutschland unter Rückbau nur jenen Abbruch versteht, der verwertungsorientiert ausgerichtet ist.

Nach Beendigung der Nutzungsdauer soll eine effektive und effiziente 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.

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.

4.2.2.2. Rückbaustufen und Demontagegruppen

In der Theorie des Rückbaues wird in vielen Literaturquellen von Rückbau- oder Demontagestufen gesprochen. Dabei bemühen sich die Verfasser um eine strukturelle Gliederung des Rückbauvorganges.

Die Zugänge zur dieser Gliederung sind unterschiedlich. Darüber hinaus wird in den Quellen ausschließlich von Gebäuden mit einer Tragstruktur aus mineralischen Baustoffen ausgegangen. Dies vermutlich deshalb, weil bisher die meisten abgebrochenen Gebäude diesem Typ angehören.

In einem ersten Beispiel wird von Rückbaustufen gesprochen. Dabei mischen die Verfasser Kategorien der Wiederverwertbarkeit mit Kategorien nach Gewerken und der Unterteilung in Rohbau und Ausbau.

- In der **ersten Rückbaustufe werden schonend in Handarbeit Bauteile ausgebaut**, die wieder verwendet werden können (z. B. Geräte und Maschinen der technischen Gebäudeausrüstung, Heizkörper, Verteiler, Schaltschränke, Sanitärarmaturen und -objekte, demontierbare Trennwände u. Ä.).
- In der **zweiten Rückbaustufe sollen wieder verwendbare Bauteile demontiert werden**, die einer Aufarbeitung durch Reinigung oder Reparatur bedürfen (z. B. Türen, Fenster, Oberlichter, Lüftungskanäle, Rollläden, Kabel, Kabelkanäle, Klimakanäle, Bodenbeläge, Decken- und Wandverkleidungen, Holztreppe und Geländer etc.). Von Vorteil sind dabei gut lösbare Verbindungselemente wie Schraub-, Steck- und Klemmverbindungen.
- In der **dritten Rückbaustufe sind Baustoffe auszubauen, die seit langem recycelt** und bei den Herstellern wieder als Sekundärrohstoff in den Materialkreislauf integriert werden (z. B. Dachstuhl, Eisenmetalle aus Stahlkonstruktionen im Dach- und Fassadenbereich, von Gittern, Zäunen, Toren und Türen, Stahlkonsolen und Anker, Aluminium, Zink, Blech, Kupfer und Blei aus Dach- und Fassadenkonstruktionen, Glas aus Fenstern, Fassaden, Türfüllungen etc.).
- In der **vierten Rückbaustufe sollten alle noch verbliebenen Bauteile des Innenausbau**es oder der Gebäudetechnik ausgebaut werden (z. B. Dämmmatten, Füllschäume, Teerpappen, Bodenbeläge etc.). Die verbleibende Baumasse soll von allen Bauteilen, Stoffen und Verunreinigungen befreit werden, die das Recycling des restlichen Rohbaues behindern.
- Die **fünfte und letzte Rückbaustufe ist der konventionelle Abbruch des Rohbaues**. Hierbei kann eine gleichzeitige Sortierung der Abbruchmassen nach Stahlbeton, unbewehrtem Beton, verschiedenem Mauerwerk und nicht frostbeständigem Material wie Gips oder Porenbeton erfolgen.

Quelle: UBA 2005

Abbildung 51: Rückbaustufen

In den Rückbaustufen werden zuerst 3 beschrieben, denen ein Recycling folgen wird, und zwar mit direkter Wiederverwertung (Produktrecycling), nach Vorbehandlung oder durch Rückführung in die Grundsubstanz (das sind im Wesentlichen Metalle).

Die 4. Demontagestufe beinhaltet alles was den Rückbau nun noch vom reinen Rohbau trennt und die 5. Stufe beinhaltet den Abbruch des reinen Rohbaues.

Ein anderes Beispiel zeigt die Einteilung in Demontagestufen entsprechend der Herstellungsschritten des Gebäudes, nur in umgekehrter Reihenfolge, und unterteilt die Elemente des Innenausbau in Stufe 1 – 3 zusätzlich nach ihrer Weiterverwertbarkeit.

Ablaufstruktur der Demontage- und Abbrucharbeiten (nach Petschmann, Recycling- der Umwelt zuliebe)

Quelle: Andrä, Schneider, Wickbold: Baustoff-Recycling. Arten, Mengen und Qualitäten der im Hochbau eingesetzten Baustoffe,

Lösungsansätze für einen Materialkreislauf. Verlag: Landsberg- Ecomed, 1994

In einer anderen Quelle wird der Rückbau in die Stufen Demontage, Entkernung und Abbruch unterteilt, wobei unter Demontage der Ausbau von funktionalen Teilen und Anlagen verstanden wird (z.B. Lüftungskanäle), unter Entkernung der Abbruch von Bauteilen die keinen Einfluss auf die Standsicherheit haben (Fenster, Türen, nicht tragende Wände), und unter Abbruch die Beseitigung des Rohbaues.

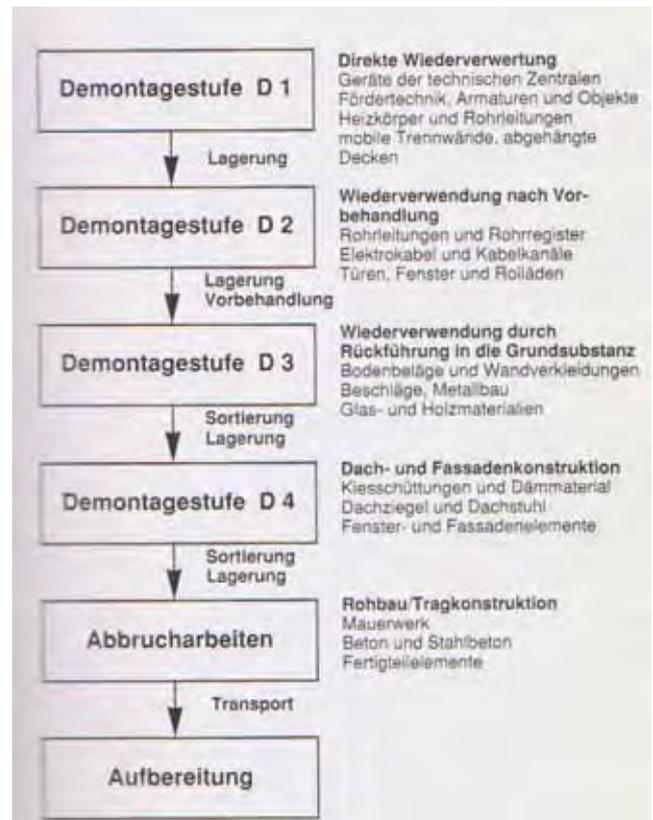


Abbildung 52: Demontagestufen



Abbildung 53: Rückbaustufen

Quelle: www.arbeitshilfen-recycling.de

Die Detailstudie zur Entwicklung einer Abfallvermeidungs- und -verwertungsstrategie für den Bundesabfallwirtschaftsplan 2006 des Umweltbundesamts von Martin Scheibengraf und Hubert Reisinger unterscheidet Demontagegruppen:

- Türen, Türrahmen
- Fenster, Fensterrahmen, Fensterläden
- Innenverkleidungen (Holz), Fußleisten
- Tapeten
- Boden-/ Treppenbeläge
- Bekleidung unter Decken
- Elektrische Installationen (Steckdosen, Schalter, Kabel, Verteilerkästen, etc.)
- Sanitäre Installationen (Rohre, WC- Schüsseln, Wasserkästen, Waschtische, etc.)
- Zwischenwände
- Spenglerarbeiten (Dachrinnen, etc.)
- Wände (Mauerwerk)
- Decken
- Dacheindeckungen
- Dachstuhl

4.2.2.3. Best Practice Praxisbeispiel: Rückbau eines Standardgebäudes, Fa. Prajo

(Interview mit Hrn. Vocinkic, Fa. Prajo)

Wesentlichstes Ziel der Fa. Prajo im Abbruch eines Gebäudes ist die möglichst sortenreine Demontage aller Ausbauteile bis zuletzt nur mehr die reine Konstruktion übrigbleibt.

Dabei wird im Wesentlichen in umgekehrter Reihenfolge der Errichtung das Gebäude wieder in seine Einzelbestandteile zerlegt.

Der Ablauf ist in etwa wie folgt:

Demontage von Aufputz verlegten Rohrleitungen und Kabeln

Demontage von abgehängten Decken, samt der dahinter liegenden Rohrleitungen und Verkabelungen

Demontage von beweglichen Innenteilen: Türblätter

Demontage von Wandverkleidungen

Abbruch der Fußbodenkonstruktionen in Einzelfractionen: Teppich bzw. Holzfußböden, Estrich bzw. Doppelbodenplatten, Schüttungen oder unter dem Doppelboden verlegte Rohrleitungen und Kabelkanäle

Demontage von nicht tragenden Trennwänden aus Ziegel, Gipssteinen, Gipskarton, Holz, Alu/Glas

Demontage von Fassadenverkleidungen: Eternitfassaden, Holzverschalungen, vorgehängte Steinfassaden, etc.

Demontage der Fenster und Außentürsysteme

Wenn nur mehr die mineralische Struktur eines Gebäudes steht, beginnt der Abbruch der mineralischen Baurestmassen, auch hier wenn möglich bereits getrennt nach Ziegel und Betonabbruch.

4.2.2.4. gängige Praxis des Abbruches im Normalfall

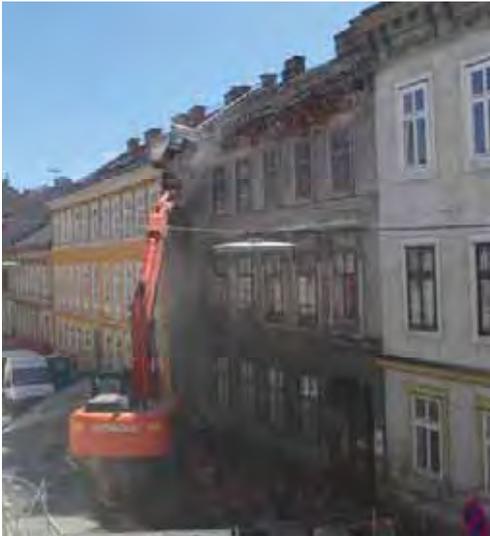


Abbildung 54: Abbruch in der Praxis

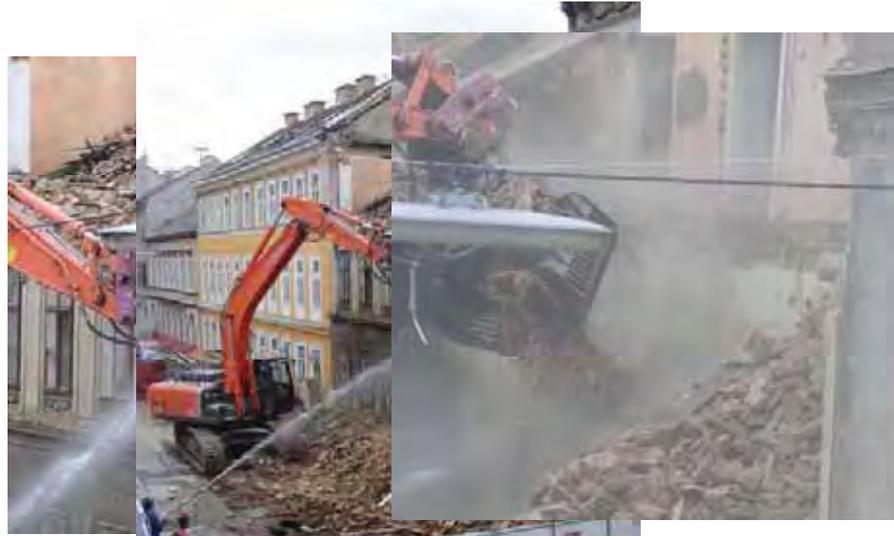


Abbildung 55: Abbruch in der Praxis

Abbildung 56: Abbruch in der Praxis



Abbildung 57: Abbruch in der Praxis

Abbildung 58: Abbruch in der
landläufigen Praxis

Abbruch eines Hauses im 17. Wiener Gemeindebezirk im Mai 2010

Im Wesentlichen werden ein paar Blechteile des Daches mit dem Greifer abgetragen, und die Dippelbäume und Träme der Decken werden in einen gesonderten Container geladen.

Der gesamte Rest inkl. Fenstern, Türen und sonstigem wird nicht getrennt. Die Staubentwicklung ist beträchtlich, teilweise ist so viel Staub in der Luft, dass auf den Fotos fast nichts mehr erkennbar ist.

4.2.2.5. Conclusio/ Beobachtungen aus der Praxis

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)

Ein weiteres Kriterium ist das Erhalten des klimatischen Raumabschlusses, damit die Arbeiten möglichst unabhängig von Witterungseinflüssen durchgeführt werden können.

In letzter Stufe wird die tragende Struktur abgebrochen.

Insofern wird der Rückbau am besten in der vorgestellten Grafik aus www.arbeitshilfen-recycling.de dargestellt.

Darüber hinaus wird der Rückbau nach der Art und Anzahl der im Gebäude befindlichen Materialien und ihrem Entsorgungs-/Wiederverwendungsweg organisiert.

Die Materialvielfalt bestimmt daher ebenso die Art und Anzahl der Rückbaustufen. Ältere Bauwerke mit wenigen unterschiedlichen Materialien können häufig nach wenigen Rückbaustufen vollständig abgetragen werden, wobei Holzteile des Dachstuhls und der Decken vom Bagger herausgegriffen werden.

Modernere Gebäude erfordern in der Regel mehrere Demontagestufen, in denen zunächst noch Dämm- und Dichtungsschichten, Fassadenplatten u.ä. vor dem Rückbau der Rohbausubstanz entfernt werden. Unbedingt in einer separaten Rückbaustufe müssen Schadstoffe ausgebaut werden (z.B. Asbestbauteile, chemisch behandelte Hölzer, teerhaltige Baustoffe, etc.)

Zuletzt ist der Rückbau in der Wahl seiner Mittel und in seinem Aufwand Sortenreinheit zu gewährleisten präzise abgestimmt auf die Erfordernisse des jeweiligen Deponie- oder Recyclingbetriebes.

Die Art und Qualität der Rückbauarbeit ist extrem sensitiv auf den Preis, den rückgebautes Material unterschiedlicher Stoffreinheit erzielen kann oder der dafür in der Entsorgung gezahlt werden muss.

Die Abbruchfirma wird also ihre Demontagetechnik und die Qualität des Rückbaues immer an den Rahmenbedingungen orientieren, der durch die Recycling- oder Entsorgungsunternehmen vorgegeben wird, mit denen sie im jeweiligen Fall zusammenarbeiten kann.

Aus baupraktischer Sicht ist weiters anzumerken, dass die in der Literatur so vielfach angeführte direkte Wiederverwertung (Heizkörper etc.) zumindest für die angeführten Beispiele so gut wie nicht stattfindet, da haustechnische Anlagen in den seltensten Fällen dem neuesten Stand der Technik entsprechen. In die direkte Wiederverwertung oder die Wiederverwertung nach Vorbehandlung gelangen daher lediglich Bauteile, Stoffe oder Produkte von baukünstlerischem oder materialtechnischem Wert (Verzierter Steintrog, Kronleuchter, Natursteinverkleidung, gründerzeitliche Flügeltüren)

4.2.3. Planung des Rückbaues

Als Rückbau werden Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen bis hin zum kompletten Abbruch bezeichnet.

Die Durchführung des Rückbaus ist nach entsprechender Analyse der Gegebenheiten genau zu planen und die Entsorgung der Materialien in Abstimmung mit den gesetzlichen Grundlagen festzulegen.

Das Kapitel ist im Wesentlichen von Ing. Mag. Martin Scheibengraf, Magistrat der Stadt Wien MA 22 verfasst. Teile sind aus einem Interview mit Mag. Scheibengraf.

Es werden im Wesentlichen drei Instrumente für den recyclinggerechten Abbruch beschrieben, und zwar: die Schadstofferkundung, das Abfallwirtschaftskonzept für Baustellen und der verwertungsorientierte Rückbau.

Ing. Mag. Martin Schreibengraf, Magistrat der Stadt Wien MA 22

4.2.3.1. Einleitung

Abfälle aus dem Bauwesen und Aushubmaterialien stellen gemeinsam den massenmäßig bedeutendsten Abfallstrom in Österreich dar. Gemäß Bundesabfallwirtschaftsplan 2006 (www.bundesabfallwirtschaftsplan.at) beträgt der Anteil dieser beiden Abfallströme knapp über 50 % der gesamt in Österreich anfallenden Abfallmenge (inklusive Aushubmaterial). Dem Recycling dieser Abfallfraktion kommt daher aus umweltpolitischer Sicht eine besondere Bedeutung zu.

An Aufbereitungsanlagen für Abbruchmaterialien wurden Untersuchungen durchgeführt (z.B. von SCHACHERMAYER et al, 1998; SINDT et al, 1997), welche Parameter Einfluss auf die Qualität der erzeugten Recyclingprodukte haben. Die Ergebnisse zeigten, dass weder das nasse noch das trockene Verfahren gezielt die stoffliche Qualität der Recyclingprodukte verbessern konnte. Die stoffliche Qualität der Recyclingprodukte wurde maßgeblich durch die stoffliche Qualität des Inputs an Abbruchmaterial dominiert. Voraussetzung für ein erfolgreiches Recycling von Baurestmassen ist daher die bestmögliche Trennung beim Abbruch auf der Baustelle.

Neben dem Mengenaspekt sind Abfälle von Baustellen aber auch hinsichtlich ihres Gefährdungspotenziales relevant. Baustoffe, die mit Schadstoffen wie z.B. Asbest, PAK und PCB belastet sind, können sowohl in Industriegebäuden als auch in Einfamilienhäusern gefunden werden.

Mit der Schadstofferkundung, dem Abfallwirtschaftskonzept für Baustellen und dem verwertungsorientierten Rückbau verfügt der Bauherr über drei effektive Instrumente, eine Schadstoffverbreitung hintanzuhalten, einen umfassenden Überblick über die beim Bauvorhaben zu erwartenden Abfälle zu erhalten und eine möglichst hohe Recyclingrate vorzubereiten. Die Schadstofferkundung von Bauwerken und das Abfallwirtschaftskonzept für Baustellen ergänzen einander. Daher sollten bei einem Bauvorhaben mit Abbruch beide Instrumente zur Anwendung kommen.

4.2.3.2. Bewertung der Bausubstanz

In einer Bestandsaufnahme des Gebäudes sind die Baukonstruktion und die Grundsubstanz des Gebäudes (bei der Errichtung bzw. bei Instandhaltungs-, Renovierungs- und Umbaumaßnahmen verwendete Baumaterialien) zu erfassen und zu bewerten und auch beispielsweise betriebstechnische Einrichtungen und eingesetzte Betriebsstoffe zu berücksichtigen. (siehe auch Kap. Schadstofferkundung)

Verdachtsbereiche für Gebäudeschadstoffe sind auszuweisen. Diese sind z. T. auch beprobungslos eindeutig identifizierbar (z.B. Asbest).

In die Bewertung eingehen sollte auch eine historische Recherche welcher Nutzung ein Grundstück/Gebäude vorher gedient hat. (z.B. Tankstelle, Galvanikbetrieb).

4.2.3.3. Schadstofferkundung

Beim Abbruch oder Teilabbruch (z.B. im Rahmen einer Sanierung) eines Bauwerks können schadstoffbelastete Baumaterialien, wie z.B. Asbest, Asbestzement, PAK-haltige Abfälle, anfallen, die im Sinne einer nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung besonderer ökologischer, gesundheits- und (sicherheits-)technischer Maßnahmen bedürfen. Zweck einer Erkundung ist, Schadstoffe im Bauwerk frühestmöglich zu identifizieren und zu lokalisieren. Bei der eigentlichen Baumaßnahme kann durch Getrennthaltung schadstoffhaltiger Bauteile eine Kontaminierung der restlichen Abfälle vermieden werden.

Die Schadstofferkundung soll in Wien für bestimmte Gebäude in Zukunft vorgeschrieben werden. Die Novelle zum Wiener Abfallwirtschaftsgesetz soll mit 1.1.2011 in Kraft treten.

Dies ist besonders wesentlich, weil die Umwelt- und Gesundheitsgefährdung mancher Stoffe auch heute noch gravierend unterschätzt wird.

Asbest wurde in Faserzementplatten z.B. bis ins Jahr 1990 verwendet.

Auch heute noch brechen Arbeiter von Abbruchunternehmen Asbestzementplatten immer wieder ohne jeden Schutz ab.

Teerpappe ist ebenfalls ein Produkt, das sich aufgrund seines hohen Gehalts an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen nicht im Bauschutt befinden darf.

Den Stand der Technik bei der Schadstofferkundung von Abbruchobjekten gibt die ÖNORM-Regel ONR 192130 "Schadstofferkundung von Bauwerken vor Abbrucharbeiten", ausgegeben am 1.5.2006 vor. Für Bauwerke die nicht für den Abbruch bestimmt sind, wäre für eine Schadstofferkundung die ÖNORM S 5730, ausgegeben am 15.10.2009, heranzuziehen.

Eine Schadstofferkundung ist von einer fachkundigen Person durchzuführen und gliedert sich in folgende – teils überlappende – Phasen:

- Recherche der Bau- und Nutzungsgeschichte,
- Begehung des Bauwerks mit orts- und betriebskundigen Personen,
- Erstellung eines Probenahmeplans,
- Probenahme und Analytik,
- Bewertung der Erkundungsergebnisse sowie
- Dokumentation und Erkundungsbericht.

Für den Fall dass für das Bauvorhaben auch ein Abfallwirtschaftskonzept erstellt wird, fließen die Erkenntnisse der Schadstofferkundung in die Erstellung des Abfallwirtschaftskonzepts ein.

4.2.3.3.1. Herkunft der Schadstoffe

Schadstoffe in Gebäuden, Bauwerken und technischen Anlagen können durch verschiedene Ursachen in die Bausubstanz gekommen sein:

Ursache	Beschreibung/Definition	Beispiele
Baustoffimmanent	Schadstoffe, die in der Herstellung von Bauprodukten, Baustoffen und Einbauten vorliegen. In der Regel sind diese als Zuschlagsstoff oder als natürlicher Grundstoff enthalten.	Asbestzementplatten, asbesthaltige Rohrdurchführungen, PCB-haltige Fugendichtungen, PCP-haltige Holzkonstruktionen, Chromhaltige Mörtel / Betone, PAK-haltige Parkettkleber, Schwermetalle in Wandanstrichen, PAK-haltige Straßenbeläge, asbesthaltige oder PAK-haltige Rohr- und Tankummantelungen im Außenbereich etc.
Nutzungsbedingt	Schadstoffe, die durch die objektspezifische Nutzung in die Bausubstanz bzw. Einbauten gelangt sind.	MKW/BTEX-Verunreinigungen im Werkstattbereich, PAK-haltiger Ruß (Heizungsbetrieb), Lagerung und Verwendung von Chemikalien (Säuren / Lösungsmitteln), Ablagerungen in Rohrleitungen etc.
Umweltbedingt	Schadstoffe, die über die Luft als Gas, Aerosol oder Staub sowie über die Fauna eingetragen werden. Mikrobiologische Schädigungen durch Baumängel.	Schwermetalle, Benzole, PAK als Anhaftungen bzw. durch Eindringen in Wände / Fassaden, Taubenkot, Schimmelpilze, Hausschwamm etc.
Sonderfälle: z.B. Brandschäden	Schadstoffe, die durch einen Brandschaden in Brandabfälle bzw. Brandrückstände gelangt sind	Brandrückstände, wie Asche und Ruß, mit einer Vielzahl an toxischen Stoffen (z.B. PAK, Dioxine/Furane)

Abbildung 59: Schadstoffe

Quelle: www.arbeitshilfen-recycling.de

4.2.3.3.2. Probenahme von problematischem Material

Unabhängig von der Herkunft der Schadstoffe, sind die möglicherweise belasteten Bauteile/ Baustoffe und Einbauten zu erfassen bzw. technisch zu untersuchen.

Die Probenahme erfolgt in der Regel durch

- die Gewinnung von Bohrkernen (z.B. Deckenaufbauten, Fußböden, tragende Konstruktion aus Beton),
- Abklopfen, Abschlagen (z.B. Mauerwerk, Wand- /Deckenverkleidungen),
- Abspitzen (z.B. Holzteile, Dachstuhl, Flachdachaufbauten),
- Auskratzen (z.B. Fugen, Flanschdichtungen)
- Abwischen (z.B. Ruß, Feinstaub, Taubenkot)
- Raumlufproben (z.B. Sporen, Keime, luftgetragene Fasern).

Die technischen Untersuchungen sind so auszulegen, dass ein repräsentatives Bild über die Belastungssituation sowie eine verlässliche Mengenbilanz erstellt werden kann. Die Durchführung der technischen Untersuchung richtet sich nach den Arten und Mengen der verwendeten Bauteile und Einbauten sowie der jeweiligen Nutzungscharakteristiken. Vergleichbare Objekte bzw. Objektabschnitte können in der Regel stichprobenartig überprüft werden.

Quelle: www.arbeitshilfen-recycling.de

4.2.3.4. Abfallwirtschaftskonzept für Baustellen

Mit einem Abfallwirtschaftskonzept wird das mit dem Bauvorhaben verbundene Abfallaufkommen zu einem möglichst frühen Zeitpunkt abgeschätzt und transparent gemacht. Durch rechtzeitige Kenntnis der Abfallzusammensetzung und der Abfallmengen können bereits in der Planungsphase ökologisch und ökonomisch vorteilhafte Abbruchtechniken, Trennsysteme sowie Vermeidungs- und Verwertungswege identifiziert werden. Insbesondere der Vermeidung von Abfällen und der Getrennthaltung anfallender Abfallfraktionen ist besonderes Augenmerk zu widmen. Das Abfallwirtschaftskonzept schafft schon im Planungsstadium Kostentransparenz und bildet daher auch die Basis für eine zielgerichtete Ausschreibung der Abbruch- und Entsorgungsleistungen.

Die Erstellung eines Abfallwirtschaftskonzepts für Baustellen ist nach bundesgesetzlichen Regelungen derzeit nicht verpflichtend. Im Land Salzburg wird durch das Salzburger Baupolizeigesetz bei größeren Bauvorhaben die Erstellung eines Abfallwirtschaftskonzeptes bereits vorgeschrieben.

Grundsätzlich ist ein Abfallwirtschaftskonzept für jedes Bauvorhaben geeignet, dringend zu empfehlen ist es jedenfalls für

- die Errichtung bzw. den Abbruch von Bauwerken mit mehr als 5.000 m³ Brutto-Rauminhalt sowie
- Linienbauwerke (Straßen und Eisenbahnstrecken) mit mehr als 1.000 m Länge.

In allen genannten Fällen handelt es sich in der Regel um Bauvorhaben mit intensiver planerischer Vortätigkeit.

Ein Abfallwirtschaftskonzept ist ein Planungsinstrument, das seine Wirkung nur entfalten kann, wenn es bereits vor Baubeginn vorliegt und während der Bauphase entsprechend umgesetzt wird.

Die Inhalte des Abfallwirtschaftskonzepts für Baustellen können den Anforderungen eines Abfallwirtschaftskonzeptes nach dem Bundes-Abfallwirtschaftsgesetz 2002 entnommen werden (vgl. § 10 Abs. 3 AWG 2002). Jedenfalls enthalten sollte ein Abfallwirtschaftskonzept für Baustellen:

- eine bautechnische Darstellung des Bauvorhabens,
- eine abfallrelevante Darstellung des Bauvorhabens einschließlich Maßnahmen zur Abfallvermeidung, Wiederverwendung, getrennten Sammlung und Behandlung der Abfälle
- und organisatorische Vorkehrungen zur Einhaltung abfallwirtschaftlicher Rechtsvorschriften.
-

Erfahrungsgemäß kommt es bei großen Bauvorhaben immer wieder zu Missverständnissen, wer für die Einhaltung von Rechtsvorschriften zuständig ist (Bauherr, Generalauftragnehmer oder

Entsorgungsunternehmen). Die frühzeitige Auseinandersetzung mit organisatorischen Vorkehrungen zur Einhaltung abfallwirtschaftlicher Rechtsvorschriften im Rahmen eines Abfallwirtschaftskonzepts hilft allen Beteiligten die auf das Bauvorhaben zutreffenden Vorschriften transparent zu machen und Verantwortlichkeiten festzulegen.

Der Organisation der Entsorgungslogistik der Abbruchmaterialien vor Ort kommt daher besondere Bedeutung zu. Praxiserprobt, aber nur in Einzelfällen angewendet, ist eine zentrale Sammlung von Abfällen auf der Baustelle. Die ausführenden Firmen sollen nicht alle selbst irgendwelche Kleinmengen unkontrolliert entsorgen, sondern eine zentrale Reinigung sammelt alle Abfälle ein, sortiert sie und weist den Firmen lediglich die Kosten zu. Siehe auch Leitfaden zum Projekt „RUMBA“.

(Abfallvermeidung und -verwertung von Baurestmassen, Detailstudie zur Entwicklung einer Abfallvermeidungs- und -verwertungsstrategie für den Bundesabfallwirtschaftsplan 2006, Martin Scheibengraf und Hubert Reisinger, 2005)

Als Muster für ein Abfallwirtschaftskonzept für Baustellen ist das "Handbuch für die Erstellung von Abfallwirtschaftskonzepten auf Groß-Baustellen" vom Lebensministerium (<http://www.umwelt.net.at/article/articleview/26662/1/6983>) zu empfehlen.

4.2.3.5. Verwertungsorientierter Rückbau, Rückbaukonzept

Ziel des verwertungsorientierten Rückbaus ist die Gewinnung eines möglichst hohen Anteils verwertbarer mineralischer als auch nicht mineralischer Bauabfälle. Zur Durchführung des verwertungsorientierten Rückbaus werden die Neubauschritte quasi in umgekehrter Reihenfolge durchgeführt (BAY-LFU, 2003).

Dabei werden die demontierten Baumaterialien mit höchstmöglicher Sortenreinheit (Holz, Ziegel, Beton etc.) getrennt. Schadstoffhaltige Materialien werden vor dem eigentlichen Gebäudeabbruch ausgebaut. Insbesondere bei kontaminierten Gebäuden zeigt sich, dass durch den verwertungsorientierten Rückbau eine Minimierung der Gesamtkosten zu erzielen ist.

Nach Vorliegen aller für den Rückbau relevanten Informationen wird ein Rückbaukonzept unter Berücksichtigung aller fachspezifischen Anforderungen erstellt.

Für das Rückbauobjekt sind unter Berücksichtigung der Zielvorgaben die möglichen Herangehensweisen zu prüfen und Lösungsmöglichkeiten mit ihren Einflüssen auf bauliche Gegebenheiten, Zweckmäßigkeit, Wirtschaftlichkeit unter Beachtung der Umweltverträglichkeit zu untersuchen.

Im Wesentlichen sind dabei die konstruktiven Merkmale, die verwendeten Baustoffe und -produkte unter Berücksichtigung ihrer stofflichen Eigenschaften sowie die örtlichen Randbedingungen zu berücksichtigen. Dabei sind die Rückbauverfahren und die zugehörigen Bauabläufe auf ihre Eignung zu prüfen.

In besonderen Fällen kann eine Prüfung von alternativen Verfahren durch Vorversuche erforderlich sein (z.B. Ausbaurverfahren Asbest oder Versiegelung etc.).

Als Beispiel wird hier die Planung der Demontagerihenfolge am Beispiel eines 3-geschoßigen Gebäudes mit Satteldach anhand der Beschreibung der Demontagegruppen und deren Inhalten gezeigt:

(Quelle: Rentz, Ruch, Nicolai, Spengler, Schultmann: Selektiver Rückbau und Recycling von Gebäuden, dargestellt am Hotel Post in Dobel, Landkreis Calw. Verlag Ecomed, 1994)

Elektrische Installationen

- Demontage von Verteilertafeln
- Demontage des Leitungsnetzes
- Transport und Lagerung der Materialien in entsprechenden Containern

Sanitäre Installationen

- Demontage von Waschbecken, Klosett- und Pissoirschalen, Badewannen, Wassererwärmern, ...

- Demontage des Wasserzuleitungen und -ableitungen inklusive Wärmedämmung
- Transport und Lagerung der Materialien in entsprechenden Containern

Heizungsinstallationen und Apparate

- Demontage von Heizkörpern und Armaturen, Expansionsgefäßen, Heizkessel,...
- Demontage der Öltanks
- Demontage von Rohrleitungen samt Wärmedämmung
- Transport und Lagerung der Materialien in entsprechenden Containern

Bodenbeläge

- Ausbau von Bodenbelägen, Teppichböden, PVC- Böden, Fliesen...
- Transport und Lagerung der Materialien in entsprechenden Containern

Fenster, Türen und Läden

- Fensterflügel, Türblätter und Läden aushängen
- Glas von Fenstern und Türen trennen
- Transport und Lagerung der Materialien in entsprechenden Containern

Schreinerarbeiten

- Demontage von Einbauten
- Demontage von Sockel, Türzargen, Fensterrahmen,...
- Transport und Lagerung der Materialien in entsprechenden Containern

Innenwände

- Putz auf Innenwänden abschlagen
- Abbrechen aller nichttragenden Innenwände
- Abbrechen der Fachwerkausmauerungen
- Transport und Lagerung der Materialien in entsprechenden Containern
- Transport und Lagerung der Materialien in entsprechenden Containern

Fassadenverkleidung

- Demontage der Holfassadenverkleidung
- Transport und Lagerung der Materialien in entsprechenden Containern

Dach

- Dachabdeckung abnehmen
- Spenglerarbeiten abbauen
- Dachstuhl demontieren
- Transport und Lagerung der Materialien in entsprechenden Containern

Decke

- Demontage der Decke zwischen Dachgeschoß und 2. Obergeschoß
- Transport und Lagerung der Materialien in entsprechenden Containern

Wände

- Demontage der Innen- und Außenwände im 2. Obergeschoß
- Transport und Lagerung der Materialien in entsprechenden Containern

Für die Decke und Wänden des 1. OG, des EG und des KG gilt sinngemäß der gleiche Ablauf.

Kellerwände und Fundamente

- Demontage/ Abbruch der Kellerwände und Fundamente
- Transport und Lagerung der Materialien in entsprechenden Containern

4.2.4. Abbruchtechniken

Zum Abbruch von Gebäuden und Gebäudeteilen werden je nach Randbedingungen (Gebäudetype, naheliegende Umgebung, usw.) unterschiedliche Demontage- und Abbruchtechniken eingesetzt.

Abtragen, Abgreifen, Einschlagen, Eindrücken, Einreißen, Demontieren, Sprengen, Bohren, Sägen, Fräsen, Trennen (thermisches, mechanisches, chemisches, hydraulisches)

Alle nachstehend angeführten Verfahren können einzeln und kombiniert angewendet werden. Die Wahl des Abbruchverfahrens und -ablaufs sowie die Wahl und der Einsatz der Geräte und Maschinen sind Aufgabe des Auftragnehmers. Einschränkungen hinsichtlich der Wahl des Verfahrens sind in der Ausschreibung festzuhalten.

4.2.4.1. Abtragen

Unter Abtragen versteht man das Abbrechen von Baustoffen

- mit handgeführten Werkzeugen
- mit Werkzeugen an Trägergeräten

Das Abtragen wird standortbedingt immer dort angewendet, wo andere Verfahren wegen unzulässigen Erschütterungen, Gefährdungen und Beschädigungen ausscheiden. Abtragarbeiten, wie beispielsweise das Trennen einzelner Bauteile, werden auch häufig als vorbereitende Maßnahmen für andere Abbruchmethoden durchgeführt.

Das Abtragen mit handgeführten Werkzeugen erfordert eine ständige Begehbarkeit des Abbruchobjektes. Die Standsicherheit des Bauwerkes muss in jeder Phase kontrollierbar sein und sichergestellt werden. Dadurch erforderliche Abstützungen, Aussteifungen usw. können sich kostensteigernd auswirken.

4.2.4.2. Abgreifen

Beim Abgreifen werden mit Greifern oder Zangen Bauwerksteile mechanisch von oben her abgetragen. Diese Abbruchmethode erfordert zum einen ausreichenden Platz, zum anderen einen ausreichenden Sicherheitsabstand und ausreichende Reichweite des Abbruchgerätes.

Darüber hinaus beeinflussen Bauart und Baustoffe sowie der bauliche Zustand des Bauwerkes bzw. Bauwerksteiles den Einsatz dieser Abbruchmethode.

Für Bauwerke/Bauwerksteile aus Mauerwerk sowie unbewehrte, dünne Betonelemente wird der Einsatz von Seilbaggern mit entsprechenden Greifern empfohlen.

4.2.4.3. Einschlagen

Beim Einschlagen werden Bauwerksteile mittels stählerner Fallbirnen, die beispielsweise an Auslegern von Seilbaggern hängen zerstört.

Folgende Techniken sind dabei möglich:

- senkrechter Fall der Birne: Damit lassen sich Decken, Gewölbe, Fundamentplatten usw. einschlagen. Fallhöhe und Gewicht der Kugel üblich sind 0,5 bis 5,0 t, sowie Baustoffe und Bauteilgeometrie bestimmen die Wirkung der Methode
- waagerechter Schlag in Richtung des Auslegers
- seitlicher Schlag durch Schwenken des Auslegers: Hierbei wird der verwendete Seil- bzw. Hydraulikbagger großen Beanspruchungen ausgesetzt.

Das Einschlagen eines Gebäudes sollte prinzipiell so erfolgen, dass die Trümmer möglichst ins Gebäudeinnere fallen können. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass sie im Vergleich zu allen anderen Abbruchmethoden die kostengünstigste ist.

4.2.4.4. Eindrücken

Beim Eindrücken werden Bauwerke/ Bauwerksteile mittels hydraulischer Geräte zum Einsturz gebracht.

Ein kontrollierter Abbruch lässt sich bei dieser Methode nur dann gewährleisten, wenn das Gerät den höchsten Punkt des Gebäudes erreichen kann. Der Stoßarm sollte nicht mehr als 60 cm unterhalb der Wandkrone angesetzt werden, um nach außen fallende Trümmer, die das Trägergerät treffen könnten, zu vermeiden. Die Höhe ist bei diesem Verfahren auf etwa 20 m begrenzt. Bei größeren Höhen muss das Gebäude bis auf die vom Baggerarm erreichbare Höhe von Hand abgerissen werden.

Das Verfahren eignet sich nur für Vollabbruch und ist gekennzeichnet durch hohe Umweltbelastung wie Staub, Lärm und Erschütterungen.

4.2.4.5. Einreißen

Das Einreißen kann entweder erfolgen durch

- Seilzug
- Hydraulikbagger mit teleskopierbarem Abbruchstiel und angebautem Reißwerkzeug mit Zähnen

Beim Einreißen mit Seilzug werden drei verschiedene Wirkungsmechanismen unterschieden:

- Einziehen von Bauwerken oder Bauwerksteilen: Bei voller Standfestigkeit des Abbruchobjektes werden die Seile unverschiebbar befestigt. Das gesamte Abbruchobjekt wird in Fallrichtung eingezogen.
- Einschnüren mehrerer Geschosse: Freistehende, mehrgeschossige Gebäude mit annähernd quadratischem Grundriss werden meist im ersten Obergeschoßen mit einer Seilschlinge eingeschnürt. Bei angrenzenden Gebäuden wird die Seilschlinge durch die zum angrenzenden Gebäude nächstgelegene Fensteröffnung des Abbruchobjektes gelegt. Beim Ziehen werden die Außenwände nach innen geknickt und infolge der Scheibenwirkung der Decken stürzt das Abbruchobjekt in Zugrichtung ein.
- Knicken von Stützen und Wänden: Beidseitig eingespannte Stützen und Wände werden dabei in halber Höhe mit dem Seil umschlungen und durch Zug senkrecht zur Systemachse geknickt. Durch den Wegfall der Stützung kommt es zu einem nahezu vertikalen Zusammensturz.

Der Seilzug erfolgt insbesondere bei dünnwandigen Konstruktionen mit einer Zugvorrichtung, bei massiven Konstruktionen mit Zugvorrichtung in Verbindung mit Festpunkten. Solche Festpunkte können beispielsweise Erdanker oder eingerammte Stahlträger sein.

Als Zugvorrichtung kommen Winden, Flaschenzüge oder bei kompakteren Bauteilen Zugeräte wie Bagger (siehe Bild oben), Lader oder LKW zum Einsatz.

Der Einsatz von Baggern mit teleskopartig ausfahrbarem Arm mit angebautem Reißwerkzeug ist eine Möglichkeit, Bauwerke oder Bauwerksteile einzureißen.

Der Einsatz des Abbruchstieles ist insbesondere vom Typ des Trägergerätes und der Länge des Auslegers sowie Abbruchstieles abhängig.

Von Vorteil gegenüber dem Einreißen mit dem Zugseil ist, dass das Einreißen mit dem teleskopierbaren Abbruchstiel kein Betreten des Abbruchobjektes erforderlich macht. Einrüstungen sind nicht erforderlich. Insbesondere beim Einreißen von Mauerwerksbauten sind die Abbruchzeiten vergleichsweise gering.

4.2.4.6. Demontieren

Die Demontage ist ein zweckmäßiges Abbruchverfahren für Hochbauten aus Stahl, Stahlbeton oder Holz.

Durch gezieltes Lösen der Verbindungen oder Abtrennen von einzelnen Bauteilen lassen sich die Bauwerke auseinandernehmen. Die Reihenfolge der Demontage ergibt sich in der Regel umgekehrt zur Montage. Während der Demontage muss die Stabilität der Reststruktur gewährleistet sein. Das Trennen erfolgt durch Sägen oder Brennen.

Die Trennschnitte sollten unabhängig von der Bauweise durch den Statiker festgelegt werden. Vor dem Lösen und Trennen der einzelnen Konstruktionsteile sind diese durch Anschlagmittel und Hebezeuge gegen Herabfallen zu sichern.

Bei der Demontage werden überwiegend Kräne eingesetzt.

4.2.4.7. Sprengen

4.2.4.7.1. Sprengen mit Explosivstoffen

Bei diesem Verfahren können mit Hilfe von Sprengladungen Bauwerksteile zerlegt oder ganze Bauwerke zum Einsturz gebracht werden. Je nach Grad der Bauwerkszerstörung wird das Sprengen mit Explosivstoffen nochmals in folgende drei Verfahrensweisen unterteilt:

- Lockerungssprengungen: Damit soll eine Erleichterung bzw. Vereinfachung für nachfolgende Abbruchverfahren, wie Abtragen, Abgreifen bzw. Einschlagen, erreicht werden.
- Zertrümmerungssprengung: Damit sollen Nachzerkleinerungsarbeiten überflüssig gemacht werden.
- Einsturzsprengung: Durch planmäßigen Zusammenbruch soll eine totale Zerstörung erreicht werden.

Das Sprengen wird immer dann angewendet, wenn andere Abbruchmethoden zu umständlich oder schwierig sind und die räumlichen Umstände es erlauben. Beispiele für den Einsatz der Sprengtechnik sind hohe Schornsteine, Hochhäuser, Türme, hochbewehrte Fundamente sowie Brücken über nur kurzzeitig absperrbaren Verkehrswegen.

Nach der Sprengung wird das Abbruchmaterial durch Abtragen oder Abgreifen beseitigt.

4.2.4.7.2. Sprengen mit hydraulischen Spaltgeräten

Ursprünglich wurde das hydraulische Sprengen für Nachknäpperarbeiten beim Sprengen mit Explosivstoffen eingesetzt. Heute kommt dieses Verfahren häufiger beim kontrollierten Zerlegen schwerer Betonteile zur Anwendung.

Es ist dort einsetzbar, wo das Sprengen mit Explosivstoffen nicht möglich ist, beispielsweise bei Teilabbrüchen, Abbrüchen in unmittelbarer Nähe von stehenbleibenden Bauwerken usw. Das hydraulische Sprengen wird häufig in Kombination mit Abbruchhämmern bzw. als Alternative dazu angewendet.

Prinzipiell werden bei diesem Verfahren in einem ersten Arbeitsgang Öffnungen in dem zu spaltenden Bauteil hergestellt. Diese Öffnungen müssen das problemlose Einführen der verwendeten Spaltwerkzeuge ermöglichen.

Es stehen folgende Spaltwerkzeuge zur Verfügung:

- Hydraulik-Sprengleisten,
- Sprengschläuche,
- hydraulische Pressen,
- hydraulische Spaltgeräte für Keilsprengungen

Während die zwei erstgenannten Spaltwerkzeuge wegen vergleichsweise geringer Leistung sowie erhöhter Unfallgefahr kaum noch eingesetzt werden, sind die hydraulischen Pressen sowie die hydraulischen Spaltgeräte für Keilsprengung häufiger eingesetzte Werkzeuge.

4.2.4.8. Bohren

Die Herstellung von Bohrlöchern ist im Zusammenhang mit Abbruchmaßnahmen meist eine vorbereitende Arbeit. Bohrarbeiten sind in folgenden Fällen erforderlich:

- Herstellung von Sprenglöchern für die Sprengung mit Explosivstoffen
- Herstellung von Sprenglöchern für hydraulisches Sprengen mit hydraulischen Spaltgeräten und Pressen
- in Kombination mit thermischen Trennverfahren, beispielsweise als Ausgangspunkt für den Einsatz von Pulverbrennschneidern

- Herstellung glatter, maßgerechter Trennflächen, beispielsweise beim Abtrennen von Bauteilen, bei der Herstellung von Aussparungen usw.

Weitere Anwendungen findet das Bohren bei Probekernen, Installationsdurchbrüchen und Perforationsbohrungen.

Die Bohrverfahren werden eingeteilt in

- drehendes bzw. schlagendes Bohren mit Vollbohrern
- drehendes Bohren mit Diamantkernbohrern.

4.2.4.9. Sägen

Das Sägen, ebenso wie das Bohren, wird entweder zur Herstellung maßgerechter Trennschnitte für Teilabbrüche oder als vorbereitende Maßnahme zur Anwendung der Abbruchverfahren Einschlagen, Einreißen, Eindrücken und Sprengen eingesetzt.

Trennschnitte lassen sich herstellen mit

- Diamantsägen
- Diamantstichsägen
- Diamantseilsägen

4.2.4.10. Fräsen

Das Fräsen ist ein Verfahren, das z.B. zur Oberflächenbehandlung von Betonbauteilen eingesetzt wird. Dabei wird lediglich die Randzone des Betonbauteiles abgetragen.

Fräsen werden für den großflächigen Abtrag von Asphalt- und Betonschichten, aber auch für das Entfernen von Wärmedämmverbundsystemen eingesetzt.

Beim Entfernen von Wärmedämmverbundsystemen wird der Dünnputz vom Dämmstoff abgefräst. Je dicker der Dämmstoff, desto sinnvoller das Verfahren. Dämmstoffe mit wenigen cm Stärke (5-8) können nicht mehr abgefräst werden.

4.2.4.11. Trennen

- Thermisches Trennen
- Trennen mit z. B. Schneidbrenner, Sauerstofflanzen, Brenner mit Metallpulverzuführung

- Mechanisches Trennen

Die vorhandenen Stoffe werden mit geeigneten Werkzeugen bzw. Spezialmaschinen getrennt. Die dabei notwendige Kühlung der Werkzeuge bzw. Spülung der Schnittfuge erfolgt üblicherweise mit Wasser.

- Schneidverfahren

Trennschnitte werden mit Hilfe von Diamantwerkzeugen oder Flüssigkeitsstrahlern ausgeführt.

Quelle: www.b-i-m.de

4.2.5. Rechtliche Grundlagen für die Durchführung von Abbrucharbeiten

- Bauarbeitenkoordinationsgesetz (BauKG)
- ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (AschG)
- Bauarbeiterschutzverordnung (BauV)
- Sprengarbeitenverordnung
- Arbeitsstättenverordnung (AstV)
- Arbeitsmittelverordnung (AM-VO)
- Beschäftigungsverbote und -beschränkungen für Jugendliche (KJBG-VO)
- ÖNORM B 2251 Abbrucharbeiten – Werkvertragsnorm
- Mappe „Sicherheit am Bau“

Quelle: M225 Sicherheit kompakt, Abbrucharbeiten- Sicherheitsinformation der Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt

4.3. Entsorgung

4.3.1. Wie wird heute in Österreich entsorgt? Ein Überblick

Alle Stoffe, die heute aus dem Bauwesen kommen, sei es beim Abbruch von Gebäuden, sei es aber auch beim Neubau von Gebäuden (nämlich in Form von Bodenaushub und den Abfällen die durch Verschnitte oder Bruch auf der Baustelle anfallen) müssen gesetzeskonform entsorgt werden. Dies geschieht durch Wiederverwertung (Recycling), Verbrennung oder Deponierung. Die Verbrennung stellt dabei im Wesentlichen einen Umweg vor der Deponierung dar, der entweder gewählt werden muss, weil die Stoffe ohne Vorbehandlung nicht deponierbar sind oder gewählt wird, weil die Stoffe brennbar sind und damit einen Heizwert haben, der energetisch genutzt werden kann. Direkt deponiert werden nicht kontaminierter Bodenaushub und mineralische Materialien. Die EU-Richtlinie 1999/31/EC begrenzt für Deponien den Anteil von biologisch abbaubaren Komponenten auf 3 %, weshalb in den Mitgliedstaaten die thermische Vorbehandlung von organischen Abfällen erforderlich ist.

Hinsichtlich der Baurestmassen kann man für Österreich heute generell aussagen, dass mineralische Rohstoffe, Metalle und Verpackungsabfälle recycelt oder wiederaufbereitet werden, alle anderen Abfälle werden größtenteils verbrannt.

Auf Bauabfälle spezialisierte Unternehmen wie die PKM-Muldenzentrale GmbH in Wien z.B. übernehmen unterschiedliche Arten von Baurestmassen und führen sie unterschiedlichen Vorbehandlungs- und Recyclingprozessen zu. Dabei werden unterschiedliche Fraktionen angenommen:

Bodenaushub, Bauschutt, Beton, Asphalt, gemischte Baustellenabfälle („Bau-Mix“), Sperrgut / Gewerbemüll, Holz, Metalle, Baum- und Strauchschnitt, Papier, Kartonagen, Folien, Schlitzwandaushubmaterialien, Rücklaufuspensionen, PKW Reifen mit / ohne Felgen, Kühlschränke.

Die angelieferten gemischten Baustellenabfälle werden in verschiedene Wertstoffe, so genannte verwertbare Fraktionen aufgetrennt, welche einer Wiederverwertung zugeführt oder gesetzeskonform entsorgt werden. Sortierrückstände („Restmüll“) werden ebenfalls einer thermischen Verwertung zugeführt. Für die Übernahme von gefährlichen Abfällen gibt es ein behördlich genehmigtes Zwischenlager. Die weiterführende Behandlung und Entsorgung dieser Abfälle wird durch andere Spezialbetriebe durchgeführt. Behandelte Holzabfälle werden letztlich thermisch verwertet.

Fensterglas wird bei mineralischen Baustoffen mitverwertet, vom BRV gibt es Angaben dazu, wie hoch der Glasanteil sein darf.

PET Abfälle werden größtenteils schon getrennt gesammelt und recycelt.

Kabel werden bereits weitestgehend recycelt, in Kabelschälmaschinen wird das Kupfer vom Kunststoff befreit.

Ein Problem stellen Kunststoffabfälle dar, da diese nur in ganz geringen Mengen in Deponiegut enthalten sein dürfen. (Interview mit Martin Scheibengraf (MA 22) Absatz 2-9)

Mit dieser generellen Einschätzung stimmt auch die Praxis des auf verwertungsorientierten Rückbau spezialisierten Unternehmens Prajo überein:

Weiterer Weg der einzelnen Abbruch-(Altstoff-)fraktionen, Interview Fa. Prajo

Mineralfaserdecken	Müllverbrennung
Gipskartonwände und abgehängte GK Decken: werden in Bestandteile Platten, Trägerkonstruktion und Dämmstoffe zerlegt.	
GK Platten	Deponie
Trägerkonstruktion (verzinktes Stahlblech)	Alteisen
Mineralfaserdämmstoffe (Steinwolle und Glaswolle)	Müllverbrennung
Rohrleitungen aus Blech	Alteisen
Rohre aus PVC,PE	Müllverbrennung
Kabel Eisentandler Schälmaschinen	Kupferrecycling
Holz und Holzwerkstoffe werden getrennt nach behandelt und unbehandelt	Müllverbrennung
PVC Bodenbelag oder Teppich wird abgeschert	Müllverbrennung
Parketten geklebt werden abgeschert	Müllverbrennung
Fliesen mineralischer Bauschutt	Deponie oder Bestandteil bei der Wiederaufbereitung
Estrichabbruch	Wiederaufbereitung
Doppelboden(span)platten (zumeist sind diese untrennbar mit Alufolien beschichtet)	Müllverbrennung
Trittschalldämmung (EPS oder Stein/Glaswolle)	Müllverbrennung
Gebundene Beschüttung unter Estrich (Zementgebundenes EPS Granulat o.ä.)	Müllverbrennung
Nicht tragende Innenwandbauteile Ytongsteine oder Gipsdielen	Deponie
Aluminiumbauteile	Alteisen
Kunststofffenster Nachbarländern	Verbrennung oder auch Wiederverkauf in östlichen/südlichen
Glas nicht beschichtet	Glasrecycling
Glas beschichtet in kleinen Anteilen gemeinsam mit Ziegel	Bestandteil der mineralischen Baurestmasse Wiederaufbereitung
Teerpappe Sonderabfall	Spezialdeponie
Dachpappe	Müllverbrennung
XPS	Müllverbrennung
EPS	Müllverbrennung
Geräte wie Klimageräte, Öltanks, etc.	Behandlung durch Spezialfirmen

4.3.2. Baurestmassen: Gliederung, Entsorgungsfractionen

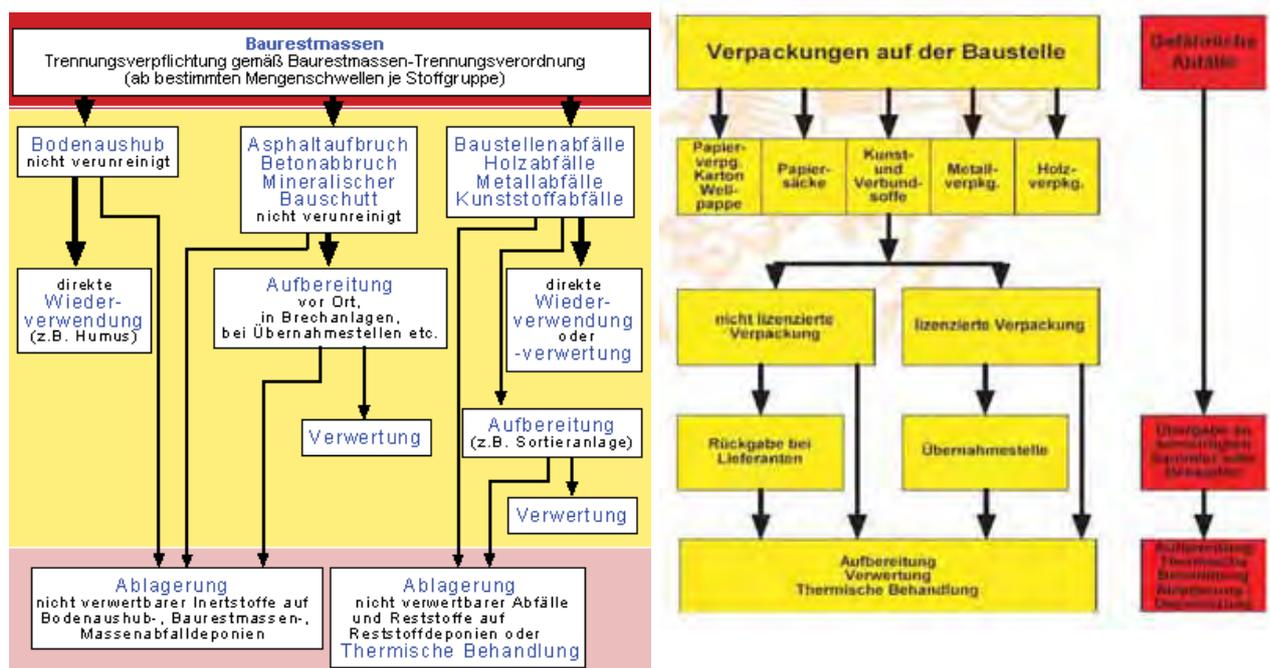


Abbildung 60: Baurestmassen

Quelle: http://www.land-oberoesterreich.gv.at/cps/rde/xchg/SID-3DCFCFC3-0E3E3FEE/ooe/hs.xml/20889_DEU_HTML.htm ;

http://www.abfallwirtschaft.steiermark.at/cms/dokumente/10024917_45536/275e36fe/Baustellenabfall.pdf

Die Stoffe die aus dem Bauwesen kommen können anhand der beiden obigen Grafiken gut erfasst werden:

Es handelt sich einerseits um die große Gruppe der Baurestmassen, und weiters um die Gruppe der Verpackungsmaterialien.

Innerhalb der Baurestmassen nehmen der Bodenaushub und die mineralischen Baurestmassen den weitaus überwiegenden Teil ein. In der Gruppe der mineralischen Baurestmassen finden sich im Wesentlichen der Asphalt, der Beton und der sog. Mineralische Bauschutt (Ziegel, etc.)

Daneben gibt es noch die kleinen Gruppen der Holzabfälle, Metallabfälle und Kunststoffabfälle und die Baustellenabfälle: das was beim Neubau als Verschnitt, Bruch und Abfall anfällt.

In der nachfolgenden Tabelle werden die wesentlichsten Trennfractionen angeführt, die auf der Baustelle getrennt gesammelt werden sollten. Je nach der Größe des Bauwerkes, der Menge der jeweils anfallenden Fraktionen und der regionalen Möglichkeit der Verwertung wird die Entsorgung in unterschiedlichen Gebieten durchaus differieren. Ziel auf der Errichterseite sollte sein, die stoffliche Vielfalt gering zu halten, Ziel für die Entsorgungsseite wäre eine möglichst flächendeckende, umfangreiche und wirtschaftlich interessante Möglichkeit zur Wiederaufbereitung, damit die abzulagernden Reststoffe minimiert werden können und in ihrer Zusammensetzung ohne weitere Maßnahmen deponiert werden können.

Eine gute Vorsortierung bereits auf der Baustelle ergibt eine bessere Qualität von Recycling-Baustoffen. Vor allem Baustellenabfälle werden vom mineralischen Bauschutt zunehmend vor Ort auf der Baustelle getrennt.

Zur Steigerung des Baustoffrecyclings wurde darüber hinaus die internetbasierte Recycling-Börse-Bau beim Österreichischen Baustoffrecyclingverband eingerichtet und wird seither auch weiter ausgebaut. Ziel ist eine bessere Information über Angebot und Nachfrage von Baurestmassen und aufbereiteten Recyclingbaustoffen.

Tabelle 14: Trennfractionen auf der Baustelle laut Infoblatt Baustellenabfälle (Land Steiermark)
http://www.abfallwirtschaft.steiermark.at/cms/dokumente/10024917_45536/275e36fe/Baustellenabfall.pdf

Stoffgruppe	Beispiele	Nicht enthalten sein dürfen	Wiederverwertungsmöglichkeiten
Bodenaushub	Reinsortierter Schotter, Sand, Felsabbruch, Erde, Humus Lehm...	Asphalt, Ziegel, Beton, gefährliche Abfälle...	Geländeausgleich, Füll- und Schüttmaterial
Betonabbruch	Armierter und nicht armierter Betonabbruch, Stahlbetonabbruch, Konstruktionsteile aus Bauwerksabbrüchen, Fertigteile...	Asphalt, Ziegel gemischte Baustellenabfälle, gefährliche Abfälle...	Betonzuschlag Straßenbau
Asphaltaufruch	Reiner Asphaltaufruch, oder Asphaltaufruch der mit Beton oder Schotter vermischt ist, bituminöser Straßenaufbruch...	Teerhaltige Materialien, gemischte Baustellenabfälle, gefährliche Abfälle...	Asphaltzuschlag Straßenbau
Holzabfälle (ohne Verpackungen)	Unbehandeltes und behandeltes Holz wie Dachstühle, Pfosten, Bretter, Schalungstafeln, Schalungsträger, Tür- und Fensterstöcke, Gartenzäune, Holztreppen, Parkette...	Verpackungsabfälle aus Holz, gefährliche Abfälle wie salzprägnierte Pfähle und Masten...	Direkte Wiederverwertung ganzer Balken, Wiederverwertung nach Restaurierung, Herstellung von kleinformaligen Bauholz durch Sägen, Hobeln etc., Tischlereiware, Innenausbau, Spanplatten Mineralisch gebundener Holzspanbeton und Holzwerkstoffen
Almetalle (ohne Verpackungen)	Eisenstangen, Metallzargen, Bleche, Bewehrungsabfälle, Kabelreste, Rippenroststäbe, Nägel...	Verpackungsabfälle aus Metall, gefährliche Abfälle...	Metallrecycling
Kunststoffe (ohne Verpackungen)	Kunststoffprofile, Schaumstoff- und Dämmstoffplatten, Kunststoffrohre...	Verpackungsabfälle aus Kunststoffen und Verbundmaterialien, gefährliche Abfälle...	Stoffliches Recycling (zerkleinern, aufschmelzen und neuerliche Formgebung)
Baustellenabfälle (nichtverwertbarer Rastabfall)	Heraklith, Gipskarton, Kehricht, Mantelbetonsteine, Schlacken- und Lecabeschüttungen, verunreinigte Verpackungen sowie Folien für Abdeckungen und Isolierungen, Kunststoffrohre, Verschnitte verschiedener nichtmineralischer Bauteile, textile Abfälle...	Gefährliche Abfälle	
Mineralischer Bauschutt	Ziegel, Beton, Ytong, Keramik, Stein, Fliesen...	Teerhaltige Materialien, gefährliche Abfälle, mehr als 10 Vol% gemischte Baustellenabfälle	Wiedereinbau, Betonzuschlag, Aufbereitung zu Ziegelsplitt, Tennismehl, direkte Wiederverwertung als Natursteine, Füll- und Schüttmaterial
Papierverpackungen (Karton, Papier, Wellpappe)	Schachteln, Steigen, Packpapier, Versandhüllen...	Abfälle, die keine Verpackungen sind, mit gefährlichen Abfällen verunreinigte Verpackungen, gefährliche Abfälle...	Stoffliches Recycling
Papiersäcke (wegen des großen Anfalls an Papiersäcken auf der Baustelle werden diese in der Regel in eigenen Behältnissen erfaßt)	Zementsäcke, Kalksäcke, Putzmörtelsäcke...		Stoffliches Recycling
Kunststoffverpackungen (Leichtfraktion)	Dosen aus Kunststoff und/oder Verbundmaterialien, Kanister, Verpackungsfolien aller Art, Formteile aus Styropor, Kunststoffflaschen, Tuben, Tragtaschen, Kunststoffsäcke, Styroporflocken, Schrumpffolien...		Stoffliches Recycling, Thermische Behandlung
Metallverpackungen	Umreifungsbänder, Dosen, Kanister, Griffe und Bögel...		Stoffliches Recycling
Holzverpackungen	Einwegpaletten aus Holz, Kisten, Verschlüge...		Stoffliches Recycling, Thermische Behandlung

Abbildung 61: Trennfractionen auf der Baustelle

Gegenüber der vorherigen Tabelle gibt es durchaus Recyclingbetriebe die in manchen Bereichen noch weiter fraktioniertes Material zur Aufbereitung wünschen.

Dies betrifft z.B. folgende Fraktionen:

- Bodenaushub, rein, u.U. sogar sortenrein:- Sand, - Kies, - Lehm, - Schotter, - Erde
- Bodenaushub, verunreinigt

- Betonabbruch rein, nicht armiert
- Betonabbruch rein, armiert

- Bauschutt, rein
 - nur mineralische Stoffe (Beton, Ziegel, Keramik, Glas, Schamotte, Beschüttung- kein Asbestzement), ohne Holz, Isolierstoffe, Kunststoffe, Kabel, etc., keine Verbundbaustoffe (Mantelbeton), mineralischer Anteil 100%

- Bau- und Abbruchholz unbehandelt
Nicht lackiertes,- Nicht imprägniertes,- Nicht beschichtetes Holz z.B.: - Dachsparren,- Pfetten,- Einwegpaletten,- unbehandelte Staffeln
- Bau- und Abbruchholz behandelt -
Lackiertes, Imprägniertes, Beschichtetes oder sonstigen Behandlungen ausgesetztes Altholz z.B.: - Schalungstafeln (Doka), Türen,- Holzfenster ohne Glas inkl. Beschlägen,- Holzfaserplatten, Spanplatten,- Resopal
- Brandholz

- Eternit
 - Keine Übernahme bei überwiegendem Fremdstoffanteil
 - In geschlossenen Containern oder auf Paletten

- Heraklith, Gipskarton
 - Keine Übernahme bei überwiegendem Fremdstoffanteil
 - Keine Sondermüllanteile oder Problemstoffe

Daneben gibt es leider immer noch zahlreiche Deponien, in denen auch nicht verwertungsgerechter Abbruch angenommen wird: das betrifft die sogenannten Gemischten Fraktionen und den Sperrmüll, in denen in mehr oder weniger unsortierte Gemenge enthalten sind.

- Gemischter Bauwerksabbruch vorsortiert
Große Holzteile, Fensterstöcke, Bodenbeläge, Rohre, etc. bereits aussortiert, mineralischer Anteil (Beton, Ziegel, Keramik, Glas, Schamotte, Beschüttung) mind. 90%
- Gemischter Bauwerksabbruch unsortiert
Aus vorwiegend maschinell Hochbaubbruch, mineralischer Anteil (Beton, Ziegel, Keramik, Glas, Schamotte, Beschüttung) mind. 75% Mindestgewicht 800kg

- BAUMIX, SPERRMÜLL
Holz jeglicher Art mit Anhaftungen, Möbel aller Art, Teppiche, Kunststoff-Rohre, Styrodur (ausgehärtet), Dachpappen, Bitumen, Verpackungsabfälle verschmutzt, Kehricht, Öko-Dämmmaterialien, Jeder nichtmineralische Gewerbeabfall, der im Zuge von Bautätigkeiten anfällt, keine Sondermüllanteile oder Problemstoffe

Links und Literatur:

http://www.cpc.at/infocenter/stoffflusswirtschaft/frameset.htm?/infocenter/stoffflusswirtschaft/studien/studie_1.html

Bauwesen - Abfallstrategien in der Steiermark:

Teilstudie Baurestmassen in der Steiermark (BRIST)

Teilstudie Bestandsaufbau im Bauwesen (LAUF)

Teilstudie Baurestmassen in der Zukunft (BRIZU)

Teilstudie Maßnahmen in der Steiermark (MASST)

www.cpc.at: Zusammenstellung von zahlreichen Studien zu diversen Themen der Abfallwirtschaft.

4.3.3. DEL Vermeiden und Verwerten von Bodenaushub

4.3.3.1. Einleitung

Wie schon im Subprojekt 2, Kapitel „Materialflüsse im Bauwesen“ gezeigt wurde, steht an erster Stelle der durch das Bauwesen induzierten Materialflüsse der bewegte Boden mit 177 Mio Tonnen pro Jahr. Davon finden 77 Mio Tonnen pro Jahr ihren Weg in die Abfallwirtschaft, zum größten Teil in die „Sonstige Entsorgung und Verwertung“ (entsprechend einem ungeklärtem Verbleib). Den mit Abstand größten Anteil an den Baumaterialien haben die mineralischen Baurestmassen. Vergleichbar ist die Situation beim Output, bei den jährlich anfallenden Abfällen aus den Bautätigkeiten, Bodenaushub mit beinahe 50 % steht an erster Stelle, gefolgt von mineralischen Baurestmassen.

Ähnliche Fragestellungen wurden bereits in Forschungsprojekten wie RUMBA behandelt und einzelne Themen in konkreten Projekten auch schon umgesetzt (z.B. Wohnbau Orasteig, Wien) oder sind Schwerpunkt der Tätigkeit von bestehenden Interessensvertretungen (z.B. Baustoff-Recycling-Verband). Im vorliegenden Kapitel sollen wichtige Rahmenbedingungen für die Vermeidung und Verwertung von Bodenaushub zusammengefasst werden.

4.3.3.2. Motivation

Aushub vermeiden und verwerten bringt mehrere ökologische Vorteile mit sich:

- Die wertvolle Ressource Boden wird geschont.
- Deponien werden entlastet.
- Transporte werden vermieden

4.3.3.2.1. Bodenschutz

Quelle: ÖkoKauf Wien, 2008

4.3.3.2.1.1. Entstehung von Böden

Bei der Bodenentstehung, die meist lange zurückreicht, wird das Ausgangsgestein im Laufe der Jahrtausende durch Erosion und Verwitterung in seine mineralischen Bestandteile zerlegt. Die Partikel – beispielsweise Tone – können durch Wind und Wasser verlagert werden.

Schließlich siedeln sich erste Kleinstorganismen und Pionierpflanzen an, die die Nährstoffe nutzen und den Untergrund selbst mit organischer Substanz anreichern. Dadurch bildet sich eine Humusschicht, die einen ausgeglichenen Luft- und Wärmehaushalt ermöglicht und weiteren Tieren und Pflanzen einen Lebensraum bietet. Schließlich werden die in den organischen Resten gebundenen Nährstoffe langsam in einfache, von den Pflanzen leicht aufnehmbare Moleküle umgewandelt. Unter der Humusschicht liegt nach wie vor die Mineralschicht, in der aus dem Muttergestein kommende Mineralien und Nährstoffe freigesetzt werden.

Böden weisen somit eine sehr lange Entstehungsgeschichte auf. Umso schwerwiegender sind irreversible Eingriffe, da es ebenso lange Zeiträume dauert, bis sich Böden wieder nachbilden können.

4.3.3.2.1.2. Funktion

Neben Luft und Wasser ist der Boden eine der wichtigsten Ressourcen überhaupt. Ohne ihn wäre kein Pflanzenwachstum und somit keine Land- und Forstwirtschaft möglich. Böden erfüllen in der Umwelt des Menschen noch eine Vielzahl weiterer Funktionen. Diese umfassen in ökologischer Hinsicht insbesondere die **Regulation des Naturhaushaltes** (Stoffkreisläufe, Wasserhaushalt, Energieflüsse), die **Lebensraumfunktion** (Standort für tierische und pflanzliche Lebensgemeinschaften) und **ökologische Ausgleichswirkungen** (Filter-, Puffer- und Umwandlungsfunktionen). Weitere wichtige Aufgaben des Bodens sind, Standorts- und Trägerleistungen (Siedlungen, Infrastruktur) und Schutzwirkungen (Erosions- und Hochwasserschutz, Wasserspeicherung und -rückhalt). Böden stellen aber auch Lebens- und Erholungsraum für den Menschen bereit (BASTIAN, SCHREIBER, 1999).

Der Boden ist ein vielfältiger Lebensraum und verfügt über eine kaum vorstellbare Arten- und Formenvielfalt. Auf einem Hektar Wiese leben etwa so viele Bodentiere, dass ihr Gewicht zwei Kühen entspricht. Springschwänze beispielsweise sind kleine, flügellose Ur-Insekten, die zu den häufigsten Bodentieren zählen und in Dichten von durchschnittlich 50.000 Individuen pro m² zu finden sind (LEITHNER, dl 2007).

Zusätzlich werden die Niederschläge beim Versickern durch die Bodenschichten gereinigt. Nähr- und Schadstoffe werden dabei insbesondere durch Ton- und Humuspartikel gebunden. Doch auch Mikroorganismen und Pilze wirken als „biologische Kläranlage“ und zerlegen organische Schadstoffe bis zu einem gewissen Maß in ihre harmlosen Bestandteile. Dies ist für Grund- und Trinkwasser von entscheidender Bedeutung. Pro Hektar Boden werden im Jahr ca. eine Mio. Liter Grundwasser neu gebildet. Der Boden wirkt aber auch wie eine Art Schwamm, der Niederschläge speichert, was für den Hochwasserschutz sehr wichtig ist.

Weiters stellt der Boden einen wesentlicher Speicher von Kohlendioxid dar. Zurzeit nimmt er noch mehr CO₂ auf, als er abgibt, was für den Klimaschutz von erheblicher Bedeutung ist. Bei anhaltender, fortschreitender Erwärmung könnte es aber passieren, dass nicht nur weniger Kohlendioxid in den Böden gebunden, sondern auch mehr altes, gespeichertes CO₂ wieder abgegeben wird. Dies sollte durch gezielte Klima- und Bodenschutzmaßnahmen verhindert werden (LEITHNER, dl 2007).

Ein sorgfältiger Umgang mit dieser Grundlage unseres Lebens ist notwendig.

4.3.3.2.1.3. Einwirkungen der Bautätigkeiten auf den Boden

Landläufig gilt der Boden als relativ unempfindlich und das allgemeine Verständnis für seine Bedeutung als Teil der natürlichen Lebensgrundlagen ist entsprechend gering. Erst relativ spät ist daher der Schutz des Bodens als eigene umweltpolitische Aufgabe aufgegriffen worden. Die radikalste Schädigung des Bodens in Mitteleuropa erfolgt durch die menschliche Bautätigkeit, durch Überbauung, Versiegelung und Verlagerungen. Bei der Bauausführung können bodenschädigende Stoffe eingetragen und das Bodengefüge verändert werden (GREIFF, KRÖNING 1993).

Die nachhaltigsten Auswirkungen der Bautätigkeit auf die Bodenverhältnisse eines bestimmten Standortes ergeben sich beim Neubau auf bisher unbebautem Boden durch das Bauwerk selber: Durch seine Grundfläche und zugehörige Nutzflächen wird die Bodenoberfläche versiegelt und der ökologische Austausch unterbunden; durch unterirdische Bauteile, für die ein entsprechend großer Bodenkörper verlagert wird, können die örtlichen hydrogeologischen Verhältnisse verändert werden (GREIFF, KRÖNING 1993).

Bei der Ausführung von Hochbaumaßnahmen ist nach der Art der Belastung des Bodens zwischen mechanischen Einwirkungen und chemischen Einwirkungen auf den Boden zu unterscheiden. Chemische Einwirkungen, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, werden durch den Eintrag bodenfremder Stoffe beim Bauen verursacht, in deren Folgen sich toxische Stoffe im Boden anreichern können. Durch mechanische Einwirkungen werden der Luft- und Wasserhaushalt des Bodens gestört und dadurch wesentliche Bodenfunktionen beeinträchtigt (GREIFF, KRÖNING 1993).

4.3.3.2.1.4. Bodenschutz

Ein Vorrang für den Bodenschutz ergibt sich insbesondere für naturnahe, relativ unbelastete und grundwassernahe Böden. Da Böden sehr konservativ auf Veränderungen reagieren, nicht wieder in einen Status quo ante zurückkehren und Schädigungen in der Regel nicht rückgängig gemacht werden können, ist Bodenschutz im wesentlichen Vorsorge. Bei der Hochbauplanung sollten – bei gegebenen Alternativen – bauliche Anlagen so angeordnet werden, dass unbelastete Böden möglichst wenig in Anspruch genommen werden und die örtliche Hydrogeologie möglichst wenig gestört wird. Auf der Ebene der kommunalen Bauleitplanung sollten zum Schutz des Bodens und des Grundwassers vorsorglich empfindliche Böden als solche ausgewiesen und entsprechende Schutzvorschriften erlassen werden (GREIFF, KRÖNING 1993).

Mechanische Einwirkungen auf den Boden bei der Bauausführung sind deutlich weniger problematisch als chemische Einwirkungen durch Stoffeinträge. Sie lassen sich durch

organisatorische Maßnahmen in ihrem Ausmaß eingrenzen, und sie sind in gewissem Umfang reversibel, wenn auch z.T. nur mit hohem Aufwand, sodass auch sie in jedem Falle vorsorglich vermieden werden sollten. Neben dem Schutz des Mutterbodens ist vor allem der Schutz des Bodengefüges vor Verdichtungen zu beachten. Die mechanischen Auswirkungen auf den Boden werden dabei wesentlich durch Masse und Projektionsdruck der Fahrzeuge und Geräte, durch Dauer und Art der Druckwirkung (mechanisch/statisch sowie durch die jeweiligen Bodenverhältnisse (Bodengefüge, Verdichtungsgrad, Wassergehalt, etc.) bestimmt. Die Frage der Bodenverdichtung durch Baufahrzeuge wurde bisher wenig beachtet. Entsprechende Erkenntnisse liegen aus dem Bereich der Landwirtschaft vor. Die Radlasten liegen im Baubereich jedoch etwa um das Vierfache höher, sodass nachweisbare Verdichtungen in feuchten und lockeren Böden bis in Tiefen von 90 cm erfolgen können. Einwirkungen auf die örtlichen hydrogeologischen Verhältnisse können sich außer durch Bodenverdichtungen auch durch unbeabsichtigte Dränagewirkungen beim Verfüllen insbesondere von Leitungsgräben ergeben. Sie lassen sich durch (Wieder-)Verfüllung mit gleichem Bodenmaterial und Verdichtung nach Maßgabe des anstehenden Bodens begrenzen (GREIFF, KRÖNING 1993).

Bei der Bauausführung sollte bereits beim Einrichten der Baustelle darauf geachtet werden, dass Flächen für den Baubetrieb reduziert und konzentriert werden und für diese Zwecke vorrangig bereits belastete oder auch künftig z.B. für Verkehrszwecke versiegelte Flächen in Anspruch genommen werden. Bereits versiegelte Flächen, möglichst mit Entwässerung in die öffentliche Kanalisation, sind auch vorzugsweise für das Abstellen, Reinigen und Warten von Baufahrzeugen und -geräten, für die Lagerung von Baustoffen und Baurestmassen (z.B. Bauschutt bei Sanierungsmaßnahmen) und als Arbeitsflächen zu nutzen. Gegebenenfalls sollte der Untergrund provisorisch geschützt werden, z.B. durch Auffangwannen für Tropfverluste von Betriebsstoffen, durch Folien zur Abdeckung bzw. als Unterlage beim Lagern chemisch geschützter Hölzer etc. Grundsätzlich sollten – auch aus Gründen des Arbeitsschutzes – solche Arbeitsverfahren bevorzugt werden, bei denen auftretende Emissionen (Flüssigkeiten, Stäube, Späne, Partikel etc.) durch Absauge- oder Auffangvorrichtungen gesammelt und je nach Inhaltsstoffen gesondert entsorgt werden können (GREIFF, KRÖNING 1993).

Um Störungen des Bodengefüges zu vermeiden oder möglichst gering zu halten, sind im Fahr- bzw. Arbeitsbereich schwerer Baufahrzeuge und -geräte Maßnahmen zum Ausgleich des auf den Boden wirkenden dynamischen bzw. statischen Drucks zu treffen (z.B. provisorische Beläge aus Bohlen, Platten o.ä.) für Verfüllungen sollte möglichst das ausgehobene Bodenmaterial wieder verwendet (siehe Aushubverwertung) oder unbelastetes Material der gleichen Struktur wie der anstehende Boden in entsprechender Verdichtung eingebaut werden, um – insbesondere bei Leitungsgräben – unerwünschte Dränagewirkung zu vermeiden (GREIFF, KRÖNING 1993).

4.3.3.2.2. Entlasten von Deponien

Boden ist, wenn er verunreinigt ist oder auf Deponien gebracht wird, Abfall, daher muss, um den Grundsätzen des Abfallwirtschaftsgesetzes Rechnung zu tragen, schon bei der Planung von Bauvorhaben das Prinzip der Vermeidung und Verwertung von Bodenaushub berücksichtigt werden. Ziel der Grundsätze des Abfallwirtschaftsgesetzes ist die Ressourcenschonung und die Reduzierung von Deponievolumen. Boden, der nicht verunreinigt ist und für eine bautechnische Maßnahme eingesetzt wird, ist kein Abfall laut AWG. Fällt Boden unter das Abfallregime muss er eine Vielzahl von abfallwirtschaftlichen Anforderungen erfüllen.

Boden stellt die zahlenmäßig größte Abfallart mit einem Aufkommen von rd. 20 Mio. t/a dar. Diese Masse beinhaltet aber nur den für Geländekorrekturen eingesetzten oder auf Deponien verbrachten Anteil. Der für konkrete Baumaßnahmen am Ort des Aushubes für Verfüllungen, Aufschüttungen, etc. verwendete Anteil ist nicht enthalten. Bodenaushub wird zu rd. 97 % [2] verwertet, rd. 3 % gelangen auf die Deponie.

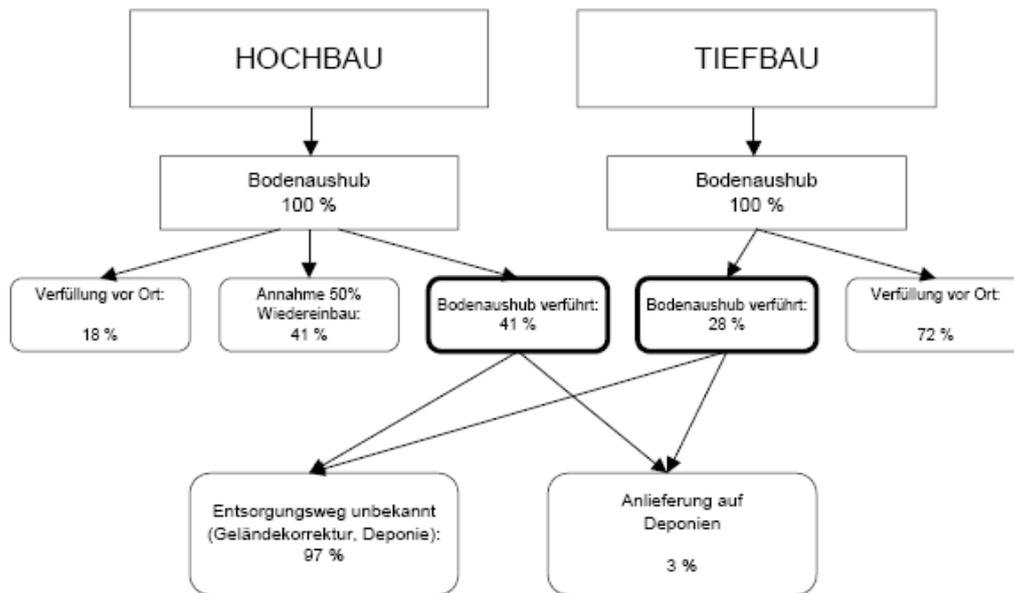


Abbildung 5-1: Verteilung des umgesetzten Bodenmaterials, adaptiert nach (Glenck et al, 2000). Anmerkung: Die fett umrandeten Bereiche sind diejenigen, die im Normalfall in der Abfallwirtschaft als Bodenaushub bezeichnet werden. Die anderen Bereiche scheinen in abfallwirtschaftlichen Statistiken i.d.R. nicht auf.

Abbildung 62: Verteilung des Bodenmaterials

4.3.3.2.3. Vermeidung von Transporten

Quelle: RUMBA

Eine Studie von Rosinak, Sedlak und Wagner machte transparent, wie viele Lkw-Fahrten 1994 für die Errichtung einer Wohnung in einer Wohnsiedlung notwendig waren. Es ist anzunehmen, dass sich seit damals wenig geändert hat. So waren in diesem Beispiel pro Wohnung 55 Lkw-Fahrten mit je 2.800 gefahrenen Kilometern und mit einer Fahrleistung von rund 26 Millionen Tonnenkilometern notwendig (vgl. Tabelle). Diese Fahrleistung wurde zu 100 Prozent mit dem Lkw erbracht.

Fahrtzweck, Material	Lkw-Fahrten	Gewicht in t	Lkw-km	t/Fahrt	km/Fahrt	Tkm
Aushub	1.500	24.000	81.000	16	54	1.296.000
Hinterfüllung	500	4.000	52.000	8	104	416.000
Beton	1.500	12.000	21.000	8	14	168.000
Ziegel	250	3.000	6.000	12	24	72.000
Decke	200	2.400	26.000	12	130	312.000
Bewehrung	100	800	1.489	8	15	12.000
Schotter	550	4.400	29.700	8	54	237.600
Schuttabfuhr	150	1.200	9.562	8	64	76.800
Kleinmaterial	250	1.250	10.000	5	40	50.000
Holz	30	150	720	5	24	3.600
Bauhof	50	250	1.400	5	28	7.000
Zimmerer	50	250	7.000	5	140	35.000
Dachdecker	25	125	11.000	5	440	55.000
Spengler	50	250	1.500	5	30	7.500
Innenausbau	10	50	190	5	19	950
Estrich	90	720	1.170	8	13	9.360
Maschinputz	15	120	2.190	8	146	17.520
Zwischenwände	50	600	5.500	12	110	66.000
Fenster	20	100	4.800	5	240	24.000
Gehwege	50	400	2.598	8	52	20.800
Fassade	25	300	4.440	12	178	53.400
Heizung	20	100	920	5	46	4.600
Elektro	10	50	380	5	38	1.900
Installateur	25	125	850	5	34	4.250
Fliesen	20	160	576	8	29	4.640
Maler	10	50	700	5	70	3.500
Schlosser	25	125	2.020	5	81	10.125
Fußboden	10	50	500	5	50	2.500
Mörtel	25	200	2.650	8	106	21.200
Gesamt	5.610	57.225	287.855	10	51	2.992.660
Je Wohnung	55	561	2.822			29.340

Quelle: Tabelle aus Rosinak, Sedlak, Wagner 1994: Lkw-Fahrten für 102 Wohnungen; eigene Berechnungen

Abbildung 63: LKW Fahrten je Wohnung

Rund 50 Prozent der LKW-Fahrten werden durch Aushub, Hinterfüllung, Schotterlieferung und die Lieferung der Deckenbauteile verursacht. Bezogen auf die Massenanteile nehmen diese Kategorien mehr als 60 Prozent aller Massen ein. Betrachtet man die Fahrleistung (Millionen Tonnenkilometer), dann machen diese Leistungs-Kategorien 75 Prozent der gesamten Fahrleistung aus. Anders formuliert: Würde es gelingen, die Massen- und Transportströme für Aushub, Hinterfüllung, Schotterlieferung und Deckenbauteile im Neubau zu optimieren, dann würde daraus ein großes Vermeidungspotenzial für den Baustellenverkehr aktiviert werden.

Jahr	Wohnungszugang			Wohnungsabgang	
	Gesamt	Davon: Ein/Zwei-familienhäuser	Davon: Mit 3 und mehr Wohnungen		Davon Sanierungen (Um-/Zu-/Aufbauten)
1998	9.363	815	1)	2)	1.432
1999	12.878	799	1)	2)	1.217
2000	11.713	1235	1)	2)	1.159
2001	6.329	678	4809	842	1.135
2002	5.628	822	3832	974	1.027

Quelle: Wohnbaustatistik des Statistischen Zentralamtes, eigene Darstellung

1) 2): derzeit keine Daten verfügbar.

Abbildung 64: Massen- und Transportströme

Legt man die aus dem Wohnbau resultierenden Massen- und Transportströme auf Basis der eingangs zitierten Untersuchung (Rosinak, Sedlak, Wagner) auf eine Neubauleistung von rund

5.000 Wohnungen um, dann wird das Potenzial an Massen- und Transportströmen aus dem Wohnungsneubau ersichtlich.

Tabelle: Massen- und Transportaufkommen für unterschiedliche Wohnbauleistungen

Fallbeispiel: Rodaun, 102 Wohneinheiten						
Fahrtzweck, Material	Lkw-Fahrten	Gewicht in t	Lkw-km	t / Fahrt	km / Fahrt	tkm
Aushub	1.500,00	24.000,00	81.000,00	16,00	54,00	1.296.000,00
Hinterfüllung	500,00	4.000,00	52.000,00	8,00	104,00	4.160.000,00
Decke	200,00	2.400,00	26.000,00	12,00	130,00	3.120.000,00
Schotter	550,00	4.400,00	29.700,00	8,00	54,00	237.600,00
Restl. 25 Gewerke, Tätigkeiten	2.860,00	22.425,00	99.155,00	7,84	34,67	777.465,34
Gesamt	5.610,00	57.225,00	287.855,00	10,20	51,31	3.039.065,34
Anteil Rest an Gesamt in %	50,98	39,19	34,45			25,58
Fallbeispiel: Rodaun, 1 Wohneinheit						
Fahrtzweck, Material	Lkw-Fahrten	Gewicht in t	Lkw-km	t / Fahrt	km / Fahrt	Tkm
Aushub	14,71	235,29	794,12	16,00	54,00	12.705,88
Hinterfüllung	4,90	39,22	509,80	8,00	104,00	4.078,43
Decke	1,96	23,53	254,90	12,00	130,00	3.058,82
Schotter	5,39	43,14	291,18	8,00	54,00	2.329,41
Restliche 25 Gewerke, Tätigkeiten	28,04	219,85	972,11	7,84	34,67	7.622,21
Gesamt	55,00	561,03	2.822,11	10,20	51,31	29.794,76
Anteil Rest an Gesamt in %	50,98	39,19	34,45			25,58
Fallbeispiel: 5000 Wohneinheiten						
Fahrtzweck, Material	Lkw-Fahrten	Gewicht in t	Lkw-km	t / Fahrt	km / Fahrt	tkm
Aushub	73.529	1.176.471	3.970.588	16,00	54,00	63.529.412
Hinterfüllung	24.510	196.078	2.549.020	8,00	104,00	20.392.157
Decke	9.804	117.647	1.274.510	12,00	130,00	15.294.118
Schotter	26.961	215.686	1.455.882	8,00	54,00	11.647.059
Restliche 25 Gewerke, Tätigkeiten	140.196	1.099.265	4.860.539	7,84	34,67	38.111.046
Gesamt	275.000	2.805.147	14.110.539	10,20	51,31	148.973.791
Anteil Rest an Gesamt in %	51	39	34			25,58

Quelle: Rosinak, Sedlak, Wagner 1994; eigene Berechnungen

Abbildung 65: Massen- und Transportaufkommen für unterschiedliche Wohnbauleistung

Aus einer Umlegung auf 5.000 Wohneinheiten im Neubau resultieren 275.000 LKW-Fahrten mit einer Gesamtfahrleistung von 14,11 Millionen Kilometer bzw. rund 150 Millionen Tonnenkilometer. Die besonders massenintensiven (und damit auch fahrtintensiven) Gewerke bzw. Bautätigkeiten Aushub, Hinterfüllung, Decken (Beton) und Schotterlieferung zur Baustelle machen davon rund 50 Prozent aller Fahrten aus. Bezogen auf die gefahrenen LKW-Kilometer resultieren aus diesen „Top-4“ rund zwei Drittel der gefahrenen Kilometer. Noch deutlicher ist das Verhältnis hinsichtlich der Transportleistung: Drei Viertel der geleisteten Transportkilometer resultieren aus den Bereichen Aushub, Hinterfüllung, Schotterlieferung und Deckenbau (aus Betonteilen).

4.3.3.3. Verwerten von Bodenaushub

4.3.3.3.1. Qualität des Bodenaushubs

Quelle: ÖkoKauf Wien, 2008

Sehr großen Einfluss auf die Verwendungs-/Verwertungsmöglichkeiten des Aushubmaterials, hat die Qualität (bautechnisch und abfalltechnisch) des gewonnenen Bodenmaterials. In vielen Fällen muss es, bevor man es als Baustoff verwenden kann, aufbereitet werden. Seitens des Baustoffrecyclingverbands wurde eine Reihe von Merkblättern zum Umgang mit Böden herausgebracht:

Mobile Aufbereitung von Baurestmassen	September 2004
Umgang mit kontaminierten Böden und kontaminierten mineralischen Baurestmassen	März 1999

Verwendung von Böden	Entwurf
Verwendung von Böden als Schüttung	01.06.1998
Baurestmassen – Ein Leitfaden für die Baustelle	23.07.1998

In diesen werden die rechtlichen, normativen und technischen Rahmenbedingungen dargestellt, die für die Verwendung bzw. Verwertung von Boden und Bodenmaterial zu beachten sind. Weiters wird auf die verschiedenen Behandlungs- und Aufbereitungsmethoden sowie auf die Einsatzmöglichkeiten eingegangen. Das Ablaufschema für den korrekten Umgang mit Bodenaushubmaterial ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

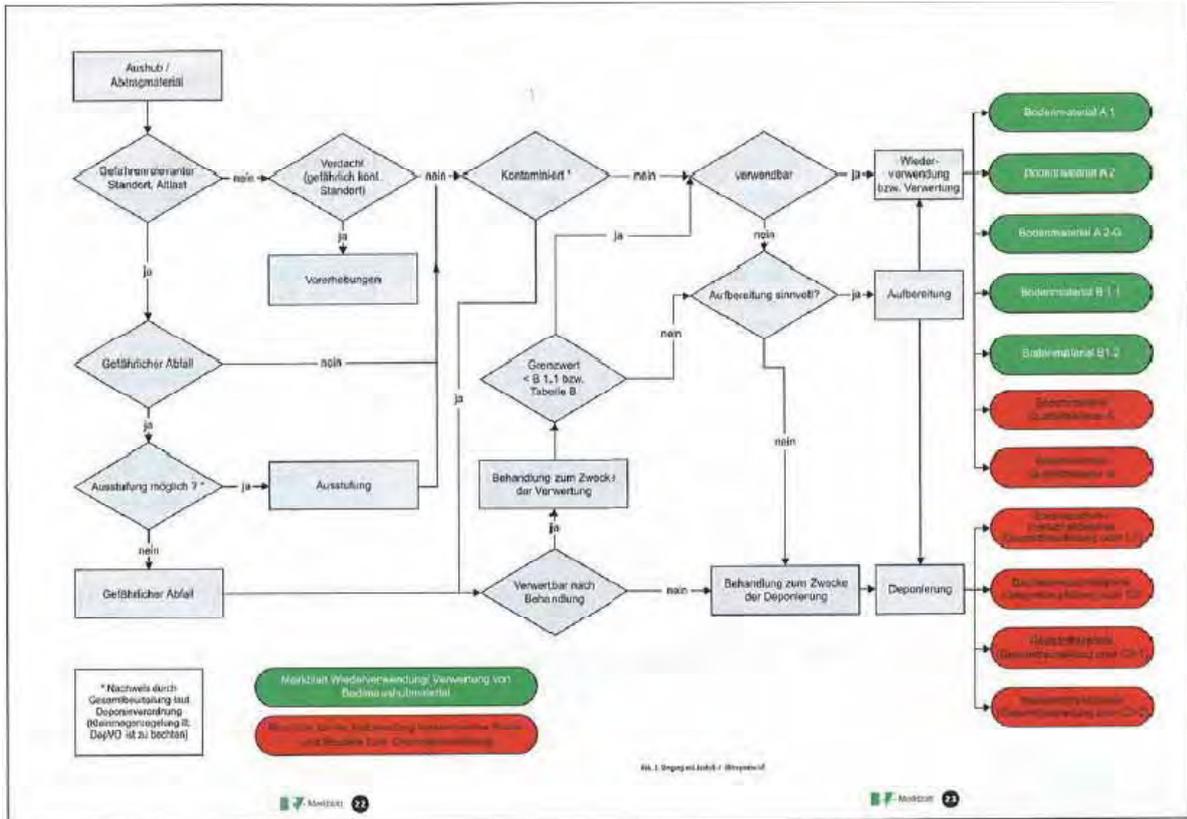


Abbildung 66: Verwertung Bodenaushub

4.3.3.3.2. Aushubvermeidende Maßnahmen

Für eine Aushubvermeidende Vorgangsweise sind folgende Maßnahmen zu setzen (RUMBA, Leitfaden):

- 1) Grabenlose Bauweise anstatt offenen Baugrube / Künette
- 2) Bei offener Bauweise
 - Chemische und bodenmechanische Überprüfung des Aushubmaterials zum Zwecke der Wiederverwendung als Hinterfüllungsmaterial vor Ort oder auf andere Baustellen
 - Bereitstellung eines Zwischenlagers vor Ort oder in unmittelbarer Nähe für wiederverwendbares Material als Hinterfüllung
 - Ist das Aushubmaterial für die Hinterfüllung nicht geeignet bzw. aus Platzmangel abzutransportieren, ist für die Hinterfüllung die Verwendung von geprüftem Recyclinggranulat entsprechend der technischen Vorgaben einzusetzen.

4.3.3.3.3. Wiederverwendung von Aushub auf der Baustelle

Die Wiederverwendung von Aushub auf der Baustelle ist dann sinnvoll, wenn das Aushubmaterial für Geländemodellierungen verwendet werden kann, zum Beispiel bei der Gestaltung von größeren Freiraumanlagen (Parks, Kinderspielplätze) oder von Lärmschutzwällen. Daher sollte die

Freiraumplanung vor Ausschreibung der Aushubarbeiten vorliegen. Eine wesentliche Voraussetzung für die Wiederverwendung von Aushub ist eine frühzeitige chemische und bodenmechanische Untersuchung des Aushubmaterials (RUMBA, Leitfaden).

4.3.3.3.4. Transport- und abfallvermeidender Aushub

Voraussetzung für einen transportvermeidenden Aushub ist Klarheit über Bodenqualität und Kontamination in Form einer Bestandsaufnahme und Gesamtbeurteilung (chemische und bodenmechanische Untersuchung) zu haben. Auf dieser Grundlage kann die Ausschreibung des Aushubs so gestaltet werden, dass Aushubfahrten vermieden (Zwischenlagerung und Wiederverwendung auf der Baustelle) oder minimiert (Direktverbringung zu anderen Baustellen, Zwischenlagerung für andere Baustellen) werden können (RUMBA, Leitfaden).

4.3.3.3.5. Lärmschutz beim Aushub

Lärmschutz beim Aushub kann vor allem durch folgende Maßnahmen erreicht werden (RUMBA, Leitfaden):

- Einsatz lärmarmen Lkw
- Einsatz lärmarmen Baumaschinen
- Positionierung der Baustellenzufahrt und der Fahrtrouten abseits besonders sensibler Nutzungen.
Nutzung von Bahn oder Schiff bei direktem Schienen- oder Wasserstraßenanschluss
- Passiver Schallschutz durch Baustellenabplankungen
- Beschränkung der Aushubarbeiten auf den Zeitraum 7:00 bis 18:00 Uhr
- Information der AnrainerInnen

4.3.3.3.6. Lagerflächen für den Aushub

Lagerflächen für den Oberboden, der beim Aushub gewonnen und wiedereingebaut werden kann, sind bei der Baustellenplanung auszuweisen und freizustellen. Dadurch kann eine Verführung vermieden werden. Durch die Festlegung einer Baustelleneinfahrt, von Baustellenstraßen und von Lagerflächen können eine großflächige Verdichtung verhindert und eine spätere Bodenauflockerung für die Bepflanzung vermieden werden (RUMBA, Leitfaden).

4.3.4. Baustellenabfälle

Unter Baustellenabfällen versteht man üblicherweise vermischte Abfälle von Baustellen, wie Holz, Metalle, Kunststoffe, Glas, Pappe, organische Reste und Sperrmüll mit einem geringen Anteil an mineralischen Stoffen.

Die getrennte Erfassung sortenreiner Fraktionen auf Baustellen ist generell wichtig, um dadurch die stoffliche Verwertbarkeit der Fraktionen zu ermöglichen. Bei jeder gemischten Sammlung mit mineralischen Komponenten steigt der Grad der Verunreinigungen und sinken die Möglichkeiten für eine stoffliche Verwertung. Aus diesem Grund ist eine möglichst weitgehende getrennte Erfassung bereits am Anfallsort anzustreben (auf die Verpflichtungen gemäß Baurestmassentrennverordnung wird hingewiesen).

Sortierung:

Gefährliche Abfälle, wie Batterien, Farb- und Lackabfälle, Altöle, Leuchtstoffröhren, Elektroaltgeräte, Asbestabfälle, sowie mineralische Fraktionen sind grundsätzlich bereits an der Baustelle getrennt zu sammeln.

Unabhängig von der Größe des Bauvorhabens sind darüber hinaus folgende Fraktionen entweder direkt auf den Baustellen oder durch eine anschließende Sortierung und Separation entsprechend aufzutrennen und einer nachfolgenden spezifischen Behandlung zuzuführen:

- Papier-Verpackungen und Kartonagen
- Kunststoffverpackungen und -folien
- Styropor
- Metallverpackungen
- Sonstige Altmetalle
- Unbehandeltes Holz (Kisten und Paletten)
- Kunststofffenster (bei größerem Aufkommen)
- Rohre (bei größerem Aufkommen)
- Asbestzementprodukte
- Sortierfraktion Ersatzbrennstoffe (verunreinigte Kunststoffabfälle, nicht gesondert erfasste Nichtverpackungskunststoffabfälle, verunreinigtes Papier und Kartonagen, organisches Isolier- und Dämmmaterial, behandelte Hölzer, organische Verbundbaustoffe)
- Restfraktion (ist der SN 91206 „Baustellenabfälle (kein Bauschutt)“ bzw. dem Code 17 09 04 „gemischte Bau- und Abbruchabfälle“ zuzuordnen)

4.3.4.1. Lagerung:

Baustelle:

Die Lagerplätze bzw. die Sammelbehälter für die unterschiedlichen Fraktionen sind zur Verhinderung falscher Zuordnungen deutlich zu kennzeichnen. Für die Lagerung gefährlicher Abfälle sind dichte, witterungsgeschützte Behälter zu verwenden.

Lagerplatz (Bauhof im Bauunternehmen) bzw. Umschlag- und Sortierplätze:

In Ergänzung zu den Anforderungen auf der Baustelle hat die Lagerung der sortierten Baustellenabfälle ausschließlich auf befestigten Flächen zu erfolgen.

Auf der Baustelle und bei der Sortierung sind emissionsmindernde Maßnahmen bezüglich Staub (z.B. durch geringe Fallhöhen, geschlossene Materialabwurfschächte bzw. Befeuchtung des Inputmaterials) und Maßnahmen gegen Windverfrachtung (durch Sammlung in Behältern und Abdeckungen) zu setzen.

4.3.4.2. Transport:

Getrennt erfasste Materialien sind auch während des Transportes getrennt zu halten.

Übergabe / Behandlung:

Die Übergabe bzw. Behandlung von Abfällen darf gem. § 15 AWG 2002 nur an entsprechend berechnete Unternehmen erfolgen. Die Abgabe an Privatpersonen ist daher nicht zulässig.

Bei der Übernahme von nicht gefährlichen Abfällen aus Bautätigkeiten ist zu prüfen, ob sämtliche gefährliche Abfälle abgetrennt worden sind.

4.3.4.3. Beseitigung:

Eine weitergehende Sortierung/Behandlung der auf der Baustelle gesammelten Restfraktion (SN 91206 „Baustellenabfälle (ohne Bauschutt)“ bzw. Code 17 09 04 „gemischte Bau- und Abbruchabfälle“ – wie im Abschnitt „Sortierung“ beschrieben) kann zur Erfüllung der Kriterien für eine Ablagerung auf einer Deponie notwendig sein. Auf das Erfordernis einer Gesamtbeurteilung gemäß Deponieverordnung wird hingewiesen.

Auf Grund der zu erwartenden Zusammensetzung der Restfraktion ist davon auszugehen, dass eine biologische Behandlung in einer MBA vor der Deponierung in der Regel nicht zweckmäßig ist. Allenfalls ist eine thermische Behandlung dieser Restfraktion vorzusehen.

Das Einbringen von "Baustellenabfällen (ohne Bauschutt)" und ebenso von "Sperrmüll" (SN 91401) in die biologische Behandlung einer MBA vor der Deponierung ist lediglich für solche Restfraktionen, die nach Abtrennung der Stör- und Inertstoffanteile sowie idealerweise von stofflich verwertbareren Fraktionen erhalten werden und unter Berücksichtigung der Ausschlusskriterien der MBA-Richtlinie als geeignet einzustufen sind, zulässig. Geeignet wären jedenfalls Restmüll-ähnliche Restfraktionen mit einem ausreichend hohen, biologisch abbaubaren organischen Kohlenstoffanteil.

Quelle: www.bundesabfallwirtschaftsplan.at

4.3.5. Thermische Verwertung, Müllverbrennung

Die aus dem Raum Wien thermisch zu verwertenden Abfälle werden zu mehreren Anlagen verbracht und verbrannt. Die Transporte gehen nach Dürnrohr (AVN, Abfallverwertung Niederösterreich, nach Zistersdorf (ASA Abfall Service AG), nach Wien Spittelau (MVA der Fernwärme Wien) und sogar bis nach Wels.

Der Wiener Hausmüll wird in den Anlagen der MA 48 verbrannt.

Die Verbrennung ist wichtig, weil organische Stoffe nur bis zu einem Anteil von 5 % TOC (total organic carbon) auf Deponien abgelagert werden können. Aus den organischen Anteilen entsteht auf Deponien Methan, das ein 12-mal höheres GWP hat als CO₂.

Die Schlacke aus der Müllverbrennung wiederum wird aufbereitet und im Deponiebau eingesetzt. In Deutschland wird Schlacke auch im Straßenbau eingesetzt.

4.3.5.1. Giftige Filterkuchen

Klassische Müllverbrennungsanlagen haben eine Rostfeuerung und eine Rauchgasreinigungsanlage. Zurück bleiben Schlacke und ein Filterkuchen. Während die Schlacke zumeist problemlos ist, können Filterkuchen (der Natur der Sache gemäß) mit hochgiftigen Materialien wie z.B. Schwermetallen angereichert sein. Filterkuchen aus der Verbrennung von Abfällen wie z.B. aus dem Drehrohrofen in Simmering sind jedenfalls als gefährlicher Abfall einzustufen. Für diese Filterkuchen gibt es in Österreich keine natürliche Endlagerungsmöglichkeit, sodass sie nach Deutschland exportiert und dort unter Tag endgelagert werden müssen. Der Beitrag, den das Bauwesen zur Verbesserung der Filterkuchenqualität leisten kann, besteht in der Vermeidung metallhaltiger Zusatzstoffe in Baumaterialien, die in Abfallverbrennungsanlagen entsorgt werden (z.B. keine schwermetallhaltigen Lacke auf Holz, keine schwermetallhaltigen Stabilisatoren in Kunststoffen, etc.).

4.3.5.2. Wichtige Erkenntnis

Aus dem Dilemma des Filterkuchens wird noch einmal mehr klar, dass es einen Zusammenhang geben muss zwischen dem Design und der Zulassung von Produkten einerseits und den Resultaten in der Entsorgung andererseits. Für Baumaterialien erscheint es uns als wichtig, Verbund von Kunststoffen mit Metallen zu vermeiden und problematische schwermetallhaltige Inhaltsstoffe zu vermeiden. Viele giftige Schwermetalle wurden in Österreich zwar bereits aus Bauprodukten entfernt (z.B. Cadmiumstabilisatoren aus PVC-Produkten), andere erst kürzlich (z.B.

Bleistabilisatoren), andere Schwermetalle finden nach wie vor Einsatz auch in Baumaterialien (z.B. Chrom). Nach Meinung der Verfasser ist es ebenso wie beim Atommüll keine Lösung, Problemstoffe ins Ausland zu verschicken und dort endlagern zu lassen.

4.3.6. Deponien

4.3.6.1. Deponie- oder/und Lochproblem

Während in Österreich einerseits bestehende Deponien eine begrenzte weitere Aufnahmezeit vor sich haben und die Bewilligung von neuen Deponien immer auf große Widerstände in der Bevölkerung trifft, haben wir durch den massiven Schotter- und Kiesabbau auch ein „Lochproblem“ sodass manche Landschaften wie Mondkrater aussehen. Es liegt nahe, diese Löcher wieder mit Inertstoffen zu verfüllen.

Die Deponie der Fa. Ökotechna in Kaltenleutgeben wird z.B. ca. 2020 voll sein, ein weiterer Deponiemangel im Raum Wien ist absehbar und stellt künftig ein politisches Thema dar.

Alle Deponien haben eine begrenzte Lebenszeit, es ist zumeist nicht einfach, neue Standorte zu finden und genehmigt zu bekommen. In Deutschland können Schottergruben ohne weitere Verfahren mit Recyclingmaterial wieder aufgefüllt werden, dies ist bei uns genehmigungspflichtig.

Es gibt Bodenaushubdeponien, Inertstoffdeponien, Baurestmassendeponien (mit Abdichtung und Sickerwassererfassung), Reststoffdeponien und Massenabfalldeponien.

Die Fa. Ökotechna betreibt in Perchtoldsdorf eine Hangdeponie, auf der Baurestmassen, Erdmaterial, Bauschutt, Deponieschutt und in einem eigenen Bereich Eternit abgelagert werden können. Die Deponie ist nach unten abgedichtet. Wenn ein Abschnitt voll ist, wird er mit einer Lehmschicht von 2m Dicke und einer Bewuchsschicht von weiteren 2m Dicke abgedeckt. Diese Schicht wird bepflanzt. Es ist dabei wesentlich, Bäume zu verwenden, die keine Tiefwurzler sind. (Quelle: Interview G. Gretzmacher)

1993 wurde in Wien die erste stationäre Bodenaufbereitungsanlage in Österreich eröffnet. Die Anlage ist für eine physikalische und chemische Behandlung von kontaminiertem Feststoff konzipiert (Reinigung von ölverunreinigten Böden) und auf eine jährliche Durchsatzrate von 40.000 t im Einschichtbetrieb ausgelegt. (Quelle: Interview M. Scheibengraf MA 22)

4.4. Recycling

Voraussetzung für eine stoffliche Verwertung von Baustoffen ist eine sortenreine Erfassung der Abfälle vor Ort auf der Baustelle und eine nach dem Stand der Technik entsprechende nachfolgende Aufarbeitung.

Recyclingbaustoffe müssen Qualitätsanforderungen entsprechen:

- praktisch frei von Verunreinigungen (≤ 1 Vol%), optischer Eindruck: "Frei von nicht mineralischen Anteilen" (d.h., alles aussortieren, was mit vertretbarem Aufwand möglich ist). Es muss erkennbar sein, dass Fremd- und Störstoffe mit zumutbarem Aufwand entfernt wurden.
- chemisch unbedenklich
- bautechnisch geeignet



Abb. 3-11 Unsortierter und sortierter Bauabfall

Abbildung 67: unsortierter und sortierter Bauabfall

Quelle: Leitfaden Nachhaltigkeitsaspekte bei Neu- und Umbauten, TU München im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, 2006

Im Folgenden werden die Recyclingeigenschaften zusammengestellt. Wichtigste Quelle ist ABC-Disposal, Anhang 2 „Entsorgungseigenschaften von Baustoffen“. Werden weitere Quellen verwendet, wird dies am Anfang des Kapitels angeführt.

4.4.1. Recycling Mineralischer Baustoffe

„Mineralische Baustoffe stellen den mit Abstand größten Massenanteil im Gebäude dar. 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.*

Zu den mineralischen Baustoffen zählen Beton, Ziegel, Porenbeton, Lehm- und Gipsbaustoffe, Putze, Mörtel, Kiese und Sande. Hauptrohstoffe der massiven mineralischen Baustoffe sind Kalkstein, Ton bzw. Lehm, Sand oder Gips. Mineralische Baustoffe enthalten in der Regel nur geringe organische Bestandteile.

Prinzipiell ist eine Wiederverwendung von mineralischen Bauteilen (z.B. von Betonfertigteilen) möglich, in der Regel ist jedoch von einer stofflichen Verwertung auszugehen.“

Insgesamt ist eine Verwertungsquote von 70 % für Baurestmassen realistisch. „Die Verwertbarkeit einer konkreten Fraktion hängt aber von der stofflichen Qualität des Inputs ab. Für ein erfolgreiches Recycling von Baurestmassen ist daher die bestmögliche Trennung beim Abbruch auf der Baustelle notwendig.“

„Die meisten Recyclingbaustoffe finden außerhalb des Hochbaus Anwendung (Straßenbau, Sportplatz, Rohstoff für die Zementindustrie,...). Ein kleiner Teil der Recyclingmaterialien wird als Zuschlagstoff für die Herstellung neuer Betone eingesetzt.“

Mineralische Baustoffe	Wiederverwendung	Stoffliche Verwertung
Beton	möglich, z. B. Betonfertigteile	ungebundene obere Tragschichten, ungebundene untere Tragschichten, zementgebundene Tragschichten, landwirtschaftlicher Wegebau, Zuschlagstoff für Betonproduktion, hochwertiges Künnettenfüllmaterial, Drainageschichten
Mineralische Restmassen		Künnettenverfüllungen, Hinterfüllungen, Schüttungen, Sportplatzbau- Drainage.
Ziegelbruch/ aus der Produktion		Sortenreiner recycelter Ziegel wird hochwertig zu Ziegelsand oder Ziegelsplitt verwertet und als Tennissand für Sportplatzbau, im Substrat für Dachbegrünungen, als Zuschlagstoff im Beton z.B. für Kleinsteine, Mauersteine oder Fertigteile, verwendet.
Ziegelbruch/ aus dem Hochbauabbruch		Für den Einsatz im Wegebau, für Dammschüttungen (Beimischung von 20% RMH), für Künnettenverfüllungen, als Kabelsand (sehr vorteilhaft, da sich RMH-Sand selbst verfestigt), für Bankettschüttungen, für Baumscheiben gibt es viele Beispiele, die aber nur lokal eingesetzt oder von bestimmten Auftraggebern befürwortet werden.
Asphalt		Ungebundene obere und untere Tragschichten, gebundene Tragschichten, landwirtschaftlicher Wegebau. Zuschlagstoff für Asphaltproduktion. Drainageschichten.
Gips		Recycling von Gips bei sortenreinem Rückbau möglich, findet in der Praxis in Österreich nicht statt; nur Kreislaufführung von Produktionsabfällen.

„Die meisten massiven mineralischen Baustoffe verhalten sich auf der Deponie inert und erfüllen die Anforderungen für Inertabfall- oder Baurestmassendeponie. Eine gezielte Zuführung von mineralischen Baurestmassen in die Abfallverbrennung macht wegen der fehlenden Brennbarkeit und Kapazitätsbindung keinen Sinn. Mineralische Baustoffe, die als Verunreinigungen in die Abfallverbrennungsanlage gelangen, verbleiben in der Schlacke.“

„Gips schränkt die Recyclingmöglichkeiten anderer mineralischer Baurestmassen ein, da die Sulfate im Recyclingzuschlag die Betonqualität negativ beeinflussen. In der Richtlinie für Recycling- Baustoffe des BRV (2009) wird daher der Sulfatgehalt für Recyclingmaterialien begrenzt.“

Infolge ihrer Feuchteempfindlichkeit, den damit verbundenen Festigkeitsschwankungen sowie der Volumenunbeständigkeit (wegen der Sulfatreaktionen) sind mit Gips verunreinigte Baurestmassen auch nur bedingt als Schüttmaterial verwertbar. Gipsprodukte sollten daher getrennt von den restlichen mineralischen Abbruchmaterialien gesammelt werden.“

„Gemäß Deponieverordnung dürfen Baustoffe aus Gips ohne analytische Untersuchung für die grundlegende Charakterisierung auf Baurestmassen- oder Massenabfalldeponie abgelagert werden. Gipsputze oder Spachtelmassen fallen in der Regel ohnehin zusammen mit anderen Baurestmassen an.“

In der Praxis zählen Baurestmassen bei Verunreinigung mit Gipsen nicht mehr als „reiner Bauschutt“ und es fallen höhere Entsorgungskosten an. Die höheren Kosten für Gipsabfälle verursachen, dass der überwiegende Teil an Gipsplatten der Deponie „versteckt im Bauschutt“ übergeben wird (SUNDL, 2005).“

4.4.1.1. Ziegel

Quelle: Interview G. Gretzmacher, BRV

Sortenreiner recycelter Ziegel wird hochwertig zu Ziegelsand oder Ziegelsplitt verwertet und als Tennissand für Sportplatzbau, im Substrat für Dachbegrünungen, als Zuschlagstoff im Beton z.B. für Kleinsteine, Mauersteine oder Fertigteile, verwendet.

Die in Österreich tätigen Firmen verwenden dabei jedoch lediglich Verschnitt und Abfälle aus der Ziegelproduktion.

Vorreiter in diesem Bereich ist Holland, das für öffentliche Bauvorhaben eine Verwendung von 20% Anteil an Recyclingmaterial verlangt und in Zukunft 40% verwenden will.

Firmen, die Ziegel recyceln, sind z.B.: Prajo, Herzer, WBR, Hasenörl.

Gemischter recycelter Mauerwerksabbruch aus Hochbaurestmassen RMH wird von Lafarge im Werk Mannersdorf, von Wopfinger und Wietersdorfer für die Erzeugung von Zement beigemischt.

Die Zumischung von RMH für die Zementproduktion ist nicht in allen Zementwerken möglich, da entweder die Produktion zu gering ist, oder die chemische Zusammensetzung des Natursteines dies nicht erforderlich macht.

Außer dem erfreulichen Einsatz in der Zementindustrie, ist der Einsatz von RMH in anderen Bereichen problematisch.

Im Straßenbau ist Ziegel bzw. RMH für Tragschichten in Österreich gänzlich unerwünscht.

Für den Einsatz im Wegebau, für Dammschüttungen (Beimischung von 20% RMH), für Künettenverfüllungen, als Kabelsand (sehr vorteilhaft, da sich RMH-Sand selbst verfestigt), für Bankettschüttungen, für Baumscheiben gibt es viele Beispiele, die aber nur lokal eingesetzt oder von bestimmten Auftraggebern befürwortet werden.

Der ÖBRV hat in den letzten Jahren Forschungsprojekte mit der BOKU für den Einsatz von RMH durchgeführt.

Erfolgversprechend war der Einsatz von RMH im Wurzelbereich von Baumscheiben. Die Wurzel ausdehnung beschränkt sich dabei auf den mit RMH mit Substrat verfüllten Bereich, wodurch im städtischen Gebiet Fahrbahn- oder Gehwegaufbrüche verringert werden können.

Das Forschungsprojekt „green concrete“ wurde bereits 2008 abgeschlossen und erbrachte den Nachweis, dass RMH vermengt mit Substrat ein ideales Tragschichtmaterial für Schotterrasen ergibt. RMH speichert länger die Feuchtigkeit, verbessert die Bodenfruchtbarkeit und ist ausreichend stabil, um für Parkflächen verwendet werden zu können.

Vor allem für nur zeitweise benützte Flächen, z.B.: bei Schwimmbädern, Sportplätzen, Liftanlagen, Shopping Center, Fremdenverkehrseinrichtungen, Museen, etc. sind diese begrünten, versickerungsfähigen „Schotterrasen-Flächen“ hervorragend geeignet.

Theoretisch wäre RMH-Sand (0/4 mm) für den Einsatz in der Landwirtschaft möglich. Dafür müsste ein eigenes Projekt (z.B.: „red soil“) initiiert werden.

4.4.1.2. Beton

Quelle: Interview G. Gretzmacher, BRV

Betonbruch kann z.B. bei der Straßenherstellung sehr gut als Konkurrenzmaterial zu natürlichem Steinmaterial verwendet werden, auch im Hochbau ist er als Ersatz für natürliche Zuschlagstoffe verwendbar.

Eine Verwendung im Straßenbau Unterbau ist jederzeit problemlos möglich, für den Einsatz im Hochbau sind die Rezepturen etwas differenzierter auszuarbeiten um entsprechende Festigkeitsklassen zu erzielen, im allgemeinen braucht man für Recyclingbetonzuschlagstoffe etwas mehr Zement, da der Betonbruch eine höhere Oberflächenrauigkeit aufweist. Man substituiert also derzeit mit RC Material den Zuschlagstoff Kies, dies allerdings unter Verwendung von mehr Zement.

Als Recyclingbeton (RC-Beton) kann ein Beton bezeichnet werden, dessen Gehalt an Gesteinskörnung zu mindestens 25 Masseprozent aus Betongranulat und/oder Mischabbruchgranulat besteht.

Das Potential für das Herstellen größerer Mengen RC-Beton ist aufgrund der enormen Mengen an Bauschutt ausreichend vorhanden und bietet sich aus umweltpolitischen Gründen an (Abnahme der Kiesreserven, begrenzter Deponieraum). Beton- und Mischabbruch kann zu Betongranulat und Mischabbruchgranulat aufbereitet und für die Betonherstellung verwendet werden.

Während sich in Österreich der Einsatz von RC- Beton immer noch vorwiegend auf den Tiefbau beschränkt, ist die Entwicklung in der Schweiz schon weiter fortgeschritten und wird RC- Beton auch durchaus im Hochbau eingesetzt (bereits 2004 wurde eine komplette Schulanlage in Birch mit RC Beton umgesetzt).

Ein neu entwickeltes Produkt aus Österreich ist Puzzolanbeton von Fa. Deisl- Bau. Dieser neuartige Baustoff besteht zu einem sehr großen Anteil aus aufbereiteten Recyclingmaterialien sowie einem umweltfreundlichen Bindemittel.

Fa. Deisl entwickelte ein spezielles Nass-Verfahren zur Aufbereitung von Baurestmassen, das die Abtrennung von Verunreinigungen ermöglicht.

Die mit diesem Verfahren hergestellten gewaschenen Recyclingkörnungen (Sand und Kies) weisen eine gleich bleibend hohe Qualität und Reinheit auf und eignen sich daher auch für anspruchsvolle Einsatzgebiete.

Aufgrund seiner spezifischen Eigenschaften hat sich Puzzolanbeton für viele Anwendungsgebiete als ideal erwiesen. Beispiele dafür sind: Dammbauten, Stützkörper, Tragschichten, Fundamente, Hinterfüllungen, Hohlraumversatz ...

Die Verarbeitung und der Einbau von Puzzolanbeton erfolgen wie bei „normalem“ Beton, wobei die Konsistenz je nach Anforderung zwischen erdfeucht und fließfähig eingestellt werden kann.

Andere, noch im Forschungsstadium befindliche Projekte werden bereits im Subprojekt 2 „Bauen mit recycros“ behandelt. Ein Gutteil der Forschungsprojekte hat zum Ziel, Zement als Bindemittel durch Recyclingmaterialien zu ersetzen, um die weltweit steigende Produktion des Bindemittels Zements und den damit verbundenen steigende Energie- und Ressourcenverbrauch sowie die Kohlendioxidemissionen zu senken. In diesen Forschungsprojekten werden die Eigenschaften von Beton unter Zusatz von Vulkanasche, Hüttensand, Flugasche und Rotschlamm, und Reisschalenasche untersucht.

Weiters gibt es Projekte, die sich mit der Substitution der Zuschlagstoffe durch Abfallprodukte wie z.B. der Asche aus der Hausmüllverbrennung beschäftigen.

In einem belgischen Projekt wird dem Thema nachgegangen, wie der erhöhte Zementbedarf von RC Betonen hintangehalten werden kann, hier laufen Versuche mit der Beigabe von Füllstoffen, die die Rauigkeit des RC Zuschlagkorns „neutralisieren“ und so wieder herkömmliche Zementmengen verwendet werden können.

Weitere Forschungsstudien beschäftigen sich mit alternativen löslichen Bindemitteln, z.B. Kalk; allerdings können hier (noch) nicht die gewünschten Festigkeiten erreicht werden. Mit dem heutigen Stand der Technik kann nämlich nur Beton selbst recycelt werden. Das Bindemittel Zement ist nicht rückgewinnbar und muss bei RC-Betonen immer wieder neu hinzugeführt werden. Aus ökologischer Sicht wäre ein recycelbares Bindemittel daher von großer Bedeutung.

4.4.1.3. Gips

Gipsbauplatten dürfen derzeit noch auf die Deponie, obwohl dann SO₄ austritt. In der Steiermark laufen derzeit Projekte, die sich mit dem Recycling von Gips beschäftigen. In Österreich ist das Recycling von Gipsplatten derzeit noch nicht verbreitet, andere Länder wie Dänemark, Holland und die Schweiz sind hier Vorreiter.

„Bei der üblichen Einbausituation ist von einer Wiederverwendung der 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.“

„In der Praxis findet in Österreich aus unterschiedlichsten Gründen dennoch kein Recycling von PC-Gipsprodukten statt.“

- Die Entsorgungskosten für Gipskartonplatten sind höher als die Entsorgungskosten von gemischtem Bauschutt, sie werden daher häufig nicht getrennt gesammelt.
- Aber auch bei getrennt gesammelten Gipskartonplatten aus dem Abbruch besteht das Problem, dass Rückstände von Tapeten, Verschraubungen, verklebte Holzteile etc. an den Platten haften. Um die Platten aus dem Abbruch verwerten zu können, dürfen sie aber nur zu einem geringen Teil verschmutzt sein (max. 5%). Auch der Feuchtegehalt der Platten ist sehr unterschiedlich (von nass bis trocken, abhängig von Containerstandort auf der Baustelle bzw. vom Wetter während der Abbruchzeit).
- Bisher fielen noch keine ausreichenden Mengen an, um ein Rücknahmesystem zu organisieren und das Recycling-Verfahren rentabel einsetzen zu können.
- Selbst reine Gipskartonplattenabfälle könnten nach Schätzungen der österreichischen Plattenindustrien nur bis ca. 5% der Rohgipsmenge zugegeben werden (SUNDL, 2005).
- Die betriebseigenen Recyclinganlagen der Gipskartonplattenindustrie verfügt nicht über die notwendigen Kapazitäten.
- Ein Bedarf an Recycling-Gips ist zurzeit nicht gegeben: Aufgrund der großen Anzahl an natürlichen Ressourcen und dem sich daraus ergebenden geringen Preis für den Abbau von Rohgips, ist der Anreiz zu recyceln für die Hersteller gering (SUNDL, 2005).
- Des Weiteren ist der Reinheitsgrad des derzeit eingesetzten Naturgipses zu gering um weitere Verunreinigungen durch den Recyclinggips tolerieren zu können. Je reiner der Rohgips, desto mehr Toleranz wird in Bezug auf die Verunreinigung beim Recycling-Gips gegeben sein (SUNDL, 2005).

In Österreich (und in Deutschland) findet daher nur werksinterne Kreislaufführung von Produktionsabfällen und – in sehr kleinem Maßstab – Recycling von Verschnittmengen der eigenen Produkte statt.“

Theoretisch kann Gips jedoch beliebig oft ohne Qualitätsverlust recycelt und so im Kreislauf gehalten werden.

Ziel muss also auch in Österreich die getrennte Verwertung von Gipsabfällen sein. Das wäre nicht nur ein wichtiger Beitrag zur Reduzierung des Deponievolumens, sondern auch ein Beitrag für ein erfolgreiches Recycling der Baurestmassen durch die Reduzierung der Verunreinigungen.

In Dänemark wird seit 2001 ein Verfahren eingesetzt, das es erlaubt, Gips technisch und wirtschaftlich sehr effizient zu recyceln. Dieses Verfahren wird bereits in ganz Skandinavien, Großbritannien, Irland und auch in den USA angewendet, seit 2007 wird auch in der Schweiz ein Recyclingverfahren angeboten.

Die Gipsabfälle werden auf der Baustelle, in Containern oder Recyclinghöfen getrennt gesammelt und in Aufbereitungsanlagen in die Hauptkomponenten Gips, Papier und Metall getrennt. Der zurückgewonnene Recyclinggips hat einen sehr hohen Reinheitsgrad von über 95% und kann ohne weitere Behandlung wieder in die Produktion einfließen (in Dänemark beträgt der Anteil am Rohmaterial zum Beispiel bereits 30%).

4.4.1.4. Kalksandstein

Quelle: www.wecobis.de, www.nachhaltiges-bauen.de

Kalksandstein ist ein rein mineralisches Produkt, das aus den Rohstoffen Kalk und Sand hergestellt, und unter Wasserzusatz nach intensivem Mischen verdichtet, geformt und unter Dampfdruck gehärtet wird.

Schon bei der Herstellung von Kalksandstein wird anfallender Ausschuss zerkleinert und der Produktion wieder zugeführt. Es entsteht kaum Abfall. KS-Steine werden mit Brechwerken zerkleinert, und der so entstandene Zuschlag kann für die unterschiedlichsten Zwecke verwendet werden, u.a. auch wieder für die KS-Produktion.

Die Wiederverwendung von Kalksandsteinen ist nur bedingt möglich.

Die Herstellung von KS-Recyclingsteinen aus Kalksandsteinbruch (auch mit anhaftenden Mörtelresten) ist möglich, soweit keine sonstigen, vor allem organische Verunreinigungen vorliegen.

Eine Beseitigung von Abbruchabfällen ist auf Inertstoffdeponien möglich.

4.4.1.5. Aufbereitung auf der Baustelle, mobiles, stationäres Recycling

Quelle: Baurestmassenrecycling, Land Oberösterreich, Abteilung Umwelt- und Anlagentechnik, Chemie und Luftreinhaltung, Stand Februar 2006 .

Die Voraussetzungen für eine fachgerechte Aufbereitung sind abhängig vom Ort und der Zielsetzung. Es werden im Folgenden drei Fälle unterschieden: Aufbereitung auf der Baustelle, Aufbereitung gesammelter Baurestmassen mit mobilem Brecher, Aufbereitung in stationären Anlagen.

4.4.1.5.1. Aufbereitung auf der Baustelle

Erforderliche Vorarbeiten

Es ist vor dem Abbruch eine Begehung des Gebäudes erforderlich, um dessen Zustand im Hinblick auf Kontaminationsfreiheit zu prüfen (z.B. Ölflecken, Ablagerungen, Verfärbungen usw.). Die Begehung ist mit Fotos zu dokumentieren. Gebäudeteile mit Kontaminationsverdacht sind beim Abbruch zu separieren und jedenfalls einer Beurteilung aufgrund analytischer Untersuchungen zu unterziehen. Ebenso getrennt zu erfassen sind Baustoffe, bei denen eine Wiederverwertung nicht möglich ist, das sind insbesondere gips- und asbest- oder asbestzementhaltige Baustoffe oder auch hydraulisch gebundene Holzfaserplatten (Rigips®, Eternit® etc.).

Vor dem Abbruch sind aus dem Gebäude zu entfernen:

- sämtliche Stoffe, die nicht Bauwerksbestandteile sind (Möbel, Elektrogeräte, etc)
- kontaminiertes Mauerwerk
- Dacheindeckung, Dachstuhl
- je nach Bauwerkstatik die Fenster- und Türstöcke
- Fenster, Türen (statisch nicht relevant)
- Böden (Beläge und Unterkonstruktionen)
- Asbestzementrohre, wenn statisch nicht relevant
- Kabel, sonstige Installationen, Sanitäreinrichtungen (Therme, Badewanne, Toilette)
- Rigips® mit Dämmmaterial
- asbesthaltige Verkleidungen (Eternit® mit Latten)
- Heraklith® hinter Gips (gemeinsam)

Nicht aussortiert werden müssen:

- Fliesen (keramische Materialien)

Bei allen Teilabbrüchen ist bei der Trennung in Fraktionen ist auf die Erfordernisse der Statik Rücksicht zu nehmen. Kann eine vorherige Entfernung von oben genannten Bauwerksteilen nicht erfolgen, ist die Trennung im Zuge des Abbruchs durchzuführen.

Anzumerken ist, dass diese Vorgangsweise auch bei vorgesehenem Abtransport des Materials anzustreben ist, da eine getrennte Erfassung im Allgemeinen eine bessere Qualität des Recyclingmaterials erwarten lässt als eine nachträgliche Sortierung.

Getrennt zu erfassen ist jedenfalls Asphalt. Wenn möglich zu separieren ist auch Betonabbruch, da hier Recyclingmaterial mit besseren bautechnischen Eigenschaften erhalten werden kann als dies bei gemischtem Bauschutt möglich ist.

Vor Aufgabe auf den Brecher sind nicht mineralische Anteile (z.B. Heraklith®, Kabelreste, Teer- und Bitumenpappen) sowie gips- und asbestzementhaltige Baustoffe (z.B. Gipskartonplatten, Eternit®) so weit wie möglich auszusortieren. Eine Aussortierung nach dem Brechvorgang ist zumeist wegen der geringen Stückgröße der erhaltenen Teile nicht möglich. Dennoch soll eine Handsortierung nachgeschaltet werden, um Stücke mit ausgeprägter Längendimension (Holzbretter, kurze Stücke Bewehrungseisen usw.), die unzerkleinert durch den Brecher gegangen sind, ausscheiden zu können. Eisenmetallteile werden nach dem Brecher auch über

Magnetabscheider erfasst und abgetrennt. Gips- und asbestzementhaltige Baustoffe sollten überhaupt nicht auf einen Brecher aufgegeben werden.

4.4.1.5.2. Aufbereitung mittels mobiler Anlagen

Mobiler Brecher im Einsatz

Die Ausführungen in diesem Abschnitt betreffen auch "permanente Zwischenlager", wie sie auf Bodenaushubdeponien oder im Bereich von Baufirmen, die sich auch mit Abbrüchen beschäftigen, oftmals anzutreffen sind. Als Abgrenzung zu stationären Anlagen wird vorgeschlagen, einen maximal zweiwöchigen Brecherbetrieb pro Jahr als zulässig anzusehen, bei höheren Durchsätzen sollten die Regelungen für stationäre Anlagen gelten.

Üblicherweise sind an maschinellen Schritten nur Brechen und Sieben möglich. Für Aufbereitung mittels komplexer Anlagen für ein erweitertes Einsatzgebiet gelten die Regeln für Aufbereitung mittels stationärer Anlagen.

Die Herkunft des Materials soll weitgehend durch Aufzeichnungen des Abfallsammlers bzw. -erzeugers geklärt werden, dies wird aber nicht in allen Fällen möglich sein. Es kommt daher der Vorbereitung des Materials erhöhte Bedeutung zu. Erforderlich ist jedenfalls eine optische, allenfalls olfaktorische Kontrolle durch den Verantwortlichen für die Aufbereitungsanlage. Dabei vorgefundene "auffällige" Baurestmassen sind zu separieren und analytisch zu untersuchen.

Getrennt zu erfassen ist jedenfalls Asphalt, wenn möglich zu separieren ist auch Betonabbruch, da hier Recyclingmaterial mit besseren bautechnischen Eigenschaften erhalten werden kann als dies bei gemischtem Bauschutt möglich ist.

Vor Aufgabe auf den Brecher sind nicht mineralische Anteile (z.B. Heraklith®, Kabelreste) so weit wie möglich auszusortieren. Eine Aussortierung nach dem Brechvorgang ist zumeist wegen der geringen Stückgröße der erhaltenen Teile nicht möglich. Dennoch soll eine Handsortierung nachgeschaltet werden, um Stücke mit ausgeprägten Längendimensionen (Holzbretter, kurze Stücke Bewehrungsseisen usw.), die unzerkleinert durch den Brecher gegangen sind, ausscheiden zu können. Eisenmetallteile sind nach dem Brecher über Magnetabscheider zu erfassen und abzutrennen.

4.4.1.5.3. Aufbereitung mittels stationärer Anlagen

Stationäre Anlagen verfügen zumeist über mehrere Module, welche in beliebiger Reihenfolge nacheinander geschaltet werden können. Es ist die Erzeugung spezieller Fraktionen mit je nach beabsichtigtem Verwendungszweck abgestuften Korngrößen möglich.

Das Eingangsmaterial ist einer sensorischen (optischen, allenfalls olfaktorischen) Kontrolle durch den Verantwortlichen gemäß Bescheid zu unterziehen, Materialien mit Verdacht auf Kontamination sind darüber hinaus analytisch zu untersuchen. Fremdstoffe sind vor der Behandlung auszusortieren, bei Verwendung von Windsichtern sind Leichtstoffe nur bei entsprechender Stückgröße zu entfernen.

4.4.1.5.4. Stationäre Anlage Praxisbeispiel: Recycling von mineralischen Baurestmassen und Baustellenabfällen durch die Fa. Prajo

In der firmeneigenen Recyclinganlage verarbeitet die Fa. Prajo mineralische Baurestmassen.



Abbildung 68: Recyclinganlage Firma Prajo



Abbildung 69: mineralischer Bauschutt



Abbildung 70: reinster mineralischer Bauschutt in bester Qualität

Zuallererst werden jene Stoffe aussortiert, die als Altbaustoffe direkte Weiterverwendung finden können. Diese sind: antike Ziegel (mit Wappen aus der Doppelmonarchie), Altziegel, Treppengeländer, Türen, Fenster, Granitrandsteine, Bauelemente wie Steintröge, Ziersteine, Treppenstufen, Bodenplatten, Natursteinplatten; Holzbalken, Granitpflastersteine, mit dem Rest der mineralischen Baurestmasse wird wie folgt verfahren:

Absiebung von Putzen und Mörtel, diese gehen auf die Deponie



Abbildung 71: abgesiebter Putz und Mörtel

Trennung von Verunreinigungen (z.B. Holzteile) im Schwimm- Sink- Verfahren: leichte Teile schwimmen auf



Abbildung 72: organische Reste, die in einer Neuentwicklung der Fa. Prajo in einem speziellen Verfahren zu Kompost weiterverarbeitet werden können.



So vorbereitet werden die mineralischen Teile auf einem Förderband händisch sortiert. Je nach Fraktion und zukünftigem Verwendungszweck sind mehr oder weniger Leute gleichzeitig an der händischen Sortierung beteiligt.

Wenn ein sortenreiner Ziegelsplitt hergestellt werden soll, z.B. muss mehr aussortiert werden, als wenn ein bestimmter Betonanteil bei den Ziegeln verbleiben.

Wenn Ziegelsplitt hergestellt wird, werden in der Sortierung z.B. 4 Leute benötigt, von denen je einer Stein und Betonabfälle, Holzabfälle, metallische Abfälle und Kunststoffabfälle aussortiert.

Abbildung 73: Förderband, das den vorbereiteten Bauschutt zur händischen Sortierung transportiert



Abbildung 74: Abfälle aus der händischen Sortierung: links Metalle, rechts organische Abfälle



Das so vorbehandelte, gereinigte und aussortierte Ziegelmaterial kann dann in einem Brecher zu Ziegelsplitt unterschiedlicher Korngröße gebrochen werden.

Abbildung 75: Förderband von der händischen Sortierung zur Brecheranlage.

4.4.1.5.5. Verwendung der Recyclingbaustoffe, die bei Prajo gewonnen werden:

Die Verwendung des reinen Ziegelsplitts liegt größtenteils bei Tennissand und Dachsubstrat.

Ziegelsplitt größerer Korngröße vermischt mit 5-max.15% Betonabbruch wird von der Fa. Lafarge für die Zementherstellung verwendet. Diese Zusammenarbeit stellen ein Spezifikum dar, das sich daraus ergibt, dass Lafarge in räumlicher Nähe Leithakalk zur Zementherstellung abbricht und dieser einen Eisenmangel besitzt, der durch die Beigabe von Ziegel/Betongranulat in der Erzeugung des Zementes ausgeglichen wird.

Eine weitere versuchte Kooperation mit der Fa. MABA zur Anlieferung von Ziegelsplittmaterial für die Herstellung eines Betonsteines mit Recyclingsplittzuschlag ist vorerst gescheitert, da hinsichtlich des eventuellen farblichen „Durchschlagens“ von Recyclingziegelsplitt in den fertig gespachtelten und gestrichenen zukünftigen Wandbauteilen keine Einigung bezüglich der Haftung erzielt werden konnte.



Abbildung 76: Recyclingziegelsplitt hoher Qualität mit definierter Korngröße



Abbildung 77: Recyclingziegelsplitt mit unterschiedlichen Korngrößen



Abbildung 78: Ziegel/ Betongemisch für die Zementherstellung

Abbildung 79: Tennissand

4.4.2. Metalle

„Metalle können theoretisch unendlich oft recycelt werden. Wichtige Voraussetzung für die Gewinnung eines wertvollen Rohstoffs aus Metallschrott ist die sortenreine Trennung. Im Bauwesen gibt es dafür zwei Motivationen:

- der hohe Handelswert: Metalle wie Kupfer, Aluminium oder Zink haben im neuen Jahrhundert eine enorme Preissteigerung erlebt. Dies betrifft nicht nur Primärmetalle, sondern auch Recyclingmetalle. Recyclingmetalle haben von jeher einen Handelswert besessen, mittlerweile liegt er bei Metallen wie Kupfer oder Aluminium in der Größenordnung des Handelswertes von Primärmetallen.
- die gesetzlichen Rahmenbedingungen: Die Deponieverordnung schreibt vor, dass Metalle in mineralischen Baurestmassen, die deponiert werden, zu max. 10 Volumsprozent enthalten sein dürfen. Gemäß Baurestmassentrennverordnung ist eine getrennte Sammlung von Metallen ab einer Menge von 2 Tonnen verpflichtend.

Die Altmetalle werden entweder vor Ort getrennt gesammelt oder in Sortieranlagen aus den Baumixmulden gezogen. In Shredderanlagen können Eisen- und Nichteisen-Metalle über Magnetabscheider getrennt werden. Die Nichteisenmetalle können in spezialisierten Metalltrennanlagen (z.B. in Österreich Fa. Metran) weiter getrennt werden. Unterschiedliche Materialdichten, Leitfähigkeiten und Farben werden dort genutzt, um Buntmetalle wie Aluminium, Kupfer oder Zink sortenrein für die Metallhütten zu trennen (BMBWK, 2002).“

Beim Recycling werden Metalle eingeschmolzen. Dies ist aus werkstofflicher Sicht beliebig oft durchführbar. Da das Wiedereinschmelzen erheblich weniger Energie benötigt als das Herstellen aus Erzen kann durch das Recycling sehr viel Energie gespart werden. Die Energieersparnis kann, abhängig vom Metall, von 38 % (bei Blei) bis zu 95 % (bei Aluminium) betragen.

4.4.2.1. Recycling von Aluminium

„Wegen des hohen Energiebedarfs für die Erzeugung von Primäraluminium wurde bereits Anfang der 80-er Jahre die Notwendigkeit, Aluminium zu sammeln und zu Recyclingaluminium zu verwerten, erkannt. Heute liegt der Preis von Recyclingaluminium in derselben Größenordnung wie jener von Primäraluminium, die Wertminderung beträgt im Schnitt ca. 10 %. Das Recyclingverfahren für Aluminiumschrott besteht aus den Schritten Erfassen (Sammeln), Aufbereiten und Verhütten (Schmelzen). Die Aufbereitung umfasst Arbeitsschritte wie Sortieren, Schneiden, Paketieren oder Shreddern.

Beim Verhütten von Aluminiumschrott können zwei Anlagentypen unterschieden werden: Schmelzhütten („Refiners“) und Umschmelzwerke („Remelters“). ... Das Recyclingverfahren kann beliebig oft und ohne Qualitätseinbuße durchlaufen werden. Die hochlegierten Schrotte aus den Refiners sind nach dem Einschmelzen aber nur mehr für Gusslegierungen, also nicht mehr für die zur Erzeugung von Bauprodukten erforderlichen Knetlegierungen einsetzbar.“

4.4.2.2. Aufbereitung von Kabelschrott

Quelle: Demontage und Recycling von Gebäuden, Rentz, Schultmann, Ruch, Sindt, 1997

Kabelschrotte bestehen zu ca. 45 % aus Metallen (meist Kupfer) und ca. 55 % aus Kunststoffen. Früher wurden die Kunststoffanteile einfach abgeschwemmt, oft sogar unkontrolliert. Dies führte aber zu erheblichen Emissionen aufgrund der PVC- Anteile. Durch die Entwicklung neuer Verfahren zur Trennung der Isoliermaterialien und des Kupfers konnte die Kupferausbeute optimiert werden.

4.4.3. Baustoffe aus biogenen Rohstoffen

Baustoffe aus biogenen Rohstoffen	Wiederverwendung	Stoffliche Verwertung
Holz	hohen Wieder- oder Weiterverwendungsrate	Span- oder Faserplatten
Anorganisch gebundene Holzwerkstoffe (Holzwolle-Leichtbauplatten, Gips- oder zementgebundene Spanplatten)		nur in geringem Ausmaß möglich. Sortenreine, saubere Abbruchmaterialien könnten wieder in die Produktion rückgeführt werden (Anteil am Neuprodukt bis zu ca. 10 %).
Dämmstoffe aus biogenen Rohstoffen	bei gutem Materialzustand Wiederverwendung möglich	keine stoffliche Verwertung

4.4.3.1. Holz

„Je nach Zustand der Platten und der Verlegungsmethode lassen sich Holzwerkstoffe rückbauen und weiterverwenden (Produktrecycling). 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.“

Aber auch die stoffliche Verwertung von Altholz in der Span- oder Faserplatten-Produktion bekommt – als Folge der zunehmenden Verbrennung von Sägenebenprodukten in Biomasseheizanlagen – immer höhere Bedeutung.“

„Hölzer, die einer stofflichen Verwertung zugeführt werden sollen, müssen bereits am Anfallsort – vor einer weiteren Behandlung (z.B. Zerkleinerung) – getrennt erfasst und gesammelt werden. Die Trennung ist auch während der Lagerung und des Transportes aufrecht zu erhalten. Gesetzlich ist eine Trennung von Holzabfällen ab einer Mengenschwelle von 5 Tonnen vorgeschrieben (Verordnung über die Trennung von Bauabfällen, BGBl. Nr. 259/1991). Werden Hölzer, die einer stofflichen Verwertung zugeführt werden sollen, nicht bereits am Anfallsort getrennt („quellensortiert“), so ist jede Charge einer analytischen Untersuchung zur Identifikation der Schadstofffreiheit zu unterziehen.“

Es dürfen nur unbehandelte oder schadstofffrei behandelte Holzabfälle stofflich verwertet werden. Diese Kategorie umfasst Althölzer mit chemischen Behandlungen / Beschichtungen, die schwermetalldfrei, halogenfrei und frei von organischen Schadstoffen sind, wie insbesondere Lacke und Lasuren ausschließlich für den Innenbereich; Naturharzharzöl; Leinöl und Leinölfirnis; Wachse ohne Lösungsmittel; Melaminharz- oder Harnstoffharzbeschichtungen (BAWP, 2006).

In der Papier- und Zellstoffindustrie ist der Einsatz von Bau- und Abbruchholz nach BAWP (2006) nicht zulässig. Eine Verwendung von chemisch behandelten Althölzern im Baubereich ist nur in jenen Einsatzbereichen zulässig, für die eine chemische Behandlung notwendig ist. Salzpräparierte Althölzer dürfen nur im selben Einsatzbereich und nur, wenn dadurch eine Substitution von andernfalls neu aufzubringenden Holzschutzmitteln erzielt werden kann, verwendet werden.“

„Die thermische Verwertung von Post-Consumer-Holzabfällen hat die höchste Bedeutung als Entsorgungsweg. Neben reinen Abfallverbrennungsanlagen, in denen ausschließlich Haushalts- und Gewerbeabfälle verbrannt werden, gibt es auch industrielle Feuerungsanlagen und kalorische Kraftwerke, in denen aufbereitete Holzabfälle mit verbrannt werden können. So werden in einigen Span- und Faserplattenwerken auch außerbetriebliche Holzabfälle verbrannt.“

„Unbehandeltes Holz kann daher in allen Feuerungsanlagen unbedenklich verbrannt werden, welche die Anforderungen für Kessel- bzw. Feuerungsanlagen einhalten (BAWP 2006).“ Derzeit wird jedoch de facto fast kein unbehandeltes Holz abgebrochen.

Laut Deponieverordnung dürfen unbehandelte organische Abfälle seit 1. Jänner 2004 nicht mehr deponiert werden. „Eine Deponierung von Holzabfällen ist daher nicht zulässig (abgesehen als Verunreinigung in mineralischen Baurestmassen in einem Ausmaß von insgesamt höchstens zehn Volumsprozent).“

4.4.3.2. Anorganisch gebundene Holzwerkstoffe

„Zu den anorganisch gebundenen Holzwerkstoffen zählen Holzwolle-Leichtbauplatten, Gipsspanplatten und zementgebundene Spanplatten. Der Holzfaserteil liegt bei diesen Spanplatten zwischen 30 und 60 M.-%. Als anorganische Bindemittel werden Gips, Zement und Magnesit verwendet. Zusätzlich können geringe Mengen an Mineralisierungsmittel, Verflüssiger, Beschleuniger oder Verzögerer zugegeben werden.

Bei der üblichen Einbausituation ist von einer Wiederverwendung der anorganisch gebundenen Holzwerkstoffe nicht auszugehen. Eine stoffliche Verwertung ist wegen des anorganisch – organischen Verbunds nur in geringem Ausmaß möglich. 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. Durch die Einbindung in das anorganische Bindemittel wird Holz einer thermischen Verwertung entzogen und kann nicht mehr thermisch genutzt werden. Werden die Produkte dennoch einer Abfallverbrennungsanlage zugeführt, landet der Großteil in der Schlacke.

Magnesit- und zementgebundene Holzwoolledämmbauplatten können gem. österreichischer Deponieverordnung trotz des hohen Anteils organischer Bestandteile auf Baurestmassendeponien beseitigt werden. Die Begründung liegt in der Mineralisierung des Holzes und der damit für die Deponierung unbedenklichen Form. Laut Aussagen des Baustoffrecyclingverbands haben aber nur wenige Deponien in Österreich um die Erlaubnis zur Ablagerung von Holzspanbeton angesucht.“

4.4.3.3. Dämmstoffe aus biogenen Rohstoffen

„Die meisten Dämmstoffe aus biogenen Materialien werden lose verlegt oder mechanisch befestigt, sind daher gut rückbaubar.“ Bei gutem Materialzustand könnten sie wiederverwendet werden könnten. Von einem stofflichen Recycling ist nicht auszugehen. Für Dämmstoffe aus biogenen Rohstoffen wird von einer 100 %-igen Entsorgung in Abfallverbrennungsanlagen ausgegangen.

4.4.4. Kunststoffe

„Kunststoffe bestehen zu einem Großteil aus organischem Kohlenstoff und dürfen daher nur in Ausnahmefällen deponiert werden. Als Optionen verbleiben dann Recycling oder Verbrennung, wobei Kunststoffabfälle grundsätzlich einen energiereichen, wertvollen Rohstoff für verschiedene Prozesse darstellen. Für die stoffliche Verwertung von Kunststoffen stehen prinzipiell drei unterschiedliche Wege zur Verfügung: die werkstoffliche Verwertung, die chemische Verwertung, die Verwertung als Zuschlagsstoff.

Die werkstoffliche Verwertung sortenreiner Kunststoffe, bei der die Polymere erhalten bleiben, ist die höchste Form der stofflichen Verwertung. Bei der chemischen Verwertung werden die Polymere der Kunststoffe in ihre Einzelbaustoffe zerlegt, aus denen wieder neue Kunststoffe erzeugt werden können. Als dritte Möglichkeit steht die Einbindung von Kunststoffgranulaten in eine neue Matrix (z.B. Polyurethanharz oder Zement) zur Verfügung. Es handelt sich dabei um ein Downcycling, da die Kunststoffgranulate nur mehr die Funktion eines Zuschlagsstoffes erfüllen.

In der Praxis scheitert die stoffliche Verwertung von PC-Kunststoffabfällen häufig an vielen Faktoren. Die technischen Recyclingmöglichkeiten finden daher heute in der Praxis kaum Anwendung.

Kunststoffe besitzen einen hohen Heizwert. So ist der Heizwert von Polyethylen und Polypropylen beinahe so hoch ist wie derjenige von Erdöl. Die Verbrennung von Kunststoffabfällen kann daher einen sinnvollen Entsorgungsweg darstellen.“

Kunststoffe	Wiederverwendung	Stoffliche Verwertung
Polyvinylchlorid (PVC)		Recycling von PVC- Fensterprofilen, Verarbeitung von Alt- PVC-Bodenbelägen zu PVC-Mahlgut als Zuschlag für neue PVC-Beläge.
Polyurethan- Schäume		Recycling nicht möglich
Polystyrol Dämmplatten, lose verlegt		Eine stoffliche Verwertung gebrauchter Dämmstoffe aus EPS zu neuen Dämmplatten ist technisch im Prinzip möglich. Derzeit werden jedoch nur Produktionsabfälle direkt zur Herstellung von EPS wiederverwertet.
Polystyrol Dämmplatten, Wärmedämmverbundsystem		Eine stoffliche Verwertung von Wärmedämmverbundsystemen mit EPS ist wegen des Verbunds aus Putz und Dämmstoff sehr aufwändig und wird i.d.R. nicht realisiert.

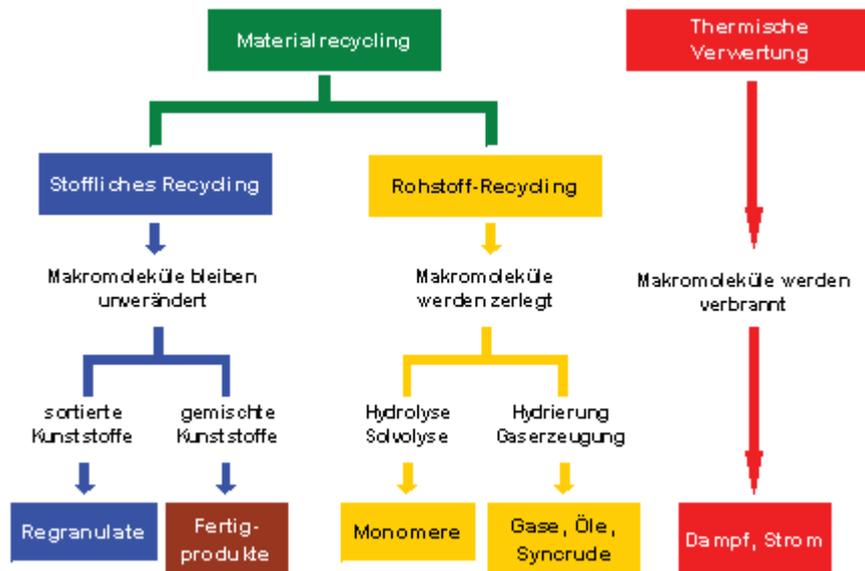


Abbildung 80: Kunststoffrecycling

Quelle: <http://www.technikatlas.de/~tb4/recycling.htm>

4.4.4.1. Polyvinylchlorid (PVC)

„Höher qualitatives Recycling für post-consumer Abfälle existiert nur für Rohre und Fenster und nur in sehr geringen Mengen.“

Für das Recycling von Fensterprofilen müssen einerseits die sortenreine Erfassung und andererseits die farbliche Reinheit gewährleistet sein. „Laut Herstellerangaben kann bis zu 70 % Rezyklatanteil bei der Herstellung von Fensterrahmen wieder eingearbeitet werden (Fensterrahmen mit Rezyklatkern).“

„PVC-Bodenbeläge müssen vollflächig verklebt werden und können daher nur aufwendig und verunreinigt gewonnen werden. Alte Bodenbeläge werden von bestimmten Herstellern zurückgenommen, und in der Aufbereitung zu PVC-Chips zerkleinert, Metalle, Estrich- und Kleberreste werden abgetrennt und anschließend feingemahlen. Das PVC-Mahlgut kann neuen PVC-Belägen wieder beigefügt werden.“

„PVC-Dichtungsbahnen können zu qualitativ minderwertigen Schutzbahnen verarbeitet werden. Voraussetzung dafür ist ein sortenreiner Rückbau, der nur bei lose verlegten PVC-Dichtungsbahnen möglich ist.“

„PVC Abfälle werden überwiegend verbrannt. Eigentlich eignet sich PVC aufgrund seines hohen Chloranteils nur bedingt für eine energetische Verwertung. Im Vergleich zu anderen Kunststoffen

hat PVC einen geringeren Erdölanteil und daher einen geringeren Brennwert. Damit kann nur etwa die Hälfte des PVCs thermisch genutzt werden, der Chloranteil bleibt ungenutzt. PVC-Abfälle, die keine Schwermetalle oder sonstige Umweltnoxen enthalten, sollten daher vorzugsweise den Recycling zugeführt werden.“

„Mit der Deponieverordnung ist eine Beseitigung auf Deponien nur mehr als Verunreinigung erlaubt.“

PVC ist zwar in der Nutzung weitgehend ungefährlich, in der unkontrollierten Verbrennung jedoch nicht, weil der hohe Chlorgehalt zu Korrosion im Verbrennungsofen führt. (Interview Scheibengraf)

Kommentar Heiz Gattringer (alchemia):

Die monomere Einheit - das Vinylchlorid - ist hochtoxisch und cancerogen. Es kann nur auf Niedriggehalte entgast werden, wobei der Rest über Jahre ausdampft. Bei einer Verbrennung, oder auch bei Hausbrand können hohe Konzentrationen an Chlorwasserstoff und Dioxinen gebildet werden. Es wird gerne mit anorganischen Schwermetallsalzen stabilisiert, ein weiteres Problem bei einer späteren Wiederverwertung. Die Recyclierbarkeit ist schwer möglich, da dem PVC ein hoher Anteil an Additiven beigefügt ist.

PVC hat zwar eine gute technische Performance für Bauzwecke, Menschenfreundlichkeit, Recyclierfähigkeit und inhärente Probleme / Gefahren bei Verbrennung machen es als Material für wegweisende Bauvorhaben ungeeignet, für Cradle to Cradle Gebäude unzulässig.

4.4.4.2. Polyurethan-Schäume

„Duroplasten können nicht wie Thermoplasten (Polyolefine, PVC) wieder eingeschmolzen (werkstofflich verwertet) werden. Bei hoher Sortenreinheit und Sauberkeit sind theoretisch verschiedene Arten von chemischem Recycling möglich. ... All diese Verfahren eignen sich allerdings nur für Produktionsabfälle, deren Zusammensetzung genau bekannt ist. In der Praxis tatsächlich angewandt wird die Verwertung als Zuschlagstoff („Purenit“). ... Polyurethan-Hartschaum-Dämmstoffe können bei zerstörungsfreiem Ausbau theoretisch wiederverwendet werden.... Schwer möglich ist die Trennung von Dämmstoff und allfälligen Kaschierungen. Bei Sandwich-Elementen muss das Blech abgezogen und eingeschmolzen werden. Polyurethan-Ortschäume sind schwer von der Konstruktion, in die sie eingespritzt oder - gegossen wurden, zu trennen. Recycling ist praktisch ausgeschlossen. Polyurethan-Montageschäume fallen gemeinsam mit dem Bauschutt an, eine Trennung ist aufgrund der kleinteiligen Einbausituation und der Verhaftung mit dem jeweiligen Untergrund nur schwer möglich.“

„Polyurethan enthält einen hohen Stickstoffanteil, der bei der Verbrennung in Abfallverbrennungsanlagen v.a. in Form von Stickoxiden freigesetzt wird, die mittels Entstickungsverfahren aus den Rauchgasen entfernt werden. ... Besonders nachteilig ist die Entsorgung von alukaschierten Polyurethan-Hartschäumen, da Aluminium als Bestandteil von Müllverbrennungsschlacken problematisch wirkt. Der Heizwert ist verglichen mit anderen Kunststoffen relativ gering.“

„Eine Deponierung von Produkten aus Polyurethan ist gemäß Deponieverordnung nur als Verunreinigung möglich.“

4.4.4.3. Polystyrol- Dämmplatten

„Lose verlegte Platten (z.B. EPS-Trittschalldämmung, XPS-Umkehrdachdämmung) können zerstörungsfrei ausgebaut und theoretisch mit gleichem Einsatzzweck wiederverwendet oder als Aussparungskörper für die Betonindustrie weiterverwendet werden. Saubere, sortenrein gesammelte Polystyrol-Dämmstoffe können zu Granulat verarbeitet werden, das zur Bodenauflockerung, als Dämmschüttung oder Zuschlagstoff zu Mörtel und Beton verarbeitet wird.“

Eine stoffliche Verwertung gebrauchter Dämmstoffe aus EPS zu neuen Dämmplatten ist technisch im Prinzip möglich. Derzeit werden jedoch nur Produktionsabfälle direkt zur Herstellung von EPS wiederverwertet.

Hauptprobleme bei der Verwertung von EPS-Dämmstoffabfällen sind:

- fehlende Sammel- und Rückführungslogistik (hohe spezifische Transportkosten aufgrund der sehr niedrigen Schüttdichte)
- aus verschmutzten EPS-Abfällen können keine hochwertigen Rezyklate hergestellt werden (Reinigungsaufwand)
- Verwendung von Flammschutzmitteln

Unverschmutzte Baustellenabfälle können zu Aussparungskörpern für die Betonindustrie und zur Bodenauflockerung für Keimlingsaufzucht verarbeitet werden.

Eine stoffliche Verwertung von Wärmedämmverbundsystemen mit EPS ist wegen des Verbunds aus Putz und Dämmstoff sehr aufwändig und wird i.d.R. nicht realisiert. Theoretisch wäre es jedoch möglich, den Putz abzufräsen und das EPS dann abzutragen.

„Polystyrol verfügt über einen ausgesprochen hohen Heizwert in der Größenordnung von Heizöl ... und kann daher einer thermischen Verwertung zugeführt werden. Eine weitere Möglichkeit der thermischen Verwertung ist die Zugabe als Porosierungsmittel zur Ziegelherstellung, wobei die Ziegelindustrie wegen der definierten Eigenschaften zunehmend auf Neupolystyrol zurückgreift. Polystyrole sollen in Abfallverbrennungs- oder Mitverbrennungsanlagen entsorgt werden, da bei ungünstigen Verbrennungsbedingungen auch Bromwasserstoff und bromierte Furane und Dioxine in geringen Mengen entstehen.

Mit der Deponieverordnung ist eine Beseitigung auf Deponien nur mehr als Verunreinigung möglich. „

4.4.5. Weitere Bau- und Innenausstattungsmaterialien

4.4.5.1. Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen

Dämmstoffe aus mineral. Rohstoffen	Wiederverwendung	Stoffliche Verwertung
Mineralwolle- Dämmstoffe	Eine Wiederverwendung neuer Mineralwolle-Dämmstoffe ist bei zerstörungsfreiem Ausbau theoretisch möglich.	Sortenreine Abfälle (Verschnitte, Produktionsreste) werden von den Herstellern zur Verwertung angenommen und dem Herstellungsprozess wieder zugeführt.
Mineralschaumplatten		dzt. kein hochwertiges Recycling. Einsatz als Granulat für Schüttungen oder als Verfüllmaterial (downcycling)
Perlite	Die Rückgewinnung von Perliten ist problemlos möglich. Das Material kann nach Reinigung und Trocknung als Schüttmaterial oder Zuschlagstoff wiederverwendet werden.	
Schaumglasplatten		In Sandbett verlegte Platten können bei gutem Zustand wieder- bzw. als Schüttmaterial weiterverwendet werden. Bei sortenreiner Trennung können die Platten wieder in die Produktion zurückgeführt werden.
Blähton	Die Rückgewinnung von geschüttetem Blähton ist problemlos möglich. Das Material kann nach Reinigung und Trocknung als Schüttmaterial oder Zuschlagstoff wiederverwendet werden.	

4.4.5.1.1. Mineralwolle- Dämmstoffe

Eine Wiederverwendung neuer Mineralwolle-Dämmstoffe ist bei zerstörungsfreiem Ausbau theoretisch möglich.

Sortenreine Abfälle (Verschnitte, Produktionsreste) werden von den Herstellern zur Verwertung angenommen und dem Herstellungsprozess wieder zugeführt.

Ein Dämmstoff-Recycling aus Baustellen- bzw. Bauabbruchabfällen wird derzeit nur für Steinwolle angeboten. Ein Hersteller bietet einen Abfallrücknahme-Service für sortenreine Steinwolleabfälle

aus Baustellenverschnitt und aus der Flachdachsanierung („Alt gegen Neu“) unabhängig von Alter oder Hersteller der ausgebauten Steinwolleprodukte an.

Die Abtrennung von Kaschierungen ist unter Berücksichtigung der Faserfreisetzung derzeit nur unter hohem Aufwand durchführbar, der in der Regel gegenüber dem erzielten Nutzen unverhältnismäßig ist. Entsprechende Verwertungsanlagen, die z. B. auf eine stoffliche Verwertung der Aluminiumfolien abzielen, sind derzeit nicht bekannt.

Eine energetische Verwertung der nicht-brennbaren Mineralwolle- Dämmstoffen ist nicht möglich. Dennoch werden Mineralfasern häufig gemeinsam mit anderen (brennbaren) Baumaterialien in der Abfallverbrennungsanlage beseitigt. Aufgrund des Faserflugs kann es dort zu Filter-Kurzschlüssen und damit zu Problemen in der Rauchgasreinigung kommen.

„Mineralwolle-Dämmstoffe dürfen laut Deponieverordnung, Anlage 2, Liste 2 auf Baurestmassendeponien abgelagert werden. Die mineralischen Bestandteile verhalten sich auf der Deponie neutral.“

4.4.5.1.1.1. Mineralwolle

Quelle: Interview G. Gretzmacher, BRV

Mineralwolle kann theoretisch auf einer Deponie gelagert werden, dazu ist aber eine Grubendeponie erforderlich, auf einer Deponie wie der der Fa. Ökotechna in Kaltenleutgeben ist dies nicht möglich, da es sich um eine Hangdeponie handelt. Die Mineralwolle wäre am Hang zu instabil.

4.4.5.1.2. Mineralschaumplatten

Quelle: ABC Disposal, IBO, Anhang2, 2009

„Mineralschaumplatten sind dampfgehärtete Dämmplatten aus Quarzsand, Kalk, Zement, Wasser und einem porenbildenden Zusatzstoff.“

„Mineralschaumplatten werden als Wärmedämmverbundsystem oder als verputzte Innendämmung eingesetzt.“

Die Platte und die Deckschicht sind sortenrein trennbar. Die Trennung des Klebers von der Wand ist wie bei anderen Wärmedämmverbundsystem schwierig, da dieser fest am Produkt anhaftet.

Die mineralischen Abfälle des Dämmsystems sind als Granulat für Schüttungen oder als Verfüllmaterial geeignet. Als Zuschlagstoff für zementgebundene Baustoff ist es laut Hersteller Auskunft nicht geeignet. Ein hochwertiges Recyclingkonzept für Mineralschaumplatten gibt es derzeit noch nicht. Eine potentielle Verwertungsmöglichkeit wird vom Hersteller als Zuschlag für Leichtmauermörtel gesehen.

Das Dämmsystem besteht zu beinahe 100 % aus mineralischen Rohstoffen und kann auf Baurestmassendeponien entsorgt werden.“

4.4.5.1.3. Perlite

„Perlite sind wasserhaltige, glasige Gesteine die durch Vulkantätigkeit mit Wasserkontakt entstehen. Für die Herstellung expandierter Perlite wird Perlit kurzzeitig auf über 1.000 °C erhitzt, wodurch schlagartig das chemisch gebundene Wasser des Gesteins entweicht und das Rohmaterial auf das 15 bis 20-fache seines Volumens expandiert wird. Sie werden je nach Anwendungszweck rein, mit Silikonen hydrophobiert oder mit Bitumen, Naturharzen o. ä. ummantelt, hergestellt.“

Expandierte Perlite finden Verwendung als Ausgleichs- oder Dämmschüttung in Wänden, Decken und Dächern. In Passivhäusern werden sie verstärkt als innenliegende Dämmung auf Bodenplatten eingesetzt.

Die Rückgewinnung von Perliten ist problemlos möglich. Das Material kann nach Reinigung und Trocknung als Schüttmaterial oder Zuschlagstoff wiederverwendet werden.

Die Deponierung erfolgt auf Baurestmassendeponie. Bei bitumierten Produkten ist ev. eine thermische Vorbehandlung der Produkte erforderlich.“

4.4.5.1.4. Schaumglasplatten

„Schaumglasplatten bestehen aus Glaspulver, das mit einem kohlenstoffhaltigen Blähmittel versehen und auf ca. 1000 °C erhitzt wird. Beim Oxidieren des Kohlenstoffs bilden sich Gasblasen, die in der abgekühlten Masse eingeschlossen werden. Nebenbestandteile der Gasfüllung sind Schwefelwasserstoffe aus dem Schwefelgehalt des Kohlenstoffes. (ZWIENER und MÖTZL 2006)

Die Hauptanwendungsgebiete von Schaumglasplatten liegen in der Außendämmung erdberührter Bauteile (Perimeterdämmung, Bodenplattendämmung), Flachdächern sowie allen druckbelasteten Anwendungen.

In Sandbett verlegte Platten können bei gutem Zustand wieder- bzw. als Schüttmaterial weiterverwendet werden. Bei sortenreiner Trennung können die Platten wieder in die Produktion zurückgeführt werden.

Meistens werden Schaumglasplatten aber in Heißbitumen verlegt, oder vollflächig mit Kaltkleber angebracht, so dass ein zerstörungsfreier Ausbau nicht möglich ist. Die Platten zerbröseln außerdem bei Punktbelastungen, was auch die sortenreine Trennung vor Ort erschwert. In Aufbereitungsanlagen kann Schaumglas im Windsichter über die niedrige Rohdichte getrennt werden. Mit Bitumen versehene Schaumglasabfälle können als Grabenfüllmaterial im Tiefbau oder z.B. für Lärmschutzwände eingesetzt werden.

Die Deponierung erfolgt auf Baurestmassendeponie. Bei hohem Bitumenanteil ist ev. eine thermische Vorbehandlung der Produkte erforderlich. Durch Zertrümmerung kann das Material auf bis zu 4,8 % des Volumens reduziert werden (WECOBIS 2009). Eine Freisetzung von Schadstoffen ist aus dem inerten Material nicht zu erwarten.“

4.4.5.1.5. Blähton

„Für die Herstellung von Blähtongranulat („Leca“) werden Tonkügelchen, gegebenenfalls unter Zugabe von Blähhilfsmitteln, im Drehrohrofen bei ca. 1250 °C gebrannt. Durch die hohen Temperaturen entwickeln sich aus den im Ton enthaltenen organischen Stoffen Gase, wodurch sich die Tonkügelchen aufblähen. Die Oberfläche der Tonkügelchen versintert beim Brennprozess.

Blähton wird als Ausgleichsschicht oder Wärmedämmschüttung sowie als Leichtzuschlag zu Mauersteinen oder Beton eingesetzt. (ZWIENER und MÖTZL, 2006)

Die Rückgewinnung von geschüttetem Blähton ist problemlos möglich. Das Material kann nach Reinigung und Trocknung als Schüttmaterial oder Zuschlagstoff wiederverwendet werden.

Die Deponierung erfolgt auf Baurestmassendeponie.

Als Zuschlagstoff eingesetzter Blähton wird gemeinsam mit dem Leichtbeton entsorgt.“

4.4.5.2. Bitumen

„Eine stoffliche Verwertung von Bitumen ist grundsätzlich möglich und wird in Form von Asphalt im Tiefbau in großem Maße praktiziert.

Bis vor kurzem galten Bitumenabfälle aus dem Hochbau als nicht recycelbar, da die Aufarbeitung der Stoffe mit hohem verfahrenstechnischen Aufwand verbunden schien. Bitumenabfälle wurden aufgrund ihres hohen Heizwertes vorrangig als Sekundärbrennstoff energetisch verwertet. Ein Recycling der Bitumenabfälle ist mit einem zweistufigen Verfahren möglich. Nach einer Vorzerkleinerung in festem Zustand wird das Granulat im heißflüssigen Zustand geschmolzen und aufgeschlossen. Zur Lagerung und für den Transport wird das heiße Recyclat in Blöcke gegossen. Produkte, die aus dem Bitumenrecyclat hergestellt werden, sind z.B. Fugenvergussmassen, Bautenschutzmatten oder Tritt- oder Körperschalldämmungen mit Recyclatanteilen bis zu 95 % (SCHEIBENGRAF, REISINGER 2006, Seite 77).

In der Regel liegen Baustoffe aus Bitumen aber fest mit dem Untergrund verbunden vor: Bitumen-Dichtungsbahnen werden meist verklebt, Bitumenanstriche und -kleber haften funktionsgemäß gut an den begrenzenden Schichten. In diesem Fall ist Recycling allenfalls gemeinsam mit dem verbundenen Baustoff zu niederwertigen Einsatzzwecken möglich, wobei Bitumen als „Verunreinigung“ angesehen werden muss. Da Bitumen als Koppelprodukt in Erdölraffinerien anfällt, ist der Rohstoff ausreichend vorhanden und es

fehlen Anreize für die werkstoffliche Verwertung.“

Abfälle aus Bitumen- und Polymerbitumenbahnen sollen der thermischen Verwertung zugeführt werden. Mit einem Bitumengehalt von durchschnittlich etwa 75 % haben Bitumen-Dichtungsbahnen einen relativ hohen Heizwert und können in geeigneten Verbrennungsanlagen mit hohem Energienutzungsgrad energetisch verwertet werden. Da jedoch Bitumen einen Schwefelgehalt aufweist, der mit demjenigen von Schweröl vergleichbar ist, darf Bitumen nur in Anlagen mit weitergehender Rauchgasreinigung verbrannt werden. Die mineralischen Bestandteile, die in der Regel etwa 25 % ausmachen, bleiben in der Schlacke zurück und müssen deponiert werden. Besondere Schadstoffe in den Rückständen sind nicht zu erwarten.

„Bitumen ... darf gemäß Liste II im Anhang 2 der Deponieverordnung (DepVO 2008) auf Baurestmassendeponien abgelagert werden.“

4.4.5.2.1. Asphalt

Quelle: Interview G. Gretzmacher, BRV

Recycelter Asphalt RA wird zumeist im Straßenbau verwertet. Höchstwertig kann RA der Erzeugung von Asphaltheißmischgut zugesetzt werden. Die Beimengung von 10 – 15% RA sollte generell möglich sein, wobei dies bei der Rezeptur zu berücksichtigen ist.

Bei Paralleltrommelanlagen sind je nach Altasphaltqualität bis zu 60% RA einsetzbar. Ein Vorteil ergibt sich nicht nur aus der Rückgewinnung des Bitumenanteils, sondern auch aus der Verwertung des im Asphalt verwendeten harten Zuschlagstoffes als Stützkorn.

Das gemischte Asphaltgranulat von ÖKOTECHNA wird zumeist für ungebundene Tragschichten im untergeordneten Straßenbau sowie für Parkplätze verwendet.

4.4.5.2.1.1. Abbruchmethoden

Asphalt kann entweder gebrochen oder gefräst werden. Das Fräsgut besitzt Güteklasse III und ist für den Einsatz in Tragschichten im Straßenbau eigentlich nicht geeignet, wird dort aber oft eingesetzt. Idealerweise sollte Fräsgut in Heißmischanlagen eingesetzt werden, dabei ist aber ein maximaler Transportweg von 30 km sinnvoll. Oder aber könnte es in Recyclinganlagen und gemeinsam mit Asphaltbruch aufbereitet werden.

4.4.5.3. Bodenbeläge

Bodenbeläge	Wiederverwendung	Stoffliche Verwertung
Linoleumbeläge	Linoleumbeläge werden mit dem Untergrund vollflächig verklebt, eine Weiterverwendung ist daher allenfalls gemeinsam mit dem Untergrund (z.B. Holzwerkstoffplatte) möglich	Geschrotetes Linoleum aus Produktionsabfällen oder Baustellenreste ohne Verunreinigung werden bei der Produktion wiederverwertet. Von einer stofflichen Verwertung von Linoleumabfällen ist nicht auszugehen.
Elastomerbeläge	keine Wiederverwendung möglich	sortenreine Rückgewinnung schwierig. Stoffliche Verwertung als Granulat für Straßenbeläge oder als Füllstoff für andere Produkte wie z.B. Polyurethan gebundene Matten oder Sportplatzbeläge möglich. (Das Downcycling ist umstritten- man ersetzt dadurch lediglich gut verfügbare Füllstoffe, deren Herstellung wohl selten aufwendiger ist als das Recyclieren von Bodenbelägen)
Polyolefinbeläge	keine Wiederverwendung möglich	Polyolefinbeläge werden vollflächig verklebt, sind daher nicht rückgewinnbar und werden weder wiederverwendet noch stofflich verwertet.

4.4.5.3.1. Linoleumbeläge

„Linoleumbeläge werden mit dem Untergrund vollflächig verklebt, eine Weiterverwendung ist daher allenfalls gemeinsam mit dem Untergrund (z.B. Holzwerkstoffplatte) möglich. Bei der Neuproduktion wird bis zu 25 % Scrap –geschrotetes Altlinoleum aus Produktionsabfällen oder Baustellenabschnitten ohne Verunreinigung– beigegeben. Von einer stofflichen Verwertung von PC-Linoleumabfällen ist nicht auszugehen.“

Die Verbrennung von Linoleumbelägen ist unproblematisch. Der Heizwert liegt wegen des hohen Füllstoffanteils vergleichsweise niedrig bei ca. 20 MJ/kg. Die mineralischen Füllstoffe bleiben in der Schlacke zurück.

Unter Deponiebedingungen dürften sich Linoleumbeläge (nur in Form von Verunreinigungen erlaubt) aufgrund der biologisch abbaubaren Inhaltsstoffe vermutlich relativ schnell abbauen. Sinnvoller ist die thermische Verwertung.“

4.4.5.3.2. Elastomerbodenbeläge

„Elastomerbodenbeläge (auch Gummibeläge oder Kautschukbeläge) werden aus Synthese und Naturkautschuk gefertigt. Der am häufigsten verwendete Kautschuk ist Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR).“

„Elastomerbeläge sind in der Regel vollflächig verklebt, sodass sie nicht wiederverwendet können und auch die sortenreine Rückgewinnung schwierig ist. Eine stoffliche Verwertung ist als Granulat für Straßenbeläge oder als Füllstoff für andere Produkte wie z.B. Polyurethan gebundene Matten oder Sportplatzbeläge möglich (WECOBIS 2009). Das Downcycling ist umstritten. Man ersetzt dadurch lediglich gut verfügbare Füllstoffe, deren Herstellung wohl selten aufwendiger ist als das Recyclieren von Bodenbelägen.

Der Heizwert von Elastomer-Bodenbelägen liegt wegen des hohen Füllstoffanteils vergleichsweise niedrig bei ca. 20 MJ/kg. Bei der Verbrennung zu berücksichtigen ist der hohe Schwefelgehalt, sodass Elastomerbeläge nur in Verbrennungsanlagen mit entsprechender Rauchgasreinigung verbrannt werden sollten. Die mineralischen Füllstoffe werden mit der Schlacke deponiert. Elastomere enthalten außerdem einen relativ hohen Anteil an Zinkstabilisatoren, die bei der Verbrennung als Rückstände in Flugasche und Schlacke anfallen.

Die Ablagerung von Elastomerbelägen auf Deponien ist nur mehr als Verunreinigen erlaubt. Ein Abbau der Bodenbeläge unter Deponiebedingungen dürfte mit großer Wahrscheinlichkeit nur langsam erfolgen (WECOBIS 2009). „

4.4.5.3.3. Polyolefinbodenbeläge

„Polyolefinbodenbeläge sind homogene elastische Bodenbeläge, die auf Legierungen aus unterschiedlichen Polyolefinen (Polyethylen, Polypropylen, Polybutylen) basieren. Zur Verbesserung der elastischen Eigenschaften wird außerdem ein innerer Weichmacher (z.B. Ethylen-Vinylacetat) zugemischt. Die Bodenbeläge enthalten darüber hinaus fast 70 % mineralische Füllstoffe (Gesteinsmehle wie Kreide oder Kaolin), Pigmente und geringe Mengen an Additiven (< 1 M.-%). Zum Schutz der Oberfläche wird eine Acryldispersion oder eine Polyurethanbeschichtung aufgebracht.

Polyolefinbeläge werden vollflächig verklebt, sind daher nicht rückgewinnbar und werden weder wiederverwendet noch stofflich verwertet. Aus ökonomischer Sicht lohnte sich das stoffliche Recycling auch nicht und eine thermische Entsorgung ist unproblematisch möglich.

Der Heizwert von Polyolefin-Bodenbelägen ist aufgrund des hohen Anteils an Füllstoffen allerdings sehr gering und liegt mit 13 MJ/kg schon nahe der Grenze für die Definition der energetischen Verwertbarkeit (11 MJ/kg). Bei der Verbrennung entstehen größere Mengen an Rückstände, die aber unproblematisch sind (vorwiegend aus den mineralischen Füllstoffen).

Die Deponierung von Polyolefinabfällen ist nur mehr als Verunreinigung oder nach Vorbehandlung erlaubt. Der Abbau von Polyolefin-Bodenbelägen dürfte erst über eine sehr große Zeitspanne erfolgen. Über das Langzeitverhalten von Polyolefinen in Deponien sind keine zuverlässigen Untersuchungen verfügbar (WECOBIS 2009).“

4.4.5.4. Glas

Quellen: <http://de.wikipedia.org>, www.agr.at

Glas gilt zwar als ideal rezyklierbares Material, wenn es sich um Glasverpackungen handelt, die im Bauwesen eingesetzten Flachgläser können allerdings nicht zu Verpackungsglas verarbeitet werden. Auch in die andere Richtung wird kein Verpackungsglas im Bauwesen recyclet (mit Ausnahme von sehr geringen Mengen als Blähglas). Für die Glaswolle- und Schaumglas-

herstellung werden Produktionsabfälle aus der Flachglasindustrie eingesetzt (siehe auch Materialflussdiagramm Glas im Subprojekt2 „bauen mit recycros“, Kapitel 5.4.4).

Rohstoffe für die Flachglasherstellung müssen höchste Qualitätsanforderungen erfüllen, Sie dürfen keine Verunreinigungen durch Fremdgläser und/oder glasfremde Stoffe aufweisen und müssen nach Farben sortiert sein. Die Flachglasscherben, welche diese Anforderungen nicht erfüllen, werden als gewerblicher Abfall abgegeben.

Für diese Abfälle ist von einer gänzlichen Verwertung der anfallenden Abfälle (z.B. für die Herstellung von Glasfasern, die vor allem zur Wärmedämmung eingesetzt werden) auszugehen. Für die restlichen Flachglasabfälle ist derzeit von einer Deponierung oder von einem Downcycling auszugehen.

In Österreich (Austria Glas Recycling GmbH) wird seit Mitte der 1970er Jahre systematisch aus privaten Haushalten sowie Gewerbe- und Industriebetrieben Altglas (gebrauchte Glasverpackungen) gesammelt. Über 80 % der Glasverpackungen, die in Österreich auf den Markt kommen, werden gesammelt und wiederverwertet.

Prozess der Aufbereitung von Altglas für die Produktion von neuen Glasverpackungen:

- Das mit Fremdstoffen versehene Altglas kommt, getrennt nach Bunt- und Weißglas, per Förderband zur Sortierung.
- Abtrennung von Eisenteilen mit Magnetscheider
- Erfassung größerer Fremdstoffe per Hand
- Zerkleinerung auf 15 mm im Brecher
- Sieben auf einer Lochsiebrinne, feinkörniges Altglas fällt dabei durch das Sieb und wandert dann direkt zum zweiten Magnetabscheider weiter. Fremdstoffe, die leichter als Glas sind, werden vor der Lochsiebrinne abgesaugt.
- Erfassung lichtundurchlässiger Materialien (z. B. Keramik) mittels optischer Verfahren
- Nachsortierung per Hand
- Erfassung restlicher eisenhaltiger Stoffe mittels Magnetscheider
- abschließende Kontrolle
- Einschmelzung – Neugießung

Das Einschmelzen von sortenreinem Altglas ist in jedem Fall sinnvoll, da der Altstoff zu 100 % in das Produkt geht. Zum Erschmelzen von Glas aus Rohstoffen würde bis zu 25 % mehr Energie benötigt.

4.5. Potenzielle Schwachstellen im Recyclingprozess

4.5.1. Umweltbelastungen durch Recycling

4.5.1.1. Energiebedarf

Der Energiebedarf des Abbruchs ist im Vergleich zur Errichtung des Gebäudes vernachlässigbar. Dies wurde bereits in vielen Ökobilanzstudien nachgewiesen (siehe z.B. auch die Ökobilanz-ergebnisse aus ABC-DISPOSAL, 2009).

Für die Aufbereitung von Abfallstoffen zu neuen Produkten ist Energiebedarf erforderlich. Dieser muss in Bezug gesetzt werden zum Energiebedarf für die Erzeugung der ersetzten Produkte aus Primärrohstoffen. In vielen Fällen zeigt sich hier eine Stärke des Recyclings: die Aufbereitung erfordert weniger Energie als die Herstellung aus Primärrohstoffen. Dies gilt für die Verwendung von Altglas in der Glaswolle- oder Schaumglas-Erzeugung ebenso wie für die Aufbereitung von Altschrotten.

Negativ kann der Vergleich des Energieaufwands ausfallen, wenn entweder weite Transporte zum Aufbereitungsort erforderlich sind (siehe auch Kapitel Transporte) oder wenn ein Primärrohstoff mit geringem Primärenergieinhalt wie z.B. Kies ersetzt wird. Der Energiebedarf für die Kiesgewinnung ist gering, die teilweise massiven Eingriffe in die Natur dürfen aber auch nicht übersehen werden. Aus gesamtökologischer Sicht wäre somit auch ein allfälliger höherer Energieaufwand für die Baurestmassenaufbereitung rechtfertigbar. In der Regel können Baurestmassen aber ohnehin lokal und energieeffizient verwertet werden.

4.5.1.2. Transporte

Transporte nach dem Gebrauch haben entweder das Ziel „Entsorgung“ oder das Ziel „Recycling“. Baustoffdeponien sind zwar heute noch flächendeckend in geringer Entfernung vorhanden, in Zukunft ist aber mit einer Verknappung von Ablagerungsmöglichkeiten und von einem umfangreicheren Baustoffrecycling auszugehen. Um die Transportaufwendungen dennoch in Schranken zu halten, sind mehrere Maßnahmen umzusetzen, z.B.

- Aufbau eines flächendeckenden Netzes dezentraler Recyclinganlagen
- Verwendung von Materialien, die regional verwertet werden können, z.B. Materialien, die ohne Aufbereitung und spezifische Kenntnisse wiederverwendet werden können wie z.B. Holz, Kies oder Dachdeckungen oder Materialien, die mit relativ geringen Aufwand aufbereitet werden können und für die ein hoher regionaler Bedarf besteht, wie z.B. Beton.
- Verringerung der Anzahl eingesetzter Materialien – dadurch fallen die Materialien konzentriert in höherer Menge an und eine Rückführung in den Produktionsprozess rentabler.
- Verringerung des Transportvolumens – beim Transport von Dämmstoffen und Dämmstoffabfällen wird sehr viel Luft transportiert, durch Komprimieren des Transportguts könnten die Fuhrten deutlich reduziert werden.
- Grundsätzlich kann jedoch gesagt werden, dass für Recyclinganlagen längere Transportwege in Kauf genommen werden können, wenn dadurch bessere Effizienzen in Großanlagen erzielt werden können. Die Ökobilanz wird trotz längeren Transportwegen immer noch deutlich besser ausfallen als bei Deponierung oder energetischer Verwertung (M. Heyde, 2010)

Zusätzlich zur Transportweglänge spielt auch die Transportart eine Rolle. Importe aus Übersee werden pro tkm energetisch besser bewertet als Festlandtransporte. Also muss neben der Entfernung auch das Transportmittel betrachtet werden.

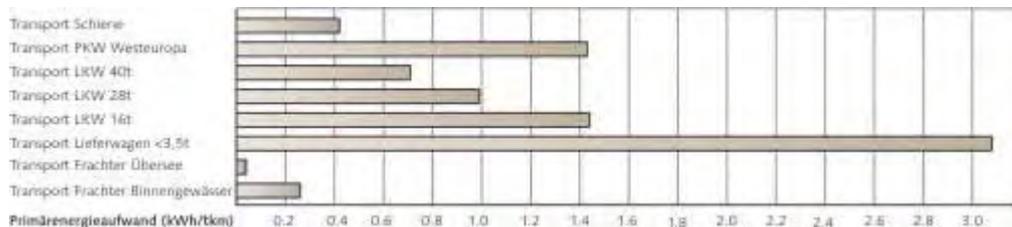


Abbildung 81: Energieverbrauch verschiedener Transportmittel (<http://ecologic-architecture.org>)

Abfälle eignen sich als transportzeitunkritische Güter z.B. gut für den Binnenschifftransport. Der Transport von Aushub und Erdmaterial, Metallschrott, Glas, Kunststoff, Papier etc. auf Binnenschiffen könnte die Straßeninfrastruktur signifikant entlasten, Luftverschmutzung und Lärm reduzieren und zugleich die Sicherheit der Transporte. In Frankreich, Deutschland, den Niederlanden und England wird die Binnenschifffahrt bereits für den Abfalltransport genutzt. Beispielsweise erfolgt der Transport von Hausmüll der französischen Stadt Lille in die 60 km entfernte Verwertungseinrichtung Blaringhem auf dem Wasser. Jährlich werden so etwa 120.000 t Abfall transportiert. Das entspricht einer Entlastung der Straßenverbindung um mindestens 10.000 LKW-Fahrten pro Jahr. Die Beispiele aus dem Ausland zeigen, dass die wesentliche Motivation der Projekte meist die Reduktion des LKW-Verkehrs im Ballungsraum ist und für Binnenschifftransporte äußerst kurze Distanzen wirtschaftlich dargestellt werden. In Österreich hätte die Donauschifffahrt Potenzial und ausreichend Kapazität. (Handbuch der Donauschifffahrt 2005)

4.5.1.3. Umweltbelastungen

Zwar gibt es auch bei Baumaterialien Aufbereitungsprozesse, welche Umweltbelastungen verursachen, diese sind aber in der Regel deutlich geringer als beim Abbau von Rohstoffen. So entstehen beim Recycling von Aluminium im Refiner ca. 500 Kilogramm Salzschlacke pro Tonne zurückgewonnenem Sekundäraluminium. Die Menge und Toxizität der Salzschlacke ist nicht zu

vernachlässigen, aber gering verglichen mit den ca. 1,5 Tonnen Rotschlamm, die pro Tonne Aluminium anfallen.

4.5.2. Human- und ökotoxische Substanzen

4.5.2.1. Staub

Die Wirkungsweise von Staub ist abhängig

- von der Art des Staubes
- von der Dauer und Höhe der Staubbelastung
- vom Ort der Ablagerung in den Atemwegen
- von der Teilchengröße

Besonders gefährlich ist die Aufnahme hoher Staubmengen über einen kurzen Zeitraum.

In der Bauwirtschaft tritt bei sehr vielen Tätigkeiten Staub auf. In der Regel handelt es sich dabei um mineralischen Mischstaub, z.B. aus Sand, Kalk, Gips, Zement oder Beton. Dieser Mischstaub enthält erfahrungsgemäß auch Quarzfeinstaub. Der Quarzanteil im Feinstaub kann sehr unterschiedlich sein und ist u.a. vom zu bearbeitenden Material abhängig. Jeder Staub kann bei hohen Belastungen zu Erkrankungen der Atemwege führen. Darüber hinaus kann Quarzstaub zur Silikose führen und damit auch Lungenkrebs verursachen.

(<http://www.staub-info.de/d/pages/staubkampf/index.html>).

Bei Reparaturmaßnahmen oder beim Abbruch von Gebäuden werden besonders hohe Staubmengen freigesetzt. Beim verwertungsorientierten Rückbau wird der Staubanfall in der Regel geringer sein, aber auch dort wird er sich nicht vermeiden lassen. Es sind somit Staubschutzmaßnahmen erforderlich.

Von der GISBAU wurden Ergebnisse eines Forschungsprojektes publiziert, bei dem die Wirksamkeit von rund 100 am Markt verfügbaren staubarmen Bearbeitungssystemen untersucht wurde (http://www.gisbau.de/service/sonstiges/staub/staub_bea.htm). Eine weitere Abhilfe gegen Staubbelastung kann eine technische Absaugung unterhalb der Grenzwerte darstellen.

Können die Grenzwerte nicht eingehalten werden, ist geeignete persönliche Schutzausrüstung zu tragen: Atemschutz, gegebenenfalls auch geschlossene Arbeitskleidung, Schutzbrille und eine Kopfbedeckung (z.B. bei Überkopfarbeiten).

4.5.2.2. Toxische Stäube

Staub stellt grundsätzlich ein hohes Belastungspotenzial für Atemwege und Lunge dar. Enthält er außerdem noch toxische Verunreinigungen wie z.B. Schwermetalle, so erhöht sich das human-toxische Potenzial.

Häufig in Beschichtungen vorkommende Schwermetalle wie Blei, Cobalt, Nickel und Chrom (CrO_3) sind als krebserzeugend oder krebserregend eingestuft. Sie können z.B. beim Abschleifen von Holzbeschichtungen im Staub freigesetzt werden. Von Öko-Test werden aber z.B. Cobalttrockner in Beschichtungen dennoch nicht abgewertet, weil auch Holzstäube als Arbeitsstoffe mit begründetem Verdacht auf krebserzeugendes Potential gelten. Hartholzstäube gelten sogar als eindeutig krebserzeugend (Kategorie 1 in Deutschland, Kategorie C in Österreich, krebserzeugende Arbeitsstoffe).

Außer durch Schleifen können Beschichtungen vom Holz mittels Abbeizmittel, Heißluftpistolen oder mechanisch mit einer Lackfräse entfernt werden. Abbeizmittel mit Dichlormethan, welche in der Vergangenheit immer wieder zu schweren, zum Teil tödlichen Unfällen geführt haben, sind nur mehr in absoluten Ausnahmefällen erlaubt. Heute gibt es zwei Arten von Abbeizern: alkalische und lösemittelhaltige. Die alkalischen Produkte arbeiten auf der Basis von Laugen und eignen sich für Alkydharzlacke (Kunstharzlacke) und für Öllacke (ältere Anstriche), für moderne Lacke sind sie nicht geeignet. Lösemittelhaltige Abbeizer sind in der Regel universell für alle Lacktypen einsetzbar, haben aber den Nachteil, dass sie gesundheitsgefährdende Substanzen abgeben. Bei der

Arbeit mit Heißluft können durch Erhitzen alter Anstriche bedenkliche Stoffe entstehen, z.B. Schwermetalldämpfe aus Farbpigmenten oder Holzschutzmittel. Unbedenklich ist nur die Arbeit mit der Abziehklinge, wenn der Lack ohne Vorbehandlung einfach abgeschabt wird. (Öko-Text 7/2007: Farbentfernung: Ohne Gift gehts kaum).

4.5.2.3. Fasern

Ein besonders hohes gesundheitsgefährdendes Potenzial haben lungengängige Fasern, das sind Stäube mit einer Länge größer 5 µm, einem Durchmesser kleiner 3 µm und einem Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis, das größer als 3 zu 1 ist und damit als lungengängig angesehen werden (WHO-Fasern). Für lungengängige Faser sind die Dosis, die Dimension, die Beständigkeit in der Lunge und in manchen Fällen die Oberflächenreaktivität der Fasern kritische Parameter in Bezug auf negative Gesundheitswirkungen. Insbesondere kann es beim Abriss, d. h. dem nicht zerstörungsfreien Ausbau von Mineralwolle-Dämmstoffen zu einer erheblichen Faserstaubbelastung kommen. Selbst beim verwertungsorientierten Rückbau können hohe Faserkonzentrationen auftreten, wenn die Mineralwolle-Dämmstoffe Alterserscheinungen zeigen und sich Teile des Bindemittels gelöst haben. Aber auch bei anderen faserförmigen Dämmstoffen wie z.B. Zellulosefaserdämmungen ist mit einer hohen Faserkonzentration zu rechnen. Der entsprechende Arbeitsschutz ist erforderlich.

Bei „alten“ Mineralwolle-Dämmstoffen, welche noch nicht den Kriterien zur Freizeichnung der krebserzeugenden Wirkungen genügen, deren Faserstäube also als krebserzeugend zu bewerten sind, werden Maßnahmen erforderlich, die über den Mindestschutz hinausgehen. In der Handlungsanleitung „Umgang mit Mineralwolle-Dämmstoffen (Glaswolle, Steinwolle)“ der BG BAU werden drei Expositionskategorien für Tätigkeiten mit alter Mineralwolle festgelegt und entsprechende Maßnahmenkataloge festgelegt:

- Expositionskategorie E1 – beinhaltet Tätigkeiten, die unter Berücksichtigung der beschriebenen Schutzmaßnahmen erfahrungsgemäß nur zu keiner oder nur sehr geringen Faserstaub-Exposition führen.
- Expositionskategorie E2 – beinhaltet Tätigkeiten, bei denen unter Berücksichtigung der beschriebenen Schutzmaßnahmen und Art der Tätigkeit eine geringe bis mittlere Faserstaub-Exposition zu erwarten ist.
- Expositionskategorie E3 – Für alle Tätigkeiten, die nicht in den Tabellen 1a und 1b im Anhang I aufgeführt sind oder für Tätigkeiten, bei denen die Einschränkungen für die Expositionskategorie E2 nicht eingehalten sind, gilt immer die Expositionskategorie E3.

Maßnahmenkatalog bei Expositionskategorie 1

Bei allen Tätigkeiten der Expositionskategorie 1 sind die aufgeführten Maßnahmen erforderlich:

- Tätigkeiten mit alter Mineralwolle in das Gefahrstoffverzeichnis des ausführenden Betriebes aufnehmen (d.h. einmalig, unternehmensbezogen und baustellenunabhängig).
- Staubarme Bearbeitung und staubarme Reinigung; d.h.:
 - Material nicht reißen, sondern möglichst sorgfältig z.B. mit Messer oder Schere heraustrennen.
 - Keine schnell laufenden, motorgetriebenen Sägen ohne Absaugung beim Ausbau verwenden.
 - Ausgebautes Material nicht werfen.
 - Für gute Durchlüftung am Arbeitsplatz sorgen.
 - Das Aufwirbeln von Staub vermeiden.
 - Arbeitsplatz sauber halten und regelmäßig reinigen.
 - Anfallende Stäube und Staubablagerung nicht mit Druckluft abblasen oder trocken kehren, sondern mit Industriestaubsauger (mindestens Kategorie M) aufnehmen bzw. feucht reinigen.
- Abfälle am Entstehungsort möglichst staubdicht verpacken und kennzeichnen. Für den Transport geschlossene Behältnisse (z.B. Tonnen, reißfeste Säcke, Big-Bags) verwenden.
- Locker sitzende, geschlossene Arbeitskleidung und z.B. Schutzhandschuhe aus Leder oder nitrilbeschichtete Baumwollhandschuhe tragen.
- Nach Beendigung der Arbeit Baustaub auf der Haut mit Wasser abspülen.

- Bei empfindlicher Haut sollten nach der Arbeit Hautpflegemittel verwendet werden.
- Erstellung einer Betriebsanweisung.
- Unterweisung der Beschäftigten.

Maßnahmenkatalog bei Expositionskategorie E2

Alle Maßnahmen der Expositionskategorie E1, zusätzlich:

- Faserstäube direkt an der Austritts- oder Entstehungsstelle erfassen, soweit dies möglich ist.
- Für Reinigungsarbeiten müssen Industriestaubsauger (mindestens der Staubklasse M) verwendet werden.
- Lüftungstechnische Anlagen regelmäßig warten und instandhalten.
- Begrenzung der Anzahl der Beschäftigten durch organisatorische Schutzmaßnahmen.
- Es wird empfohlen, auf Wunsch der Beschäftigten persönliche Schutzausrüstung zur Verfügung zu stellen.
 - Atemschutz: Halb-/Viertelmaske mit P2-Filter oder partikelfiltrierende Halbmaske FFP2 oder Filtergerät mit Gebläse TM 1P
 - Schutzhandschuhe z.B. aus Leder oder nitrilbeschichtete Baumwollhandschuhe.
 - Schutzbrille insbesondere bei Überkopfarbeiten.
 - Atmungsaktiver Schutzanzug Typ 5.
- Arbeitsbereiche abgrenzen und kennzeichnen.
- Folienabdeckung bei mangelnder Reinigungsmöglichkeit.
- Staubdichte Verpackung.
- Rauch-/Schnupfverbot am Arbeitsplatz.
- Waschmöglichkeit vorsehen.
- Angebot der arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchung.

Maßnahmenkatalog bei Expositionskategorie E3

Alle Maßnahmen der Expositionskategorie E1 und E2, zusätzlich:

- Beschäftigungsbeschränkung für Jugendliche.
- Persönliche Schutzausrüstung muss getragen werden.
- Arbeitsmedizinische Vorsorge (G 26-Atemschutzgeräte).
- Reinigung oder Entsorgung der Schutzkleidung.
- Getrennte Umkleieräume für Straßen- und Arbeitskleidung, Waschraum mit Duschen (Schwarz-Weiß-Anlage).

Tabelle 1a	
Tätigkeiten – Bereich Hochbau	Expositionskategorie
1. Arbeiten an Außenwänden, an geneigten Dächern oder an Flachdächern	
1.1 Entfernen von Bekleidungen, von Vormauerungen, von Dacheindeckungen oder von Flachdachabdichtungen mit Freilegen des Dämmstoffes	
1.1.1 – ohne Demontage des Dämmstoffes	E1
1.1.2 mit Demontage/Montage des Dämmstoffes (bei Arbeiten an Außenwänden ohne Arbeitsplatzeinhausung mit luftundurchlässigen Folien/Planen, z.B. durch Gerüstverkleidungen mit Plastikfolien)	E2
1.1.3 – mit Demontage/Montage von weniger als 20 m ² des Dämmstoffes, z.E. für Inspektionsarbeiten oder zum Einbau von Fenstern, Türen, Dachöffnungen (z.B. Lichtkuppeln), Dunstrohren, Antennenmasten o. dergl.	E1
2. Arbeiten an Wärmedämmverbundsystemen oder vergleichbaren Systemen mit freilegen des Dämmstoffes	
2.1 – mit Demontage/Montage des Dämmstoffes (ohne Arbeitsplatzeinhausung mit luftundurchlässigen Folien, z.B. durch Gerüstverkleidungen mit Plastikfolien)	E2
2.2 – mit Demontage/Montage von weniger als 20 m ² des Dämmstoffes	E1
3 Arbeiten an Innenwänden (Trennwänden, Vorsatzschalen)	
3.1 – ohne Demontage des Dämmstoffes	E1
3.2 – mit Demontage/Montage des Dämmstoffes	E2
3.3 – mit Demontage/Montage von weniger als 3 m ² des Dämmstoffes, z.B. zum Einbau von Schaltern, Türen, Steckdosen, Leuchten und dergl.	E1
4 Arbeiten an Deckenbekleidungen und Unterdecken	
4.1 Öffnen einzelner Deckenabschnitte für Instandhaltungs- und Inspektionsarbeiten	
4.1.1 – Demontage/Montage von Kassetten mit eingelegten Dämmplatten	E1
4.1.2 – Demontage/Montage von aufgelegten oder an der Deckenunterseite befestigten kaschierten oder in Folie eingeschweißten Dämmplatten	E1
4.1.3 – mit Demontage/Montage von auf- bzw. eingelegten ungeschützten Dämmplatten oder -matten	E2
4.1.4 – Demontage/Montage von auf- bzw. eingelegten ungeschützten Dämmplatten von weniger als 3 m ²	E1
4.2 Arbeiten im Zwischendeckenbereich, z.B. Verlegen von Kabeln, Leitungen und Rohren	
4.2.1 – bei Decken mit aufgelegten geschützten Dämmstoffen (Kaschierung/Abdeckung)	F1
4.2.2 – bei Decken mit aufgelegten ungeschützten Dämmstoffen und Arbeiten im Zwischendeckenbereich	E2
5 Arbeiten an schwimmend verlegten Estrichen	
5.1 – ohne Demontage des Dämmstoffes	E1
5.2 – mit Demontage/Montage des Dämmstoffes	E2
5.3 – mit Demontage/Montage von weniger als 3 m ² des Dämmstoffes	E1

Abbildung 82: Tätigkeitsliste mit Zuordnung zu Expositionskategorien – Hochbau
(http://www.gisbau.de/service/brosch/Handlungsanleitung_Mineralwolle.pdf)

Tabelle 1b

Tätigkeiten – Bereich Technische Isolierung		Expositionskategorie
1.	Demontage/Montage von Ummantelungen oder Formteilen, z.B. von Blechummantelungen ohne Ausbau des Dämmstoffes	
1.1	– bei nicht thermisch belasteten Anlagen oder Anlagenteilen	E1
1.2	– bei thermisch belasteten Anlagen oder Anlagenteilen	E2
2.	Demontage/Montage von dämmenden Formstücken, abnehmbaren Dämmungen oder Dämmungen mit Ummantelungen, z.B. – von Kappen oder Hauben – von Deckeln oder Revisionschächten – von Formstücken aus beschichteten Glasfasergewebe z.B. an Ventilen, Schiebern, Kompensatoren und sonstigen Armaturen	
2.1	– bei nicht thermisch belasteten Anlagen oder Anlagenteilen	E1
2.2	– bei thermisch belasteten Anlagen oder Anlagenteilen	E2
3	Demontage/Montage von Schallelementen (Schallkapseln, Kulissen, Einhausungen) mit Einlagen aus Mineralwollgedämmstoffen und einer Innenabdeckung aus Glasfaservlies, Lochblech o.ä.	E1
4	Demontage/Montage von Dämmstoffen an z.B. Rohrleitungen, Lüftungskanälen, Behältern	
4.1	bei thermisch belasteten Anlagen oder Anlagenteilen	
4.1.1	– in gut belüfteten Räumen oder im Freien und Demontage/Montage von weniger als 20 m ² des Dämmstoffes	E2
4.1.2	– in gut belüfteten Räumen oder im Freien und Demontage/Montage von weniger als 1 m ² des Dämmstoffes	E1
4.1.3	– in engen u. schlecht belüfteten Räumen und Demontage/Montage von weniger als 1 m ² des Dämmstoffes	E2
4.2	bei nicht thermisch belasteten Anlagen oder Anlagenteilen	
4.2.1	– in gut belüfteten Räumen oder im Freien	E2
4.2.2	– im Freien und Demontage/Montage von weniger als 20 m ² des Dämmstoffes	E1
4.2.3	– in gut belüfteten Räumen und Demontage/Montage von weniger als 3 m ² des Dämmstoffes	E1
4.2.4	– in engen u. schlecht belüfteten Räumen und Demontage/Montage von weniger als 3 m ² des Dämmstoffes	E2
4.2.5	– in engen u. schlecht belüfteten Räumen und Demontage/Montage von weniger als 1 m ² des Dämmstoffes	E1

Abbildung 83: Tätigkeitsliste mit Zuordnung zu Expositionskategorien – Technische Isolierung
(http://www.gisbau.de/service/brosch/Handlungsanleitung_Mineralwolle.pdf)

4.5.2.4. Altlasten

Auf weitere Altlasten wie Asbest, PAK und PCB, welche sich in Bestandgebäuden befinden können, wurde bereits im Kapitel 4.2.3.3 Schadstofferkundung eingegangen. Mit Hilfe der Schadstofferkundung sollten solche Materialien eindeutig identifiziert und von den restlichen Abfällen getrennt werden. Beim Neubau spielen diese Stoffe keine Rolle mehr.

4.5.3. Sortenreinheit

4.5.3.1. Vorsortierung

Die Voraussetzung für die Verwertung von Bauschutt als Recycling- Baustoff ist eine gute Vorsortierung bereits auf der Baustelle. Jede Vermischung mit anderen Fraktionen erschwert das Recycling, bedingt Downcycling oder verhindert jegliches Recycling.

Durch eine sortenreine Erfassung von mineralischem Bauschutt kann eine nachgeschaltete manuelle oder automatische Sortierung eingespart werden. Eine fehlende Sortierung an Ort und Stelle kann durch eine Aufbereitungsanlage auch nicht mehr wettgemacht werden, wie eine Reihe von Untersuchungen zeigen (z.B. SCHACHERMAYER et al, 1998 oder SINDT et al, 1997): Die stoffliche Qualität des Inputs bestimmt die stoffliche Qualität der Sortierprodukte.

4.5.3.2. Materialvielfalt

Beim Abbruch von Gründerzeithäusern treten aufgrund ihres hohen Ziegelanteils und geringen Verunreinigungen kaum Probleme auf, bei Gebäuden aus der Nachkriegszeit hingegen, die vermehrt aus Beton- und Gipsbauteilen, Verbundbauweisen etc. bestehen, Verunreinigungen mit Teerpappe etc. aufweisen, ist die Trennung der beim Abbruch anfallenden Materialien weit anspruchsvoller und in Folge können geringere Mengen des beim Abbruch konventioneller Gebäude anfallenden Bauschutts dem Recycling zugeführt werden.

4.5.3.3. Behandlungen

Eine wichtige Rolle für die Recyclierbarkeit eines Materials spielen allfällige Beschichtungen, Imprägnierungen, Klebstoffe, Brandschutzmittel oder sonstige Zusatzstoffe. Entweder entstehen dadurch Materialverbunde, welche das Recycling erschweren oder verhindern (z.B. Bitumenanstriche auf Beton, Holzschutzmittelbehandlung von Holz) oder es entstehen Probleme, weil die Inhaltsstoffe nicht bekannt sind. Die Lösung für das erste Problem besteht darin, entweder Materialverbunde herzustellen, welche keinen negativen Einfluss auf das Recycling haben (z.B. schadstofffreie Beschichtungen auf Holz) oder andere konstruktive Lösungen zu wählen. Der zweite Fall kann nur durch Verzicht auf Materialien, deren Inhaltsstoffe nicht bekannt sind oder eine verpflichtende Deklaration der Inhaltsstoffe für alle Baumaterialien auf gesetzlicher Ebene gelöst werden.

4.5.3.4. Altlasten

Unter dem Aspekt des Recyclings sind Altlasten neben ihrem toxischen Potenzial aus einem weiteren Grund problematisch: Die schadstofffreien Ersatzprodukte können nicht mit Sichtkontrolle von den alten Materialien unterschieden werden. Cadmiumfreie PVC-Fenster und -Rohre können nur über chemische Analysen oder über Rückschlüsse aus dem Einbaujahr von cadmiumhaltigen PVC-Produkten unterschieden werden. Eine ähnliche Situation liegt bei Faserzementplatten der alten und neuen Generation vor.

4.6. Schlussfolgerungen zu den Demontage und Verwertungsverfahren, Recyclingpotential und Handlungsbedarf

In Österreich können die gesetzlichen Rahmenbedingungen grundsätzlich als sehr gut angesehen werden.

Alle Stoffe aus dem Bauwesen, die beim Abbruch, aber auch beim Neubau von Gebäuden (nämlich in Form von Bodenaushub und den Abfällen die durch Verschnitte oder Bruch auf der Baustelle) anfallen, müssen gesetzeskonform entsorgt werden. Dies geschieht durch Wiederverwertung (Recycling), Verbrennung oder Deponierung.

Voraussetzung für einen recyclinggerechten Rückbau und eine anschließende Verwertung ist die Klarheit über die Materialien, die in einem Gebäude verbaut sind. Das fehlende Wissen über die materielle Zusammensetzung von Gebäuden erschwert den Rückbau und die sortenreine Trennung der Baustoffe.

Objektdokumentationen, die sämtliche im Gebäude verwendeten Materialien erfassen, sind zwar immer noch nicht Standard, sollten deswegen jedoch zwingend vorgeschrieben werden. Darüber hinausgehend müssen in Ergänzung zu den Materialien genaue Herstellerdaten der verwendeten Produkte dokumentiert werden, um die Festlegung der entsprechenden Entsorgungswege zu erleichtern.

Hinsichtlich der Baurestmassen kann man für Österreich heute generell aussagen, dass mineralische Rohstoffe, Metalle und Verpackungsabfälle recycelt oder wiederaufbereitet werden, alle anderen Abfälle werden größtenteils verbrannt.

Mineralische Baurestmassen werden in der Regel nach dem Abbruch zu Recycling- Baustoffen aufbereitet und kommen vorwiegend im Tiefbau wieder zum Einsatz, ein kleiner Teil der Recyclingmaterialien wird als Zuschlagstoff für die Herstellung neuer Betone eingesetzt.

Gips schränkt die Recyclingmöglichkeiten anderer mineralischer Baurestmassen aufgrund des Sulfatgehalts ein, Gipsprodukte sollten daher getrennt von den restlichen mineralischen Abbruchmaterialien gesammelt werden. Obwohl Gips theoretisch beliebig oft ohne Qualitätsverlust recycelt und so im Kreislauf gehalten werden kann, findet in Österreich im Gegensatz zu anderen europäischen Ländern ein Recycling von Gips jedoch nicht statt.

Die getrennte Verwertung von Gipsabfällen wäre nicht nur ein wichtiger Beitrag zur Reduzierung des Deponievolumens, sondern auch ein Beitrag zur Reduzierung der Verunreinigungen der Baurestmassen.

Baurestmassen stellen ein großes Rohstoffpotenzial für die Herstellung neuer Produkte dar, sind jedoch teilweise mit Schadstoffen belastet. Um das Potenzial dieser Abfälle als Rohstoff und als Umweltbelastung richtig einschätzen zu können, sind genaue Angaben über Art, Zusammensetzung und Menge von Baurestmassen notwendig.

Energiebedarf und Umweltbelastungen durch den Recyclingprozess sind im Allgemeinen geringer als die Aufwände für die Gewinnung von Rohstoffen. Um die Transportweiten für vermehrte Recyclingaktivitäten in Schranken zu halten, sind Maßnahmen wie der Aufbau eines flächendeckenden Netzes dezentraler Recyclinganlagen umzusetzen. Zusätzlich zur Transportweglänge spielt auch das Transportmittel eine Rolle. Abfälle würden sich als transportzeitunkritische Güter z.B. gut für den Binnenschifftransport eignen. In Frankreich, Deutschland, den Niederlanden und England wird die Binnenschifffahrt bereits für den Abfalltransport genutzt.

Aus human- und ökotoxischer Sicht sind vor allem die Staub- und Faserfreisetzung beim Abbruch und Recycling kritisch. Durch Verwendung unbehandelter Materialien sollte Vorsorge geleistet werden, dass die Stäube nicht zusätzlich mit toxischen Substanzen wie Schwermetallen belastet sind. Eine wichtige Rolle für die Recycelbarkeit eines Materials spielen allfällige Beschichtungen, Imprägnierungen, Klebstoffe, Brandschutzmittel oder sonstige Zusatzstoffe. Entweder entstehen dadurch Materialverbunde, welche das Recycling erschweren oder verhindern oder es entstehen Probleme, weil die Inhaltsstoffe nicht bekannt sind. Die Lösung für das erste Problem besteht darin, entweder Materialverbunde herzustellen, welche keinen negativen Einfluss auf das Recycling haben (z.B. schadstofffreie Beschichtungen auf Holz) oder andere konstruktive Lösungen zu wählen. Der zweite Fall kann nur durch Verzicht auf Materialien, deren Inhaltsstoffe nicht bekannt sind oder eine verpflichtende Deklaration der Inhaltsstoffe für alle Baumaterialien auf gesetzlicher Ebene gelöst werden.

Die Voraussetzung für die Verwertung von Bauschutt als Recycling- Baustoff ist eine gute Vorsortierung bereits auf der Baustelle. Jede Vermischung mit anderen Fraktionen erschwert das Recycling, bedingt Downcycling oder verhindert jegliches Recycling.

Voraussetzung für gut funktionierende Stoffkreisläufe im Bauwesen mit möglichst hohem Anteil an wert- und funktionserhaltendem Recycling von Materialien ist aus C2C Sicht die Aufnahme der Kriterien der Wiedergewinnung (Rückbaubarkeit) und Recyclierung (Wiederverwendung) in den technischen Anforderungskatalog von Bauprodukten und Konstruktionsmethoden. Ist ein hochwertiger Nutzen nach der Lebensphase als verbautes Material möglich, so sind durchaus Mehrkosten in der Herstellung in Kauf zu nehmen. Neue Rahmenrichtlinien und Ressourceneffizienzstrategien finden schon jetzt ihren Weg in die Gesetzgebung, die ein Mindestmaß an Rückführbarkeit von Stoffen fordern. Damit billigere Produkte ohne inhärenter,

technisch gut möglicher und realistischer Kreislauffähigkeit gegen solche mit umfassenden Designkriterien unfair konkurrieren (indem sie die Entsorgungskosten verallgemeinern und überwiegend den Abbruchverantwortlichen in die Schuhe schieben), sollten die absehbaren Entsorgungskosten bzw. Ressourcenverbrauchskosten bereits beim Neuverkaufspreis des Produkts mit einfaktorisiert werden, z.B. durch rechtlich geregelte Abgabegebühren, ähnlich wie die ARA-Gebühr bei Verpackungen.

Materialreine Produkte sind aus Sicht der Recyclierbarkeit immer zu bevorzugen. Besonders bei Kunststoffen, aber auch bei Metallen und anderen. WPC Baumaterialien sind zu vermeiden, da die einzige End of Life Option eigentlich nur eine niederwertige thermische Verwertung ist. Es sei denn, die Kunststoffkomponente besteht aus biologisch abbaubaren Polymeren, so dass eine klimafreundlichere Kompostierung und biologische Regenerierung auch noch in Frage käme.

Von öffentlicher Hand ist eine Fiskalreform geplant, d.h. den „Faktor Arbeit“ steuerlich zu entlasten und den Faktor „Ressourcenverbrauch“ stärker zu berücksichtigen. Das hat Auswirkungen auf zukünftige Demontearbeiten nach Beendigung der Lebensphase des Gebäudes. Auf lange Sicht wird eher mit einer Verteuerung aller Ressourcen zu rechnen sein und eine weitere Verschiebung in Richtung ökonomischer Machbarkeit möglicher Recyclingstrategien.

5. DEL. Übersicht Verbindungsarten und –mittel und deren Recyclingeignung

5.1. Einleitung

Verbindungen von Stoffen kommt im Bauwesen eine äußerst große Bedeutung zu. Daher geben wir zu Beginn eine Einführung in die Systematik, den Zweck und die möglichen Fügeverfahren, um dann die wichtigsten herauszugreifen und einer qualitativen Bewertung für die Kreislaufführung zu unterziehen. Üblicherweise werden Verbindungen lediglich werkstoffspezifisch dargestellt, also Verbindungen z.B. für den Holzbau oder den Stahlbau. Zumeist wird dabei auch nur auf Primärtragwerke Bezug genommen.

Elementarste Funktion des Verbindens ist sicher das Kraftleiten, es gibt jedoch auch andere Funktionen, die normalerweise thermohygrische Dichtfunktionen genannt werden. Dies bedeutet, dass gewisse Materialeigenschaften in thermischer oder hygrischer oder infiltratorischer Hinsicht ad infinitum also als Materialkontinuum über die natürliche oder technische Materialdimension hinweg gewährleistet werden können. (Verbindungen von Stoffen zum Schutz gegen Feuchtigkeit, gegen Eintrag von Wasserdampf in eine Konstruktion, zur Verhinderung von Infiltration von Außenluft mit unerwünschten thermisch/ hygrischer Kondition, um nur die wichtigsten zu nennen.)

Generell kann ausgesagt werden, dass sich das Vermeiden der Schwachstelle Fuge in der Planung durch eine verringerte Komplexität der Konstruktion und eine geringere Anfälligkeit gegenüber äußeren Einflüssen bezahlt macht.

Nach der Art der Randbedingungen und Einflüsse, die auf eine Verbindung wirken, ergeben sich noch andere Anforderungen und Parameter an die Ausführung einer Verbindung. Um die Dauerhaftigkeit unter bestimmten Bedingungen zu gewährleisten, sind zum Beispiel Maßnahmen für den Brandschutz und Korrosionsschutz einzuhalten, und zur Aufnahme von Verformungen aus Temperaturänderungen, statischer Beanspruchung oder anderen Einflüssen sind Toleranzräume freizuhalten.

5.2. Klassifikation von Fügungen:

5.2.1. Randbedingungen und Einflüsse auf eine Verbindung

Statische Randbedingungen (Kraft leiten: Kraft leiten ist primär gefordert, nicht primär gefordert, nicht gefordert. Es sollen Normalkräfte, Querkräfte oder Momente übertragen werden.)

Geometrische Randbedingungen

räumliche Randbedingungen für Montage und Wartung

Witterungseinflüsse (Wasser, Luft, Temperatur, diese konstant oder veränderlich, Wasser in den verschiedenen Formen wie Regen, Schlagregen, Bodenwasser drückend oder nicht, Tauwasser, Wasserdampf, Eis, Schnee)

externe Einflüsse (Feuer, UV- Strahlung, chemischer Angriff, mechanischer Abrieb, Schallenergie)

5.2.2. Funktionale Anforderung an eine Verbindung

Kraftleitung

Hüllfunktion (Wärme, Dichtheit, Schallschutz)

Forderung nach dauerhafter Sicherung der Verbindungen (Brandschutz, Korrosion- und Fäuleschutz, Toleranzräume, Zugänglichkeit für Wartung)

Herstellen der Verbindung (Bewegungsbeziehungen beim Montieren, Montagebedingungen, Zugänglichkeit beim Montieren, Maßtoleranzen),

Veränderbarkeit oder Recyclingfähigkeit der Konstruktion (lösbar, bedingt lösbar, unlösbar)

5.2.3. Parameter für die konstruktive Ausführung

Werkstoff, Querschnittsgeometrie, Zusammenführung der Systemlinien, Technologie des Fügens, Zusatzelemente, effektive Fugengeometrie, Schnittigkeit, Art der Kraftleitung in der Fugenfläche oder Fugenteilfläche, Art der Dichtung in der Fugenfläche oder Fugenteilfläche, Prinzip der Kraftübertragung an der Berührfläche (Formschluss, Stoffschluss, Kraftschluss)

5.2.3.1. Prinzip der Kraftübertragung an der Berührfläche

Die Einteilung von Verbindungen nach physikalischen Wirkprinzipien lautet: formschlüssig, kraftschlüssig und stoffschlüssig.

Die Art, wie die Kraft an zwei angrenzenden Berührflächen einer Verbindung zwischen den Fügeteilen übertragen wird, ist ein wesentlicher Parameter für ihre Ausführung.

	Formschluß	Kraftschluß	Stoffschluß
Verbindungsart	Verbindung zweier Bauteile durch ihre Formgebung	Verbindung zweier Bauteile durch Reibung oder Feldkräfte	Verbindung von Bauteilen durch beteiligte Materialien
Einsatzzweck	Häufig und leicht zu lösen	Einfache und kostengünstige Verbindungen	Kostengünstiges Verbinden bei Einzelstücken und Kleinserien mit guter Reparaturmöglichkeit
	Verbindung von Bauteilen aus unterschiedlichen Werkstoffen	Verbindung von Bauteilen aus unterschiedlichen Werkstoffen	Verbindung von jeweils geeigneten Werkstoffen
Belastungsart	Aufnehmen von Relativbewegungen	Aufnehmen von Überlasten durch Rutschen	Aufnehmen mehrachsiger, auch dynamischer Belastungen
Beispiel	Schnapp- und Spannverbindungen, Band mit Schloß	Magnet- und Klettverbindungen, Schrauben	Löten, Schweißen, Kleben

Abbildung 84: Formschluss, Kraftschluss, Stoffschluss

Für die Forderung nach Veränderbarkeit oder Recyclingfähigkeit ist es wichtig, ob eine Verbindung lösbar, bedingt lösbar oder unlösbar ist.

Lösbar ist eine Verbindung, wenn sie ohne plastische Verformungen oder Zerstörung beliebig oft demontiert oder gefügt werden kann (z.B. Schraubverbindung).

Bedingt lösbar ist eine Verbindung, wenn die zu verbindenden Bauelemente nach der Demontage weiterhin bedingt brauchbar sind. Dies ist dann der Fall, wenn eines der Bauelemente oder beide plastisch verformt werden müssen, aber zurückverformt werden können, oder bei mittelbaren Verbindungen das Verbindungsmittel plastisch verformt werden muss (z.B. Nietverbindung: sie kann nur gelöst werden, wenn die Niete plastisch dauerhaft verformt wird. Die verbundenen Teile bleiben hingegen unbeschädigt).

Unlösbar ist eine Verbindung, wenn eines oder beide der zu verbindenden Bauelemente zur Demontage zerstört werden müssen, eine nicht wieder rückgängig zu machende plastische Verformung oder ein Nacharbeit erforderlich ist (z.B. Schweißverbindung: sie lässt sich nur lösen, wenn die verbundenen Teile beschädigt werden).

Nur durch das Lösen von Verbindungen ist eine Wieder- oder Weiterverwendung von Bauteilen möglich. Für die Demontage ist die Trennung von Bauteilen an Verbindungsstellen von größter Bedeutung. Die Auswahl, Positionierung und Gestaltung von Verbindungen ist daher eine

wesentliche Voraussetzung für den erneuten Einsatz von Produkten. Die mechanische Auflösung von Form- und Kraftschlussverbindungen gehört zu den gängigen Wieder- und Weiterverwendungsstrategien.

Bei der Demontage erfolgt die Trennung der Produktteile an der Verbindungsstelle. Die Demontage kann in die zerstörungsfreie, teilweise zerstörungsfreie und in die zerstörende Demontage unterteilt werden.

Demontageart	Beschreibung
Zerstörungsfreie Demontage	Die Trennung von Produktbauteilen erfolgt an den Verbindungsstellen bzw. Verbindungselementen. Die Demontage ist zeitintensiv und erfolgt meistens „per Hand“. Eine teilweise Automatisierung ist möglich, z.B. die umgekehrte Montage, die aber nur für wenige Produkte durchführbar ist.
Teilweise zerstörungsfreie Demontage	Zerstörung von Verbindungselementen, aber Erhalt von Bauteilen, z.B. Aufschneiden von Kunststoffverbindungen, Aufbohren von Schrauben, Entlöten.
Zerstörende Demontage	Erzeugung von neuen Trennstellen mit dem Ziel der Verwertung von Altstoffen und nicht der Verwendung von Bauteilen. Der Übergang zu einer Zerkleinerung ist fließend.

Abbildung 85: Demontagearten

Form- und Kraftschlussverbindungen werden durch die Verbindungsauswahl und die Positionierung demontagegerecht gestaltet. Faktoren, die von Bedeutung für die Demontage aller Verbindungsarten sind:

- Art und Zahl der Verbindungen,
- Zugänglichkeit der Verbindungsstellen,
- notwendige Relativbewegung von Verbindungselementen oder Bauteilen und
- notwendige Zeit, um die Verbindung oder Verbindungselemente zu trennen.

Stoffschlussverbindungen werden im Gegensatz zu Form- und Kraftschlussverbindungen als nicht trennbar und damit nicht recyclinggerecht eingestuft, obwohl es möglich ist, die Verbindung aufzulösen, indem unterschiedliche Werkstoffeigenschaften ausgenutzt werden. Abhängig von Verbindungsart und Werkstoffen ist somit eine teilweise zerstörungsfreie Demontage oder eine zerstörende Demontage von Stoffschlussverbindungen durchführbar. Altstoffe, die mit Kleb- oder Lötverbindungen zusammengefügt sind, sind beim Recycling nicht automatisch als verträglich oder unverträglich einzustufen. Die Verträglichkeit hängt von den Altstoffen und vom Recyclingverfahren ab.

Stoffschluß- verbindung	Recycling durch	Zerstörungs- frei	Teilzerstörung	Zerstörung
Lot	Entlöten		●	
Kleb	Auflösen		●	
Schweiß	Zerstörung			●

Abbildung 86: Stoffschlussverbindungen

(Quelle Grafiken: Recyclingpotentiale unverträglicher Werkstoffe – Trennung von Stoffschlussverbindungen, DI Louise Helen Stewart, Sydney, Australien Verfahrenstechnik, Umwelttechnik, Werkstoffwissenschaften/ Technischen Universität Berlin, 2000)

Fügeverfahren	Bsp. Einsatz im Hochbau	Lösbarkeit		
		1	2	3
Zusammensetzen	Aufsetzen von Mauersteinen, Fertigteilen, Betonsteinen, Stahlteilen, Dübel- und Zapfenverbindungen,...	ohne Schädigung der Fügeiteile lösbar		
Füllen	Imprägnieren	ohne Schädigung der Fügeiteile lösbar		
Anpressen, Einpressen	Schraubverbindungen, Verstiften, Verkeilen, Verbindungen mit Nagelplatten, Nägeln, Klammern,...		im Allgemeinen ohne Schädigung der Fügeiteile lösbar	
Fügen durch Urformen	Gießen von Beton, Verguß von Fertigteilen, Ummanteln von Kabeln, Kitten von Glasscheiben,...		im Allgemeinen ohne Schädigung oder Zerstörung der Fügeiteile lösbar	
Fügen durch Umformen	Nieten, Falzen von Feinblech,...			im Allgemeinen nur mit Schädigung oder Zerstörung der Fügeiteile lösbar
Fügen durch Schweißen	Schweißen von Metallen und Kunststoffen			im Allgemeinen nur mit Schädigung oder Zerstörung der Fügeiteile lösbar
Fügen durch Löten	Löten von Kupfer- und Edelstahlrohren,...			im Allgemeinen nur mit, teils jedoch ohne Schädigung oder Zerstörung der Fügeiteile lösbar
Kleben	Kleben von Stahlbauteilen, geleimte Holzverbindungen, Bodenbeläge,...			im Allgemeinen nur mit Schädigung oder Zerstörung der Fügeiteile lösbar. In Sonderfällen ist ein Lösen nach dem Kleben ohne Schädigung möglich

Im Folgenden werden die verschiedenen Verfahren des Fügens unter dem Gesichtspunkt der Art des Zusammenhalts und der Art der Erzeugung betrachtet.

5.3. Überblick über die Fügeverfahren

5.3.1. Einleitung

Im Folgenden werden die verschiedenen Verfahren des Fügens unter dem Gesichtspunkt der Art des Zusammenhalts unter Berücksichtigung der Art der Erzeugung betrachtet.

Dabei sollen nicht die Kraftübertragung während des Betriebs oder andere Funktionen bzw. Merkmale im Vordergrund stehen, sondern das Fertigungsverfahren selbst.

Neben bauüblichen Fügungen, die insbesondere für Primärtragwerke eingesetzt werden, werden auch andere Fügeverfahren angeführt, die entweder weniger bekannt sind oder im Laufe der Zeit im normalen Baubetrieb in Vergessenheit geraten und durch andere ersetzt worden sind.

Am Beispiel von Holzkonstruktionen kann man zum Beispiel sehr gut die Entwicklung der Verbindungstechniken nachverfolgen: von den rein zimmermannsmäßigen Verbindungen über die Verbindungen im Ingenieurholzbau bis hin zu geklebten Holzverbindungen.



Abbildung 87: Holzverbindungen

Quelle: www.zimmerei-link-hayd.de

Das Kleben hat in sehr vielen Bereichen des Bauens, praktisch in allen Ausbaustufen, traditionelle Fügetechniken abgelöst und zählt heutzutage zu einem der wichtigsten Verfahren überhaupt.

Aus diesem Grund werden wir uns hier speziell mit dem Kleben und seiner Recyclingeignung auseinandersetzen.

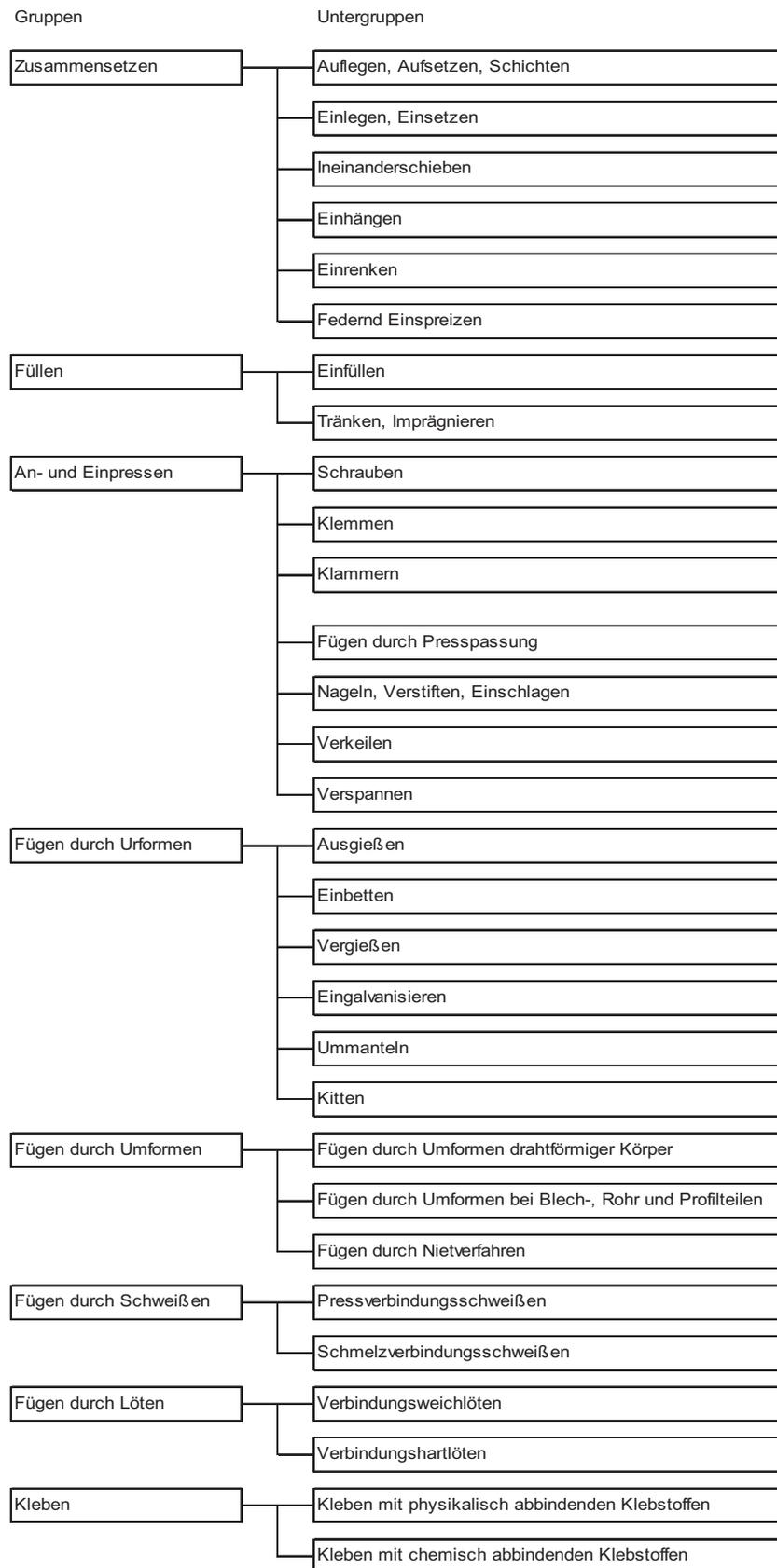


Abbildung 88: Fügetechniken

5.3.2. Zusammensetzen

Zusammensetzen ist eine Sammelbenennung für das Zusammenbringen (Fügen) von Werkstücken, z.B. durch Auflegen, Einlegen, Ineinanderschieben, Einhängen, Einrenken. Das Verbleiben im gefügten Zustand wird im Allgemeinen durch Schwerkraft (Reibschluss), Formschluss bzw. Kombination davon bewirkt. Bei manchen Verfahren wird die Federung des Werkstücks oder eines Hilfsteiles benutzt.

Lösbarkeit: Ohne Schädigung der Füge Teile lösbar

- **Auflegen, Aufsetzen, Schichten**

Fügen zusammenpassender Teile unter Nutzung der Schwerkraft, im Allgemeinen in Verbindung mit Formschluss.

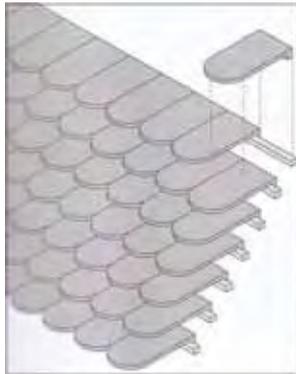


Abbildung 89: Auflegen von Dachziegeln unter Ausnutzung der Schwerkraft

- **Einlegen, Einsetzen**

Fügen, bei dem das eine Füge teil in ein Formelement des anderen Füge teils eingelegt wird

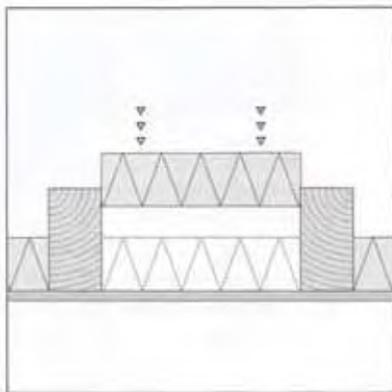


Abbildung 90: Einlegen einer Dämmplatte in den Balkenzwischenraum

- **Ineinanderschieben**

Fügen, bei dem das eine Füge teil in das andere oder über das andere geschoben wird.

Aufschieben: (Aufziehen) eines Außenteils auf ein Innenteil.

Einschieben: (Einführen) eines Innenteils in ein Außenteil.



Abbildung 91: Einschieben eines Bolzens in eine Gelenkbolzenverbindung

- **Einhängen**

Fügen, bei dem das Füge­teil in das andere eingehängt wird, wobei die Fügeverbindung durch eine Zugkraft (Federkraft, Schwerkraft) gesichert wird.

Einhängen einer Feder:

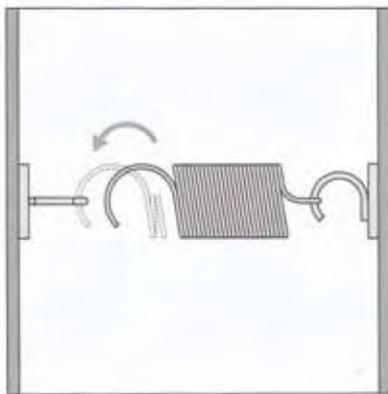


Abbildung 92: Einhängen einer Feder

- **Einrenken**

Fügen durch Ineinanderschiebenden zweier Füge­teile, wobei die Fügeverbindung durch eine Druckkraft gesichert wird.

Bajonettverschluss:



Abbildung 93: Einrenken

- **Federnd Einspreizen**

Fügen durch vorheriges elastisches Verformen, damit das Füge­teil nach dem Einlegen oder Aufschieben und anschließendem Rückfedern durch Formschluss gehalten wird.

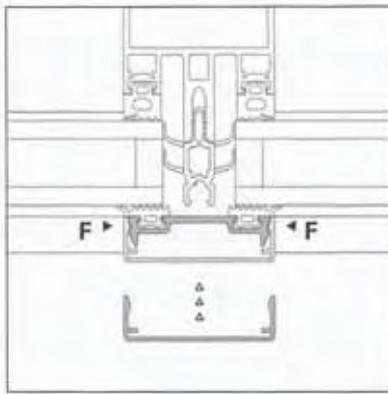


Abbildung 94: Einschnappen der Deckleiste einer Pfosten- Riegel- Fassade mit Federkraft F

5.3.2.1. Zusammensetzen von Mauersteinen

Das Schichten oder Aufeinanderlegen von Bausteinen oder sonstigen Bauelementen gehört zu den ältesten Baumethoden.

Als Beispiel soll das Zyklopenmauerwerk angeführt werden, ein Mauerwerk aus sehr großen, unregelmäßigen Steinen, die sorgfältig aufeinander geschichtet sind. Das Fugenbild ist unregelmäßig und ohne waagerechte Lagerfugen. Oft handelt es sich um eine in Schalenbauweise gebaute Mauer mit einer Innenfüllung aus Steinen und Lehm.

Das besondere daran ist, dass die Steine so passgenau bearbeitet wurden, dass sie teilweise, wie im rechten Bild ersichtlich, einen praktisch fugenlosen Verbund erzeugen. Dieser Verbund ist in der Lage zwischen den Steinen Kräfte zu übertragen, die ansonsten nur durch Verkleben mit einem Mörtel übertragen werden können.

Zyklopenmauerwerk stellt also ein gutes Beispiel für eine sehr frühe stoffreine Fügetechnik dar.



Abbildung 95: Zyklopenmauerwerk

Quelle: www.de.academic.ru/pictures/dewiki/90/Zyklopenmauerwerk.jpg

www.de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/1005261

5.3.2.2. Zusammensetzen von Holzbauteilen

Zimmermannsmäßige Verbindung nennt man die Holzverbindungen, die im traditionellen Holzbau zur Verbindung von starkem Bauholz verwendet wurden. Sie haben sich mit unterschiedlichen Holzbauweisen beispielsweise bei zimmermannsmäßigen Dachkonstruktionen oder dem Fachwerkhaus entwickelt und werden heute noch in klassischer Qualität in der Restaurierung historischer Bauten verwendet, während sie im gewerblichen Holzbau durch Verbindungstechniken unter Zuhilfenahme von Eisen, Kunststoff oder auch Leimbindern zunehmend ersetzt werden.

Der Mangel an anderen Verbindungsmaterialien (wie sie heute verwendet werden) hat in der Geschichte eine Fülle von Holzverbindungen hervorgebracht, die ohne zuhilfenahme von Klebern

oder Schrauben/Nägeln Kräfte übertragen können. Leider ist dieses Wissen im Zuge des modernen ingenieurmäßigen Holzbaues in den Hintergrund gedrängt worden. Erst neuere Entwicklungen haben auch beim Holz wieder stoffreine Fügeverfahren zum Ziel. (Beispiel: Zapfenverbindung, siehe unten).



Abbildung 96: zimmermannsmäßige Holzverbindung

Quelle: www.profi-zimmerei.de

Beispiel für verschiedene Zapfenverbindung:

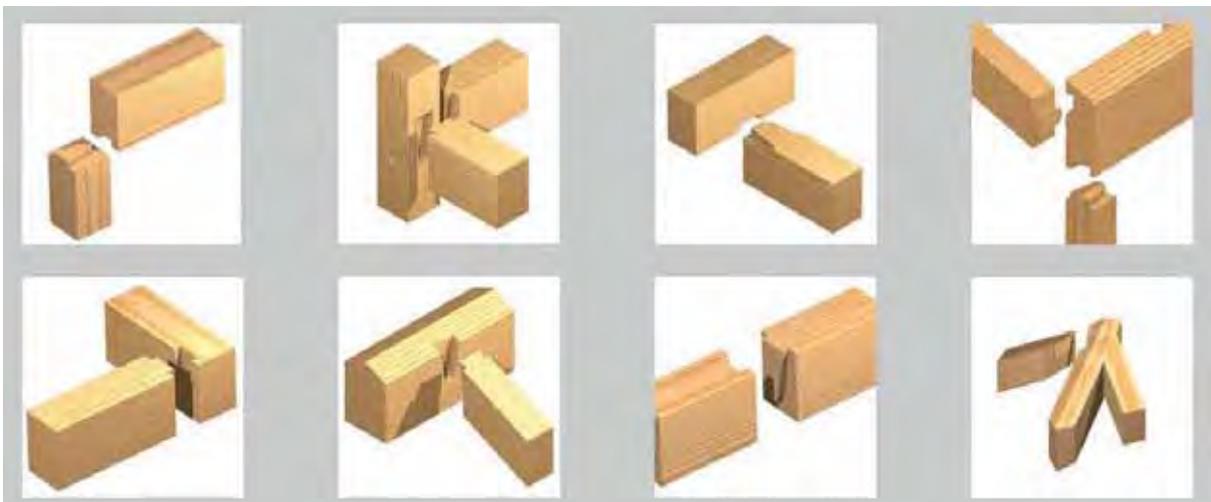


Abbildung 97: Zapfenverbindung

Quelle: www.lignatool.at

5.3.3. Füllen

Füllen ist eine Sammelbenennung für das Einbringen von gas- oder dampfförmigen, flüssigen, breiigen oder pastenförmigen Stoffen, ferner von pulverigen oder körnigen Stoffen oder kleinen Körpern in hohle oder poröse Körper.

Lösbarkeit:

Ohne Schädigung der Fügeteile lösbar

- **Einfüllen**

Das Einbringen von gas- bzw. dampfförmigem, flüssigem oder festem Stoff in hohle Körper.

- **Tränken, Imprägnieren**

Das Ausfüllen eines porenhaltigen oder eines aus faserigem Stoff bestehenden Körpers mit einem flüssigen Stoff.

Imprägnieren: Tränken eines Gewebes mit einem flüssigen Stoff zur Erzeugung einer wasserabstoßenden Oberfläche.

5.3.4. An- und Einpressen

Eine Sammelbezeichnung für die Verfahren, bei denen beim Fügen die Fügeteile sowie etwaige Hilfsfügeteile im Wesentlichen nur elastisch verformt werden und ungewolltes Lösen durch Kraftschluss verhindert wird.

Lösbarkeit:

Im Allgemeinen ohne Schädigung der Fügeteile lösbar

- **Schrauben**

Schrauben, also An-, Ein-, Ver- oder Festschrauben, ist Fügen durch Anpressen mittels selbsthemmenden Gewindes.

- **Klemmen**

Fügen durch Anpressen mittels Hilfsteilen (*Klemmen*), wobei die Fügeteile elastisch oder plastisch verformt werden, während die Hilfsteile starr sind.



Abbildung 98: Seilklemme

- **Klammern**

Fügen mittels federnder Hilfsteile (*Klammern*), welche die überwiegend starren Fügeteile aneinanderpressen.

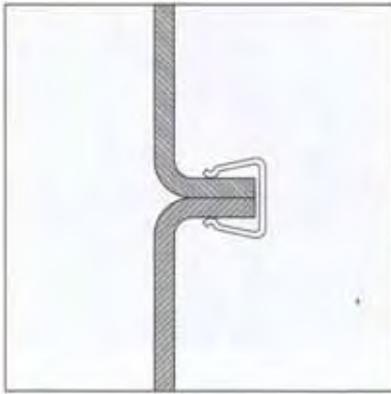


Abbildung 99: Klammern

- **Fügen durch Pressverbindung**

Fügen des Innenteils mit einem Außenteil, wobei zwischen beiden ein Übermaß besteht.

- Fügen durch Einpressen, Verstiften

Fügen durch Ineinanderschieben eines Innenteils und eines Außenteils, wobei zwischen beiden ein Übermaß besteht.

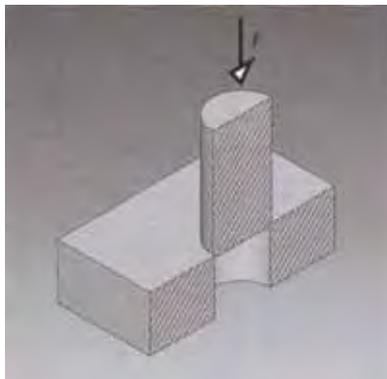


Abbildung 100: Verstiften: Fügen durch Einpressen von Hilfsfügeteilen.

- Fügen durch Schrumpfen

Fügen durch Schrumpfen, auch als Aufschrumpfen bezeichnet, ist Fügen durch loses Ineinanderschieben eines Innenteils und eines vorher erwärmten Außenteils. Der Kraftschluss wird durch Abkühlen des Außenteils auf Raumtemperatur aufgrund des zwischen beiden Fügeteilen bestehenden Übermaßes erzielt.

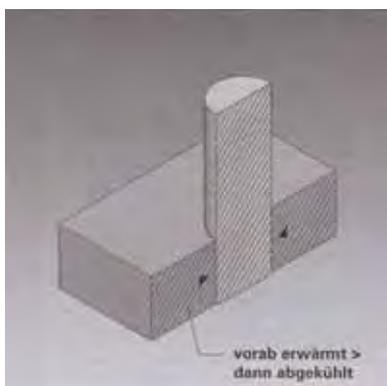


Abbildung 101: Schrumpfen

- Fügen durch Dehnen

Fügen durch loses Ineinanderschieben eines vorher unterkühlten Innenteils und eines Außenteils. Der Kraftschluss wird durch das Erwärmen des Innenteils auf Raumtemperatur aufgrund des zwischen beiden Fügeteilen bestehenden Übermaßes erzielt. Bisweilen werden Schrumpfen und Dehnen kombiniert.

Fügen durch Dehnen des Stifts (Innenteils) gegen die Lochwandung des Außenteils:

- **Nageln, Einschlagen**

Fügen durch Einschlagen oder Einpressen von Nägeln (Drahtstiften) als Hilfsteile ins volle Material. Hierbei werden mehrere Füge-teile durch Aneinanderpressen miteinander verbunden. Das Eintreiben der Nägel kann auch durch Explosivkraft geschehen (*Bolzensetzen*).

Einschlagen: Beim Einschlagen ist das eingeschlagene Teil selbst ein Füge-teil, z. B. beim Einschlagen eines Hakens.



Abbildung 102: Nageln

Während Konstruktionen mit zimmermannsmäßigen Verbindungen lösbar sind, ist der Ingenieurholzbau mit dem Einsatz von Verbindungsmitteln wie zum Beispiel Nagelplatten weniger auf Demontage ausgelegt. Der Rückbau ist zwar möglich, jedoch nur mit größerem Aufwand.



Abbildung 103: Nagelplatten

Quelle: www.flickr.com/photos/40833837@N00/460333547

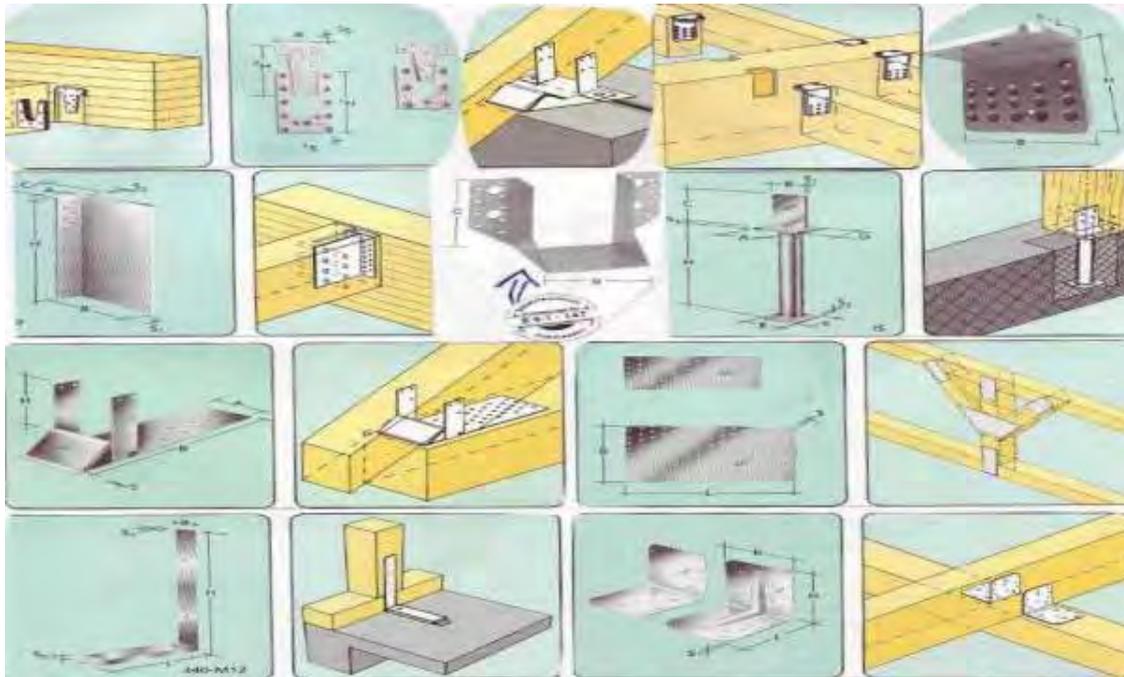


Abbildung 104: Holz Verbindungstechnik

Quelle: www.befestigungstechnik-cl.de

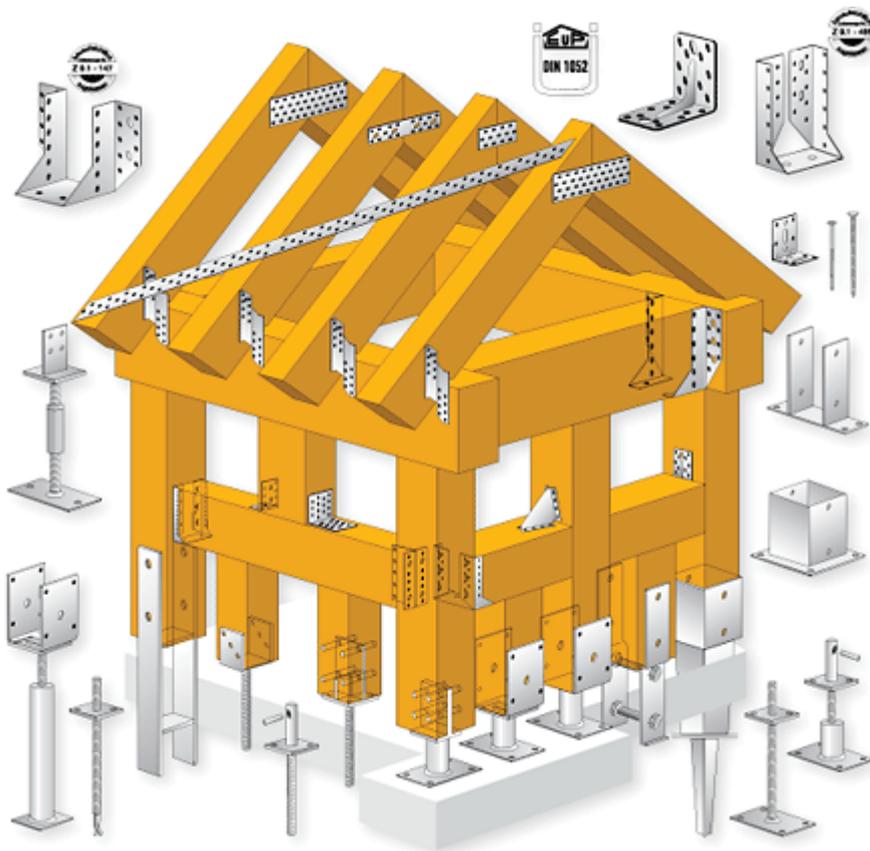


Abbildung 105: Holzverbinder

Quelle: www.eup-holzverbinder.de

- **Verkeilen**

Das Anpressen zweier Fügeiteile mithilfe selbsthemmender keilförmiger Hilfsteile.

Verkeilen einer Fertigsteilstütze in einem Köcherfundament (provisorisch) mit Hilfe von Holzkeilen:

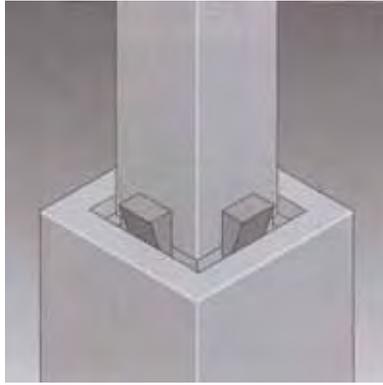


Abbildung 106: Verkeilen

- **Verspannen**

Kraftschlüssiges Fügen einer Nabe mit einer Welle mithilfe eines Konus oder mithilfe ringförmiger, geschlitzter Keile (*Spannelemente*), wobei die erforderliche Axialkraft über Gewinde aufgebracht wird.

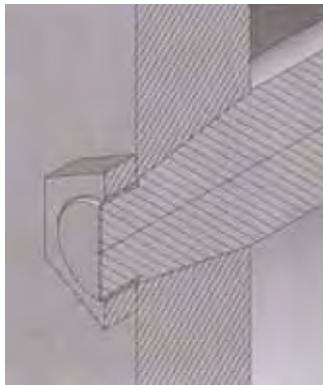


Abbildung 107: Verspannen

5.3.5. Fügen durch Urformen

Eine Sammelbezeichnung für die Verfahren, bei denen entweder zu einem Werkstück ein Ergänzungsstück aus formlosem Stoff gebildet wird oder bei denen mehrere Füge­teile durch dazwischen gebrachten formlosen Stoff verbunden oder bei denen in den formlosen Stoff Metallteile o. A., z. B. zur Erhöhung der Festigkeit, eingelegt werden.

Lösbarkeit:

Aus der spezifischen Art der Herstellung von Verbindungen durch Urformen leitet sich ihr Merkmal als bedingt lösbare oder nicht lösbare Verbindung ab.

- Fügungen infolge Um-, An- oder Ausgießen mit formlosem Stoff, der anschließend erhärtet, lassen sich nur durch Zerstören oder plastisches Verformen zumindest des beteiligten Verbindungsmittels- bei mittelbaren Verbindungen- wieder lösen. Derlei Verbindungen gelten als bedingt lösbar, sofern die eigentlichen Füge­teile unversehrt bleiben. Die Bewahrung der Trennfuge zwischen festem Füge­teil und Verbindungselement aus ausgehärtetem formlosem Stoff begünstigt diesen Vorgang.
- Ist eines der Füge­teile selbst aus formlosem Stoff in einer Form einer Matrix rings um darin eingebettete feste Füge­teile gegossen- eine unmittelbare Verbindung, wie beispielsweise beim bewehrten Beton-, so kann die Verbindung mindestens eines der Füge­teile gelöst werden und gilt folglich als nicht lösbar. Dies ist die Hauptursache, weshalb alle Stahl- Beton- Verbundbauweisen für Recyclingzwecke wenig geeignet sind.

- **Ausgießen**

Fügen durch Urformen derart, dass zu einem Werkstück durch Ausgießen mit formlosem Stoff ein Ergänzungsstück erzeugt wird.

- **Einbetten**

Fügen, wobei beim Herstellen eines Bauteils aus formlosem Stoff ein Ergänzungsstück mit eingebunden wird. Innerhalb dieses Fügeverfahrens werden folgende Verfahrensbegriffe verwendet:

- Umspritzen

Einbetten, wobei ein festes Innenteil mit einem Außenteil aus Kunststoff durch Spritzgießen gefügt wird.

- Eingießen (Umgießen)

Einbetten, wobei ein festes Innenteil mit einem Außenteil durch Gießen gefügt wird.

- Einvulkanisieren

Einbetten, wobei der formlose Stoff ein gummiartiger Werkstoff ist, der durch Vernetzen (*Vulkanisieren*) fest wird.

- **Vergießen**

Fügen zweier Teile mithilfe eines flüssigen, später fest werdenden Hilfsstoffes.

- **Eingalvanisieren**

Fügen, wobei die Füge­teile durch galvanisch erzeugte Hilfsteile formschlüssig verbunden werden.

- **Ummanteln**

Fügen durch Urformen einer Umhüllung aus formlosem Stoff mit einem draht-, band-, seil- oder rohrförmigen Füge­teil unter Verwendung eines formgebenden Werkzeugs. Das Verfahren wird meist kontinuierlich mithilfe eines Extruders durchgeführt. Im Gegensatz zum Ummanteln werden beim Beschichten keine formgebenden Werkzeuge, sondern andere Mittel zur Erzielung einer bestimmten Beschichtungsdicke verwendet.

- **Kitten**

Fügen von meist verschiedenartigen Werkstoffen mithilfe von Kitt, wobei häufig größere Zwischenräume gefüllt, verschieden große Dehnungskoeffizienten überbrückt und häufig auch die Dichtung der gekitteten oder verkitteten Fugen bewirkt werden muss.

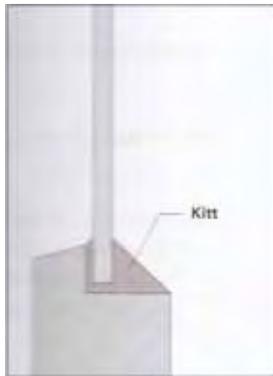


Abbildung 108: Kitten

5.3.6. Fügen durch Umformen

Eine Sammelbenennung für die Verfahren, bei denen entweder die Füge­teile oder Hilfsfüge­teile örtlich - bisweilen auch ganz - umgeformt werden. Die Umformkräfte können mechanischer, hydraulischer, elektromagnetischer oder anderer Art sein. Die Verbindung ist im Allgemeinen durch Forms­schluß gegen ungewolltes Lösen gesichert.

Lösbarkeit:

Im Allgemeinen nur mit Schädigung oder Zerstörung der Füge­teile lösbar. Die meisten bauüblichen Verbindungen durch Umformen sind als bedingt lösbar zu bezeichnen, da sich die Füge­teile bei unmittelbaren Verbindungen im Bedarfsfall, zurückverformen lassen und bei mittelbaren nur das Verbindungsstück zerstört oder plastisch zurückverformt werden muss.

- **Fügen durch Umformen drahtförmiger Körper**

Folgende Varianten dieses Füge­verfahrens können unterschieden werden:

- Drahtflechten

Fügen von Drähten durch gegenseitiges Umschlingen oder Verdrillen zur Herstellung von flächenhaften oder räumlichen Drahtgeflechten.



Abbildung 109: Drahtflechten

- Gemeinsames Verdrehen

Fügen durch schraubenförmiges Umeinanderbiegen zweier drahtförmiger Fügeteile.

- Verseilen

Fügen durch Umformen von Drähten, Litzen und Seilen, die in Form einer Schraubenlinie umeinander gelegt werden.

- Spleißen

Fügen durch Umformen von Seilenden miteinander oder eines Seilendes mit demselben Seil zur Bildung einer Schlaufe derart, dass entsprechende Litzen kraftschlüssig und formschlüssig über- und untereinander geführt werden.

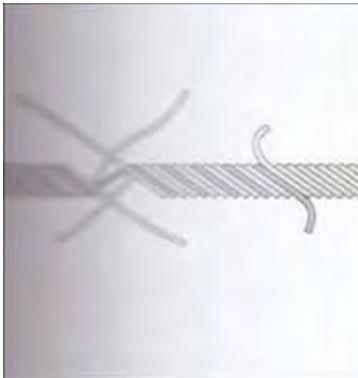


Abbildung 110: Verzwirbeln der Litzen zweier Seilenden

- Knoten

Fügen durch Umformen derart, dass zwei Drähte und Ähnliches formschlüssig oder kraftschlüssig umeinander gebogen werden.

- Wickeln mit Draht

Fügen eines Innenteils mit einem Draht durch dessen fortlaufendes Biegen um das Innenteil.

- Drahtweben

Das Verkreuzen von Drähten nach einer bestimmten Ordnung wobei ein Drahtgewebe entsteht.

- Heften

Fügen durch Umbiegen von drahtförmigen Hilfsfügeteilen.

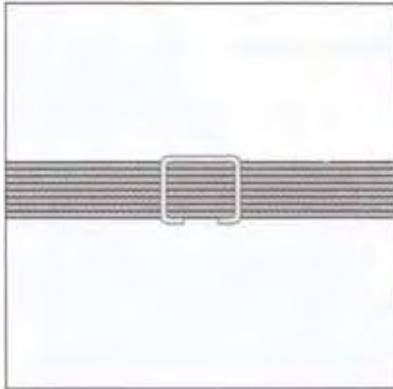


Abbildung 111: Heften

- **Fügen durch Umformen bei Blech-, Rohr- und Profileile**

Folgende Varianten dieses Fügeverfahrens können unterschieden werden:

- Fügen durch Körnen oder Kerben

Fügen durch Umformen derart, dass das freie Ende eines durch ein Werkstück gesteckten Teils oder ein dünnwandiges Werkstück in eine freie Stelle des Gegenstücks punkt- oder linienförmig eingedrückt wird. Es können auch mehrere ineinandergeschobene Fügeile durch Körnen gefügt werden.



Abbildung 112: Verbinden zweier Rohre durch Körnen oder Kerben

- Gemeinsames Fließpressen

Fügen durch gemeinsames Fließpressen zweier auf- oder ineinandergelegter Ausgangsformen durch einen Formgebungsspalt.

- Gemeinsam Ziehen (Ummanteln)

Fügen durch Umformen derart, dass durch gemeinsames Ziehen zweier ineinandergeschobener rohrförmiger Teile durch einen Ziehling eine kraftschlüssige Verbindung hergestellt wird.

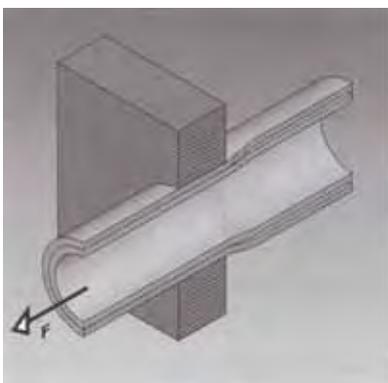


Abbildung 113: Verbindung zweier Rohr durch Pressen durch einen Ziehling

- Fügen durch Weiten

Fügen durch Umformen derart, dass ein hohles Innenteil durch Umformen geweitet oder gebraucht wird, so dass es kraft- oder formschlüssig mit dem Außenteil verbunden bleibt.

Rohreinwalzen:

Fügen durch Weiten derart, dass ein in ein Außenteil, z.B. Kesselwand, eingeführter Rohrabschnitt oder Ring durch Walzen geweitet wird, bis er fest anliegt

Fügen durch Weiten mit Innendruck:

Fügen durch Weiten derart, dass ein durch das Loch eines oder mehrerer Fügeteile durchgestecktes Rohr außerhalb der Fuge durch Innendruck, z. B. durch ein nachgiebiges Werkzeug oder Druckflüssigkeit oder Knickbauchen, aufgeweitet wird.

Diese Vorgänge können durch Werkzeuge oder auch mithilfe von Wirkmedien mit kraft- oder energiegebundener Wirkung, z. B. Explosion eines Sprengstoffs, Funkentladung, oder von Wirkenergie, z. B. ein Magnetfeld, durchgeführt werden.

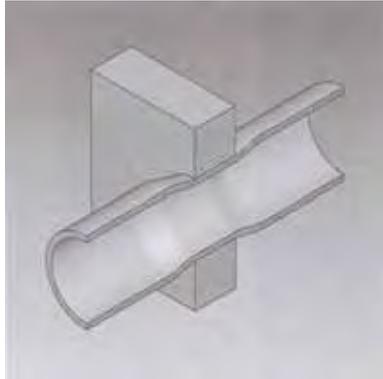


Abbildung 114: Verbinden eines Rohrs mit einer Platte mithilfe einer Druckflüssigkeit

- Fügen durch Engen

Fügen durch Umformen, wobei ein hohles Außenteil derart durch Umformen verengt, eingehalst oder eingesickt wird, dass es kraftschlüssig oder formschlüssig mit dem Innenteil verbunden bleibt. Folgende Varianten können unterschieden werden:

Fügen durch Rundkneten:

Fügen durch Engen derart, dass ein rohrförmiges Außenteil über den Umfang in Vertiefungen am Innenteil eingedrückt wird und somit einen Formschluss erhält; es können auch mehrere ineinandergeschobene dünnwandige Werkstücke gemeinsam rundgeknetet werden; der Zusammenhalt kann auch in einem Kraftschluss bestehen.

Fügen durch Einhalsen:

Fügen durch Engen derart, dass ein über ein Innenteil geschobenes Außenteil am Ende verengt wird.

Fügen durch Sicken:

Fügen durch Engen derart, dass ein Werkstück eine Sicke erhält, die in eine vorgesehene Vertiefung am zu fügenden Werkstück eingreift. Es können auch ineinandergeschobene dünnwandige Werkstücke eine gemeinsame Sicke erhalten (Versicken). Die Vorgänge können durch Werkzeuge oder auch mithilfe von Wirkmedien mit energiegebundener Wirkung, z. B. Explosion eines Sprengstoffs, Funkentladung, oder von Wirkenergie, z.B. ein Magnetfeld, durchgeführt werden.



Abbildung 115: Sicken

- Fügen durch Bördeln

Fügen durch Umformen derart, dass ein Ende eines rohrförmigen Werkstücks durch Borde mit dem zu fügenden Werkstück formschlüssig verbunden wird. Es können auch an zwei ineinandergeschobene Fügeteile Borde gemeinsam hergestellt werden.

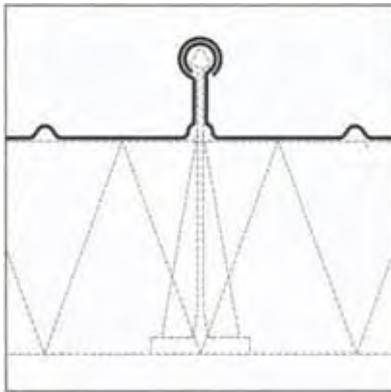


Abbildung 116: Bördeln zweier Aluminium- Klemmrippenprofilbleche

- Falzen

Fügen durch Umformen derart, dass an ihren Rändern vorbereitete Blechteile ineinandergelegt oder ineinandergeschoben werden und durch Umlegen der Ränder einen Formschluss erhalten.

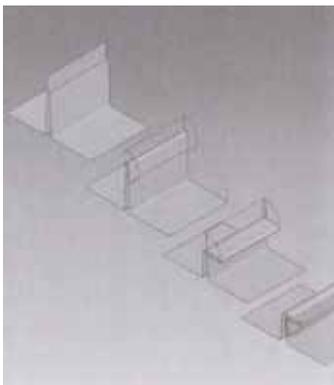


Abbildung 117: Falzen dünner Bleche für Stehfalzblechdeckungen

- Wickeln

Wickeln, also Umwickeln oder Bewickeln, ist Fügen eines Innenteils mit Band durch dessen fortlaufendes Biegen um das Werkstück.



Abbildung 118: Wickeln

- Verlappen

Fügen durch Umformen derart, dass das freie Ende eines durch ein Werkstück gesteckten flachen teils oder überstehenden Lappens gebogen, z. B. Biegeverlappen, oder aus einer Ebene herausgedreht wird, z. B. Drehverlappen, so dass ein-Formschluss entsteht.



Abbildung 119: Biegeverlappen dünner Bleche

- Umformendes Einspreizen

Fügen durch Umformen derart, dass durch Einpressen oder Einwalzen eines Werkstücks dieses in einen Hohlraum des Gegenstücks verdrängt wird.

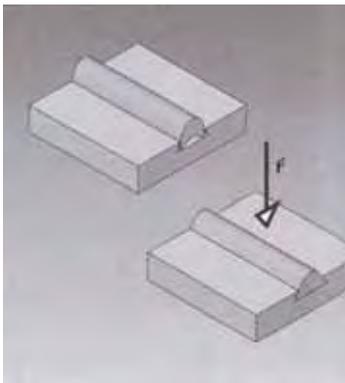


Abbildung 120: umformendes Einspreizen

- Durchsetzfügen

Fügen von Werkstücken aus Blech-, Rohr- oder ProfilSeilen durch gemeinsames Durchsetzen in Verbindung mit Einschneiden und nachfolgendem Stauchen.

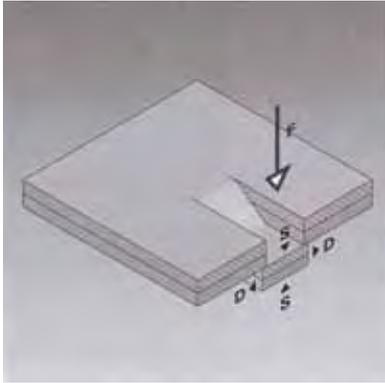


Abbildung 121: Durchsetzfugen

- Verpressen

Das Fügen zweier Seilenden oder einer Seilschleife mithilfe einer Presshülse, die beide Stränge umschließt und nach dem Verformen in einer Presse eine kraft- und formschlüssige Verbindung herstellt.

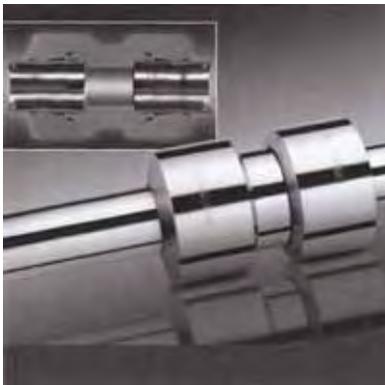


Abbildung 122: Fügen zweier Rohre mit Hilfe eines Pressfittings

- Quetschen

Das Fügen eines Seiles oder einer Litze mit einem Endstück, z.B. Seilschuh, Kabelschuh, Crimphülse usw., welches das Seil oder die Litze umschließt und durch Verformen kraft- und formschlüssig mit diesem verbunden wird.

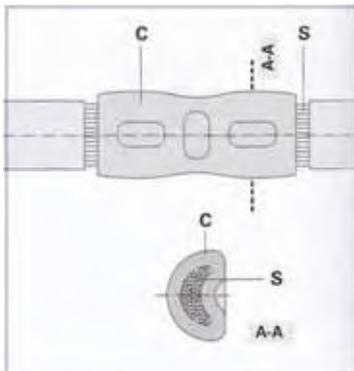


Abbildung 123: Fügen eines Seils mit einer Crimphülse

- **Fügen durch Nietverfahren**

Folgende Varianten können unterschieden werden:

- Nieten

Fügen durch Stauchen eines bolzenförmigen Hilfsfügeteils (Niet)

- Hohlketten

Fügen durch Umlegen überstehender Teile eines Hohlketts.

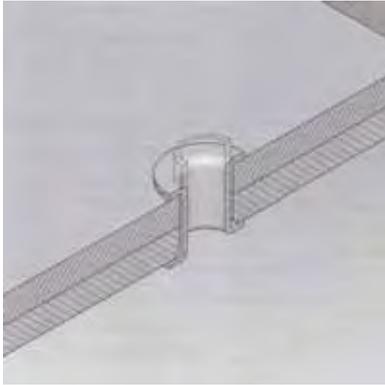


Abbildung 124: Hohlrieten

- Zapfennieten

Fügen durch Stauchen des zapfenförmigen Endes an einem der beiden Fügeteile.

- Hohlzapfennieten

Fügen durch Umlegen überstehender Teile des hohlzapfenförmigen Endes an einem der beiden Fügeteile.

- Zwischenzapfennieten

Fügen durch Stauchen eines Zwischenzapfens an einem der beiden Fügeteile.

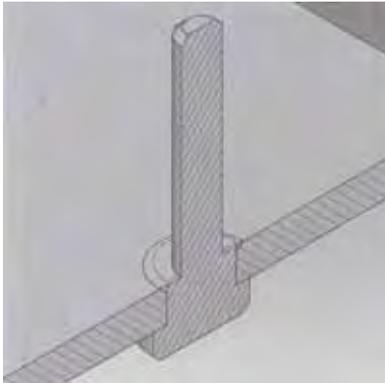


Abbildung 125: Zwischenzapfennieten

- Stanznieten

Fügen durch Einspreizen eines Hilfsfügeteils (z.B. Halbhohl-oder Vollstanzniet)

5.3.7. Fügen durch Schweißen

Schweißverfahren sind für die Fügung sowohl von Metallteilen als auch von Kunststoffteilen anwendbar. Die in der Übersicht rechts aufgelisteten Schweißverfahren sind - neben der grundsätzlichen Unterscheidung nach physikalischem Vorgang in Press- und Schmelzschweißverfahren - nach DIN 8593-6 gemäß den verschiedenen Energieträgern untergliedert und hinsichtlich ihrer Eignung für Metall- bzw. Kunststoffschweißen gekennzeichnet.

Die verschiedenen Energieträger stellen die zum Schweißen erforderliche Energie entweder durch Übertragen auf das (die) Werkstück(e) oder durch Umsetzen im (in den) Werkstück(en) bereit. Sie werden in der Norm - unabhängig davon, ob es sich um Metall - oder Kunststoffschweißung handelt - jeweils ein Ordnungsnummer zugewiesen:

- 1 Fester Körper
- 2 Flüssigkeit
- 3 Gas
- 4 elektrische Gasentladung
- 5 Strahlung
- 6 Bewegung von Masse
- 7 elektrischer Strom
- 8 unbestimmt

Beim Schweißen mit festem Körper, Flüssigkeit, Gas oder elektrischer Gasentladung wird die zum Schweißen erforderliche Energie dem (den) Werkstück(en) (von außen) zugeführt; beim Schweißen durch Strahlung, Bewegung von Masse oder elektrischen Strom entsteht dagegen die Wärmeenergie - bzw. mechanische Energie beim Kaltpressschweißen - durch Energieumsetzung innerhalb des Werkstücks.

Lösbarkeit:

nur mit Schädigung oder Zerstörung der Fügeile lösbar

- **Schweißen von Metallen**

Vorgang, der Metall(e) unter Aufwand von Wärme und/oder Druck derart verbindet, dass sich ein kontinuierlicher innerer Aufbau des verbundenen Metalls bzw. der verbundenen Metalle ergibt. Schweißzusatz, dessen Schmelztemperatur von gleicher Größenordnung ist wie die der (des) verbundenen Grundwerkstoffe(s), kann zugeführt werden. Das Ergebnis des Schweißens ist die Schweißnaht. Diese Definition schließt Beschichten ein.

Es wird grundsätzlich zwischen zwei physikalischen Verfahren unterschieden:

- Pressschweißen

Schweißen, wobei ausreichend äußere Kraft aufgewendet wird, um an beiden Fügeflächen eine mehr oder weniger starke plastische Verformung zu bewirken, im Allgemeinen ohne Zugabe von Schweißzusatz.

Gewöhnlich - jedoch nicht notwendigerweise - werden Werkstücke an den Fügeflächen erwärmt, um das Verbinden ermöglichen oder zu erleichtern.

- Schmelzschweißen

Schweißen ohne Aufwenden äußerer Kraft, wobei die Fügefläche(n) angeschmolzen werden (müssen), gewöhnlich - jedoch nicht notwendigerweise - wird geschmolzener Schweißzusatz zugeführt.

- **Schweißen von Kunststoffen**

Das Schweißen von Kunststoffen erfolgt auf dem Wege des Pressschweißens Folgende Verfahren sind je nach Energieträger zum Schweißen von Kunststoffen einsetzbar:

fester Körper: Heizelementschweißen

Gas: Warmgasschweißen

Strahl: Lichtstrahl- Extrusionsschweißen

Bewegung: Ultraschallschweißen und Reibschweißen

elektrischer Strom: Hochfrequenzschweißen

Die restlichen Energieträger sind für Kunststoffschweißen nicht verfügbar.

5.3.8. Fügen durch Löten

Löten ist ein thermisches Verfahren zum stoffschlüssigen Fügen und Beschichten von Werkstoffen, wobei eine flüssige Phase durch Schmelzen eines Lotes (Schmelzlöten) oder durch Diffusion an den Grenzflächen (Diffusionslöten) entsteht.

Die Solidustemperatur (Schmelztemperatur) der Grundwerkstoffe wird nicht erreicht. Dies bedeutet, dass -anders als beim Schweißen - kein kontinuierliches Stoffgefüge über den Lötstoß hinweg hergestellt wird. Stattdessen entsteht infolge der Benetzung der Werkstückoberfläche durch die Lötphase, also durch das flüssige Lötmetall, und das anschließende Abbinden derselben eine kraftschlüssige Verbindung an der Lötnaht.

Analog zum Schweißverfahren können auch beim Löten verschiedene Energieträger unterschieden werden.

Lösbarkeit:

Im Allgemeinen nur mit, teils jedoch auch ohne Schädigung oder Zerstörung der Fügeile lösbar

- **Verbindungs-Weichlöten**

Fügen durch Löten mit Loten, deren Liquidustemperatur unterhalb 450°C liegt. Die überwiegende Anzahl der Weichlote ist auf Zinn- und/oder Bleibasis aufgebaut.

- **Verbindungs-Hartlöten**

Fügen durch Löten mit Loten, deren Liquidustemperatur oberhalb 450°C liegt. Die Hartlote für Schwermetalle sind überwiegend kupferhaltige, oft auch edelmetallhaltige Nichteisenmetall-Legierungen. Für Leichtmetalle stehen Aluminium/Silicium-Hartlote zur Verfügung.

5.3.9. Kleben

Fügen unter Verwendung eines Klebstoffs, d.h. eines nichtmetallischen Werkstoffs, der Fügeteile durch Flächenhaftung und innere Festigkeit (Adhäsion und Kohäsion) verbinden kann. Kleben ist der Oberbegriff und schließt alle Klebverfahren, auch solche mit speziellen Klebstoffen, z.B. Leim = Klebstoff aus tierischen, pflanzlichen oder synthetischen Stoffen und Wasser, oder speziell geformten Werkstoffen, z.B. Kaschieren = Kleben von Werkstofffolien, ein.

Wegen der Bedeutung des Klebens für die Recyclierbarkeit von Baumaterialien wird das Kleben in einem eigenen Abschnitt behandelt (Kapitel 5.4: Kleben).

5.4. Kleben

5.4.1. Einleitung

Die Fügetechnik Kleben hat in den industriellen Anwendungen in den letzten Jahren stark zugenommen und die Bauindustrie nimmt unter den Marktsegmenten, in denen Klebstoffe eingesetzt werden, mittlerweile einen beträchtlich Anteil ein: Mit 26 % liegt sie an zweiter Stelle nach der Papier- und Verpackungsindustrie (Zahlen für Deutschland, für Österreich kann von einer vergleichbaren Aufteilung ausgegangen werden).

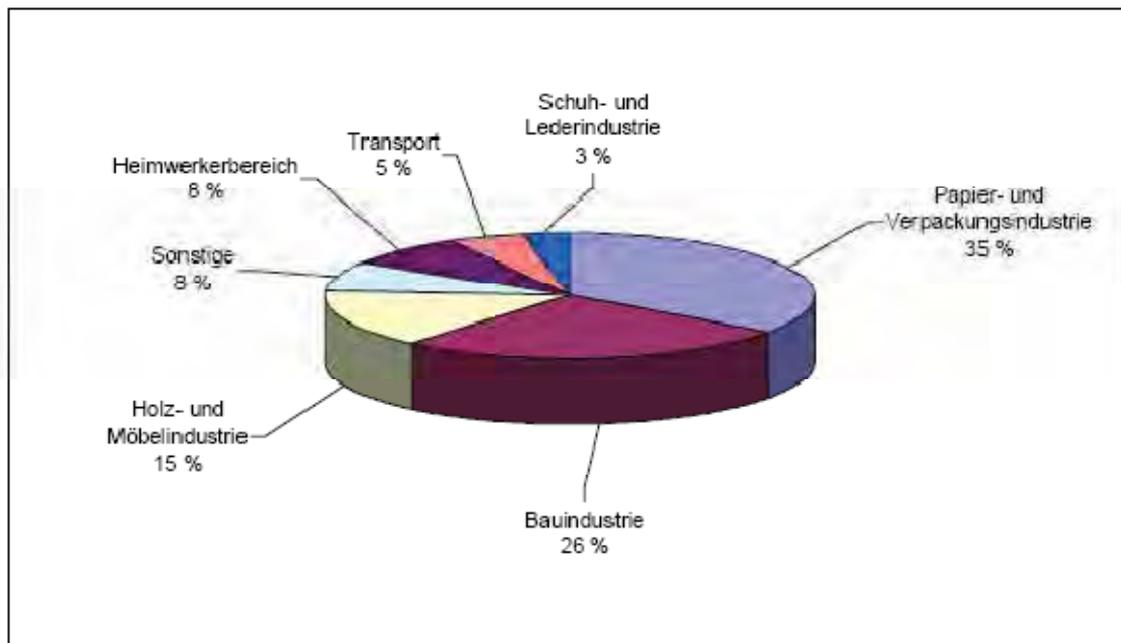


Abbildung 126: Verbrauch an Klebstoffen in den Marktsegmenten (RENTZ et al, 2002)

In den technischen Anwendungen werden Klebstoffe neben dem Fügen von Bauteilen auch als Dichtstoffe verwendet.

Die Verbindung von Werkstücken über Klebstoffe weist im Vergleich zu anderen Verbindungsverfahren diverse Vorteile auf (RENTZ et al, 2002):

- Verschiedene Werkstücke können verbunden werden, die über klassische Fügeverfahren (z.B. Schweißen) nicht zu verbinden sind.
- Die spezifischen Werkstoffeigenschaften der zu verbindenden Werkstücke bleiben erhalten.

- Klebstoffe ermöglichen neuartige Konstruktionen unter Integration wichtiger Funktionen (z.B. elektrisch leitfähige Klebstoffe).
- Durch Anwendung von Klebstoffen lassen sich optisch einwandfreie Oberflächen der gefügten Werkstücke erhalten.

Der Nachteil aus Sicht des Recyclinggedankens ist, dass Klebverbindungen im Allgemeinen nur mit Schädigung oder Zerstörung der Füge­teile lösbar sind. Nur in Sonderfällen ist ein Lösen nach dem Kleben ohne Schädigung möglich.

5.4.2. Definitionen

Klebstoffe sind nichtmetallische Werkstoffe, die Füge­teile durch Flächenhaftung (Adhäsion) und innere Festigkeit (Kohäsion) verbinden können (DIN EN 923).

Dichtstoffe sind nichtmetallische Werkstoffe, die Spalten (Fugen, Hohlräume) zwischen Körpern durch Stoffschluss und volumenüberbrückende Eigenschaften gas- und flüssigkeitsdicht ausfüllen, ohne dass sich die Gefüge der Körper wesentlich verändern (DIN 52460).

Adhäsion bezeichnet Bindungskräfte zwischen der Klebschicht und den Füge­teilen.

Kohäsion bezeichnet Bindungskräfte innerhalb der Klebschicht.

5.4.3. Betrachtungsrahmen

Klebstoffe im Bauwesen können in werkseitig und auf der Baustelle verwendete Klebstoffe eingeteilt werden. Zu unterscheiden sind:

- Klebstoffe, die verwendet werden, um zwei Materialien zu einem Bauteil zu verbinden (z.B. Kleber zwischen Bodenbelag und Estrich)
- Klebstoffe und Klebebänder, die der Abdichtung dienen (z.B. Klebeband zum Abdichten der Dampfbremse, Dichtungs-/Fugenbänder)
- Klebstoffe, die verwendet werden, um zwei Materialien zu einem Produkt zu verbinden (z.B. Trägermaterial + Nutzs­chicht = Teppichboden)

Die nachfolgenden Betrachtungen beziehen sich auf Klebstoffe und Klebebänder, die vor Ort eingesetzt werden und die dem Verbinden einzelner Baumaterialien miteinander zu einem Bauteil oder zu einer Bauteilschicht dienen.

Klebstoffe innerhalb eines Produkts werden hier nicht berücksichtigt, da diese Klebverbindungen beim Recycling normalerweise nicht mehr getrennt werden. Hierzu zählen beispielsweise Schmelzklebstoffe (Verleimen von Holzlamellen zu tragenden Holzbauteilen) oder Kaschier- und Laminierklebstoffe (z.B. beschichtete Arbeitsplatten, MAX-Platten etc.).

5.4.4. Organische Klebstoffe

5.4.4.1. Einteilung der Klebstoffe nach dem Verfestigungsverfahren

Um eine optimale Adhäsion zu erreichen, muss der Klebstoff die Klebflächen wie eine Flüssigkeit benetzen. Zu diesem Zweck enthält er entweder Lösungs- oder Dispersionsmittel (Lösungsmittel bzw. Dispersions-Klebstoffe), oder er wird als Schmelze (Schmelz-Klebstoffe) bzw. als Gemisch reaktionsfähiger Stoffe (Reaktions-Klebstoffe) auf die zu klebenden Flächen aufgetragen.

Das Abbinden (Verfestigen) der Klebschichten kann physikalisch (Verdunsten, Abkühlen) oder/und chemisch (Reaktion der Klebstoffkomponenten) erfolgen:

Physikalisch abbindende Systeme basieren auf einer Komponente, die erst durch Lösungsmittel oder Temperaturerhöhung verarbeitungsfähig werden. Nach dem Auftrag des Klebers härtet dieser ohne weitere chemische Reaktion aus.

Chemisch abbindende Systeme bestehen aus zwei reaktionsbereiten Komponenten, die erst nach dem Auftragen miteinander reagieren und die endgültige Klebeverbindung herstellen. Entweder

werden dem Kleber zwei Komponenten zugefügt oder nur eine, die mithilfe der Umgebungsbedingungen z.B. Feuchtigkeit abbindet.

Physikalisch abbindende Klebstoffe	Chemisch härtende Klebstoffe	Klebstoffe ohne Verfestigungsmechanismus
Schmelzklebstoffe Lösemittelhaltige Nassklebstoffe Kontaktklebstoffe Dispersionsklebstoffe Wasserbasierte Klebstoffe Plastisole	Polymerisationsklebstoffe: Cyanacrylat-Klebstoffe (Sekundenkleber) Methylmethacrylat-Klebstoffe Anaerob härtende Klebstoffe Ungesättigte Polyester (UP-Harze) Strahlenthärtende Klebstoffe	Haftklebstoffe
	Polykondensationsklebstoffe: Phenol-Formaldehydharz-Klebstoffe Silicone Silanvernetzende Polymerklebstoffe Polyamidklebstoffe	
	Polyadditionsklebstoffe: Epoxydharz-Klebstoffe Polyurethan-Klebstoffe	

Tabelle 1: Einteilung der Kleb- und Dichtstoffe nach dem Verfestigungsmechanismus

5.4.4.2. Physikalisch abbindende Klebstoffe

5.4.4.2.1. Dispersionsklebstoffe

Dispersionsklebstoffe sind 1-Komponenten Klebstoffe. Das Bindemittel, ein Kunst- oder Naturharz, ist in Wasser gelöst. Dispersionsklebstoffe binden physikalisch durch Verdunsten des Lösemittels ab. Im Vergleich zu chemisch reagierenden Systemen verfügen sie über geringere Klebschichtfestigkeiten und Feuchtebeständigkeit. Sie können einseitig oder zweiseitig als Kontaktklebstoff (siehe Kapitel 5.4.4.2.3) aufgetragen werden.

Rohstoff	Anteil M.-[%]
Kunst- oder Naturharz (Polyacrylate, Styrolacrylate, Styrol-Butadien- Kautschuk, Chloroprenkautschuk, Colophonium, Latex)	30-40
Wasser	10-20
Lösemittel (Alkohole, Glykole)	0-5
Füllstoffe, Pigmente (Kreide, Talkum, Titanoxid)	30-40
Hilfsstoffe (Weichmacher, Stabilisatoren, Antioxidantien, Verdicker, Topfkonservierungsmittel)	10-15

Tabelle 2: Referenzrezeptur für Dispersionsklebstoff nach WECOBIS

5.4.4.2.2. Kleister

Kleister bestehen aus Stärke oder Celluloseether. Verarbeitungsfertige Produkte enthalten Konservierungsmittel, häufig auf Basis von Formaldehyd. Daneben können die Haftungseigenschaften von Kleistern durch Zugabe von Kunstharzdispersionen oder anderen Additiven angepasst werden (ZWIENER 2006).

Rohstoff	Anteil M.-[%]
Bindemittel (Stärke, Celluloseether oder Kunstharz)	2-20
Wasser	80-98
Hilfsstoffe	< 1

(Konservierungsmittel)	
------------------------	--

Tabelle 3: Referenzrezeptur für Kleister nach WECOBIS

5.4.4.2.3. Kontaktklebstoffe

Die Klebewirkung von Kontaktklebstoffen beruht auf Autoadhäsion. Sie werden dann angewendet, wenn die Füge­teile lösemitteldurchlässig oder dicht sind, oder wenn eine besonders hohe Anfangsfestigkeit erforderlich ist. Kontaktklebstoffe werden üblicherweise beidseitig aufgetragen und nach der Mindesttrockenzeit miteinander verpresst.

5.4.4.2.4. Lösemittelklebstoffe

Lösemittelklebstoffe bestehen aus in flüchtigen organischen Lösemitteln gelösten Polymeren auf Kunst- oder Naturharzbasis. Das Lösemittel dient als Verarbeitungshilfe und muss, je nach Beschaffenheit von Untergrund und Füge­teil vor (bei undurchlässigen Materialien) oder nach dem Zusammenfügen (bei saugenden Materialien) vollständig verdunsten. Lösemittelklebstoffe verfügen über eine gute Anfangsfestigkeit (Habenicht 2009).

Rohstoff	Anteil M.-[%]
Kunst- oder Naturharz (Polyacrylate, Styrolacrylate, Styrol-Butadien-Kautschuk, Chloroprenkautschuk, Colophonium, Latex)	15-40
Lösemittel (Benzine, Paraffine, Alkohole, Glykole, Methanol, Ester)	30-85
Füllstoffe (Kreide, Talkum)	0-30
Hilfsstoffe (Weichmacher, Stabilisatoren, Antioxidantien, Verdicker)	0-10

Tabelle 4: Referenzrezeptur für Lösemittelklebstoff nach WECOBIS

5.4.4.3. Chemisch abbindende Klebmassen

5.4.4.3.1. Reaktionsklebstoffe auf Polyurethanbasis

Bei Reaktionsklebstoffen auf Polyurethanbasis handelt es sich um kalt härtende 1- oder 2-Komponenten-Systeme. 1K-Polyurethan-Klebstoffe härten unter Einwirkung der Luftfeuchtigkeit und Harnstoffbrückenbindung aus, 2-K-Systeme durch die Reaktion von Harz und Härter. Als Lösemittel dienen Ethylacetat, Aceton oder Methylethylketon (Zwiener 2006). Die Härterkomponente besteht aus Polyolkomponenten. 1K-Polyurethan-Klebstoffe werden überwiegend für die Verklebung von Verbundelementen verwendet.

Rohstoff	Anteil M.-[%]
Bindemittel (Isocyanatpolymere)	30-50
Lösemittel (organisch-synthetische Verbindungen)	0-10
Füllstoffe (Kreide, Talkum)	25-40
Hilfsstoffe (Weichmacher, Stabilisatoren, Katalysatoren, Verlaufmittel)	20-25

Tabelle 5: Referenzrezeptur für 1-K-PU-Klebstoff nach WECOBIS

Rohstoff	Anteil M.-[%]
Harzkomponente (Alkohole, Öle)	35-40
Härterkomponente (Isocyanatpolymere)	5-10

Lösemittel (organisch-synthetische Verbindungen)	0-10
Füllstoffe (Kreide, Talkum)	40-45
Hilfsstoffe (Weichmacher, Stabilisatoren, Katalysatoren, Verlaufmittel)	5-10

Tabelle 6: Referenzrezeptur für 2-K-PU-Klebstoff nach WECOBIS

5.4.4.3.2. Reaktionsklebstoffe auf Epoxidharzbasis

Epoxidharz-Klebstoffe für die Verklebung von Bodenbelägen sind kalthärtende Zweikomponentensysteme. Sie bestehen aus einem Harz- und einem Härter, die nach dem Vermischen kontinuierlich abbinden. Füll- und Hilfsstoffe dienen als Verarbeitungshilfen. 2-K-Epoxidharz-Klebstoffe kommen weitestgehend ohne Lösemittel aus. Sie weisen, abhängig von der Zusammensetzung, eine hohe innere Festigkeit und eine gute Klebwirkung auf und sind wasserbeständig.

Rohstoff	Anteil M.-[%]
Harzkomponente (Epoxidharze)	50-60
Härterkomponente (organisch-synthetische Amine)	5-10
Füllstoffe (Kreide, Talkum, Aluminiumoxid, Glassand)	25-30
Hilfsstoffe (Reaktivverdünner, Polymere zur Elastizitätsverbesserung)	5-15

Tabelle 7: Referenzrezeptur für 2-K-PU-Klebstoff nach WECOBIS

5.4.4.3.3. Silanvernetzende Polymerklebstoffe

Silanvernetzende Polymerklebstoffe (MS-Klebstoffe) sind einkomponentige Klebstoffe auf Basis von Polypropylenoxid (PPO)-Ketten mit Silan-Endgruppen. Die Klebwirkung entsteht durch die Reaktion des PPO mit Luftfeuchtigkeit. Zusätzlich enthalten sie Füllstoffe für die Standfestigkeit, Weichmacher, Silanhaftvermittler zur Verbesserung der Haftungseigenschaften sowie UV-Stabilisatoren, Antioxidantien, u.a. Silanvernetzende Polymerklebstoffe sind meistens zähelastisch mit einer hohen Klebkraft. Werden sehr hohe Klebefestigkeitswerte gefordert stehen abgewandelte bzw. erweiterte Varianten zur Verfügung (MS-Polymer/Epoxidharz-Blends, acrylmodifizierte MS-Polymere (MA-Polymere) oder silanmodifizierte Polyurethandichtstoffe).

5.4.4.4. Nicht härtende Klebstoffe

5.4.4.4.1. Haftklebstoffe

Haftklebstoffe sind dauerhaft klebrige und permanent klebfähige organischen Produkte auf Basis von Synthese- oder Naturkautschuk, Polyacrylaten u.a. Für die Verarbeitung benötigen Haftklebstoffe ein Trägermaterial z.B. in Form eines Vlieses, Netzes oder einer Folie. Der Haftklebstoff und das zu verklebende Material werden durch Aneinanderpressen miteinander verbunden. Haupteinsatzgebiet von Haftklebstoffen sind Klebebänder.

Während sich bei den anderen aufgeführten Klebverfahren Klebungen hoher Kohäsionsfestigkeit herstellen lassen, wird Haftkleben im Allgemeinen angewandt, wenn Klebungen geringerer Festigkeit ausreichen oder ein späteres Trennen der Klebungen ohne Materialbeschädigung angestrebt wird.

5.4.4.4.2. Klebebänder

Ein Klebeband oder Selbstklebeband besteht aus Kunststoff-, Kunststoffschaum-, Papier- oder Textilbändern mit oder ohne Verstärkung oder aus Metallfolien, die ein- oder beidseitig mit einer Haftklebstoffschicht versehen sind (DIN 55405):

- Transfer-Klebebänder: zu 100 % aus dem jeweiligen Polymer bestehende Klebstofffilme, die (zur Verarbeitung) auf einem abziehbaren Trägermaterial aufgetragen sind
- Einseitige Klebebänder: Klebebänder mit einem Trägermaterial, auf das die Klebschicht einseitig aufgebracht und mit diesem verbunden ist
- Zweiseitige Klebebänder: Klebebänder mit einem Trägermaterial, auf das die Klebschicht beidseitig aufgebracht und mit diesem verbunden ist
- Geschäumte Klebebänder: Klebebänder ohne ein artfremdes Trägermaterial, bei denen das Gesamtsystem aus dem in geschäumter und geschlossenzelliger Struktur vorliegenden Haftklebstoffpolymer mit beidseitigen Klebeeigenschaften besteht

Entscheidend für das Recyclingverhalten sind die Haftungseigenschaften der Klebebänder, die von „sehr gut wieder ablösbar und repositionierbar“ bis zu „extrem dauerhaft“ reichen. Auch hier ist der Anwendungszweck das ausschlaggebende Kriterium bei der Auswahl des Klebebands bzw. dessen Haftungseigenschaften.

5.4.4.5. Pulver- und Naturklebstoffe

Pulver- oder Naturklebstoffe können in vielen Bereichen eine ökologische Alternative zu synthetischen Klebstoffen darstellen.

5.4.4.5.1. Pulverklebstoffe

Klebstoffe auf Basis eines Polymers, z.B. Polyvinylacetat, mit einem geringen Anteil an Zement oder Calciumsulfat sowie mineralischen Füllstoffen. Der Vorteil gegenüber rein organischen Klebern zur Verlegung von Holzböden ist, dass das mineralische Bindemittel hydraulisch abbindet und das zur Verarbeitung zugegebene Wasser schnell gebunden wird. Somit können auch feuchtigkeitsempfindliche Hölzer mit Pulverklebstoff verklebt und kann der Einsatz lösemittelhaltiger Reaktionsklebstoffe vermieden werden. Pulverklebstoffe sind dauerhaft wasserresistent.

5.4.4.5.2. Kaseinklebstoffe

Klebstoffe auf Basis von Kasein, Füllstoffen und ggf. Leinölfirnis zur Erhöhung der Anfangsklebekraft und der Elastizität. Geeignet für die Verklebung von Bodenbelägen aus Kork, Linoleum oder Textilfasern, aber auch von tragenden Holzbauteilen (ÖNORM EN 12436 Klebstoffe für tragende Holzbauteile - Kaseinklebstoffe - Klassifizierung und Leistungsanforderungen) oder Fliesen.

5.4.4.5.3. Naturkautschuk-Klebstoffe

Klebstoffe auf Basis von Naturkautschuk zum Verkleben von Bodenbelägen aus Kork, Linoleum oder Textilfasern.

5.4.4.5.4. Stärkekleister

Kleber auf Basis von (Kartoffel-)stärke zur Verwendung als Tapetenkleister oder als Putzgrundierung auf stark saugenden Untergründen.

5.4.4.6. Innovationen aus der Bionik

Im Bereich der belebten Natur lassen sich innovative Fügetechniken von einfachen Klammerprozessen hin zu Hafttechniken mit und ohne Klebstoff (Adhäsionssekret) finden.

5.4.4.6.1. Klebstofffreie Systeme - Adhäsionsmechanismen

Quellen:

http://bionik.fbsm.hs-bremen.de/pages/FO_ber_obfl_haft1.php; abgerufen am 15.10.2010

<http://www.materialsgate.de/mnews/2409/Kleben+ohne+Klebstoff.html?start=500>; abgerufen am 15.10.2010

Forschungsvorhaben an der Hochschule Bremen (Bionik-Innovations-Centrum) befassen sich mit der Realisierung künstlicher Haftstrukturen nach dem Vorbild der Springspinne *Evarcha arcuata*. Diese Spinnenart kann ebenso wie Geckos alleine durch Adhäsionsmechanismen – ohne Zuhilfenahme eines Klebstoffes – an Fensterglas und anderen glatten Oberflächen „kleben“. Diese Tiergruppen weisen an ihren Füßen ultrafeine, flexible Härchen mit einem Durchmesser von ca.

0,01 mm auf. Mit diesen Härchen können die Tiere das Relief der Kontaktfläche geometriegetreu abbilden. So entsteht eine große Kontaktfläche in sehr geringem Abstand. Die Van-der-Walls Kräfte, die molekularen Wechselwirkungen zwischen den Kontaktflächen werden so groß, dass sie z.B. bei Spinnen das 170-fache der Gewichtskraft des Tieres ergeben.



Abbildung 127: a) Springspinne b) Rasterelektronen-mikroskopische Aufnahmen die Detailstrukturen der Füße, die erkennbar in eine Vielzahl dünner "Härchen" auslaufen.

Bisher ist es nur im Labor gelungen, das Prinzip nachzustellen. Im großen Maßstab ließ sich der rückstandsfreie „Gecko-Kleber“ noch nicht herstellen. Dabei wäre ein solcher Haft-Mechanismus heiß begehrt, etwa in der Medizintechnik und der Robotik. Bestechend sind besonders das rückstandsfreie Trennen der Kontaktflächen sowie deren ebenso nachhaltige wie vielfältige Einsatzmöglichkeit. Die Volkswagen-Stiftung unterstützt deshalb die Forschung bis hin zur vorindustriellen Fertigung eines Prototyps mit rund 810.000 Euro im Rahmen der Initiative „Offen für Außergewöhnliches“.

5.4.4.6.2. Innovative Multi-Material-Verbindungen zur Herstellung von Hybrid-Bauteilen

Quelle: N. Jank, A. Waldhör, H. Pauser, W. Stieglbauer (Fronius International GmbH, Wels-Thalheim: Innovative Multi-Material-Verbindungen zur Herstellung von Hybrid-Bauteilen. <http://www.materialsgate.de/mnews/5884/Abstract+Innovative+Multi-Material-Verbindungen+zur+Herstellung+von+Hybrid-Bauteilen.html>; abgerufen am 15.10.2010

Die Firma Fronius hat sich die Natur zum Vorbild genommen und Makrostrukturen aus Metall entwickelt, die – ähnlich wie eine Klette – die Basis für eine formschlüssige Verbindung mit einer Vielzahl anderer Materialien darstellen. Diese Makrostrukturen – sog. „Pins“ – mit einer Höhe von wenigen Millimetern werden auf die Fügefläche geschweißt und danach mit dem entsprechendem Fügepartner verbunden, z.B. durch Umgießen mit ungleichartigen Metallen oder mit Harzen, durch Umwickeln mit Textilfasern oder durch Einlegen von Fasermatten und anschließendem Ausgießen mit Kunststoffen. Eine weitere Anwendung ist die Bereitstellung eines guten Haftuntergrunds für Klebeverbindungen oder Keramiküberzügen auf Metallteilen durch die Vergrößerung der Oberfläche.

5.4.4.6.3. Salamander-Klebstoffe

Quelle: Der Natur abgeschaut: Kleben zum Überleben URL: <http://www.bionikzentrum.de/default.asp?navA=newsdetail&main=news&newsid=166>; abgerufen am 15.10.2010

Bestimmte Salamanderarten produzieren Klebstoffe in Hautdrüsen, mit denen sie Räubern den Mund zukleben und so verhindern, gefressen zu werden. Momentan untersucht die Arbeitsgruppe der Universität Wien um den Biologen Janek von Byern, unterstützt von der Hochschuljubiläumstiftung der Stadt Wien, die Zusammensetzung dieser Salamander-Klebstoffe und ihrer Proteine genauer. Wie der Kleber funktioniert, ist derzeit noch unklar.

5.4.4.6.4. Synthetischer Muschelleim

Quelle: Ihr Leben, das ist ein Kleben

<http://www.faz.net/s/Rub163D8A6908014952B0FB3DB178F372D4/Doc~E30757AA6872440A5830FA999FD40AB5E~ATpl~Ecommon~Scontent.html>Bionik; abgerufen am 15.10.2010

Miesmuscheln heften sich mit einem Sekret so stark an Felsen, dass sie auch starken Wellen trotzen. Chemiker des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung in Bremen produzieren und testen seit Anfang 2009 synthetischen Muschelleim.

5.4.5. Anwendungsbereiche von Klebeverbindungen im Bauwesen

Im Folgenden wird beschrieben, welche Klebstoffe in verschiedenen Anwendungsbereichen im Bauwesen verwendet werden.

5.4.5.1. Boden- und Wandbeläge

Abhängig von Bodenbelagsart, Untergrund und Beanspruchung werden zur Verlegung von Bodenbelägen verschiedenste Arten von Klebstoffen verwendet. Es handelt sich dabei vorwiegend um Dispersions-, Kontakt-, Lösemittel-, Polyurethan- oder Epoxidharz-Klebstoffe. Einen Überblick über die Eignung von Klebstoffen für die einzelnen Bodenbeläge zeigt folgende Tabelle aus wecobis.

Untergrund / Bodenbeläge	Dispersions- Klebstoffe	Kontakt-Klebstoffe auf Dispersionsbasis → Dispersions- Klebstoffe	Lösemittel- Klebstoffe	Lösemittel- Klebstoffe Reaktions- Klebstoffe → Polyurethan- Klebstoffe → Epoxidharz- Klebstoffe
Klebstoffauftrag	einseitig	zweiseitig	einseitig	einseitig
saugfähiger Untergrund	+	+	+	+
nicht saugfähiger Untergrund	-	+	+	+
PVC-Beläge	+	+	+	+
Profilierte Gummibeläge mit ebener Rückseite	+	+	-	+
Sockelleisten, Treppenstoßkanten	+ 1)	+	+	-
Textile Beläge mit Rücken (Schaum, Latex, PVC)	+	+	+	-
Polyolefin	+ 1)	-	-	-
Linoleum (Fliesen, Bahnen)	+	+	+	+
Kork	+	+ 1)	+	-
Nadelvlies	+	-	+ 1)	-
Kokos, Sisal	+	-	+	-
Massivparkett einschichtig unbehandelt	+	+ 2)	+	+ 3)
Stabparkett, Mosaikparkett, Hochkantlamellenparkett unbehandelt	+	+ 2)	-	-
Dielenformate, zweischichtig, Tafelparkett, Oberflächenbehandelt	-	-	+	+ 3)
Stabparkett, Massivparkett, zweischichtig, Oberflächenbehandelt oder unbehandelt	+	+ 2)	-	-

+ geeignet

- nicht geeignet

1) nicht von allen Herstellern uneingeschränkt empfohlen

2) Produktspezifische Anwendungen

3) v.a. Polyurethan-Klebstoffe

Abbildung 128: Eignung unterschiedlicher Klebstoffen für unterschiedliche Bodenbeläge.

Quelle: www.wecobis.iai.fzk.de

Für Wandbeläge werden dieselben Klebstoffe wie für Bodenbeläge eingesetzt.

5.4.5.1.1. Textile Bodenbeläge

Textile Bodenbeläge können lose verlegt oder zweiseitig auf einer Nagelleiste (Textilrücken) oder mit einem Klebeband (Vliesrücken) verspannt werden. Eine leichte Fixierung erreicht man durch doppelseitige Vliese oder Folien oder stellenweise flüssige Fixierung mit einem Klebstoff mit verringerter Haftfestigkeit (wässrige Dispersion, leicht lösbar).

Spricht die zu erwartende Beanspruchung gegen die lose oder leicht fixierte Verlegung des Bodenbelags, werden textile Bodenbeläge je nach Art und Beanspruchung vollflächig oder punktuell, mit Dispersions-, Kontakt- oder Lösemittelklebstoff verklebt. Dispersionsklebstoffe können z.B. nicht auf nicht-saugfähigem Untergrund eingesetzt werden, Kontaktklebstoffe sind für Beläge mit textilem Rücken (z.B. Nadelvlies) nicht geeignet (WECOBIS)

5.4.5.1.2. Elastische Bodenbeläge

Untergrund	Dispersionsklebst.	Kontaktklebst.	Lösemittelklebst.	Reaktionsklebst.
PVC-Belag	X	X	X	X
Elastomerbelag, ebene Rückseite	X	X	-	X
Polyolefinbelag	(X)	-	-	-
Linoleumbelag	X	X	X	X
Korkbelag	X	(X)	X	-

Tabelle 8: Für elastische Bodenbeläge geeignete Klebstoffe (WECOBIS, 2010)

Elastomer-Bodenbeläge mit ebener Oberfläche werden bei saugfähigem Untergrund und bis zu einer Belagsdicke von 4 mm vorwiegend mit Dispersionsklebstoffen verklebt. Bei profilierter Oberfläche und hohen Anforderungen an die Klebung, auf nicht saugfähigen Untergründen oder bei Belagsdicken über 4,0 mm werden seitens (TKB 3) 2-K-Reaktionsharzklebstoffe (Polyurethan- oder Epoxidharz-Klebstoffe) empfohlen. Für Formteile wie Sockelleisten oder Treppen können Trockenklebstoffe oder Dispersionskontaktklebstoffe eingesetzt werden.

Linoleumbeläge werden überwiegend mit Dispersionsklebstoffen verklebt. Daneben werden auch Kontaktklebstoffe oder Trockenklebstoffe (z.B. bei Sockelausbildungen), 2-K-Dispersion-Zement-Klebstoffe bzw. Reaktionsharzklebstoffe (z.B. auf nicht saugfähigen Untergründen oder bei hohen Verkehrslasten) eingesetzt. Alternativ stehen auch einkomponentige Zement-Pulverklebstoffe ("GISCODE ZP1") zur Verfügung. Es sind nur Klebstoffe zu verwenden, die vom Hersteller für Linoleumbodenbeläge freigegeben sind (TKB 4).

PVC-Bodenbeläge werden üblicherweise mit Dispersionsklebstoffen vollflächig verklebt. Daneben werden auch Dispersionskontaktklebstoffe (z. B. bei Treppen oder Sockelausbildungen), Reaktionsharzklebstoffe (z. B. auf nicht saugfähigen Untergründen oder bei hohen Verkehrslasten) oder Trockenklebstoffe eingesetzt. Es sind nur Klebstoffe zu verwenden, die für die Klebung von PVC-Bodenbelägen als geeignet ausgewiesen sind (TKB 7).

Korkfliesen oder -parkette werden vorwiegend mit Dispersions- oder Dispersions-Kontaktklebstoffen entsprechend der Herstellerangaben verklebt. Grundsätzlich ist die Wahl des Klebers auch von der Beschaffenheit des Untergrunds (saugfähig, rau) und der Art des Belags abhängig. Böden mit PVC-Rücken benötigen einen Klebstoff mit besonderen Haftungseigenschaften. Für Böden mit Kork-Rücken sind hingegen die meisten Dispersionsklebstoffe geeignet (TKB 5).

5.4.5.1.3. Bodenbeläge aus Holz

Wenn nicht die Nutzung (hohe Beanspruchung, Fußbodenheizung, etc.) dagegen spricht, sollten Parkettböden genagelt werden. Bei der vollflächigen Verklebung von Parkettböden richtet sich z.B. die Art des Klebers nach der Konstruktion des Parketts (ein- oder mehrschichtig) und nach den Holzeigenschaften (Quell- und Schwindmaß).

Dispersionsklebstoffe sind besonders für spannungsarme, quellunempfindliche Parkette wie Mosaik-, Industrie- oder Mehrschichtparkett geeignet. Haftungsprobleme können insbesondere bei Hölzern wie Buche, Ahorn und Esche durch die Feuchtigkeitsabgabe beim Abbindeprozess auftreten. Bei Lösemittelklebstoffen treten diese Probleme weniger auf. Sie sind auch für die o.g. Holzarten geeignet und haben eine gute Klebewirkung. Eine besonders hohe Klebewirkung haben

Polyurethan-Klebstoffe. Sie sind ebenfalls gut für die Verklebung feuchteempfindlicher Hölzer geeignet (TKB 1).

Eine Alternative sind Pulverklebstoffe für die Verklebung spannungsarmer Parkette oder Kleber auf Basis silanmodifizierter (MS-)Polymere, die für fast alle Parkettarten geeignet sind, da sie weder Wasser noch Lösemittel benötigen (ZWIENER 2006).

Laminatböden sollten nach (TKB 2) ausschließlich mit lösemittel- und wasserfreien PU-Klebstoffen zu verkleben.

5.4.5.1.4. Fliesen

Je nach Verlegeart (Dick-, Mittel- oder Dünnbettverfahren) werden unterschiedliche Klebstoffe in unterschiedlichen Auftragsstärken verwendet:

- Mineralische Klebemörtel mit organischen Zusätzen
- Synthesekautschuk- und Epoxidharzklebstoffe
- Dispersionsklebstoffe (im Wandbereich) (Zwiener 2006)

5.4.5.2. Wärmedämmverbundsysteme

Die für die Befestigung von WDVS verwendeten Kleber sind mit den Dämmstoffen und anderen Bestandteilen des WDVS (Armierung, Oberputz, etc.) im System aufeinander abgestimmt und als solches geprüft. Je nach Dämmstoffart und Untergrund stehen unterschiedliche Kleber zur Verfügung:

- Mineralischer Klebe- und Armierungsmörtel z.B. für Mineralschaum-Dämmplatten, Auftragsmengen ca. 4-5 kg/m², zusätzlich Dübel erforderlich. Auftrag des Klebemörtels bei ebenem Untergrund eher flächig, sonst Klebewulste/-streifen mit mindestens 70 % Klebefläche (Wulstbreite 5 cm, Wulsthöhe 2 cm). Armierungsschicht mindestens 5 mm flächiger Auftrag (3,5-4,5 kg/m²).
- Bitumenklebstoff z.B. für Sockeldämmplatten aus XPS, Zweikomponentiger Bitumenkleber aus Bitumen, Quarzsand, Zement, Kunststoffzusätze, Fasern. Vollflächiger Auftrag als Kleber ca. 2,0-3,0 kg/m², als Spachtel ca. 1,1 kg/m²/mm bei einer Mindestdicke (trocken, nicht drückendes Wasser) von 3 mm.
- Dispersionsklebstoff auf Kunstharzbasis z.B. zum vollflächigen Verkleben von EPS/XPS auf Holz oder Holzwerkstoffen. Auftragsmenge ca. 2,0 kg/m² bei glattem Untergrund
- Klebespachtel aus Zement, organischen Bindemittel, Sand und Zusätzen für die Verklebung von EPS und XPS. Mindestschichtdicke: 2-3 mm, Verbrauch: Kleben: ca. 4,5-5,5 kg/m², Spachteln: ca. 4,0-5,0 kg/m²
- Dickschichtklebespachtel aus Zement, organischen Bindemitteln, Sand, Zusätzen, ggf. auch Perlite als Leichtzuschlag zum Verkleben von EPS, Mineralwolle, Holzfaserdämmung und Phenolharzschaumplatten. Auftragsmenge: Kleber ca. 5 kg/m², Spachtel ca. 5 - 8 kg/m², Mindestschichtdicke 5 mm, maximale Schichtdicke: 8 mm
- Tonmörtel zum Ankleben von Holzfaser-Innendämmplatten bestehend aus Tonen, Quarz und Feldspatsande 0-0,8 mm, natürlichen Fasern.

Zusätzlich werden Dübel mit oder ohne Klebeanker zur Fixierung an der Tragstruktur eingesetzt. Die Klebeanker werden auf der rohen Außenwand montiert und mit Klebemörtel bestrichen. Darauf wird wie sonst auch üblich (Kleber am Rand und punktuell auf der Platte) die Platte aufgebracht. Der Vorteil der Klebeanker liegt in der wärmebrückenfreien Ausbildung des WDVS und die Dübelmontage ist weniger zeitaufwändig sowie in der Materialersparnis, da die Dübel nicht auf dem Dämmstoff sondern direkt auf der Außenwand montiert werden und daher kürzer sind.

5.4.5.3. Mauerwerk

Zur Erstellung eines Mauerwerks werden künstliche oder natürliche Steine lagenweise aufeinander geschichtet, dabei werden zur besseren Verbindung der Steine normalerweise Mörtel (Normalmörtel, Leichtmörtel oder Dünnbettmörtel) eingesetzt.

5.4.5.3.1. Normalmörtel

Mauerwerk wird üblicherweise mit Normalmörtel verarbeitet. Er enthält Zement und Kalkhydrat als Bindemittel, Zuschläge aus Kalksteinsand/-mehl sowie ggf. verschiedene Zusätze wie z.B. Pigmente, Luftporenbildner, Verflüssiger usw.

Rohstoff	Anteil M.-[%]
Gesteinskörnung	80-85
Feine Gesteinskörnung	5-10
Zement	10-15
Hilfsstoffe (bei Bedarf)	
Kunststoffdispersion	< 1
Wasserrückhaltmittel	< 0,35
Luftporenbildner	< 0,08
Verdickungsmittel	< 0,06
Verzögerer	< 0,36
Chromatreduzierer	< 0,14
Anorganische Pigmente	< 0,2

Tabelle 9: Referenzrezeptur für Leichtmauermörtel LM 21 (EPD-BMT-2009111-D)

5.4.5.3.2. Leichtmörtel

Leichtmörtel wird eingesetzt, um die Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks bzw. der Mörtelfuge zu reduzieren. Die Fugendicke entspricht in etwa der von Normalmörtel. Leichtmörtel enthalten Leichtzuschläge wie z.B. Blähglasgranulat, Blähglimmer, Blähperlit, Blähschiefer, Blähton, Hütten- und Naturbims oder EPS. Damit erreichen Leichtmörtel der Kategorie LM 21 eine Wärmeleitfähigkeit von 0,21 W/(m K), die der Kategorie LM 36 eine Wärmeleitfähigkeit von 0,36 W/(m K). In WECOBIS (2010) wird beispielhaft folgende Rezeptur für Leichtmauermörtel (Werk trockenmörtel LM 36) genannt:

Rohstoff	Anteil M.-[%]
CEM 42,5	40
WKH	3
Kalksteinsand	10
Kalksteinmehl	15
Blähton, Bims	32
Methylcellulose	0,030
Luftporenbildner	0,015
Stellmittel	0,020

Tabelle 10: Referenzrezeptur für Leichtmauermörtel LM 36 nach WECOBIS

5.4.5.3.3. Dünnbettmörtel

Dünnbettmörtel enthalten ähnlich wie Normalmörtel Zement, Kalkhydrat und Quarzsand/-mehl als Haupteinsatzstoffe. Sie werden jedoch mit Feinzuschlägen mit Korngrößen < 1 mm hergestellt. Somit können besonders dünne Fugen von 1-3 mm ausgebildet werden. Die Wärmedämmung des Mauerwerks wird durch die fast fugenlose Ausführung verbessert. Dünnbettmörteln werden häufig organische Zusätze wie z.B. Vinylacetat-Co- und Terpolymere, Reinacrylate, Styrolacrylate, Styrol-Butadien-Polymere, Vinylpropionat-Copolymere, Polyvinyliden-Vinylchlorid-Polymere zugemischt.

Rohstoff	Anteil M.-[%]
Sand	60
Zement	35
Kalkhydrat	5
Zusätze	2

Tabelle 11: Referenzrezeptur für Dünnbettmörtel nach WECOBIS

5.4.5.3.4. Klebstoffe auf PMDI-Basis

Für die Verarbeitung von Planziegeln werden inzwischen auch 1-komponentige Klebstoffe auf PMDI-Basis angeboten. Der schaumförmige Klebstoff wird im Gegensatz zu Mörtel nicht

vollflächig, sondern als doppelter Klebestreifen (Durchmesser ca. 3 cm) auf den Ziegel aufgetragen. Weitere Bestandteile sind Treibmittel und (halogenierte) Flammschutzmittel.

5.4.5.4. Dichtungsbahnen, Dichtstoffe und Dichtungsbänder

5.4.5.4.1. Kunststoffdichtungsbahnen

Kunststoff- und Kautschukbahnen werden meist einlagig und lose (d.h. mechanisch befestigt oder unter Auflast) auf einer Schutzschicht aus Kunststoffvlies verlegt. Die Funktion von Kunststoffdichtungsbahnen beruht auf der wassersperrenden Wirkung des Bahnenquerschnitts und einer sorgfältigen Naht- und Anschlussverbindungen. Verklebte Nahtverbindungen werden meist durch Quellschweißen, Warmgasschweißen oder mithilfe von Dichtungs- bzw. Abdeckbänder hergestellt. Beim Heißluftverschweißen werden die sich überlappenden Kunststoffdichtungsbahnen miteinander thermisch verbunden, d.h. erweicht und unter Druck miteinander verpresst.

5.4.5.4.2. Bitumendichtungsbahnen

Im Gegensatz zu Kunststoffdichtungsbahnen wird die dauerhafte Dichtheit von Bitumenbahnen nur durch Verschmelzen mehrerer Lagen mit Naht- und Stoßüberdeckung miteinander erreicht:

- Beim Gieß- und Einrollverfahren wird Heißbitumen großzügig vor die aufzuklebende Dichtungsbahn gegossen und diese darin eingerollt. Dieses Verfahren wird kaum mehr angewendet.
- Beim Schweißverfahren wird die Unterseite der Bitumen-Schweißbahn stark erhitzt und erweicht. Die Bitumenbahn wird umgehend ausgerollt, angedrückt und so mit dem Untergrund verklebt.
- Kaltselbstklebebahnen sind werkseitig mit einer bituminösen Kaltklebemasse und Schutzfolie versehen. Die Folie wird kurz vor der Verarbeitung abgezogen, die Dichtungsbahn ausgerollt und auf dem Untergrund bzw. untereinander verklebt.

5.4.5.4.3. Flüssige Abdichtung

Flüssige Abdichtungssysteme bestehen aus einer Grundierung, einer Abdichtung und einem Vlies sowie einer Deckschicht. Es sind unterschiedliche 1- und 2-komponentige Produkte z.B. auf Basis von Polymethylmethacrylat (PMMA) am Markt erhältlich. Falls erforderlich, wird die Dachfläche grundiert und anschließend die flüssige Abdichtung direkt auf den Untergrund aufgetragen. Ein Vlies wird in die Abdichtung eingelegt und eine weitere Schicht aufgetragen. Ein Deckanstrich dient als Schutzschicht. Flüssige Abdichtungssysteme sind vollflächig fix mit dem Untergrund verbunden.

5.4.5.4.4. Dichtungsbänder und Dichtstoffe

Dichtungsbänder und Dichtstoffe werden in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt:

- Die Folienstöße von Dampfbremsen werden zunächst mit einem Tacker fixiert und anschließend mit einem einseitigen Klebeband luftdicht verklebt. Ergänzend werden Dichtstoffe (z.B. auf Basis von Acrylatdispersionen) zur Verfügung gestellt, mit denen die Dampfbremse luftdicht an einbindende Bauteile (Kamine, Innenwände, etc.) angeschlossen wird.
- Dauerelastische Dichtungsbänder werden verwendet, um leichte Trenn-/Innenwände an flankierende Bauteile anzuschließen.
- Fensterfugen können mit einseitig selbstklebenden Schaumstoffdichtungsbändern abgedichtet werden.
- Silikone werden vorwiegend zur Fugenabdichtung im Sanitärbereich eingesetzt.
- Montageschäume auf Basis von Polyurethan werden zur Abdichtung von Fugen (z.B. Fensteranschluss im Rohbau), zum Ausschäumen von Hohlräumen (z.B. Rolladenkasten), etc. verwendet.

5.4.6. Festigkeit und Lösbarkeit von Klebeverbindungen

5.4.6.1. Theoretische Grundlagen

Eine Kernfrage zur Recyclierbarkeit von verklebten Bauteilschichten ist die Lösbarkeit von Klebeverbindungen. Das grundsätzliche Problem dieser Aufgabenstellung ist, dass sich die Forschung im Bereich der Klebetechnik auf die Entwicklung von haltbaren und widerstandsfähigen Klebstoffen beschränkt. Das Lösen des Klebeverbundes stellt hier den unerwünschten Fall dar und ist somit bisher auch nicht publiziert worden. Die folgenden theoretischen Grundlagen basieren auf einer Studie von ROHRSCHEIDER (2008).

Der ausgehärtete Klebstoff stellt einen Polymerverbund aus Thermoplasten (z.B. Polymethylmethacrylat) oder Duroplasten (z. B. Epoxidharz) dar. Zum Lösen einer aus thermo- oder duroplastischen Kunststoffen bestehenden Verbindung stehen mechanische, thermische und chemische Verfahren, die alleine oder in Kombination angewendet werden können, zur Verfügung.

5.4.6.1.1. Mechanisches Lösen der Klebeverbindung

Klebeverbindungen sind stoffschlüssige Verbindungen. Bei einer mechanischen Belastung der Klebestelle geht der Kraftfluss von einem Fügebauteilwerkstoff durch den Klebstoff auf das gegenüberliegende Fügebauteil über. Man unterscheidet im Wesentlichen vier Belastungsarten:

- Scherkräfte wirken parallel zur Klebung und verursachen einen trapezförmigen Verzug.
- Zugkräfte wirken senkrecht zur Klebung und verteilen sich gleichmäßig über die gesamte Klebefläche.
- Spaltkräfte konzentrieren sich auf einen begrenzten Teil der Klebung und verursachen örtliche Spannungsspitzen.
- Schälkräfte wirken auf die Kante der geklebten Fläche.

Beim mechanischen Ablösen werden die Bauteile durch eine Überbeanspruchung der Klebefuge, welche zu einem Adhäsions- und/oder Kohäsionsbruch führt, getrennt. Dazu wendet man Zugscher-, Druckscher- und Drehscherbeanspruchungen bei stark überdimensionierten Fügebauteilpaarungen an, um deren Deformation zu vermeiden. Die Belastung kann statisch oder dynamisch erfolgen, wobei sich die dynamische Belastung als schonender erweist, da die Klebefestigkeit eines Klebstoffes oft unter der Eigenfestigkeit (Kohäsion) der Fügebauteilwerkstoffe liegt. Eine weitere mechanische Lösetechnik ist das Auftrennen der Klebeverbindung mit Trennwerkzeugen, wie z.B. Keile, Sägen. Dabei werden die Spaltkräfte genutzt.

Muss nur eine der beiden Fügebauteile wiedergewonnen werden, kann das Ablösen der zweiten Schicht auch durch Fräsen oder Schleifen erfolgen.

Die mechanischen Entklebeverfahren trennen zwar die Klebeverbindung, schädigen aber durch die Kräfteinbringung das Werkstück. Des Weiteren lässt sich die Klebeschicht mit ihnen nur durch (zusätzliches) Fräsen oder Schleifen rückstandsfrei von den Substratoberflächen entfernen.

5.4.6.1.2. Thermisches Lösen der Klebeverbindung

Das thermische Lösen wird bei wärmeleitfähigen Stoffen wie Metallen eingesetzt. Je nach Klebstoffart sind hierzu Temperaturen zwischen 60° und 400° C notwendig. Thermoplastische Klebstoffe werden dabei ausgeschmolzen, die duroplastischen hingegen zersetzen sich bei den entsprechend hohen Temperaturen. Zur letztendlichen Trennung der Fügebauteile können auch moderate mechanische Verfahren unterstützend eingesetzt werden.

Beim thermischen Entkleben besteht die Gefahr der Werkstückschädigung durch eine zu starke Wärmeeinbringung. Zudem können sich giftige Gase bilden, die entsprechend neutralisiert werden müssen.

Nach der Trennung der Fügebauteile verbleiben je nach Klebstoffart verschiedenste Rückstände in Form von wiedererstarteten Thermoplasten oder Zersetzungsprodukten der Duromere auf den Oberflächen. Die endgültige Entfernung dieser Rückstände muss dann mit Lösemitteln oder anderen chemischen Reinigern erfolgen.

5.4.6.1.3. Chemisches Lösen der Klebeverbindung

Chemisches Lösen erfolgt mit Lösemitteln oder anderen Chemikalien (Säuren, Laugen), die jedoch nur das Klebstoffmaterial und nicht den Fügeartikelwerkstoff angreifen dürfen. Deshalb eignen sich Säuren oder Laugen hierfür weniger. Das Lösen eines Polymers ist als ein sehr komplexer Vorgang anzusehen. Man muss demzufolge empirisch vorgehen, um das für den jeweiligen Klebstoff geeignete Lösemittel zu bestimmen. Die nachfolgende Tabelle 4.1 listet dazu einige der gängigen Lösemittel für Polymere auf.

Nr.	Lösemittel	Gefahrstoffsymbole	MAK-Wert [ppm]	100f _d	100f _p	100f _h
1	White Spirits (Testbenzin)	F	-	98	1	1
3	n-Heptan	F	2000 mg/m ³	100	0	0
5	Cyclohexan	F	200	94	2	4
6	Benzen	F T	cancerogen	78	8	14
7	Toluen	F Xn	50	80	7	13
8	o-Xylen	Xn	100	83	5	12
12	Chloroform	Xn	10	67	12	21
13	Tetrachlormethan	T	10, cancer. Verdacht	85	2	13
16	Diethylether	F+	-	64	13	23
18	Dioxan	F Xn	200, cancer. Verdacht	67	7	26
19	Ethoxyethanol (Cellosolve®)	T+	5, cancer. Verdacht	42	20	38
24	Essigsäureethylester	F	400	51	18	31
29	Aceton	F	500	47	32	21
30	Methylethylketon	F Xi	200	53	30	17
31	Cyclohexanon	Xn	cancer. Verdacht	55	28	17
34	Ethylenglykol	Xn	10	30	18	52
35	Methanol	F T	200	30	22	48
36	Ethanol	F	1000	36	18	46
37	2-Propanol (Isopropylalkohol)	F	200	38	17	45
47	Wasser		-	18	28	54

Lfd. Nr. und Teas-Parameter nach C.V.Horie, 'Materials for Conservation', Butterworth-Heinemann, London, 1987, Anhang 2.1, S. 186ff

Tabelle 12: Gängige Lösemittel für Polymere (aus: ROHRSCHEIDER 2008)

Niedrige MAK.Werte von z.B. 25 ppm kennzeichnen eine starke Giftigkeit. Werte zwischen 25 und 100 ppm entsprechen einer mittleren Giftigkeit und Werte zwischen 100 und 1000 ppm haben nur eine geringfügige Giftigkeit (ppm = parts per million).

Die Teas-Parameter (100f_d, 100f_p, 100f_h) sind charakteristische Maßzahlen für die Stärke der zwischen den einzelnen Molekülen des Lösemittels wirkenden Kohäsionskräfte. Diese Löslichkeitsparameter sind auf 100 (Gesamtheit aller Bindungskräfte) normiert und Splitten sich anteilig nach der spezifischen Molekülstruktur des Stoffes in Dispersionskräfte (100f_d), Dipolkräfte (100f_p) und Wasserstoff-Brücken-Bindungen (100f_h).

Die chemischen Löseverfahren sind in der Lage, die Klebstoffschicht rückstandsfrei vom Werkstück abzulösen und es gleichzeitig so zu reinigen, dass es ohne eine Nachbehandlung der Endverwendung zuführbar ist.

Von ROHRSCHEIDER (2008) wurden diverse Klebstoffsysteme auch experimentell auf ihre Lösbarkeit untersucht. Die Untersuchungsergebnisse zeigten, dass sich die physikalischen Klebstoffsysteme mit milden Lösemitteln (Ethylacetat) schon nach wenigen Stunden trennen ließen. Die Cyanacrylatklebstoffe waren nur mit Aceton lösbar. Klebeverbindungen mit UHU Acrylit (Reaktionsklebstoff auf Acrylatbasis) lösten sich in Ethylacetat (MAK-Wert 400, geringfügige Giftigkeit) und Toluol (MAK-Wert 50, mittlere Giftigkeit). Wobei die Variante mit Toluol, wegen der wesentlich schlechteren Humanverträglichkeit gegenüber Ethylacetat verworfen wurde. Epoxide zeigten sich selbst nach 96 h gegen alle verwendeten Lösemittel beständig.

5.4.6.2. Lösbarkeit der Verbindungen im Bauwesen

5.4.6.2.1. Einteilung der Verbindungen

Im Allgemeinen sind Klebeverbindungen nur mit Schädigung oder Zerstörung der Füge­teile lösbar. In Sonderfällen ist ein Lösen nach dem Kleben ohne Schädigung möglich.

Die Endfestigkeit von Klebeverbindungen und damit die Recyclierbarkeit der Füge­teile wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst, wie z.B. die Verbindung mit dem Füge­teil, d.h. wie stark der Klebstoff das Füge­teil an­löst, der Druck, mit dem Füge­teile miteinander verpresst werden (Auspressen von Lösemittel, Oberflächenbenetzung) und die Temperatur, mit der der Klebstoff verarbeitet wird (bessere Verteilung und Oberflächenbenetzung).

Die weiter oben für den Anwendungsbereich im Bauwesen beschriebenen Verbindungen werden demzufolge in drei Gruppen eingeteilt:

Leicht lösbare Verbindungen

- Fixierungen, lösbare Klebebänder
- Natur- oder Dispersionsklebstoffe für Bodenbeläge
- Stärkekleister für Tapeten

Mäßig bis schwer lösbare Verbindungen, Füge­teile nicht zerstörungsfrei lösbar

- Mineralische Normal-, Leicht- oder Dünnbettmörtel für Mauerwerk
- Mineralische Klebemörtel für Mineralschaumdämmplatten im WDVS
- Klebebänder mit guten Haftungseigenschaften, nicht repositionier- oder ablösbar

Schwer lösbare Verbindungen

- Mit Kontaktklebstoffen vollflächig verklebte Bodenbeläge
- Mit Reaktionsklebstoffen vollflächig verklebte Bodenbeläge
- Vollflächig verklebte Dichtungsbahnen
- Klebemörtel
- Dichtstoffe

Aus Sicht der Rückbaubarkeit sind leicht lösbare Verbindungen zu bevorzugen, also vorwiegend physikalisch abbindende Klebstoffe oder Haftklebstoffe mit geringer bis mittlerer Haftung. Wenn der Einsatzbereich oder das Material die Verarbeitung mit schwer lösbaren Klebern erfordert, sind sortenreine Verbindungen zu bevorzugen, z.B. Mineralschaumplatte mit mineralischem Klebemörtel verklebt.

Die Menge des aufgetragenen Klebstoffes wird von der Nutzung und der Gebrauchstauglichkeit bestimmt. Es ist davon auszugehen, dass die Klebemengen im Hinblick auf ein verbessertes Entsorgungsverhalten der Verbindungen deshalb nicht reduziert werden können.

5.4.6.2.2. Rückbau von verklebten Wand- und Bodenbelägen

Der Boden- oder Wandbelag hat in der Regel eine wesentlich kürzere Nutzungsdauer als der Untergrund. Daher ist es sinnvoll, Klebstoffe einzusetzen, die ein leichtes Abtrennen des Belags vom Untergrund und im günstigsten Fall sogar dessen Recycling ermöglichen:

- Eine klettverschlussähnliche Fixierung von textilen Bodenbelagsrückseiten auf einem am Boden aufgeklebten Klettband ermöglicht den schnellen Austausch von textilen Bodenbelägen. Die Fa. Vorwerk bietet zusätzlich zu ihrem ecofix®-Klettverlegesystem ein Bodenbelagsmanagement an und sorgt im Objektbereich mit entsprechenden Partnern für Verlegung, Pflege und Entfernen und Recycling von geleasteten Teppichböden.
- Für textile und elastische Bodenbeläge stehen Klebefolien (Polyethylenfolien mit beidseitig unterschiedlichen Klebstoffen zur Verfügung, Fa. Uzin) zur Verfügung, die laut Herstellerangaben beim Rückbau zusammen mit dem Bodenbelag rückstandslos entfernt werden können.

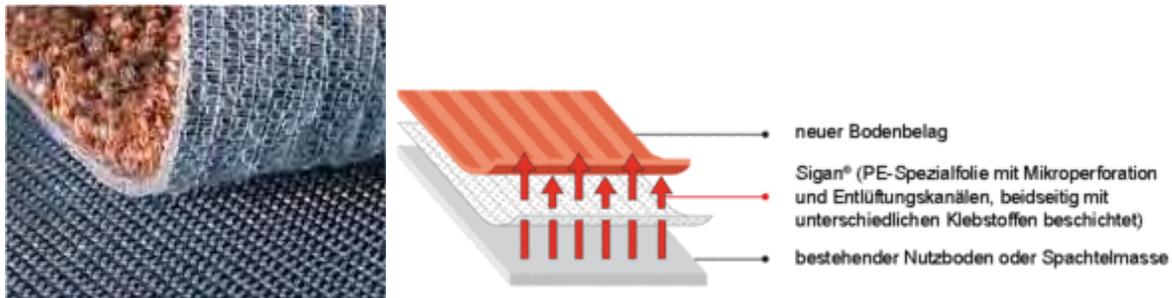


Abbildung 129: Trennbare Befestigung von Bodenbelägen auf dem Untergrund.

a) Klettverschlussähnliche Fixierung des textile Bodenbelags auf Klettband (Quelle: http://www.vorwerk-teppich.at/sc/vorwerk/template/ecofix_Klettverlegesystem.html)

b) Klebefolien für textile und elastische Bodenbeläge (<http://www.uzin.de/switchTec-R-Klebetete.959.0.html>)

Bei stärker haftenden Verklebungen ist kein zerstörungsfreier Ausbau des Bodenbelags möglich.

Am Boden anhaftende Klebstoffe oder Belagsreste können mechanisch mit Fräs- und Schleifmaschinen vom Untergrund entfernt werden, damit dieser wieder neu belegt werden und bis zum Rückbau des gesamten Gebäudes genutzt werden kann.



Abbildung 130: Entfernen von Boden- und Wandbelägen. Quellen im Uhrzeigersinn:

<http://www.boden-raus.de/leistungen/demontage.html>

<http://www.baumarkt.de/nxs/211///baumarkt/schablone1/Mit-dem-Drucklufthammer-alte-Fliesen-Putze-und-Bodenbelaege-abstemmen>

<http://www.saniermeister.de/anwendungsbereiche/bodenbelag-entfernen/pvc-bodenbelag-entfernen.html>

Mit mineralischen Klebemörteln verlegte Wand- oder Bodenfliesen können mit geringem Aufwand mit Spaltwerkzeugen (Spachtel etc.) vom Untergrund getrennt werden. Ein zerstörungsfreier Rückbau ist aber, wenn überhaupt, nur mit besonderen Vorkehrungsmaßnahmen möglich.

Tapeten werden üblicherweise mit Normalkleistern auf die Wand geklebt, die unter Feuchteeinwirkung (Besprühen der Tapete, abziehen, restlichen Kleister feucht abwischen) einfach zu entfernen sind. Bei schwereren Tapeten (z.B. Textil-, Naturwerkstoff- oder Vinyltapeten) sind Spezialkleister erforderlich, die nicht so einfach von der Wand zu trennen sind.

5.4.6.2.3. Rückbau von Wärmedämmverbundsystemen

Das Wärmedämmverbundsystem lässt sich am einfachsten direkt am Abbruchobjekt vom Untergrund trennen. Die Trennung kann entweder in Handarbeit mit stabilen Flacheisen oder mit der Baggerschaufel erfolgen. Zusätzlich kann zuvor mit einer Fräsmaschine die Deckschicht von der Dämmung geschält werden. Von der Fa. Baumit wurde für EPS-WDVS eine solche Fräsmaschine angeboten, welche die Deckschicht des Wärmedämmverbundsystems „abnagt“ („System Biber“). Das entfernte Altmaterial wurde direkt in einem abgedichteten Saugkasten aufgenommen und durch eine Sauganlage sortenrein in einen Container transportiert. Mittlerweile wurde diese Dienstleistung jedoch mangels Interesse wieder eingestellt. Die wirtschaftliche Sinnhaftigkeit der Trennung hängt vor allem vom geplanten Entsorgungsweg für den Dämmstoff ab. Ein zerstörungsfreies Ablösen des Dämmstoffs vom Untergrund ist aber mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand derzeit ohnehin nicht möglich. Für eine stoffliche Verwertung als Zuschlagsmaterial oder für eine thermische Verwertung ist die vorherige Abtrennung nicht erforderlich.

Recyclingvorteile bei der Befestigung von Dübeln auf Klebeankern gegenüber Befestigungsdübeln sind nicht erkennbar.

Als zerstörungsfrei trennbare Alternative stehen Vorhangfassaden zur Verfügung.

5.4.6.2.4. Rückbau von Mauerwerk

Die Aufgabe des Mörtels ist es, Mauersteine kraftschlüssig zu verbinden und einen Ausgleich von Maßtoleranzen der Mauersteine zu gewährleisten. Beim Abbruch von Mauerwerk fällt durch den guten Verbund zwischen Mauermörtel und Stein, der eine Trennung sehr aufwändig macht, gemischter Mauerwerkabbruch an, bestehend aus Mauersteinen und Mörtel sowie gegebenenfalls weiteren Stoffen (z.B. Beschichtungen, Putze). Die Verwertung von diesem gemischten Mauerwerkabbruch erfolgt im Rahmen der Aufbereitung von Bauschutt.

Beim Abbruch von Gebäuden z.B. aus der Gründerzeit ist aufgrund der schlechten Mörtelqualität eine Trennung von Ziegel und Mörtel relativ problemlos möglich, was die Frage aufwirft, welche Mörtelqualität für ein Mauerwerk tatsächlich erforderlich ist und welche Zusammensetzung eine leichtere Trennung von den Mauersteinen ermöglicht. Prinzipiell könnte in Zukunft dazu übergegangen werden, die Mörtelfestigkeit genau auf die Beanspruchung abzustimmen und nicht wesentlich höher als erforderlich zu wählen. .

5.4.6.2.5. Rückbau von Dichtungsbahnen, Dichtstoffen und Dichtungsbändern

Lose, mechanisch oder unter Auflast befestigte Kunststoff- und Kautschukbahnen können auf Grund der fehlende Verklebung einfach rückgebaut werden. Bitumenbahnen und flüssige Abdichtungssysteme sind dagegen vollflächig mit dem Untergrund verbunden. Eine Trennung kann allenfalls durch Fräsen oder Schleifen erfolgen, wird in der Regel bei Abbruchmaßnahmen aber wegen des hohen Personalaufwands nicht durchgeführt werden.

Dichtungsbänder und Dichtstoffe sind nicht rückgewinnbar. Sie verbleiben beim Rückbau meist als Verunreinigung in den angrenzenden Baumaterialien zurück. Dichtstoffe sollten nach Möglichkeit vermieden und stattdessen Dichtungsprofile oder Dämmfasern verwendet werden. Beide können sauber entfernt werden. Anstelle von Montageschäumen sollten mineralische Mörtelkleber bevorzugt werden, da diese relativ sortenrein mit dem Mauerwerk in die Entsorgung gehen.

Proclima, Hersteller von Dampfbremsen und Ergänzungsprodukten, bietet neben Dichtungsklebebändern und –massen auch Manschetten an, mit denen Kabel und Rohre luftdicht angeschlossen werden können. Mit der Verwendung der Dichtungsbänder in Kombination mit den

Dichtungsmanschetten kann auf Dichtschäume verzichtet werden. Die Manschetten bestehen aus EPDM, sind teilweise mit selbstklebender Folie (für besseren Anschluss) versehen.

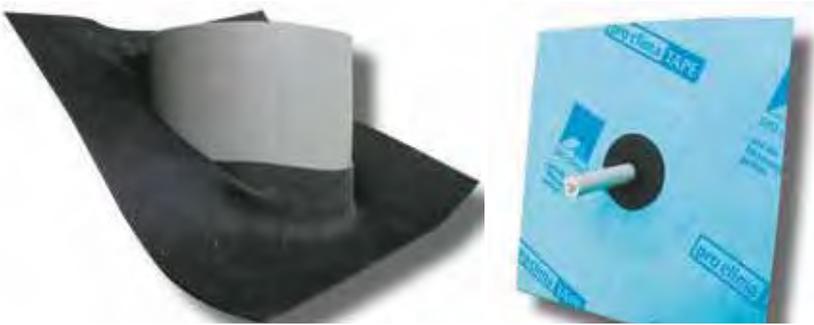


Abbildung 131: Dichtungsmanschetten

Quelle: http://de.proclima.com/co/DE/de/produkte_klebertechnik_start.html

5.4.6.2.6. Klebstoffverunreinigungen beim Recycling

Anhaftende Klebstoffreste können das Recycling des Baumaterials beeinträchtigen oder verunmöglichen. Inwieweit dies zutrifft ist vom prozentuellen Anteil sowie von den Reinheitsanforderungen des Recyclingprozesses abhängig. Einige Beispiele (ABC-DISPOSAL, 2009):

- Bitumenreste auf Beton (bis zu 1 Masse-%) verändern die Eigenschaften von Beton im Falle einer Verwertung der beschichteten Betonteile als Zuschlagstoff nicht, höhere bituminöse Anteile im Recyclingzuschlag können die Festigkeit des Betons aber vermindern.
- Chlor in Zuschlagsmaterial für Beton kann bereits in geringen Mengen unmittelbaren Einfluss auf die Betonqualität haben. Chlor wird vor allem über Kunststoffe wie Polyvinylchlorid eingetragen.
- Organische Verunreinigungen haben keinen Einfluss auf die Recyclingqualität von Metallen, sie verringern allenfalls die Ausbeute.

Bei der thermischen Verwertung in Müllverbrennungsanlagen spielen Klebstoffverunreinigungen auf Grund ihrer Zusammensetzung und der geringen am Material anhaftenden Menge keine wesentliche Rolle.

5.4.7. Zusammenfassung

Klebstoffe sind nichtmetallische Werkstoffe, die Fügebauteile durch Flächenhaftung (Adhäsion) und innere Festigkeit (Kohäsion) verbinden können (DIN EN 923).

Organische Klebstoffe können in physikalisch abbindende und chemisch abbindende Systeme unterteilt werden. Zu den physikalisch abbindenden Klebstoffen zählen Dispersionsklebstoffe, Lösemittelklebstoffe, Kontaktklebstoffe und Kleister. Chemisch abbindende Systeme bestehen aus zwei reaktionsbereiten Komponenten, die erst nach dem Auftragen miteinander reagieren und die endgültige Klebeverbindung herstellen. Entweder werden dem Kleber zwei Komponenten zugefügt oder nur eine, die mit Hilfe der Umgebungsbedingungen z.B. Feuchtigkeit abbindet. Reaktionsklebstoffe auf Polyurethanbasis, Epoxidharz-Klebstoffe und Silanvernetzende Polymerklebstoffe gehören zu den chemisch abbindenden Systemen

Für Klebungen mit geringerer Festigkeit, welche auch ein späteres Trennen der Klebung ohne Materialbeschädigung erlauben, stehen außerdem Haftklebstoffe zur Verfügung, das sind dauerhaft klebrige und permanent klebfähige organischen Produkte auf Basis von Synthese- oder Naturkautschuk, Polyacrylaten u.a. Haupteinsatzgebiet von Haftklebstoffen sind Klebebänder.

Pulverklebstoffe (z.B. Polyvinylacetat, mit einem geringen Anteil an Zement oder Calciumsulfat) oder Naturklebstoffe (auf Basis von Kasein, Naturkautschuk oder Stärke) können in vielen Bereichen eine ökologische Alternative zu synthetischen Klebstoffen darstellen.

Die Verbindung von Werkstücken über Klebstoffe weist im Vergleich zu anderen Verbindungsverfahren technische Vorteile auf. Der Nachteil aus Sicht des Recyclinggedankens ist, dass Klebeverbindungen im Allgemeinen nur mit Schädigung oder Zerstörung der Fügebauteile lösbar sind. Nur in Sonderfällen ist ein Lösen nach dem Kleben ohne Schädigung möglich. Die Kernfrage zur

Recyclierbarkeit von verklebten Bauteilschichten ist also die Lösbarkeit der Klebeverbindungen. Dazu stehen mechanische, thermische und chemische Verfahren, die alleine oder in Kombination angewendet werden können, zur Verfügung.

Beim mechanischen Ablösen werden die Bauteile durch eine Überbeanspruchung der Klebefuge, welche zu einem Adhäsions- und/oder Kohäsionsbruch führt, getrennt. Dazu wendet man Zug-, Scher-, Druckscher- und Drehscher-Beanspruchungen an. Eine weitere mechanische Lösetechnik ist das Auftrennen der Klebeverbindung mit Trennwerkzeugen, wie z.B. Keile, Sägen. Muss nur eine der beiden Fügeteile wiedergewonnen werden, kann das Ablösen der zweiten Schicht auch durch Fräsen oder Schleifen erfolgen. Die mechanischen Entklebeverfahren trennen zwar die Klebeverbindung, können aber durch die Krafteinbringung das Werkstück schädigen. Des Weiteren lässt sich die Klebeschicht mit ihnen nur durch (zusätzliches) Fräsen oder Schleifen rückstandsfrei von den Substratoberflächen entfernen.

Das thermische Lösen bei Temperaturen zwischen 60 und 400 °C wird bei wärmeleitfähigen Stoffen wie Metallen eingesetzt. Thermoplastische Klebstoffe werden dabei ausgeschmolzen, die duroplastischen hingegen zersetzen sich. Beim thermischen Entkleben besteht die Gefahr der Werkstückschädigung durch eine zu starke Wärmeeinbringung. Zudem können sich giftige Gase bilden, die entsprechend neutralisiert werden müssen. Nach der Trennung der Fügeteile verbleiben je nach Klebstoffart verschiedenste Rückstände in Form von wiedererstarteten Thermoplasten oder Zersetzungsprodukten der Duromere auf den Oberflächen. Die endgültige Entfernung dieser Rückstände muss dann mit Lösemitteln oder anderen chemischen Reinigern erfolgen.

Chemisches Lösen erfolgt mit Lösemitteln. Die chemischen Löseverfahren sind in der Lage, die Klebstoffschicht rückstandsfrei vom Werkstück abzulösen und es gleichzeitig so zu reinigen, dass es ohne eine Nachbehandlung der Endverwendung zuführbar ist. Untersuchungen von ROHRSCHEIDER (2008) zeigten, dass sich die physikalischen Klebstoffsysteme mit milden Lösemitteln (Ethylacetat) schon nach wenigen Stunden trennen ließen. Die Cyanacrylatklebstoffe waren nur mit Aceton lösbar. Ein Reaktionsklebstoff auf Acrylatbasis löste sich in Ethylacetat. Epoxide zeigten sich selbst nach 96 h gegen alle verwendeten Lösemittel beständig.

Die im Bauwesen eingesetzten Klebeverbindungen können in drei Gruppen eingeteilt werden:

Leicht lösbare Verbindungen: Fixierungen, lösbare Klebebänder, Natur- oder Dispersionsklebstoffe für Bodenbeläge, Stärkekleister für Tapeten

Mäßig lösbare Verbindungen, Fügeteile nicht zerstörungsfrei lösbar: mineralische Normal-, Leicht- oder Dünnbettmörtel für Mauerwerk; mineralische Klebemörtel im WDVS; nicht repositionier- oder ablösbare Klebebänder mit guten Haftungseigenschaften

Schwer lösbare Verbindungen: mit Kontakt- oder Reaktionsklebstoffen vollflächig verklebte Bodenbeläge; vollflächig verklebte Dichtungsbahnen; Klebemörtel; Dichtstoffe

5.4.8. Empfehlungen

Klebeverbindungen sollten nach Möglichkeit vermieden werden, denn sie sind im Allgemeinen nur mit Schädigung oder Zerstörung der Fügeteile lösbar. Nur in Sonderfällen ist ein Lösen nach dem Kleben ohne Schädigung möglich.

Können Klebeverbindungen nicht vermieden werden, sind aus Sicht der Rückbaubarkeit leicht lösbare Verbindungen zu bevorzugen, also vorwiegend physikalisch abbindende Klebstoffe oder Haftklebstoffe mit geringer bis mittlerer Haftung.

Wenn der Einsatzbereich oder das Material die Verarbeitung mit schwer lösbaren Klebern erfordert, sind sortenreine Verbindungen zu bevorzugen, z.B. Mineralschaumplatte mit mineralischem Klebemörtel verklebt.

Klebstoffe für Boden- oder Wandbeläge, die ein leichtes Abtrennen des Belags vom Untergrund und im günstigsten Fall sogar dessen Recycling ermöglichen, sind:

- Leichte Fixierung von textilen Bodenbelägen mit Klettband
- Vom Untergrund lösbare Klebefolien für textile und elastische Bodenbeläge

Bei Wärmedämmverbundsystemen ist ein zerstörungsfreies Ablösen des Dämmstoffs vom Untergrund mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand derzeit nicht in Sicht. Recyclingvorteile bei der Befestigung von Dübeln auf Klebeankern gegenüber Befestigungsdübeln sind nicht erkennbar. Als zerstörungsfrei trennbare Alternative stehen Vorhangfassaden zur Verfügung.

Beim Abbruch von modernem Mauerwerk fällt gemischter Mauerwerkabbruch an, bestehend aus Mauersteinen und Mörtel bzw. PMDI-Kleber sowie gegebenenfalls weiteren Stoffen (z.B. Beschichtungen, Putze). Beim Abbruch von Gebäuden z.B. aus der Gründerzeit ist dagegen aufgrund der schlechten Mörtelqualität eine Trennung von Ziegel und Mörtel relativ problemlos möglich, was die Frage aufwirft, welche Mörtelqualität für ein Mauerwerk tatsächlich erforderlich ist und welche Zusammensetzung eine leichtere Trennung von den Mauersteinen ermöglicht.

Lose, mechanisch oder unter Auflast befestigte Kunststoff- und Kautschukbahnen können auf Grund der fehlende Verklebung einfach rückgebaut werden. Bitumenbahnen und flüssige Abdichtungssysteme sind dagegen vollflächig mit dem Untergrund verbunden. Eine Trennung kann allenfalls durch Fräsen oder Schleifen erfolgen, wird in der Regel bei Abbruchmaßnahmen aber wegen des hohen Personalaufwands nicht durchgeführt werden.

Dichtungsbänder und Dichtstoffe sind nicht rückgewinnbar. Sie verbleiben beim Rückbau meist als Verunreinigung in den angrenzenden Baumaterialien zurück. Dichtstoffe sollten nach Möglichkeit vermieden und stattdessen Dichtungsprofile oder Dämmfasern verwendet werden. Beide können sauber entfernt werden. Anstelle von Montageschäumen sollten mineralische Mörtelkleber bevorzugt werden, da diese relativ sortenrein mit dem Mauerwerk in die Entsorgung gehen.

5.5. Praxisbeispiele für innovative Fügetechniken

Unter Betrachtung der Kreislauffähigkeit von Gebäuden fällt der Verbindung der Bauteile eine sehr bedeutende Rolle zu. Dabei ist die Verwendung von standardisierten Verbindungen bei hohen Ansprüchen an die Ausführungsqualität und in Hinblick auf Demontage und Wiederverwendbarkeit ein entscheidender Vorteil.

Die allgemeinen Anforderungen an Verbindungselemente könnten folgendermaßen definiert werden:

- Langlebige, tragfähige Verbindung von 2 Elementen
- Exakte Justierung (Einrichtung der Fertigteile in vertikaler und horizontaler Richtung) soll vor Ort leicht durchführbar sein
- Zerstörungsfreies Lösen der Verbindung
- Integration verschiedener Gewerke, z.B. Elektro-, Sanitärinstallationen

Im Folgenden sollen einige Neuentwicklungen auf dem Sektor der Verbindungstechniken, die im Sinne der leichten Montage und Demontage entwickelt wurden, vorgestellt werden.

Das von Fa. Munitec GmbH entwickelte Unicon Schnellverbinder- System für den industriellen Hausbau, ermöglicht es, gleich bei der Montage Bauteile und Medien durch einfaches Zusammenstecken zu verbinden.



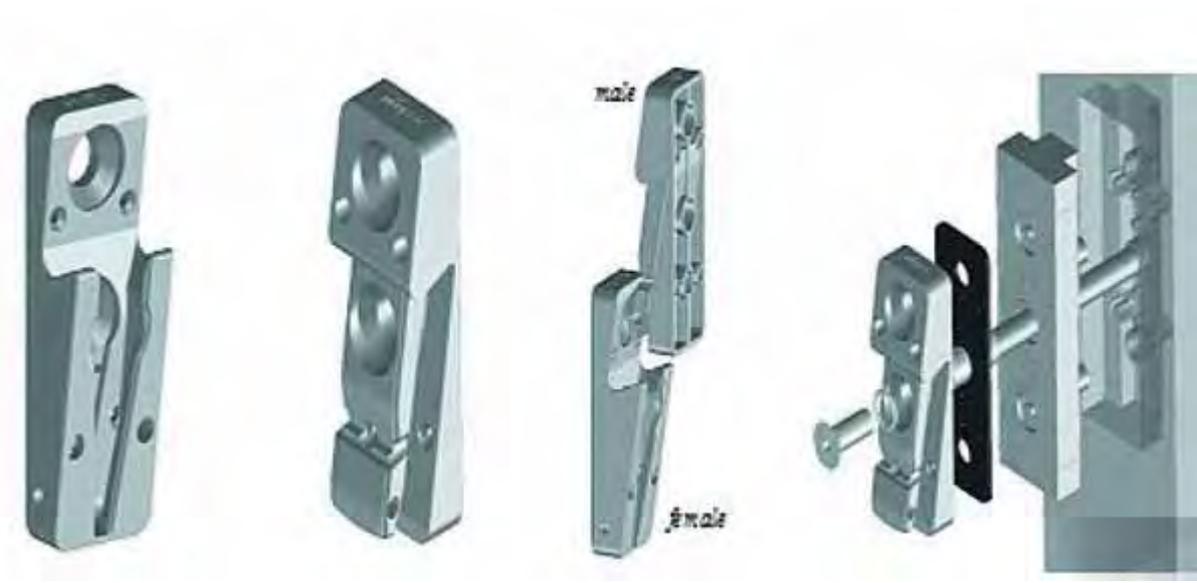


Abbildung 132: Unicon Schnellverbinder- System

Quelle: www.munitec.com

Neuere Entwicklungen für Holzbau- Verbindungen, wie zum Steckverbinder- Systeme, gewährleisten nicht nur eine rasche Montage, sondern im Hinblick auf den Rückbau auch eine entsprechend einfache Demontage.

Die Sherpa- Verbinder, entwickelt von der Vinzenz Harrer GmbH gemeinsam mit der TU- Graz, bestehen jeweils aus 2 Aluminiumteilen, die sich im Prinzip einer klassischen Schwalbenschwanzverbindung zu einer kraftschlüssigen Verbindung zusammenfügen lassen. Die Aluminiumteile sind geschraubt, können als in Hinblick auf ein späteres Recycling wieder gelöst werden.



Abbildung 133: Sherpa- Verbinder, Harrer GmbH

Quelle: www.sherpa-verbinder.com

Für das S- House in Böhleimkirchen wurde eine spezielle Strohschraube «Treeplast» aus thermoplastischem Biokunststoff entwickelt. Dieser Werkstoff besteht ausschließlich aus nachwachsenden Rohstoffen, hauptsächlich Holz sowie Mais und natürliche Harze. Das aus diesen drei Komponenten erzeugte Granulat kann in konventionellen Spritzgussmaschinen zu einer etwa 35 cm langen Schraube verarbeitet werden. Die Schrauben erlauben eine wärmebrückenarme Befestigung der Außenfassade und sind zudem biologisch vollständig abbaubar.

Die Schraube dient als Befestigungselement für die Lattung der hinterlüfteten Fassade. Sie ermöglicht eine einfache und sichere Montage an der Strohballedämmebene.



Abbildung 134: S- House: Lattung und Dämmebene sind mit der Schraube fest verbunden und ermöglichen einen wärmebrückenfreien Wandaufbau.

Quelle: www.s-house.at

BEAMCLAMP ist eine Klemmverbindung für Stahlträger, die vom Stahlhochbau, der Haus- und Gebäudetechnik, Förder- und Materialflusstechnik, über die Verfahrenstechnik bis hin zum Hoch- und Tiefbau eingesetzt werden kann. Die Klemmverbinder ermöglichen eine einfache wie schnelle Konstruktionen hoch belastbarer Stahlbaulösungen. Die Montage kommt völlig ohne Bohr- und Schweißarbeiten aus.

BEAMCLAMP Klemmverbinder wurden auf Zugbeanspruchung getestet und sind vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) und von Lloyds Register zugelassen. Außerdem erfüllt das Klemm- und Verbindungssystem die Kriterien des Geräte- und Produktsicherheitsgesetzes (GPSG).

Alle Komponenten der Klemmverbindungen bestehen aus hochwertigem Sphäroguss.

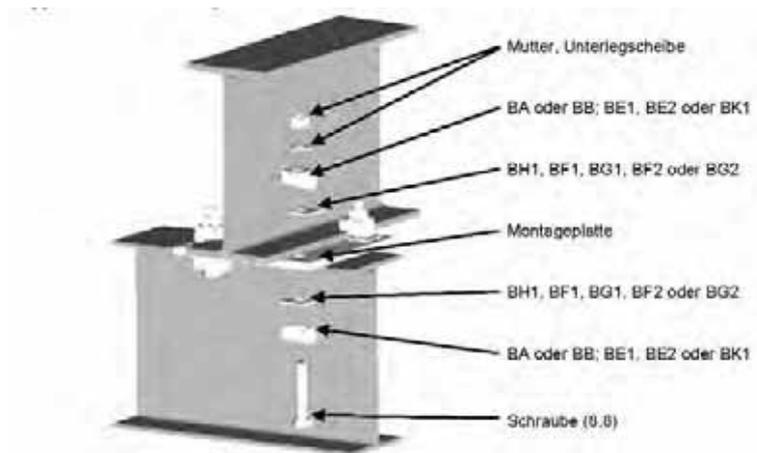


Abbildung 135: BeamClamp Klemmverbindung für Stahlträger

BeamClamp® Floorfix HT Bodenklemme



Abbildung 136: BeamClamp Bodenklammen

Die Floorfix Bodenklemme dient zur Montage von Tränenblechen an Stahlprofilen ohne Bohren und Schweißen.

BeamClamp® Grating Clip Gitterrost Klemme

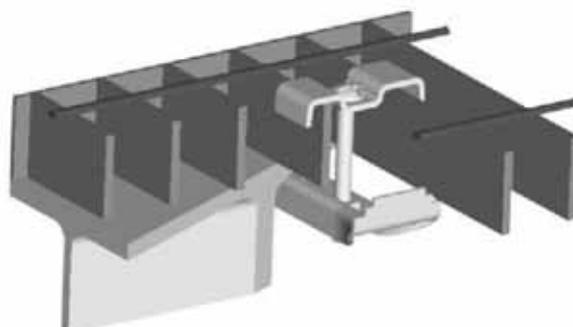


Abbildung 137: BeamClamp Gitterrost- Klemmen

Quelle: www.keesafety.com/de/products/beamclamp

In der Schweiz wurde von der Wagner System AG das Fassadenunterkonstruktion „Phoenix“ für hinterlüftete Fassaden entwickelt, die mit einer wärmegeprägten Konsole nicht nur die Energieeffizienz steigert, sondern auch dem Prinzip der Demontagefreundlichkeit entspricht.

Das System besteht im Wesentlichen aus 2 Komponenten: der Fassadendämmplatte aus Glaswolle mit aufkaschiertem Glasvlies und der wärmebrückenfreien GFK- Konsole mit allen zugehörigen Verbindungs- und Befestigungselementen sowie Tragprofilen.

Sämtliche Verbindungen werden mit Schrauben und Nieten hergestellt.

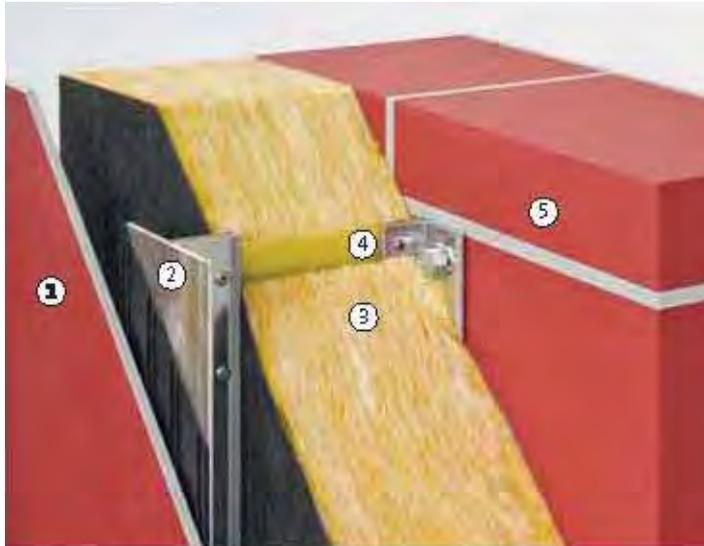


Abb. 1: Aufbau PHOENIX-FACADE. 1. Bekleidung; 2. Vertikalprofil; 3. PHOENIX O32; 4. PHOENIX-WDK mit GFK-Schwert; 5. Tragwerk

Abbildung 138: Phoenix Fassade

Quelle: www.wagnersystem.ch

Auch für Ausbauelemente gilt der Grundsatz der Demontagefreundlichkeit.

Eine unsichtbare Terrassenholzbefestigung bietet Firma Theil Holzverbindungstechnik an. Die Verbindungselemente aus Kunststoff sind Abstandshalter und konstruktiver Holzschutz in einem und gewährleisten eine Demontage ohne Beschädigung der Holzdielen.



Abbildung 139: Terrassenholzbefestigung, Firma Theil

Quelle: www.holzverbindungstechnik.com

Eine wünschenswerte Entwicklung wäre die Möglichkeit zur Verbindung von massiven Bauteilen durch kraftschlüssig wirkende, aber lösbare mineralische Vergußmassen. Ihre kraftübertragende Wirkung müsste so eingestellt sein, dass sie den Belastungszuständen im Bauwerk mit ausreichenden zusätzlichen Sicherheiten widersteht und einer gezielten ansetzenden Kraft des Demontagewerkzeuges nachgibt, ohne Zerstörungen an den verbundenen Bauteilen zu verursachen.

Quelle: Neue Konstruktionsalternativen für recyclingfähige Wohngebäude (S. 66)

6. DEL Prinzipien für kreislauffähiges Konstruieren

Im vorliegenden Kapitel sollen aus den Grundlagen und den Best Practice Beispielen Konstruktionsprinzipien abgeleitet werden.

Ähnlich wie das Thema Energieeffizienz beginnt kreislauffähiges Konstruieren weit vor dem Rückbau. Ähnlich wie es bei der Energieeffizienz darum geht, zuerst den Energiebedarf zu minimieren, um ihn dann erneuerbar decken zu können, so muss im kreislauffähigen Konstruieren zuerst der ökologische Aufwand einer Konstruktion minimiert werden und ihre Lebensdauer verlängert werden. Dies ist derzeit noch eine *conditio sine qua non*. Drittes, fehlendes Glied in der Kette ist die Planung der Kreislaufführung für alle eingesetzten Materialien nach Ende der Lebensdauer.

Da es derzeit im Bauwesen noch kaum echte Kreislaufführung gibt, muss den ersten beiden Themen (ökologischer Aufwand und lange Lebenszeit) breite Aufmerksamkeit gewidmet werden. Daher stellen wir in diesem Exposé auch die Maßnahmen zur Minimierung des ökologischen Aufwandes und zur Verlängerung der Lebensdauer dar, da sie nach unserer Auffassung unverzichtbarer Teil des Gesamtgedankens sind.

In einer Zukunft, die Stoffe weitgehend in Kreisläufen zu führen in der Lage ist und die dafür erforderliche Energie zur Gänze erneuerbar bereitstellen kann, wird der Effizienzgedanke zurücktreten können. Lustvoll zu verschwenden – ein Dogma von Dr. Michael Braungart – so wie die Natur es uns vorzeigt, kann dann durchaus ein zukünftiges Ziel sein.

Bisherige Arbeiten und Hinweise zu Prinzipien über die Kreislauffähigkeit sind in sehr hohem Maße ingenieurmäßig und sehr technisch gehalten. Es werden fast ausschließlich technische Maßnahmen erläutert und dargestellt.

Im Gegensatz dazu sind eigentlich die kreislauffähigsten Gebäude diejenigen, die bisher keinen Abfall produziert haben, weil sie seit mehreren hundert oder tausend Jahren stehen ohne je abgebrochen worden zu sein. Die Langlebigkeit, eine der Grundbedingungen für den Kreislaufgedanken wie oben ausgeführt, hängt aber vor der exzellenten und robusten technischen Konstruktion noch wesentlich stärker vom kulturellen also ideellen Wert eines Gebäudes ab.

Daraus folgt, dass es sicher von hoher Bedeutung ist technischen Fragen zu stellen, daraus adäquate Lösungen zu entwickeln und als Handwerkszeug zu beherrschen. Dieses Wissen wird aber seine Wirkung nur dann zur Gänze entfalten können, wenn es mit dem Schaffen von kulturellem und ideellem Wert einhergeht.

Das Exposé gliedert sich daher in 6 Kapitel:

- Minimierung des ökologischen Aufwandes
- Lebensdauer verlängern
- Leichte Montage und Demontage
- Recyclierbarkeit
- Wiederverwendung
- Planung

6.1. Minimierung des ökologischen Aufwandes

6.1.1. Angemessene Material- und Konstruktionswahl

Bei Planungsbeginn sind ausgehend von der jeweiligen Bauaufgabe die Art der Konstruktion und die Materialien für die wesentlichen masse/ ökologisch intensiven Bauteile zu wählen. Prinzipiell soll nur die Qualität und Menge verwendet werden, die für die jeweiligen Funktionen des Bauteiles erforderlich ist.

Wohnbauten z.B. können in weiten Teilen oder sogar zur Gänze aus Holz, Lehm, Kalksandstein, hergestellt werden. Energieintensivere aber recycelbare Baustoffe wie Beton und Stahl könnten in ihren Masseanteilen soweit wie möglich auf technisch erforderliche Bauteile reduziert werden.

Auch hinsichtlich der Konstruktion können statisch optimale Systeme wesentliche Masseinsparungen bringen. Wenn die Dimensionierung der Spannweiten und des Entwurfes von Anfang an im integralen Planungsteam gemeinsam mit dem Konstruktionsentwurf erfolgt, können hier Optimierungspotentiale ausgeschöpft werden.

Wenn im Wohnbau beispielsweise eine STB Decke eingesetzt wird, so ist die Dicke für ausreichend speicherfähige Masse mit 10-15 cm anzusetzen, die Dicke für ausreichenden Trittschallschutz mit ca. 18 cm, oder bei Hohldielen mit dem entsprechenden Flächengewicht. Daraus ergeben sich optimale Spannweiten für Decken im Wohnbau, die dann noch mit anderen Prinzipien wie z.B.: dem der angemessenen Flexibilität zu überlagern sind.

Das folgende Beispiel zeigt, wie ein materialoptimierter Deckenaufbau aussehen könnte:

Bei den üblichen Spannweiten im Wohnbau von 4-5m geht man bei einer STB Decke von einer Deckenstärke mit 18cm aus, der übliche Fußbodenaufbau besteht aus Schüttung, Trittschalldämmung, Estrich und Fußbodenbelag. Mit diesem Aufbau lassen sich der geforderte Schallschutz und ausreichend Speichermasse erreichen.

Im Sinne der Kreislauffähigkeit wäre es allerdings besser, den Fußbodenaufbau demontierbar auszuführen (aufgeständerte Konstruktion, Hohlraumboden).

Durch den Entfall des Estrichs ergibt sich eine Verschlechterung des Schallschutzes um 3dB, was sich jedoch durch eine stärkere Deckenkonstruktion, in diesem Fall 22cm, ausgleichen lässt.

Wenn man also die Masse des Estrichs der Masse der Decke zuschlägt und eine STB- Decke mit 22cm und einer aufgeständerten Fußbodenkonstruktion ausführt, lässt sich nicht nur der geforderte Trittschallschutz erreichen, sondern auch größere Spannweiten, die eine flexiblere Grundrissgestaltung erlauben.

Im Idealfall sollten 2 oder 3 Varianten der Konstruktion hinsichtlich des ökologischen Aufwandes berechnet werden und dann die entsprechende Variante gewählt werden.

Energieintensive Materialien sollen nur dort eingesetzt werden, wo dadurch ein wesentlicher Vorteil entsteht (z.B. Holz/Alu Fensterkonstruktion: die Alu- Schale als hoch wetterbeständiger, getrennt austauschbarer Bauteil an der hoch beanspruchten Außenseite des Fensters).

In der Planung muss die Konstruktionen passend zu Gebäude und Bauweise ausgewählt werden. Zeigt sich bei der anschließenden Bauschicht- und Baustoffoptimierung, dass die gewählte Konstruktion Baustoffe bedingt für die noch keine Rückführung in den Kreislauf erfolgen kann, so sollten alternative Konstruktionen gesucht werden.

Zur Vorentscheidung eignet sich eine grobe Matrix mit Vor- und Nachteilen einzelner Konstruktionen. Dann sollten 2-3 Varianten ausgewählt, statisch/bauphysikalisch dimensioniert und dann in den Ökokennwerten berechnet werden. Die Ergebnisse können wiederum in einer Matrix dargestellt werden, mit Präferenzen und einer Empfehlung für Änderungen im Material und Konstruktionsentwurf. Die Wahl der Konstruktion und der eingesetzten Materialien ist vom jeweiligen Verwendungszweck abhängig und muss auf die speziellen Bedürfnisse und Gegebenheiten abgestimmt sein.

Massivbau	Leichtbau
<p>Vorteile</p> <ul style="list-style-type: none"> - geringes Schadenspotential - lange Haltbarkeit - wenig Emissionen aus Baustoffen - bei Vermeidung von Verbundmaterialien ist der Rückbau und das Recycling problemlos möglich - Speicherwirkung schwerer Bauteile - einfache Konstruktion <p>Nachteile</p> <ul style="list-style-type: none"> - hoher Transportaufwand (Gewicht) - lange Bauzeit - geringerer Vorfertigungsanteil - größere Baufeuchte - Graue Energie um ca. 20 % höher - Gefahr von Wärmebrücken - schwieriger Um- und Anbau 	<p>Vorteile</p> <ul style="list-style-type: none"> - gute Separier- und Rückbaufähigkeit - schnelle und kostengünstige Montage - leicht bessere Werte bei Ökobilanzen ab Werk durch höheren Anteil an nachwachsenden Baustoffen - geringe Wandstärken bei gleicher Dämmwirkung (mehr Raumgewinn) - gute Flexibilität <p>Nachteile</p> <ul style="list-style-type: none"> - Maßnahmen gegen Feuchteschäden an Holzbauteilen notwendig - großer Aufwand für sommerlichen Wärmeschutz - Längere und kompliziertere Planung der Details - Schall-, Wärme- und Brandschutz sind aufwändig - thermische Speicherkapazität reduziert sich auf Decken und Böden - Herstellung der Winddichtheit aufwändig (Transmission, Gesundheitsschutz) - Gefahr von Ausführungsfehlern durch komplizierte Schichtenfolgen und Details - Fehlende Abschirmung gegen Elektrosmog
	

Abb. 3-8 Nachhaltigkeitsmatrix für Leicht- und Massivbauten

Abbildung 140: Nachhaltigkeitsmatrix für Leicht- und Massivbauten

Quelle: Leitfaden Nachhaltigkeitsaspekte bei Neu- und Umbauten, TU München im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, 2006

Fällt die Auswahl auf ein Wärmedämmverbundsystem, so schränkt sich die Zahl der möglichen Dämmstoffe deutlich ein: Während beispielsweise Korkdämmplatten den speziellen Anforderungen ausgezeichnet standhalten, werden Schafwolle- Dämmmatten diesen Anforderungen nicht gerecht.

Die Auswahl eines Linoleumbelags bedingt z.B. in den meisten Fällen einen Kleber für die Verbindung mit der Unterkonstruktion. Außerdem kann derselbe Baustoff je nach Einsatzgebiet unterschiedliche ökologische Eigenschaften besitzen.

Holzfaserdämmplatten schneiden als Aufsparrendämmung ökologisch gut ab, für die Zwischensparrendämmung gibt es aber eine Reihe anderer Dämmstoffe, die weniger Umweltbelastung bei der Erzeugung verursachen.

Ökologische Optimierung bedeutet, unter Berücksichtigung möglichst vieler dieser Umwelt- und Gesundheitsbereiche die besten Lösungsmöglichkeiten zu finden.

Dies betrifft die Lebensphasen

- Herstellung der Baustoffe,
- Nutzung,
- Rückbau,
- Verwertung und Entsorgung der Baustoffe.

Als Hilfestellung für Entscheidungen können die Positiv/ Negativlisten eingesetzt werden:

Perimeterdämmung			
--	XPS-Platte	EPS-Automatenplatte	o
		Schaumglasplatte	+
		XPS-Platte, CO ₂ -geschäumt	o

Aussenputz außer Sockelbereich			
--	Kunstharzputz, lösemittelhaltig	Kalkputz	++
-	Kunstharzputz, Dispersion	Kalkzementputz	+
o	Zementputz	Silikatputz	+

- ++ empfehlenswerte Lösung
- + gute Lösung mit geringfügigen ökologischen Schwachstellen
- o Lösung mit ökologischen Schwachstellen bzw. Alternativen zu weitaus umweltbelastenderen Lösungen
- Lösung mit bedeutenden ökologischen Schwachstellen, ökologische Alternative verfügbar
- zu vermeidende Lösung

Wärmedämmverbundsystem - Hinterlüftete Fassade

	Hinterlüftete Fassade	Wärmedämmverbundsystem
Wärmedurchgangskoeffizient [W/m ² K]	0,31	0,3
Bew. Schalldämmmaß R _w [dB]	56	55
Feuerwiderstandsklasse	F90	F90
Kondensat/Austrücknung [kg/m ² a]	-3,15	0,94/0,35
Speicherwirksame Masse innen [kg/m ²]	85	85
Gesamtdicke [cm]	47	38
Biotische Ressourcen [kg/m ²]	22	0
Abiotische Ressourcen [kg/m ²]	215	240
Primärenergieinhalt [MJ/m ²]	70,0	950
Treibhauspotential [kg CO ₂ -Äqu./m ²]	-3,2	44
Versauerungspotential [kg SO ₂ -eq/m ²]	152	164
Montageaufwand	-	o
Witterungsschutz	+	o
Instandsetzungsaufwand	+	o
Rückbaufähigkeit	+	-
Verwertbarkeit des Abbruchmaterials	o	-

Verwertung
 Beispiel für argumentative Bewertung von Konstruktionseigenschaften aus BTK 1999 (->)

Relativ leicht in Einzelbestandteile zerlegbar, da Dämmstoff nicht verklebt; durch Materialvielfalt aber dennoch viele Entsorgungswege.
 Trennbar: Dämmstoff, Winddichtung, Latten, Schalung
 Nicht trennbar: Ziegel
 Stoffliche Verwertung: gut, da nicht verunreinigt

Fest verbundene Mischkonstruktion, daher schlecht rückbaugeeignet.
 Schwer trennbar: Mauerwerk / Dämmstoff
 Nicht sortenrein trennbar:
 Ziegel/Mörtel/Putz/Dämmstoffreste
 Stoffliche Verwertung: Zerkleinerter Mauerbruch als Kies- und Schotterersatz

Glossar

- + positiv
- o durchschnittlich
- negativ
- bessere Einstufung als Vergleichskonstruktion

Hinterlüftete Fassade

- 2,0 cm Holzschalung
- 3,0 cm Lattung
- 4,0 cm Konterlattung
- Winddichtung
- 12 cm Steinwolle zw. Lattung
- 25 cm porosierter Hochlochziegel
- 1 cm Kalkputz

Wärmedämmverbundsystem

- 2,0 cm armierter Silikatputz
- 10 cm Steinwolle
- 25 cm porosierter Hochlochziegel
- 1 cm Kalkputz

Abbildung 141: Positiv/ Negativlisten zur Baustoffoptimierung

Quelle: Ökologische Baustoffoptimierung, Ökoinform, BMVIT

6.1.2. Reduktion der stofflichen Vielfalt

Eine geringe Anzahl an Baustoffen erleichtert das Trennen nach der Nutzung und reduziert die Anzahl der unterschiedlichen Entsorgungswege.

Bauschutt landet in der Praxis gerade deswegen häufig als „verunreinigt“ auf der Deponie, weil der Aufwand zur Trennung zu groß ist oder eine getrennte Erfassung auf der Baustelle nicht praktiziert wird.

Das heißt, je weniger unterschiedliche Materialien anfallen und je leichter die Materialien zu trennen sind, desto eher erfolgt eine sortenreine Trennung bereits auf der Baustelle und desto eher werden die getrennten Stoffgruppen der geeigneten Verwertung zugeführt.

Ein gutes Beispiel sind Gründerzeithäuser, die hauptsächlich aus mineralischen Anteilen bestehen.

Bereits in der Planung muss berücksichtigt werden, dass die Verwendung eines einheitlichen Dämmstoffs für alle Bauteile die spätere Entsorgung im gesamten Gebäude erleichtert.

Ein Beispiel, bei dem der Grundsatz zur Reduktion der stofflichen Vielfalt äußerst konsequent angewendet wurde, ist das Lehmhaus von Martin Rauch in Schlins, Vorarlberg (siehe Kapitel 3. Best Practice Beispiele):



Abbildung 142: Lehmhaus in Schlins, Martin Rauch

Böden, Wand und Decken sowie Teile der Ausbauelemente (Stufen, Fliesenbeläge, Waschtische, bis hin zu Ziegeln am Flachdach) sind zu 85% aus Erdmaterial hergestellt und könnten jederzeit problemlos aufgearbeitet werden.

Quelle: www.lehmtonerde.at

6.1.3. Materialmenge minimieren in der Planung

6.1.3.1. Gestaltungsregeln für wenig Verschnitt

Durch Gestaltungsregeln und gezielte Planung kann die Verschnittmenge reduziert bzw. zur Gänze vermieden werden.

Beispiel Energy Base/ Pos- Architekten:

Bodenfliesen:

Das Verlegen von Fliesen in Bahnen trägt erheblich dazu bei, die Verschnittmenge zu reduzieren. Der Verschnitt aus der ersten Bahn wird in der 2. Bahn wiederverwendet usw.



Abbildung 143: Energy base, pos-architekten

Quelle: pos-architekten

Fassadenplatten:

durch eine gezielte Planung kann auch hier die Materialmenge minimiert werden. Die Höhe zwischen den Fensterreihen ist geringer als 2 Fassadenplattenhöhen, d.h. es kann nur eine volle Platte durchlaufen, die 2. muss geschnitten werden. Der „Reststreifen“ wird nicht als Verschnitt entsorgt, sondern kommt als schmalerer Streifen in einem anderen Geschoss wieder zum Einsatz.

Auf diese Weise kann aus Großplattenmaterial bei einer speziellen Fassadengestaltung, die durchaus auf Parapethöhen, Sturzhöhen und andere gestalterisch wichtige Kanten Bezug nimmt, dennoch eine Materialausnutzung von 95 % erzielt werden (bei großen Formaten üblicherweise: 70-80%)



Abbildung 144: Energy Base, pos-architekten

Quelle: pos-architekten

6.1.3.2. Bauteilgeometrie und Sonderlösungen

Eine klare Bauteilgeometrie und das Vermeiden von abfallreichen Sonderlösungen unterstützt die Minimierung des Materialaufwandes. Grundsätzlich kann man sagen: Je komplexer die Konstruktion, desto mehr Abfall entsteht.



Abbildung 145: abfallreiche Sonderlösungen

Quelle: www.bauen.com

6.1.4. Reststoffvermeidung bei der Bauwerkerrichtung

6.1.4.1. Verschnittreste, Bruch

Bauschutt umfasst alle Abfälle, die als Verschnitt, Bruch oder überschüssige, nicht mehr einsetzbare Rohmaterialien anfallen. Die Zusammensetzung von Baustellenabfällen von Baustellen, die sich in der Rohbauphase befinden, ist hauptsächlich von Verpackungs- und Verschnittmaterial geprägt.

Zu einer Reduzierung der Verschnittreste könnte eine Rücknahmeverpflichtung der Produzenten bzw. des Handels erheblich beitragen. Die Materialreste könnten wieder in den Produktionsvorgang einfließen, Voraussetzung dabei ist die sortenreine Sammlung auf der Baustelle (z.B. Gipsprodukte, Kunststoffprodukte).

Speziell bei der Errichtung von Trockenbauwänden fallen große Mengen an Verschnittresten der eingesetzten Baustoffe Gipskarton, Metall und Mineralwolle (und zusätzlich auch noch viel Verpackungsmaterial) an. Planungsseitig könnte zum Beispiel der Einsatz von „maßgeschneiderten“ Platten den Verschnittabfall verhindern.

Die Verwertung von Verschnittresten und die Minimierung von Bruch wird aber auch durch Vorfertigungsverfahren stark unterstützt, da die in der Fertigungshalle anfallenden Verschnitte immer am gleichen Ort anfallen sowie sauberer gehalten und sortenreiner getrennt werden können.

Bereits in der Planung muss auch daran gedacht werden, dass Sonderlösungen, die verschnittintensiv sind, nach Möglichkeit zu vermeiden. Je komplizierter und komplexer eine Lösung ist, desto mehr Abfall fällt im Zuschnitt an.

6.1.4.2. überschüssiges Material und Reste in Transportbehältern

Bei kleineren Baustellen organisieren die ausführenden Firmen üblicherweise die Abfallentsorgung selbst: jede bestellt ihre eigenen Container, entsorgt die Abfälle und beauftragt die Abfuhr. Weil der Platz meist begrenzt ist, mangelt es an Abstellflächen für die unterschiedlichen Abfallcontainer. Es besteht keine Motivation zur Trennung der Werkstoffe, also werden sie vor Ort vermischt. Zusätzlich verursacht der Abtransport kleiner unspezifischer Abfallmengen übermäßig hohe Entsorgungskosten und Transportemissionen.

Das Errichten von Sortierinseln auf der Baustelle ist eine Möglichkeit zur Vermeidung von Baumischabfällen: die Sammelstellen haben das Ziel, einen möglichst hohen Verwertungsgrad zu erzielen, indem sortenreine und recyclingfähige Abfallfraktionen getrennt erfasst werden. Eine Sortierinsel ist nicht nur die umweltfreundlichste Entsorgungs- bzw. Verwertungsvariante, sondern ist bei getrennter Abgabe der Abfälle auch die kostengünstigste Entsorgungsmöglichkeit.

Auch andere Maßnahmen können zur Reduzierung des Abfalls beitragen: Der Anfall von Restbeton zum Beispiel kann vermieden werden, indem die Transportfahrzeuge mögliche Reste in

die Mischanlage zurücknehmen und dort erst den Reinigungsvorgang der Mischtrommel vornehmen. Der Restbeton kann hier sortenrein einer Verwertung und Wiederverwendung zugeführt werden.

Grundsätzlich gilt: Die benötigte Menge an anzuliefernden Baustoffen muss möglichst genau kalkuliert werden!

6.1.4.3. Verpackungsmaterial

Im Zuge der Bauführung fallen erhebliche Mengen an Verpackungsmaterial an. Aus diesem Grund müssen alle Maßnahmen zur Reduzierung bzw. zur gänzlichen Vermeidung angewendet werden. Gerade bei witterungsfesten Materialien sind aufwändige Verpackungen oftmals nicht notwendig.

Zum Beispiel kann der verstärkte Einsatz von Mehrweggebinden und -systemen bei Baustoffen große Mengen von Kunststoffverpackungen einsparen, z.B. Mehrwegbehälter, Silos, Mehrwegpaletten, etc.

In manchen Fällen kann auf den Einsatz von Verpackung überhaupt verzichtet werden: zum Beispiel durch die Anlieferungen von Material ohne Folienverpackung, durch Großlieferungen ohne Transportverpackung oder in Großverpackungen (Estriche, Putze in Silos) oder auch durch die Wiederverwendung von Verpackungsmaterial (z.B. Euro-Palette).

Eine Strategie zur gezielten Verwertung des eingesetzten Verpackungsmaterials wäre es, die Verpackung dem Lieferanten zurückzugeben (Einführung einer Rücknahmeverpflichtung).

6.1.4.4. Bauhilfsstoffe (Schalungsmaterial, Schutzabdeckungen)

Massivbauteile in Ortbetonbauweise erfordern eine abfallintensive Deckenschalung, wobei die Verunreinigung des Schalholzes mit Schalöl ein zusätzliches Problem darstellt. Durch den Einsatz von Systemschalungen kann der Abfallanteil reduziert werden, wobei im Regelfall Durchbrüche und Randabschlüsse trotzdem mit Zuschalungen hergestellt werden müssen.

Zusätzlich werden verschiedenste Schutzabdeckungen eingesetzt, die ebenfalls als Abfall entsorgt werden müssen: für Bauteile mit fertigen Oberflächen wie Sichtbetonstiegen, wenn Feuchtigkeitsisolierung noch nicht intakt ist, bis hin zu Notabdichtung am Dach, die wieder entfernt wird.

6.1.4.5. Hausmüllähnliche Abfälle von Baustellenunterkünften, Kantinenabfälle.

Unter Hausmüll und hausmüllähnlichen Abfällen versteht man üblicherweise gemischte Abfälle aus Gewerbe und Verwaltung. Dabei handelt es sich um Verpackungen, Büroabfall, Kantinenabfall und auch Produktionsabfälle.

Im Baustellenbetrieb bedeutet das, dass der Abfall aus dem Betrieb von Baubüros, Baustellenunterkünften und gegebenenfalls baustelleneigenen Kantinen getrennt erfasst werden muss, um der geeigneten Verwertung zugeführt werden zu können.

Dabei schlägt die Ausbauphase üblicherweise wesentlich deutlicher zu Buche als die Rohbauphase, weil in diesem Zeitraum üblicherweise mehr Gewerke gleichzeitig auf der Baustelle beschäftigt sind.

6.1.5. Geringe Transportwege und geringer Transportaufwand – regionale Verfügbarkeit, regionale Verwertung

Hochwertige regionale Baustoffe mit geringem Transportaufwand sind zu bevorzugen, aber auch bei der Verwertung ist darauf zu achten, regionalen Unternehmen den Vorzug zu geben.

Die Transportwege für Materiallieferungen zur Baustelle bzw. für den Abtransport von Abfall müssen durch sorgfältige Planung auf das erforderliche Minimum reduziert werden.

Je nach Größe der Baustelle sollte bereits in der Vorbereitung der Baustelle die Transportabwicklung für das Gesamtvorhaben und die sich daraus ableitenden Konsequenzen für die Baustelleneinrichtung und eine optimierte Bauphasenplanung bedacht werden.

Mögliche Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung wären zum Beispiel die Wiederverwendung von Aushub-Material oder recyceltem Abbruchmaterial auf der eigenen oder auf einer anderen Baustelle oder das Einheben von Einfahrtsgebühren in die Baustelle.

Der gezielte Abtransport zur Verwertung ist nur dann effektiv, wenn die Baustellenabfälle sortenrein erfasst wurden. Der Abtransport kleiner unspezifischer Abfallmengen verursacht übermäßig hohe Entsorgungskosten und Transportemissionen.

Baustoffdeponien sind zwar flächendeckend in geringer Entfernung vorhanden, in Zukunft ist aber von einem umfangreicheren Baustoffrecycling auszugehen. Dazu ist es nötig, dezentrale Recyclinganlagen flächendeckend aufzubauen. Eine Verringerung der Anzahl eingesetzter Materialien und vor allem die Deklaration der Inhaltsstoffe haben hier die Vorteile der besseren örtlichen Verteilung.

6.2. Lebensdauer verlängern, langfristige Werterhaltung

6.2.1. Hoher ideeller Wertgewinn

Erhöhung des Wertes einer Konstruktion durch ideellen Wertgewinn.

Die Wertschöpfung durch den Einsatz von hochwertigem Material oder durch hochwertige Bearbeitung eines Materials vergrößert die Chancen auf sanften Rückbau und Wiederverwendung.

Je höher der ideelle Wert eines Materials oder Produkts steigt, desto größer ist die Bereitschaft für einen Ausbau und die Chance eine spätere Wiederverwendung (auch wenn dafür Sanierungsmaßnahmen erforderlich sind). Bei Gründerzeithäusern z.B. finden sich heute viele Materialien, die sich großer Beliebtheit erfreuen und wieder verkauft werden können (z.B. Flügeltüren, Wandvertäfelungen, Geländer, Steinstufen, Sternparketten, Kunststeinfliesen, Solnhofener Platten).

Die am häufigsten wieder verwendeten Baustoffe sind alte Ziegel, Parkettböden, Fliesen, Türen, Fenster, Holzbalken. Dabei spielt der ökologische Gedanke der Wiederwendung weniger Rolle als die Wertschätzung des Materials.

Mittlerweile hat sich ein Markt für historische Bauelemente und Baustoffe (Holzbalken, Ziegel, Türen, Fenster, Bodenbeläge, Zierelemente,...) etabliert, siehe zum Beispiel: www.sammeln.at/haendler/historische-baustoffe.htm.

Einzelne Bauteile werden zum Verkauf angeboten, sehr oft sind die Anbieter aber nicht nur reine Händler, sondern auch Handwerksbetriebe, die gleichzeitig den Wieder- Einbau und die Sanierung (z.B. von Türen) anbieten.

6.2.2. Umnutzungsflexibilität

Eine Anforderung an Gebäude in Bezug auf ihre Lebensdauer ist sicher, dass sie sich flexibel und unaufwändig, an die sich wandelnden Bedürfnisse ihrer Nutzer anpassen lassen. Diese Umnutzungsflexibilität sorgt wiederum für ein längeres Bestehen und dies wiederum für weniger Umweltbelastung durch Neubauten. Auf die erhöhte Flexibilität eines Gebäudes sollten aber auch die Konstruktion und der Innenausbau reagieren.

Das bedeutet, Tragwerks- und Ausbaumaterialien nicht fest miteinander zu verbinden, um so einen schnellen und unkomplizierten Umbau zu gewährleisten. Konstruktive Zwänge müssen so weit wie möglich eingeschränkt werden, um in der Gestaltung der Grundrisse möglichst frei zu sein und größtmögliche Flexibilität für eine Umnutzung zu gewährleisten.

Inwieweit Wohnbauten flexibel gestaltet werden müssen, wird kontrovers diskutiert. Einerseits ändern sich die Anforderungen ans Wohnen während der Lebenszeit eines Menschen, andererseits ist es fraglich, ob die Anpassung an geänderte Wohnbedürfnisse nicht häufiger durch einen Umzug einfacher zu gestalten ist. Betrachtet man die bürgerliche Gründerzeitwohnung, so sind es ganz andere Faktoren die Gründerzeithäuser langlebig machen. Sie sind flexibel, jedoch keinesfalls aufgrund geringer konstruktiver Zwänge und auch keinesfalls auf Grund veränderbarer Grundrisse. Es ist vielmehr die Tatsache, dass elementare Bedürfnisse des Wohnens oder Arbeitens in Gründerzeitstrukturen gedeckt werden und eine hohe Funktionsneutralität der Räume,

die Flexibilität verursachen. Weiters auch Qualitäten wie Raumproportion, Höhe, Belichtung, die handwerkliche Qualität und Materialwahrheit der Ausbauteile. Wichtig für die Lebensdauer von Wohnbauten wird jedenfalls sein, dass sie sich an unterschiedliche Wohnformen anpassen können.

Bei Gewerbeimmobilien können sich die Nutzeranforderungen während der Lebensdauer eines Objektes in relativ kurzen Zeiträumen ändern. Tragkonstruktionen mit großen Spannweiten und kleinen Stützenquerschnitten bieten ein hohes Maß an Flexibilität. Geschossgrundrisse lassen sich durch beliebige Anordnung von Trennwänden an die jeweiligen Anforderungen anpassen, ohne dass tragende Wände die Raumnutzung einschränken.

Am Beispiel der Igus-Fabrik in Köln von Nicholas Grimshaw & Partners (siehe Kapitel 3. Best Practice Beispiele) wird diese Flexibilität deutlich: durch die Wahl der entsprechenden Tragkonstruktion mit 4 Pylonen wurde sogar ein Innenraum ohne Innenstützen geschaffen, der nach Bedarf an geänderte Funktionen angepasst werden kann. Die Wandpaneele wurden mit Modulen ausgeführt, die einer Erweiterung bei leicht demontiert und wiederverwendet werden können.



Abbildung 146: Igus- Fabrik, Köln, Nicholas Grimshaw & Partners

Quelle: www.design4deconstruction.org

Am Beispiel für den Grundriss des Wohnhauses am Mitterweg in Innsbruck der Architekten Baumschlager-Eberle wird die Flexibilität für die Umnutzung ebenso deutlich: die tragende Struktur ist im Inneren auf ein Minimum an Stützen reduziert. Dadurch werden die Grundrisse der Wohnungen nicht durch einen Raster von tragenden Innenwänden definiert, sondern können frei gestaltet werden und lassen auch spätere Umnutzungen zu.

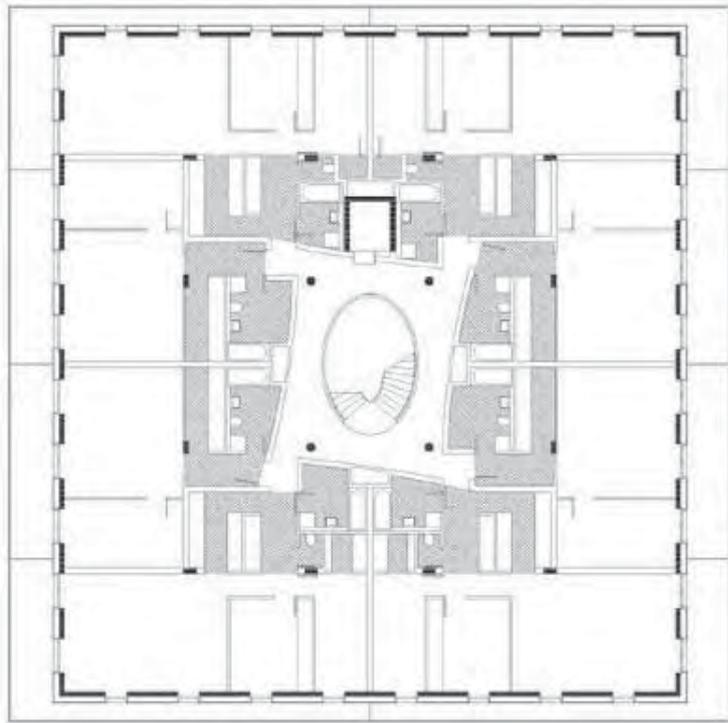


Abbildung 147: Wohnhaus Mitterweg, Architekten Baumschlager- Eberle

Quelle: www.nextroom.at

6.2.3. Materialwahrheit

Die Nutzungsdauer von Materialien ist nicht nur von ihrer technischen Lebensdauer, sondern in hohem Maße auch von ihrer ästhetischen Funktion bzw. ihrem ästhetischen Wert abhängig. Man kann davon ausgehen, dass „wahre“ Materialien, also z.B. ein Holzboden mehr Pflege und längere Wertschätzung erhalten wird, als ein Holzbodenimitat in Form eines Laminatbodens.

6.2.4. Konstruktiver Schutz von Außenoberflächen

Auf Außenoberflächen wirken neben den Witterungsbedingungen Temperatur, Strahlung und Luftfeucht häufig auch noch äußere oder innere Feuchtequellen (z.B. Schlagregen, Baufeuchte und Oberflächenbetauung) ein. In GFÖB (2004) werden folgende physikalische, chemische und biologische Einflussfaktoren auf die Lebensdauer von Materialien genannt:

GFÖB 2004: Rudolphi et al: "Projektteil Lebensdauer und Instandhaltungszyklen". 2004

Belastungen	Einflussfaktoren auf Lebensdauer
Niederschlag, Kondensat	Feuchte
Witterung, Sonneneinstrahlung	Temperatur
Belichtung	UV-Strahlung
Chemikalien, Korrosion	Chemische Stabilität
Wind, Schlagregen	Oberfläche, mechanisch
Mechanische Druckbelastung	Gebäude/Konstruktion, mechanisch
Gravitation	Verformung
Aufkeimbedingungen	Pflanzliche und mikrobielle Schädlinge
Einnistbedingungen	Tierische Schädlinge

Tabelle 13: Physikalische, chemische und biologische Einflussfaktoren auf die Lebensdauer von Materialien nach GFÖB (2004)

Da eine hohe Beanspruchung Schäden oder mikrobiologischen Bewuchs zur Folge haben kann, sollten die Außenoberflächen perfekt auf die entsprechenden Randbedingungen zugeschnitten werden und/oder durch bauliche Vorkehrungen durch vor zu hohen Beanspruchungen geschützt werden. Dies betrifft im Besonderen Fassadenoberflächen.

Dem konstruktiven Bautenschutz ist dem chemischen jedenfalls der Vorzug zu geben. So wirkt ein Dachüberstand nach wie vor wesentlich effektiver und länger gegen Algenbefall der WDVS-Fassade als ein Algizid, das bestimmungsgemäß aus dem Putz ausgewaschen wird und damit der Fassade nicht viel länger als die Gewährleistungszeit erhalten bleibt.

Die Regeln des konstruktiven Holzschutzes z. B. in Form von Abdeckungen oder Konstruktionen, die für ein rasches Trocknen der betroffenen Teile sorgen, sind altbekannt und bewährt.

6.2.5. In Würde altern

Alle Materialien haben eine begrenzte Lebensdauer. Eine Betrachtung in Hinblick auf den Alterungsprozess zeigt, dass unterschiedliche Materialien auch unterschiedliche Alterungserscheinungen zeigen, die nicht zwingend einen ästhetischen oder technischen Mangel darstellen müssen.

Die Frage ist: wie verändert sich das Material, treten Schäden oder Mängel auf und wie leicht sind diese zu beheben?

Werkstoffe, bei denen ästhetische Alterungsmängel als Teil des Konzeptes gesehen werden können, sind zu bevorzugen: das Altern von Kupferdächern mit dem Ansetzen einer Patina ist ebenso selbstverständlich wie das Vergrauen von Holz bei Holzfassaden.

Der Unterschied wird am Beispiel einer Küchenarbeitsfläche deutlich: Eine Arbeitsfläche aus einer Schichtstoffplatte zeigt bei entsprechender Beanspruchung Abnutzungserscheinungen wie Kratzer, Verunreinigungen an den Kanten, etc. und wird manchmal schon aus optischen Gründen ausgetauscht. Sind die Kratzer tiefer, geht die Wasserbeständigkeit der Deckschicht verloren, sie platzt auf, und die darunter liegende Spannplatte quillt auf. Die Platte muss dann auch aus funktionaler Sicht ausgetauscht werden. Kratzer auf einer Arbeitsplatte aus Massivholz werden weder sofort als ästhetischer Mangel ansehen noch stellen sie längerfristig einen funktionalen Mangel dar. Holz lebt, Holz altert- diese Tatsache wird akzeptiert- darüber hinaus kann Holz abgeschliffen werden, und damit sogar eine ästhetische und funktionale Rundumerneuerung erhalten.

6.2.6. Reparaturfreundlich konstruieren

Zur einfachen Instandsetzung (Wartung und Erneuerung) und zur Demontage ist für gute Zugänglichkeit aller Elemente zu sorgen.

Die Reparaturfreundlichkeit des Baukörpers hat einen großen Einfluss auf die Lebensdauer, aber auch auf die Kosten eines Bauwerkes während der Nutzungsphase.

Der Aufwand für die Instandhaltung und Wartung bzw. Reparatur ist zwar in der Kalkulation der laufenden Kosten zu berücksichtigen, spätere Umbauten bzw. die Entsorgung von Ersatzteilen können sehr teuer werden. Versorgungsleitungen bzw. -stränge sollten deshalb für die Wartung und Reparatur zugänglich gehalten werden. Die billigste Errichtungs-Variante kann sich während der Lebensdauer als sehr teuer herausstellen

Im Stahlbau zum Beispiel ist die Tragkonstruktion oft sichtbar und somit optimal geeignet für Instandhaltung und auch Reinigung. Sofern Vorsatzbauteile, wie Brandschutzplatten oder abgehängte Decken, vorhanden sind, sind diese meist leicht zu demontieren.

Wandkonstruktionen in Stahlbauweise sind lösbar mit dem Primärtragwerk verbunden, so dass ein partieller Austausch gut möglich ist. Die Aufbringung von langlebigem Korrosionsschutz, wie z.B. Feuerverzinken, oder der Einsatz von Edelstahl Rostfrei erhöht die Instandhaltungsfreundlichkeit weiter.

Haustechnische Anlagen haben meist eine kürzere Lebenszeit als das Gebäude selbst und müssen daher auf die Lebensdauer des Gebäudes gesehen ein- oder mehrmals ausgetauscht

werden. Sie bedürfen aber auch einer regelmäßigen Wartung oder müssen im Stör- oder Schadensfall repariert werden.

Als Konsequenz für die Konstruktion heißt das zum Beispiel: Leitungen, die im Hohlraum von Vorsatzschalen, getrennt von der Konstruktion, verlegt sind, sind leichter zugänglich und austauschbar als Unterputzleitungen; Leitungen, die in getrennten Boden- und Wandkanälen geführt werden, ebenso.

In der Ausführung ist generell bereits in der Erstellung der Details darauf zu achten, dass Reparaturen oder ein Austausch, auch in Teilen, ohne großen Aufwand möglich sind. Das bedeutet zum einen, dass die Zugänglichkeit gegeben sein muss, und zum anderen, dass eine Reparatur oder eine Erneuerung auch ohne Zerstörung von angrenzenden Bauteilen ausgeführt werden kann.

Am Beispiel eines Fenster lässt sich das gut veranschaulichen: Bei einem Fenster mit Blindstock ist der Anschluss von vornherein so ausgeführt, dass ein späterer Austausch ohne Zerstörung von Dämmung und Putz möglich ist. Bei einer Ausführung ohne Blindstock ist kein zerstörungsfreier Ausbau möglich, beim neuerlichen Einbau sind zusätzlich Nacharbeiten erforderlich.

Reparaturfreundlich Konstruieren bedeutet aber auch, Materialien und Oberflächen auszuwählen, die ohne großen Aufwand repariert werden können. Massives Holz lässt sich zum Beispiel mehrmals schleifen während Schichtstoffplatten bei Oberflächenzerstörungen ausgetauscht werden müssen.

6.2.7. Reinigungsfreundlich konstruieren

Die Konstruktion und die Ausbaumaterialien müssen so gewählt werden, dass eine Reinigung gut möglich ist und dadurch eine längere Lebensdauer gewährleistet werden kann.

Materialien müssen ihrer Nutzung und Beanspruchung gemäß ausgewählt werden, d.h. Materialien, die einer starken Beanspruchung ausgesetzt sind, müssen nicht nur langlebiger sein, sondern müssen auch leicht zu reinigen sein (z.B. Bodenbeläge), „Schmutzecken“ müssen vermieden werden, etc. Für den Eingangsbereich bieten z.B. Schmutzschleusen einen idealen Schmutzfang. Es handelt sich dabei um unempfindliche, leicht zu reinigende Bodenbeläge, welche den Schmutz von den empfindlicheren Bodenbeläge abhalten.

Die Reinigung muss gewährleistet sein, damit kein Austauschen von Teilen vor Ablauf ihrer Lebensdauer erforderlich wird.

Wie bereits im Punkt vorher angeführt, sind im Stahlbau Tragkonstruktionen oft sichtbar und somit optimal geeignet für Instandhaltung und auch Reinigung. Sofern Vorsatzbauteile, wie Brandschutzplatten oder abgehängte Decken, vorhanden sind, sind diese meist leicht zu demontieren bzw. zu Reinigungszwecken offenbar.

6.2.8. Vorsehen von Verschleißschichten

Dass Materialien entsprechend ihrer Nutzung und Beanspruchung ausgewählt werden sollen, darauf wurde schon im vorigen Abschnitt eingegangen. Eine zusätzliche Möglichkeit, die Lebensdauer von Materialien zu verlängern, ist das Vorsehen von Verschleißschichten.

So ist z.B. die Nuttschichtdicke eines Bodenbelags ein wichtiger Parameter für die Lebensdauer von Holzböden. Je dicker die Nuttschichtdicke, desto öfter kann der Bodenbelag abgeschliffen werden.

Klassisches Beispiel eines Verschleißteiles ist das Verschleißbrett, ein unabhängig von der Konstruktion oder sonstigen Verkleidung angebrachtes Brett z.B. an hoch beanspruchter Stelle, von dem klar ist, dass es auf Grund der höheren Beanspruchung schneller als die übrigen Teile seine Funktionsfähigkeit verlieren wird und daher auszutauschen sein wird.

Auch die im vorigen Abschnitt erwähnten Schmutzschleusen können als Verschleißschichten angesehen werden. Statt des gesamten Bodenbelags müssen nur die relativ kleinen, besonders beanspruchten Flächen ausgetauscht werden.

6.2.9. Trennen von langlebigen und kurzlebigen Strukturen

Ein Gebäude besteht aus vielen Bauteilen, deren Lebensdauer sehr unterschiedlich ist. Einzelne Bauteile müssen während der Lebensdauer des Gebäudes zum Teil mehrfach erneuert werden.

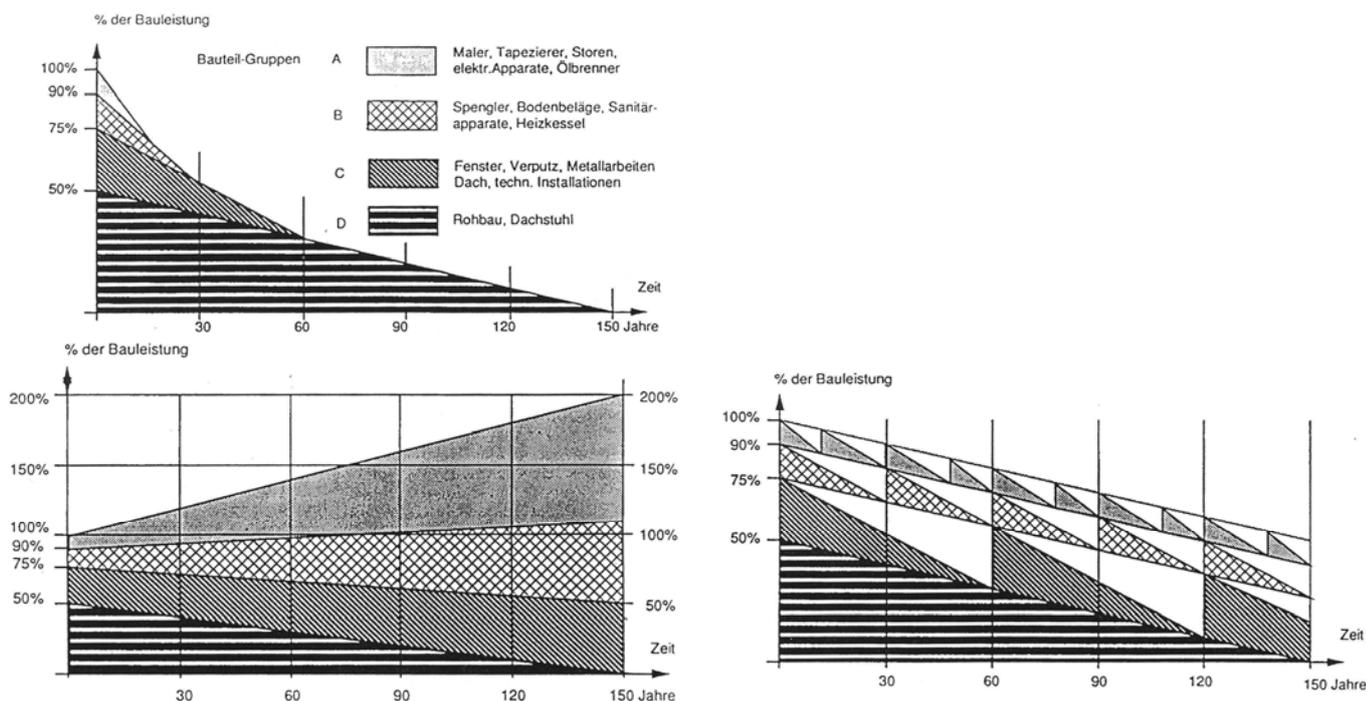
Die unterschiedliche Lebensdauer macht eine Trennung von kurzlebigen Verschleißprodukten und von langlebigen Konstruktionen notwendig. Wichtig ist der möglichst zerstörungsfreie Austausch von Strukturen mit kurzer Lebensdauer und häufigem Austausch.

Die Trennung von langlebigen und kurzlebigen Strukturen trägt also auch wesentlich zur Optimierung in der Instandhaltung bei.

„Für die langen Nutzungszyklen des Wohnbaus kann jedenfalls in der Regel nicht die vollständige Demontierbarkeit des gesamten Bauwerks ein realistisches Ziel recyclingfähiger Konstruktion sein, sondern eher eine angemessene Wechselwirkung von sehr langlebigen Rohbaustrukturen aus recyclingfähigen Materialien und ergänzenden Montagekonstruktionen aus wiederverwendbaren Bauteilen, die auch dem Ziel von Nutzungsanpassungen und -veränderungen entgegenkommen.“

(Quelle: Neue Konstruktionsalternativen für recyclingfähige Wohngebäude)

Als Hinweis auf die mögliche Recycling-Relevanz entsprechend der Lebensdauer soll eine Übersicht der spezifischen Lebensdauer von Bauteilgruppen nach Steiger dienen. Hier wird deutlich, dass vor allem die Bauteilgruppen des Innenausbaus und der Gebäudetechnik eine teilweise wesentlich geringere Lebensdauer als das Gesamtbauwerk haben und zur Wertanpassung an letzteres mehrfach Erneuerungs- und Instandhaltungsinvestitionen erfordern. Dabei geben häufige Erneuerungszyklen von Bauteilen auch einen Hinweis auf die entsprechende Umweltbelastung bei Abbruch und Entsorgung.



Quelle: Steiger, Peter: Recycling, ein falscher Trost. In: Der Architekt (1989) Nr. 3

Die unterschiedliche Lebensdauer von Bauteilen im Vergleich zu technischen Anlagen ist auch in der folgenden Grafik ersichtlich:

	Produktgruppe	Systeme	Lebensdauer
Technische Anlagen	Heizungsanlagen	Wärmeabgabesystem, Mess-, Steuer- und Regelungsanlagen, Leitungen, Wärmeerzeuger	10-50a
	Raumlufttechnische Anlagen	Filter, Leitungen, Gebläse, Wärmerückgewinnungs- und Kälteanlagen	10-40a
	Wasseranlagen	Ab-, Kalt- und Warmwasserleitungen, Sanitärobjekte	15-40a
	Elektrische Anlagen	Leitungen, Schalter, Blitzschutz, Mess- und Regelungstechnik, Beleuchtung	10-30a
Bauteile	Fassaden	Außenputz, WDVS, Glas, Zinkblech, Kunststoff	20-70a
	Dächer	Dachentwässerung, Eindeckung aus Ziegel, Zink oder Faserzementplatten	15-60a
	Fenster und Türen	Rahmen, Flügel	30-60a

Abb. 4-9 Austauschzyklen von baulichen und technischen Gebäudekonstruktionen basierend auf ihrer Lebensdauer

Abbildung 148: Austauschzyklen von baulichen und technischen Gebäudekonstruktionen basierend auf ihrer Lebensdauer

Quelle: Leitfaden Nachhaltigkeitsaspekte bei Neu- und Umbauten, TU München im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, 2006

6.2.10. Fehleranfälligkeit

Die folgende Grafik aus KALUSCHE (2008) zeigt die für die Lebensdauer ausschlaggebenden Faktoren. Neben den bereits genannten technischen Faktoren, spielen v.a. Fehler (Fehler bei der Bauplanung, Mängel bei der Ausführung und Verhalten der NutzerInnen) eine wichtige Rolle. Langlebige Konstruktionen bedingen somit auch, diese Fehler möglichst auszuräumen. Eine Möglichkeit ist, möglichst wenig fehleranfällige Bauweisen, Konstruktionen, Materialien, Haustechnik-Komponenten zu wählen, eine weitere, ein möglichst interdisziplinäres kompetentes Planungsteam zusammenzustellen, die Planungsrichtlinien aus Kap.6.6 zu beachten und eine strikte Bauaufsicht zu führen.

Das Verhalten der NutzerInnen kann durch Einschulung (z.B. Bodenpflegeanleitung für die Reinigungskräfte in einer Schule), regelmäßige Mieterinformationen (z.B. über die Wartung der Lüftungsanlage) gesteuert werden.

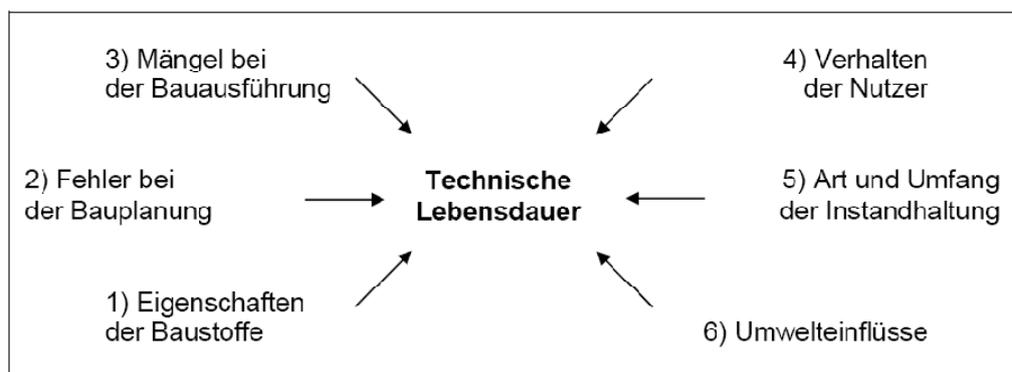


Abbildung 149: Einflussfaktoren auf die Technische Lebensdauer nach KALUSCHE (2008)

Kalusche: Technische Lebensdauer von Bauteilen und wirtschaftliche Nutzungsdauer eines Gebäudes. 2008

6.3. Leichte Montage und Demontage

6.3.1. Kritische Auswahl von Funktionsintegration oder Funktionstrennung

Funktionsintegration ist das Zusammenfassen von mehreren Funktionen (z.B. Wärmeschutz, Feuchteschutz, Schallschutz, Brandschutz) in einem einschaligen Bauteil, z.B. einschaliges Mauerwerk aus wärmedämmenden Mauersteinen mit Innen- und Außenputz.

Funktionstrennung ist die Gewährleistung unterschiedlicher Funktionen (Tragfunktion, Schutzfunktion) durch spezielle Bauteilschichten, z.B. Tragende Wandschale, Wärmedämmschicht, Luftdichtheitsfolie, hinterlüftete Außenschale).

Nach dem Prinzip der Reduktion der stofflichen Vielfalt ist im ersten Ansatz in der Auswahl eines Bauteiles hohe Funktionsintegration anzustreben. Es gibt jedoch auch Prinzipien die für der Funktionsintegration widersprechen z.B. die Trennbarkeit von langlebigen und kurzlebigen Strukturen.

Leichter Austausch von Verschleiß- oder verschmutzten Teilen erhöht die Lebensdauer des Gesamtbauteils und vereinfacht das Recycling.

Am Beispiel des Fensters lässt sich dies gut veranschaulichen: Das Fenster ist ein hochkomplexes Produkt, das im Rahmen z.B. mehrere Funktionen integriert: Wetterschutz (Wärmeschutz, Feuchteschutz) und Schallschutz. Auf seinen beiden Seiten ist es allerdings höchst unterschiedlichen Beanspruchungen ausgesetzt. Während die Innenseite wenig Schwankungen in der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit ausgesetzt ist, hat die Außenseite extrem hohen Belastungen standzuhalten. Hohe Temperaturunterschiede, UV Bestrahlung, Schlagregen, Nässe, Wind.

Es ist daher durchaus sinnvoll, beim Fensterrahmen eine Funktionstrennung zwischen Wärme- und Schallschutz einerseits und Wetterschutz andererseits durchzuführen und die Außenhaut des Fensters aus einer Aluminiumschale zu konzipieren.

Ein alternativer funktionsintegrierender Ansatz könnte sein, das Fenster aus Eichenholz zu fertigen und außen mit Leinöl zu schützen. Dies bedingt jedoch einen höheren Wartungsaufwand für das Fenster, da die Leinölimprägnierung kontinuierlich erneuert werden muss.

Eine generelle quantitative Bewertung der beiden Varianten gegeneinander ist kaum sinnvoll. Es hängt von weiteren Parametern ab (wie den Kosten der Arbeit gegenüber den Kosten des Materials, dem Anfahrtsweg der Wartungskraft, der Recyclingrate von Aluminium, der Verwertbarkeit von mit Leinöl imprägniertem Holz) wie die Entscheidung ausfallen soll.

Mit dem Ziel einer möglichst hohen Lebensdauer des Fensters ist klar, dass das auf den ersten Blick ökologischere System ohne Aluminium jedenfalls fehleranfälliger ist. Für ein Bürogebäude unter zeitgenössischen wirtschaftlichen Bedingungen würde man sich unter Abwägen der Rahmenbedingungen voraussichtlich für eine Funktionstrennung, also das Holz/Alu- Fenster entscheiden.

6.3.2. Lösbare Verbindungstechniken, Demontagefreundlichkeit

Die Grundanforderungen für recyclinggerechte Demontierbarkeit beziehen sich auf eine Verbindungstechnik, die nicht nur zerstörungsfrei lösbar und mehrfach wiederverwendbar ist, sondern auch einer Rationalisierung der Montage- und Demontageprozesse Rechnung trägt. Ziel ist die Vereinheitlichung der Verbindungsmittel (z. B. gleiche Schraubenköpfe) bis hin zur Automatisierung der Verbindungs- und Demontagevorgänge. Ziel ist also das Produkt- Recycling mit Priorität vor dem Material- Recycling.

Lösbare Verbindungen müssen für die gesamte Verbrauchsdauer (einschließlich Recycling) funktionsfähig bleiben, d.h. dürfen weder festkorrodieren noch nach wiederholtem Lösen die Haltefähigkeit verlieren.

Die eine Kompletterverwertung störenden Teile und Gruppen eines Produktes, die im Zuge einer partiell getrennten Aufbereitung durch Demontage abgetrennt werden sollen, sollen leicht

demontierbar und gut zugänglich an den äußeren Produktzonen angeordnet und gekennzeichnet sein.



Abbildung 150: demontagegerechte Verbindungstechnik

Quelle: Leitgedanken zum nachhaltigen Bauen, Herausgeber: Bauen mit Stahl e.V., Düsseldorf, Januar 2009

6.3.3. Separierbarkeit der nicht gemeinsam recyclingfähigen Materialien

Die Separierbarkeit steht in enger Wechselwirkung mit der Materialverträglichkeit im Aufbereitungsprozess. Das bedeutet, dass leicht zerlegbare Montagekonstruktionen mit gut separierbaren Stoffen auch mit größerer Materialvielfalt als recyclinggerecht gelten können, als dies bei nicht separierbaren Verbundkonstruktionen der Fall ist. Damit zeichnen sich für die Erstellung recyclingfähiger Gebäude zwei alternative Lösungswege ab. Der eine besteht in Konstruktionen mit möglichst geringer Materialvielfalt und Stoffen, die einen gemeinsamen Aufbereitungsprozess durchlaufen können. Der andere Lösungsweg besteht in einer leichten Separierbarkeit der unterschiedlichen Stoffe, entweder während des Rückbauvorgangs oder durch eine Vorsortierung vor der Aufbereitung.

Gute Ansätze sind dort zu finden, wo eine zerstörungsfreie Montagetechnik die Separierbarkeit bereits im Rückbauprozess zulässt. Recyclinghindernisse verursachen alle nicht lösbaren Materialverbindungen, wie sie z.B. bei den meisten Wärmedämmverbundsystemen vorkommen, die Unterputzsystemen und vor allem bei Installationen, die im Ortbeton eingegossen sind, sowie bei vollflächig verklebten Bodenbelägen und bei Hohlräumchäumungen im technischen Ausbau, in der Wärmedämmung sowie beim Fenster- und Türeinbau.

Eine leichte Trennbarkeit von Materialverbindungen erhöht die Wahrscheinlichkeit einer sortenreinen Trennung. Je sortenreiner Materialien getrennt werden können, umso größer ist die Chance, sie wieder einsetzen zu können.

In der folgenden Grafik werden die Unterschiede von konventionellen Aufbauten zu demontagegerechten Entwürfen deutlich: eine Trennung der Konstruktion von den Ausbauelementen ermöglicht eine sortenreine Trennung in der Aufbereitung- Rohrleitungen nicht in Beton einlegen, sondern in getrennten Kanälen führen.

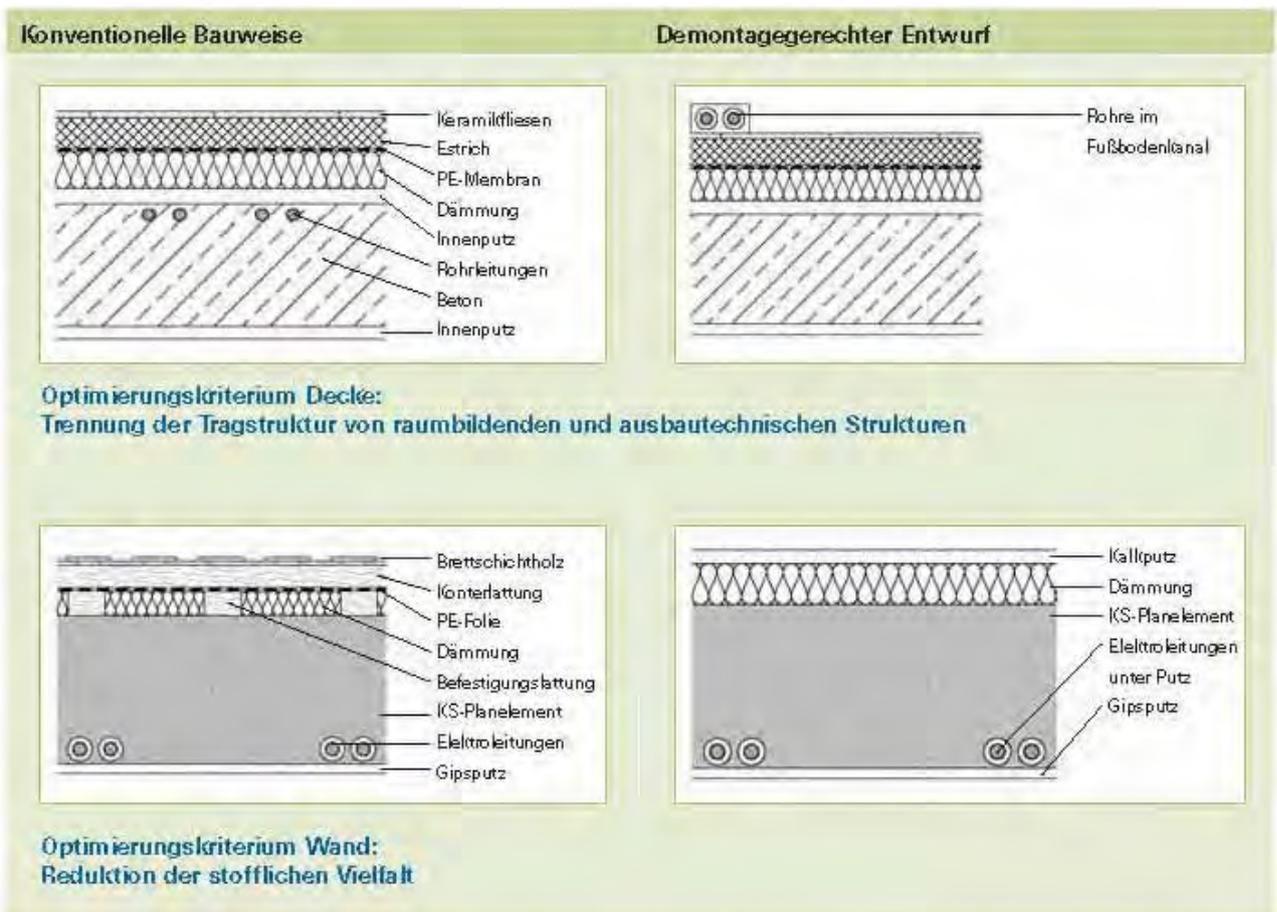


Abb. 3-10 Recyclinggerechte und konventionelle Bauponstruktionen im Vergleich

Abbildung 151: Vergleich von recyclinggerechten und konventionellen Konstruktionen

Quelle: Leitfaden Nachhaltigkeitsaspekte bei Neu- und Umbauten, TU München im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, 2006

6.4. Gute Recyclierbarkeit

6.4.1. Recyclierbarkeit der Materialien

Es ist schon in der Planung auf die Recyclierbarkeit der Materialien zu achten.

Als recyclinggerecht werden jene Materialien bezeichnet, die nach Durchlaufen eines Aufbereitungsprozesses als Recyclingprodukt wieder zum Einsatz kommen. Dabei sollen die Abfallmaterialien zu möglichst hochwertigen Recyclingprodukten verarbeitet werden können. Ein weiteres wichtiges Kriterium des hochwertigen Recyclings ist, dass sich der Vorgang beliebig oft wiederholen lässt. Dies ist z.B. bei Metallschrotten wie Aluminium-, Kupfer- oder Stahlbauteilen der Fall. Downcycling, das nach dem neuerlichen Lebenszyklus in der Sackgasse zur Deponie mündet, stellt keinen sinnvollen Recyclingprozess dar.

6.4.2. Materialverträglichkeit im Aufbereitungsprozess

Dieses Kriterium hat besondere Bedeutung für Baustoffe, die in einem nicht oder nur schwer lösbaren Verbund miteinander eingesetzt werden und deshalb bei Rückbau oder Demontage nicht separiert ausgebaut werden können. Darunter fallen z.B. Wärmedämmverbundsysteme, verklebte Wand- und Bodenbekleidungen (z.B. elastische Bodenbeläge, Fliesen), auf Estrich gegossene Industrieböden aus Polyurethan, in Beton vergossene Bauteile, etc). Sind die beiden, nicht oder nur aufwändig trennbaren Materialien „materialverträglich“ wie z.B. Mineralschaumplatten auf mineralischem Untergrund, so kann deren gemeinsame Aufbereitung eine Alternative zur Trennung darstellen.

6.4.3. Konzentration der Recyclingbemühungen auf masseintensive oder kurzlebige Bauteile

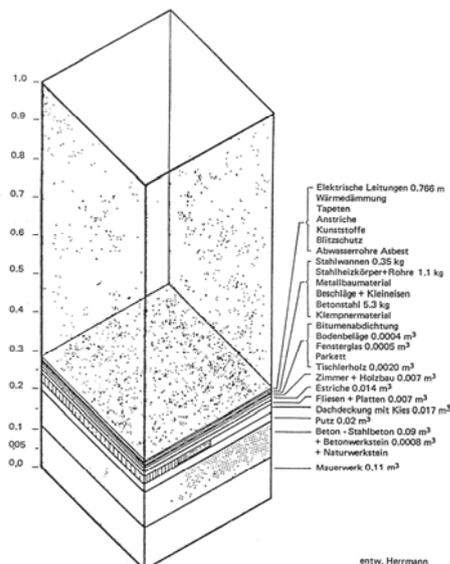
Nicht alle Teilbereiche des Konstruierens im Hochbau sind gleichermaßen interessant unter dem Gesichtspunkt des Baustoff-Recyclings. Zwei Bereiche haben eine besondere Bedeutung:

- Bauleistungen, in denen bereits heute erkennbar wird, dass dort Recycling-Baustoffe einsetzbar sind und/ oder dass eine spätere Verwertung in Frage kommt, und die außerdem einen nennenswerten Anteil am gesamten Bauvolumen ausmachen.
- Teilbereiche eines Bauwerks, die im Laufe der gesamten Lebensdauer desselben mehrfach erneuert oder verändert werden. Dies geschieht, weil sie entweder ihre technische Lebensdauer, wenn weitere Investitionen in ihre Erhaltung unwirtschaftlich werden oder weil sie dem Stand des technischen Fortschritts bzw. auch dem Stand des Zeitgeschmacks nicht mehr entsprechen.

Die einzelnen Bauteile eines Gebäudes weisen nicht nur unterschiedliche Masseanteile auf, sondern auch unterschiedliche Lebens- und Erneuerungszyklen.

Die Wahl von recyclingfähigen Materialien muss sich also speziell mit jenen Gebäudeteilen beschäftigen, die große Masseanteile besitzen und zum anderen auf die Bauteile, die auf die Lebensdauer des Gesamtgebäudes gesehen, mehrfach ausgetauscht werden müssen.

Eine Baumassenerlegung für ein Wohnhaus nach R. Hermann zeigt die verschiedenen Materialanteile je m³ Bruttorauminhalt, als Hinweis auf die rein mengenmäßige Relevanz der einzelnen Stoffe.



Quelle: Rainer Herrmann: Eingliederung anfallender Baurestmassen in einen ökonomisch orientierten Planungs-, Bau- und Nutzungsprozess. Bauwirtschaft Ausgabe B31 (1977) Nr.40

Abbildung 152: Baumassenerlegung nach R. Hermann

6.4.4. Zusätze vermeiden

Zusätze in Baumaterialien sind vor allem dann problematisch, wenn sie ein hochwertiges Recycling von Materialien verhindern. Im schlechtesten Fall handelt es sich dabei um xenobiotische Stoffe wie z.B. Cadmiumstabilisatoren in alten PVC-Bodenbelägen, die bei einem Recycling im Kreislauf gehalten werden. Aber auch weniger giftige Materialien können sich problematisch auf das Recycling auswirken, wie z.B. Kunststoffasermierungen in Putzen und Platten.

6.4.4.1. –durch konstruktive Maßnahmen

Konstruktiver vor chemischem Schutz: Feuchtigkeit, Schimmel, Brand, Pilz, Schädlingsbefall

6.4.4.2. –durch bedachte Werkstoffauswahl

6.4.5. Vermeidung von Compoundmaterialien

Verbundmaterialien bestehen aus einer Kombination von unterschiedlichen Materialien, deren chemische und physikalische Qualitäten für die jeweilige Anwendung die Eigenschaften der Einzelmaterialien übertreffen.

Das Problem beim Zurückführen dieser Baustoffe oder Bauteile in den Stoffkreislauf, bzw. beim Recyceln, liegt im Wesentlichen an der Vermischung von Baustoffen. Eine Trennung von Werkstoffverbunden mit dem Ziel der sortenreinen Wiederverwertung in Stoffkreisläufen, ist häufig nicht oder nur unter großem Aufwand möglich, ein Recycling daher schwierig, wenn nicht gar unmöglich.

Wenn Verbunde nicht vermieden werden können, sollten sie aus Stoffen bestehen, die zusammen recycelt werden können oder sie sollten durch leicht lösbare Verbindungsmittel verbunden sein.

6.4.6. Kennzeichnung wertvoller bzw. schädlicher Stoffe

Eine grundsätzliche Voraussetzung für Recyclingmaßnahmen ist die genaue Kenntnis aller Inhaltsstoffe von Baumaterialien und Bauteilen sowie des langfristigen chemischen und physikalischen Verhaltens dieser Inhaltsstoffe. Dies gilt sowohl für die frühzeitige Einplanung späterer Weiterverwertung als auch für den derzeitigen Einsatz von Recycling Baustoffen.

Erst eine Kennzeichnung aller Inhaltsstoffe von Baustoffen und Bauteilen kann die volle Bandbreite der Recyclingmöglichkeiten erschließen. Dazu sollte auch die Angabe eventueller Verwertungsmöglichkeiten oder der spezifischen Entsorgungsbedingungen eines Baustoffes zählen.

Zur Lösung der Entsorgungsprobleme wäre ein Rücknahmesystem für Baustoffe denkbar. Das Verursacherprinzip muss vor allem mit im Umlauf befindlichen Problemstoffen- Also Altlasten- Anwendung finden. Für die Zukunft kann dies allein nicht ausreichen. Hier gilt es durch ein Vorsorgeprinzip die Produktion von Neulasten für die Umwelt zu verhindern.

(Quelle: Recyclinggerechtes Konstruieren im Hochbau)

6.5. Gute Wiederverwendbarkeit

6.5.1. Modulare Konstruktionen

Hier steht das Produktrecycling im Vordergrund, d.h. die Bauteile sollen ohne aufwendigen Verarbeitungsprozess projektunabhängig wieder verwendet werden können. Voraussetzung dafür ist eine einfache Demontage. Modulare Kombinierbarkeit, Kleinteiligkeit oder Teilbarkeit sowie vereinheitlichte Verbindungs- und Anschlusselemente sind sicher hilfreich.

Bei diesem Bausystem werden zuerst genormte Elemente (z.B. Bauteile oder Raumzellen) entwickelt und Regeln der Füge- und Verbindungstechnik festgesetzt, wie diese miteinander verbunden werden können. Das Endprodukt entsteht als eine Kombination dieser Elemente. Die Möglichkeiten für den Entwurf hängen von der Anzahl der verschiedenartigen Grundelemente und deren Kombinationsmöglichkeit ab.

Die Fertigteilverproduktion minimiert zusätzlich die Entstehung von Bauabfällen auf der Baustelle. Der Nachteil bei den meisten Fertigteilsystemen ist jedoch die eingeschränkte Entscheidungsmöglichkeit bei der Material- oder Konstruktionsauswahl.

Die Firma system/haus/bau bietet zum Beispiel aufbauend auf einem Raster von 80cm für ihre Wandelemente die Möglichkeit für die unterschiedlichsten Grundrisse und Haustypen, und gleichzeitig Erweiterungsmöglichkeiten für geänderte Nutzungsanforderungen (siehe Kapitel 3: Best Practice Beispiele).



Abbildung 153: system/haus/bau

Quelle: www.systemhausbau.at

6.5.2. Standardisierte Bauteile und Abmessungen

Erleichtert wird die Anpassbarkeit von Bauteilen an spätere Wiederverwendungszwecke durch Kleinteiligkeit oder Teilbarkeit zur maßlichen Anpassung, durch eine Beschränkung auf wenige Standardmaße und deren Kombinierbarkeit, durch vereinheitlichte Verbindungs- und Anschluss-elemente und langfristige Ergänzungsfähigkeit mit gleichen Elementen.

Zur Vereinfachung und Erleichterung des Prüfens und Sortierens von Bauteilen aus demontierten Produkten sollen Elemente, Baugruppen und Produkte mit gleicher Funktion in Aufbau, Anschlussmaßen und Werkstoffen standardisiert werden.

6.6. Gute Planung

6.6.1. Grundlagenwissen über Einsatzmöglichkeiten von Recyclingbaustoffen

Eine gute Übersicht über die sich ständig erweiternde Produktpalette von Recycling- Baustoffen ist notwendig, um deren Einsatz anstelle konventioneller Baustoffe bei der Ausführungsplanung und Ausschreibung zu berücksichtigen.

6.6.2. Ausschreibung

Nachdem unter Berücksichtigung der Prinzipien für kreislauffähiges Konstruieren die Entscheidung für bestimmte Konstruktionen und Materialien und Verbindungen in der Planungsphase getroffen wurden, muss in der Ausschreibung dafür gesorgt werden, dass diese Prinzipien umgesetzt werden.

Dies betrifft die Errichtung des Gebäudes, aber auch die Nutzungsphase und den späteren Rückbau.

Für die Errichtungsphase des Gebäudes bedeutet das klare Vorgaben für die Baustellenabwicklung. Minimierung der Transportwege bei der Anlieferung der Materialien und beim Abtransport der Abfälle, Verpflichtung zur Errichtung von Sortierinseln auf der Baustelle zur getrennten Sammlung von Baurestmassen und Abfällen, um einen hohen Verwertungsgrad zu erzielen, Planung der Wiederverwendung des Aushubmaterials auf der eigenen Baustelle zur Geländemodellierung, etc.

Die Errichtung von Sortierinseln mit versperrbarer Umzäunung, Bauhütte, der entsprechenden Anzahl von Behältnissen in verschiedenen Größen, sowie die Beistellung einer Fachkraft sollte zwingend vorgeschrieben werden, um das Aufkommen von gemischten Bauabfällen zu reduzieren (Siehe auch RUMBA-Leitfaden "Maßnahmen und Aktivitäten nach Baustellentypen": RUMBA bedeutet "Richtlinien für umweltfreundliche Baustellenabwicklung". Der Leitfaden enthält wichtige Ergebnisse zur Berücksichtigung von Umweltaspekten im Planungs- und Umsetzungsprozess von Baustellen aus dem EU-Life-Demonstrationsprojekt.)

In der Ausschreibung muss aber auch dafür gesorgt werden, dass die in der Planung erarbeiteten Prinzipien ohne Qualitätsverlust umgesetzt werden.

Dazu ist es wichtig, die verwendeten Materialien genau zu definieren, aber auch bereits jetzt mit Details die wesentlichen Ausführungsprinzipien und Fügeverfahren vorzugeben. Die Vorlage von Prüfzeugnissen und Nachweisen, speziell bei Klebeverbindungen, muss unbedingt gefordert werden.

Ein weiteres mögliches Instrument zur Qualitätssicherung bereits in der Ausschreibung ist der Abschluss von Wartungsverträgen für Bauteile mit den ausführenden Firmen. Sobald professionelle Immobilienstockholder die Zusammenhänge der Lebenszykluskosten mit einer kontinuierlichen professionellen Wartung erkannt haben, greifen sie das Mittel der Wartungsverträge bereits in der Ausschreibung zur Errichtung vermehrt auf. Wenn eine Firma zur Wartung oder zur Reparatur ihrer Anlagenteile verpflichtet ist, wird sie darüber hinaus umso mehr dafür Sorge tragen, dass die Zugänglichkeit gewährleistet ist, und wird sich umso eher auch mit anderen Gewerken koordinieren.

6.6.3. Objektdokumentation

6.6.3.1. Klassische Objektdokumentation

Klassische Objektdokumentationen wie sie heute bereits in professionellen Bauvorhaben üblich sind, sind ein erster Schritt um darüber Klarheit zu haben, welche Stoffe in einem Gebäude verbaut sind. Der Vorteil einer Objektdokumentation - wenn sie gut gemacht ist - liegt darin, dass nicht nur Materialien dokumentiert sind, sondern präzise Herstellerdaten des jeweils verwendeten Produktes. Wenn im Zuge des Bauvorhabens ein Bauchemikalienmanagement durchgeführt wurde, ist eine umfangreiche Objektdokumentation auch nur wenig zusätzlicher Aufwand, da die Produktdatenblätter ohnedies im Zuge der Bauchemikalienprüfung bereits zusammengestellt worden sind.

Derzeit werden üblicherweise nur Dokumentationen über die haustechnischen Anlagen angelegt oder Materialien beschrieben, die die Ausstattung betreffen, eine Erfassung sämtlicher im Gebäude verwendeter Materialien ist noch immer nicht Standard, sollte allerdings in Hinblick auf einen Rückbau zwingend vorgegeben werden.

6.6.3.2. Werkstofflicher Gebäudepass

In Österreich läuft auf der TU Wien bei Prof. Rechberger im Moment ein Forschungsprojekt, bei dem es um die konzeptionelle Entwicklung eines werkstofflichen Gebäudepasses geht (Dissertationsarbeit Frau Markova). Ähnlich dem Energieausweis soll der werkstoffliche Gebäudepass einmal wichtige Hinweise zu den im Gebäude verbauten Stoffen geben.

Das Projekt geht davon aus, dass die materielle Information über ein Bauwerk während des Planungsprozesses vorhanden ist, jedoch nicht geeigneter Form dokumentiert wird und verloren geht. Ziel ist es, ein Gerüst für die weitere Nutzung dieser Informationen für die Baumaterialienbewirtschaftung zu erarbeiten.

Konzept- Struktur für einen Gebäudepass:

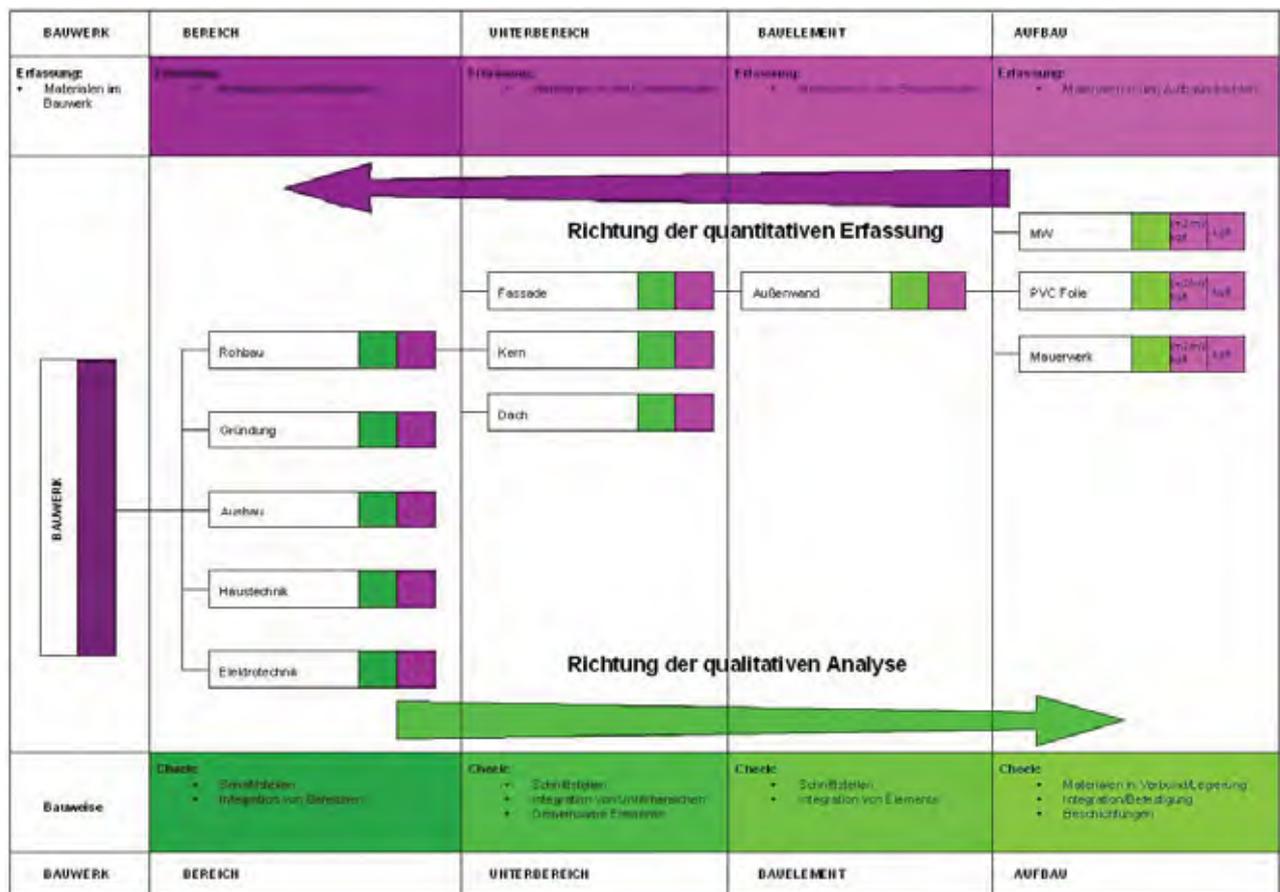


Abbildung 154: Konzept Struktur für einen Gebäudepass

Quelle: Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, TU Wien, Stanimira Markova, Projekt Pilas.

6.7. Conclusio

Aufbauend auf den Erkenntnissen aus den Grundlagen und den Best Practice Beispielen wurden hier Prinzipien erarbeitet, die helfen sollen, adäquate Lösungen für die Umsetzung von kreislauffähigen Konstruktionen zu finden.

Grundsätzlich ergeben diese Prinzipien keine ungewöhnlichen oder neuartigen Anforderungen an Konstruktionen, im Gegenteil, die meisten von ihnen sollten bereits im Sinne des öko- effizienten Bauens zur Anwendung kommen.

Das betrifft jetzt nicht nur die Minimierung des ökologischen Aufwands durch die Materialwahl und die gezielte Planung zur Abfall- und Reststoffvermeidung, sondern auch alle anderen Maßnahmen, die der Verlängerung der Lebensdauer dienen. Gerade diese Themen sind unverzichtbare Teile des Gesamtkonzepts der Kreislauffähigkeit.

Das Wissen um die Stoffströme und Lebenszyklen ist dementsprechend eine wichtige Entscheidungsgrundlage in der Wahl der Materialien und in der Entscheidung für die entsprechende Bauweise.

Da Baustoffe während ihres Lebenszyklus die verschiedensten Umwelt- und Gesundheitsbereiche in sehr unterschiedlichem Ausmaß beeinflussen, müssen alle Lebensphasen berücksichtigt werden, die Herstellung der Baustoffe, die Nutzung, der Rückbau und die Verwertung und Entsorgung der Baustoffe.

Am Ende der Lebensdauer sind zwei Aspekte im Hinblick auf die Nachhaltigkeit von Bedeutung. Zum einen die Recyclingfähigkeit und zum anderen die Entsorgungseigenschaften der Baustoffe. Grundvoraussetzung für ein Recycling ist die gute Separierbarkeit von anderen Bauteilschichten sowie die Möglichkeit zur Eingliederung in Stoffkreisläufe.

Die langfristige Werterhaltung eines Gebäudes kann nur durch laufende Instandhaltung, Wartung und Reparaturen bis hin zum Austausch einzelner Bauteile gewährleistet werden. Das setzt nicht nur die Trennung von langlebigen und kurzlebigen Strukturen voraus, um einen Austausch überhaupt möglich zu machen, sondern erfordert auch die leichte Zugänglichkeit der Elemente für die erforderlichen Arbeiten zur Instandsetzung und Erneuerung. Die Entwicklung von wartungsgerechten Details wird auf jeden Fall in Zukunft eine große Herausforderung an die Planer sein.

Die Prinzipien für die leichte Montage und Demontage betreffen sowohl die Errichtung als auch den Rückbau eines Gebäudes. Einfach demontierbare Teile oder Module aus trennbaren Materialien bieten eine gute Basis für die Wiederverwendung und für die Verwertung (z.B. geschraubte Verbindungen im Gegensatz zu geschweißten Verbindungen). Die Umsetzung dieser Ziele ist nur durch die Anwendung von Verbindungstechniken möglich, die eine zerstörungsfreie Trennung der Bauteile ermöglichen.

Obwohl laufend neue Verbindungstechniken entwickelt werden, gibt es gerade auf dem Sektor der Fügetechniken noch deutlichen Forschungsbedarf zur Entwicklung von standardisierten Verbindungen, die allen Ansprüchen genügen.

Alles in allem gibt es kein allgemeingültiges Rezept für die Errichtung eines recyclingfähigen Gebäudes. Unterschiedliche Anforderungen erfordern eine unterschiedliche Gewichtung der Prinzipien in der Planung, ein Einfamilienhaus ist anders zu behandeln als ein großvolumiger Wohnbau, Flexibilität hat im Wohnbau andere Bedeutung als im Gewerbebau.

Aus der Summe der Prinzipien müssen also diejenigen umgesetzt werden, die den Rückbau von Konstruktionen und das Rückführen in Stoffkreisläufe optimieren.

7. DEL. Entwurfsempfehlungen für kreislauffähige Konstruktionen

7.1. Analyse bestehender Baukonstruktionen hinsichtlich Recyclierbarkeit

Die Kreislauffähigkeit eines Gebäudes hängt in ganz wesentlicher Weise von der angewandten Bauweise, also der Art und Weise, wie die unterschiedlichen Werkstoffe miteinander gefügt werden, sowie von der Auswahl der zur Anwendung kommenden Materialien ab.

Anhand üblicher Baukonstruktionen im Wohn- und Bürobau sowie im Gewerbebau werden in diesem Kapitel Vor- und Nachteile ihrer Ausführung erfasst und in Hinblick auf ihre Kreislauffähigkeit kritisch betrachtet, vom Herstellungsprozess über die gesamte Lebensdauer bis zur Entsorgung.

7.1.1. Wohnbau

Anforderungen:

- konstruktive Zwänge beschränken
- veränderbare Grundrisse (auf geänderte Bewohnerstrukturen mittelfristig reagieren können)
- Belichtung, Belüftung
- Wärmeschutz, sommerliche Überwärmung
- Schallschutz
- Raumklima

Bauteil	Massivbau	Skelettbau
Fundament	Punkt, Streifen-, Plattenfundament	Punkt, Streifen-, Plattenfundament
Erdberührte Aussenwände	Stahlbeton, Betonschalsteine bituminöse Abdichtung Perimeterdämmung XPS	Stahlbeton, Betonschalsteine bituminöse Abdichtung Perimeterdämmung XPS
Aussenwände	Ziegelmauerwerk, Betonstein, Stahlbeton (Ortbeton oder Fertigteil), Porenbeton, Massivholzplatten (z.B: Brettsperholz)	Stahlbeton, Stahl, Holz
Fassade	WDVS (EPS, Mineralschaumplatten, ...) Vorgehängte Fassadensysteme	Vorgehängte Fassadensysteme nichttragende Füllungen, zB. aus Ziegelmauerwerk
Geschoßdecken Spannweiten: bis 7,5m	Ortbetondecken Elementdecken als Halbfertigteile (Aufbeton vor Ort) Betonfertigteildecken Spannbeton-Fertigdecken Ziegel- Elementdecken Hohldielendecken Massivholzdecken: Problem Schall!	Fertigteildecken Elementdecken Verbunddecken
Dachaufbau	Flachdach (Umkehrdach, Warmdach, Duodach) Steildach: Massivdach, Sparrendach	Flachdach (Umkehrdach, Warmdach, Duodach) Steildach: Massivdach, Sparrendach
nichttragende Innenwand	Ziegelwand, verputzt Ständerwandkonstruktionen (Holz-, Metallständer) mit GK Beplankung	Ständerwandkonstruktionen (Holz-, Metallständer) mit GK Beplankung

7.1.1.1. Vor- und Nachteile in Bezug auf die Kreislauffähigkeit:

Fundamente:

-) Fundamente werden in Ortbetonbauweise hergestellt und sind als Bauteil nicht wiederverwendbar -) Bauteile im Erdreich: Bitumenanstrich und -abdichtung auf mineralischen Baustoffen ergibt Einschränkungen bei der Wiederverwendung. Die mit Bitumen und Dämmstoffresten sowie mit Putz verunreinigten Schalsteine bzw. die Stahlbetonteile müssen deponiert werden.
- +) WU-Betone benötigen keine Bitumenabdichtungen und können recycelt werden. Gleiches gilt für Fundamentplatten in Konstruktionen, die eine Bitumenabdichtung abseits der Fundamentplatte ermöglichen
-) Bauteile im Erdreich: Perimeterdämmung mit XPS wird verklebt, so dass ein zerstörungsfreier Ausbau nicht möglich ist, was eine sortenreine Trennung vor Ort erschwert. (Alternativ könnten Schaumglasplatten verwendet werden, die aber meist in Heißbitumen verlegt oder vollflächig mit Kaltkleber angebracht werden). (Entwicklungsbedarf für Optimierungen!)
- +) Rollierung und Drainageschotter sind wiederverwendbar, wenn sie vor Verunreinigung geschützt werden

Außenwände:

- +) Stoffliche Verwertung von Ziegeln ist bei großer Homogenität möglich (80-90% Ziegelanteil). Jedoch handelt es sich dabei um ein Downcycling.
 -) Ziegelschutt mit Zementmörtel kann nicht ausreichend gereinigt werden.
 - +) Kalkmörtel kann vom Ziegelschutt getrennt werden, somit kann bei der Aufbereitung eine Reinheit von 94% erreicht werden.
- Kalkmörtel ist weniger druckfest als Zementmörtel und eignet sich daher nur dort zum Mauern (Mauermörtel), wo keine hohe Druckfestigkeit erwartet wird. Kalkmörtel (ohne Zementzusatz) wirken jedoch gut feuchtigkeitsregulierend und können daher für Innenputze eingesetzt werden.
- Neben den besseren raumklimatischen Vorteilen haben Kalkputze und -mörtel gegenüber Zementputzen auch noch ökologische Vorteile, weil beim Abbindeprozess CO₂ wieder aufgenommen wird.
- +) Verwendung von Kalksandsteinen: kreislauffähiger Baustoff
 - +) Die stoffliche Verwertung von Porenbeton im Porenbetonwerk 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.
 -) Für dieses hochwertige Recycling ist aber eine getrennte Sammlung erforderlich.
 -) In der Regel wird Porenbeton daher nach der Nutzung deponiert oder auf niedrigerem Niveau verwertet.
 -) Ortbeton: beim Einsatz von konventionellen Schalungsplatten fallen große Mengen von Schalungsabfällen an. Vermeidung durch Einsatz von Elementschalungen.
 - +) Einsatz von Betonfertigteile
 - +) Verwendung von mineralischen Innen- und Außenputzen
 -) Gipsputze sind schlecht vom Mauerwerk zu trennen und daher schlecht zu entsorgen

Holzbau:

- +) vorgefertigte Holzbausysteme im Holzskelettbau, Holzrahmenbau, Holzmassivbau sind generell leicht demontierbar und voneinander trennbar

- + in Wien bis zu 5 Geschoßen möglich (vier Holzgeschoße auf einem mineralischen Sockelgeschoß mit hohen Brandschutzanforderungen an Tragkonstruktion und Brandabschnitte)
-) wenig Speichermasse
-) Schutz gegen Feuchtigkeit, Brandgefahr, ...erforderlich

Holzrahmenbauweise: vertikale Rippen (Ständer) + beidseitige Beplankung

- + erlaubt große Dämmstoffdicken
-) vertikale Belastbarkeit ist beschränkt, eher für Einfamilienhausbau
-) Bauweise im Brandfall problematisch: Brandausbreitung, Schwelbrände

Holzständerkonstruktion:

- +) Sehr gute Trennbarkeit, da die Schichten nur mechanisch miteinander verbunden sind.
- + (Unbehandelte) Holzständer und Lattung können als Rohstoff zur Spanplattenerzeugung eingesetzt werden
- + Dämmung zwischen den Ständern ist je nach Zustand und Verschmutzungsgrad wiederverwendbar
-) Wandinnenseitig meist Beplankung mit Gipskarton: landet in der Praxis in Österreich auf der Deponie

Holz- Massivbau:

- + gute Vorfabrikationsmöglichkeit
-) zur Erhöhung des Brandwiderstands werden Holzplatten mit GK- Platten beplankt und vernagelt-schränkt die Wiederverwertbarkeit ein.

Wärmedämmverbundsysteme

-) Verklebte und gedübelte Wärmedämmsysteme sind entweder nur mit sehr hohem Aufwand (Einsatz von Spezialmaschinen, die Fassade „herunterschneiden“, nicht relevant für die Praxis) bzw. gar nicht zu trennen. Eine Trennung ist aus heutiger Sicht unwirtschaftlich.
-) Wärmedämmverbundsystem mit Polystyrol- Dämmplatten: Eine stoffliche Verwertung von Wärmedämmverbundsystemen mit EPS ist wegen des Verbunds aus Putz und Dämmstoff (+Kleber) sehr aufwändig und wird in der Regel nicht realisiert
- + Wärmedämmverbundsystem mit Mineralschaumplatten: Aufbereitung und stoffliche Verwertung möglich (Schüttungen, Hinterfüllungen). Verunreinigungen des Mauerwerks mit dem (mineralischen) Dämmstoff beeinträchtigen die Verwertung nicht so sehr wie z.B. Verunreinigungen mit EPS-Resten.
- + Kann das Mauerwerk vom Dämmstoff gelöst werden, ist es für eine Verwertung gut geeignet (mineralischer Bauschutt).

Hinterlüftete Fassaden

- + Relativ leicht in die Einzelbestandteile zerlegbar, da die verschiedenen Komponenten nur mechanisch miteinander verbunden sind (Folien sind nicht zerstörungsfrei demontierbar und können nicht wiederverwendet werden).
- + Wiederverwendung von Standardmodulen ist denkbar
- + vorgefertigte Fassadenelemente: zuverlässig nachvollziehbare Zusammensetzung

- +) Wiederverwendung der Einzelkomponenten ist nach Prüfung grundsätzlich möglich (Holzverschalung, Dämmung)
- +) Unterkonstruktion: Holzlatten können wiederverwendet (Baustoffbörse) oder stofflich verwertet werden (z.B. Rohstoff für Spanplattenindustrie), Metall- Profile können wiederverwendet oder problemlos recycelt werden. Neuentwicklung: wärmegeämmte Fassadenanker (Phoenix, Wagner System AG)
-) bei speziellen Zuschnitten ist eine Wiederverwendung von vorgefertigten Fassadenelementen nicht immer möglich

Decken:

- +) Fertigteildecken: schalungsfreie Herstellung
- +) Fertigteildecken: zuverlässig nachvollziehbare Zusammensetzung, demontierbar, geringerer Bewehrungsaufwand
- +) Decken aus mineralischen Bestandteilen: Statische Konstruktionen aus mineralischen Baustoffen (Beton oder Ziegel) haben eine höhere definierte technische Lebensdauer als Konstruktionen aus Holz.
- +) Holzbalkendecke: wenn Holz aus der Konstruktion gelöst werden kann, ist eine stoffliche Verwertung (in der Spanplattenindustrie) und thermisch Entsorgung möglich. Balken können evtl. wiederverwendet werden.
- +) Ziegeldecken: Verwertung durch Vorzerkleinerung der Ziegeldecke und des Betons zum Auslösen der Bewehrung. Das Ziegelgranulat ist als Zuschlagsstoff z. B. für Ziegelsplittbeton verwertbar.
-) Elementdecken mit Aufbeton (auch zur Verbesserung des Schallschutzes, z.B. Holzdecke mit Aufbeton- organisch/ mineralisch): höherer Aufwand bei der Entsorgung

Flachdach:

- +/-) Duodach: Die Umkehrdachschiicht ist lose verlegt und kann in ihre Einzelbestandteile zerlegt werden. Die Warmdachschiichten sind untereinander und auf den Untergrund verklebt und werden gemeinsam vor Ort vom Untergrund getrennt. Rückstand auf dem Untergrund.
- +/-) Warmdach: Dämmschichten sind untereinander und auf den Untergrund verklebt. Bei Trennung Rückstand auf Untergrund.
- +/-) Umkehrdach: Dämmschicht ist lose verlegt und kann in Einzelteile zerlegt werden. Die Polymerbitumen- Dichtungsbahn ist direkt auf Untergrund geklebt, nicht lösbar; verunreinigter Stahlbeton wird deponiert
-) Flachdach: verklebte Dichtungsbahnen (Dampfsperren, Feuchtigkeitsisolierung), Problem Bitumen

Steildach:

- +) Aufbau ist gut trennbar
- +) Dachziegel: lange Lebensdauer, zugänglich für Reparaturen, wiederverwendbar
- +) Sparren: wiederverwendbar, oder zumindest gut verwertbar
- +) Dämmung ist lose eingelegt oder eingeklemmt und kann dadurch gut ausgebaut und gegebenenfalls wiederverwendet werden.
-) Blechdeckung: ist verlötet bzw. verschweißt, d.h. nicht zerstörungsfrei lösbar und wiederverwendbar

Innenausbau:

-) in der Regel sehr viel Trockenbau mit Gipskartonplatten (Zwischenwände, abgehängte Decken), Recycling von Gipskartonplatten noch nicht sehr entwickelt, landet in der Praxis in Österreich auf der Deponie
-) Mineralwolle ist schlecht verwertbar
- +) Ständerwände: leichte Demontage, alle Bestandteile können voneinander getrennt werden, nur mechanische Verbindungen
- +) theoretisch ist bei fachgerechtem Abbau eine Wiederverwendung der einzelnen Komponenten möglich
- +) Lehmbauplatten: können nach sorgfältiger Trennung theoretisch wieder eingesetzt werden. In der heutigen Entsorgungspraxis ist aber von einer Deponierung auszugehen.
-) bei der Ausführung von Ständerwänden fallen große Mengen an Abfall an- Verpackungsmaterial, Verschnittreste (Metall, Gipskartonplatten, Dämm- Material)
- +/-) Zwischenwände aus Ziegel, verputzt: alle Schichten werden gemeinsam rückgebaut. . Entweder erfolgt eine Trennung in Aufbereitungsanlagen oder eine gemeinsame Entsorgung auf Baurestmassendeponien. Unsere heutige Entsorgungspraxis kennt beides, in Zukunft ist durch verschärfte gesetzliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen mit zunehmendem Recycling zu rechnen.
- +/-) Sortenrein rückgebaute Estriche auf Calciumsulfatbasis könnten dem Gipskreislauf wieder zugeführt werden, in der Praxis steht dem eine Verklebung mit anderen Schichten (z.B. Bodenbelag), die erforderlichen Qualitätssicherungsmaßnahmen und das fehlende wirtschaftliche Interesse entgegen. Sie werden daher deponiert.
-) In den Estrich eingebundene Heizungsrohre oder Bewehrung (auch Faserbewehrung!) bzw. am Ausbruchmaterial anhaftende Dämmstoffe erschweren die sortenreine Verwertung oder machen diese zum Teil unmöglich.
-) verklebte Bodenbeläge: beim Entfernen bleiben Verunreinigung am Estrich, der sich außerdem noch mit PE Folie verbindet: Eine gemeinsame Entsorgung auf der Deponie ist erforderlich.
- +) Bodenbeläge nicht verklebt oder mit lösbaaren Klebern, Mehrschichtparkett schwimmend verlegt
- +) bei schwimmend verlegten Bodenbelägen ist der Rückbau ohne Rückstände auf dem Estrich möglich. Estrich kann recycelt werden
-) Hohlraum ausschäumungen in der WD sowie bei Fenster- und Türmontage

Haustechnik:

-) Elektro- Installationen Unterputz, nicht getrennt rückbaubar
-) Fußbodenheizungsrohre im Estrich
-) Installationen im Ortbeton eingegossen
-) Hohlraum ausschäumungen im techn. Ausbau

Allgemein:

-) Mit Klebstoffen behandelte Baustoffe werden in ihrer Recyclierbarkeit beeinträchtigt. Dies kann zu Qualitätseinbußen von Sekundärbaustoffen führen. Dies gilt insbesondere für Gipsbaustoffe, Mauerwerk und Beton.

7.1.2. Bürobau

Anforderungen:

- offene Grundrisse, hohe Flexibilität in der Grundrissgestaltung

- hohe Anforderung an techn. Infrastruktur
- Belichtung am Arbeitsplatz
- Sonnenschutz, Blendschutz
- Schallschutz, Raumakustik
- Raumklima
- Typische Trägerspannweiten: 6m- 9m

Bauteil	Massivbau	Skelettbau
Fundament	Punkt, Streifen-, Plattenfundament	Punkt, Streifen-, Plattenfundament
Erdberührte Aussenwände	Stahlbeton, Betonschalsteine bituminöse Abdichtung Perimeterdämmung XPS	Stahlbeton, Betonschalsteine bituminöse Abdichtung Perimeterdämmung XPS
Aussenwände	Ziegelmauerwerk, Betonstein, Stahlbeton (Ortbeton oder Fertigteil), Porenbeton	Stahlbeton, Stahl, Holz
Fassade	WDVS (EPS, Mineralschaumplatten, ...) Vorgehängte Fassadensysteme	Vorgehängte Fassadensysteme nichttragende Füllungen, zB. aus Ziegelmauerwerk
Geschoßdecken	Fertigteildecken Elementdecken Verbunddecken Bodenaufbau: Nassestrich, Doppelbodensysteme	Fertigteildecken Elementdecken Verbunddecken Bodenaufbau: Nassestrich, Doppelbodensysteme
Dachaufbau	Flachdach (Umkehrdach, Warmdach, Duodach) Steildach: Massivdach, Sparrendach	Flachdach (Umkehrdach, Warmdach, Duodach) Steildach: Massivdach, Sparrendach
Innenwand	Ständerwandkonstruktionen (Holz-, Metallständer) mit GK Beplankung, mobile Trennwandssysteme	Ständerwandkonstruktionen (Holz-, Metallständer) mit GK Beplankung, mobile Trennwandssysteme

7.1.2.1. Vor- und Nachteile in Bezug auf die Kreislauffähigkeit:

Außenwände:

- + Skelettbau: tragende Struktur in Stahlbeton, Stahl oder Holz getrennt von den Ausbauelementen, Füllungen mineralisch oder als demontierbare wiederverwendbare Elemente
- + Demontage von vorgehängten Wandsystemen ist aufgrund der Verschraubung im Großen und Ganzen möglich. Wiederverwendung von Standardmodulen ist denkbar
- + vorgefertigte Fassadenelemente: zuverlässig nachvollziehbare Zusammensetzung
- Wiederverwendung von vorgefertigten Fassadenelementen ist aufgrund von speziellen Zuschnitten nicht immer möglich
- + Trennung von Tragwerk und Ausbauelementen - Flexibilität in der Nutzung/ verschiedene Nutzungsphasen

Decken:

- + Fertigteildecken: schalungsfreie Herstellung
- + Fertigteildecken: zuverlässig nachvollziehbare Zusammensetzung, demontierbar, geringerer Bewehrungsaufwand

Ausbau:

- +) Nichttragende, versetzbare bzw. bewegliche Ausbauelemente/ verschiedenste System am Markt
- +) Doppelbodensysteme: getrennt von der Deckenkonstruktion, Raum für Installationen
- +) Bodenaufbauten mit Estrich: siehe Wohnbau
- +) Bodenbeläge: siehe Wohnbau, Anforderungen an die Akustik sind zu berücksichtigen

7.1.3. Industrie- und Gewerbebau

Anforderungen:

- große Spannweite
- Flexibilität in der Grundrissgestaltung
- Unterschiedliche Anforderungen an Wärmeschutz, sommerliche Überwärmung, Schallschutz, Raumakustik, etc. je nach Verwendungszweck der Halle.

Bauteil	Massivbau	Skelettbau
Boden	Punkt, Streifen-, Plattenfundament	Punkt, Streifen-, Plattenfundament
Wände, Decken, Tragwerk	Stahlbeton- Fertigteile, Holz	Stahlbeton, Stahl, Holz
Fassaden	Profilbleche aus Stahl	Profilbleche aus Stahl
	Sandwichelemente aus Stahlblech und Polyurethan- Hartschaum	Sandwichelemente aus Stahlblech und Polyurethan- Hartschaum
	WDVS	Holzrahmen- Wandelemente (z.B. Glöckel): Außenfassaden- Dreischichtplatten, Schalungen, Trapezbleche, Paneele, verputzte Fassaden. Mineralwolle- oder Steinwolle- Dämmung, Innenverkleidung- Dreischichtplatten, Sichtschalungen, Plattenbaustoffe, geputzte Oberflächen.
Dachkonstruktion	Flachdach (Umkehrdach, Warmdach, Duodach) Steildach: Massivdach, Sparrendach	Stahltrapezblech
		Sandwichelemente aus Stahlblech und Polyurethan- Hartschaum
		Holzrahmen- Dachelemente (z.B. Glöckel): Dacheindeckung- Profilblech, Folienabdichtung, Schwarzdeckung, Mineralwolle- oder Steinwolle- Dämmung, Untersicht- OSB Platten, Dreischichtplatten, Trapezblech, Akustikplatten (Elementstöße???)

7.1.3.1. Vor- und Nachteile in Bezug auf die Kreislauffähigkeit:

- +) Skelettbau: geringerer Aufwand in der Fundierung
- +) Beim Recycling wird Stahl bis zu 80 % wiederverwertet. Beim Umschmelzen sind nur 25 % der Primärenergie erforderlich, die man für die Herstellung benötigt.
- +) Stahl- Skelettbau: große Spannweiten
-) im Stahlbau werden vorwiegend geschweißte Verbindungen ausgeführt, die nur bedingt bzw. nicht lösbar sind

-) Holz: erforderlicher Schutz gegen Feuchtigkeit, Brandgefahr, ...
- +) Verbindung der vorgefertigten Wand- und Deckenelemente erfolgt durch Verschraubung, dadurch ist eine Lösbarkeit der Verbindung gewährleistet
- +) hoher Vorfertigungsgrad
- +) vorgefertigte Wand- und Deckenelemente: zuverlässig nachvollziehbare Zusammensetzung
- +) vorgefertigte Module sind demontierbar und wiederverwendbar
- +) Standardlösungen für typische Anschlusssituationen, z.B. Attika, sind bei Profilblechen sehr oft verfügbar
-) Wiederverwendung von speziell angefertigten Wandmodulen ist aufgrund der vorgegebenen Größe und Geometrie nicht immer möglich
-) Bei Sandwich-Elementen muss das Blech abgezogen und eingeschmolzen werden.
-) chemischer Holzschutz?
-) Brandschutz?

Ausbau:

- +) Kunstharzestrich: sortenrein rückgebauter Kunstharzestrich könnte dem Rohstoffkreislauf wieder zugeführt werden. Über eine Umsetzung in der Praxis oder Verwertungsquoten v.a. wegen des hohen Aufwands bei den geringen Schichtdicken ist derzeit jedoch nichts bekannt. Wie bei anderen Estrichen steht dem aber die Verklebung mit anderen Schichten (z.B. Bodenbelägen) gegenüber.
-) Gussasphalt: als Bindemittel wird Bitumen eingesetzt. Gussasphalt muss im Zuge von Rückbaumaßnahmen getrennt ausgebaut und entsprechend der Schadstoffgehalte entsorgt werden. Je nach Verunreinigung und Schadstoffgehalt kommt eine Verwertung oder Deponierung in Betracht.

7.2. Entwurfsempfehlungen für kreislauffähige Konstruktionen

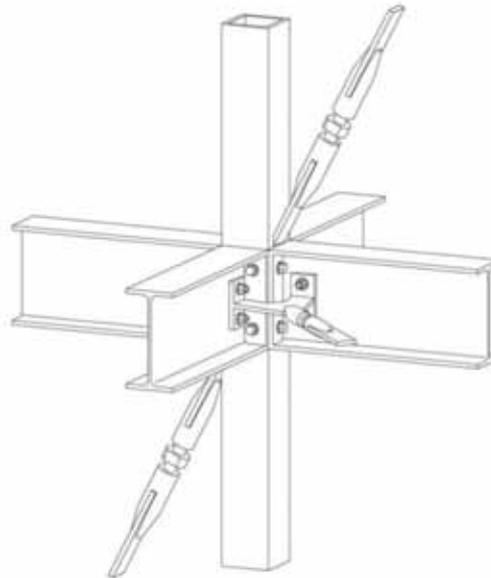
Ausgehend von den zuvor erarbeiteten Vor- und Nachteilen der gängigen Konstruktionen werden hier unter Einbeziehung der zukünftigen Entsorgung Entwurfsempfehlungen für kreislauffähige Konstruktionen zusammengestellt.

Konstruktionsprinzipien	
Massivbau	eine Ausführung im Sinne der Recyclingfähigkeit ist eine Konstruktion mit möglichst vielen mineralischen Baustoffen, die weitgehend gemeinsam rückgebaut werden, d.h. ohne Separierung abgebrochen und in einem gemeinsamen Aufbereitungsprozess zu Sekundärrohstoffen von hoher Qualität recycelt werden können Vorgehängte Fassadenkonstruktionen müssen von den mineralischen Bauteilen leicht trennbar sein, die Fassadenelemente selbst zerlegbar oder als Bauteil wiederverwendbar.
Skelettbau	Tragende Konstruktion in Stahlbeton, Stahl oder Holz. Füllungen mineralisch oder als demontierbare wiederverwendbare Elemente.
Keller	
	Prüfen, ob die Ausführung eines Kellers notwendig ist. Einsatzmöglichkeiten zur Wiederverwendung von Aushubmaterialien am eigenen Grundstück bereits in der Planung berücksichtigen
Fundament	Ressourcenschonend planen: Platten-, Streifen- oder Punktfundamente, je nach statischer Erfordernis Einsatz von Elementschalungen. Wirtschaftlichkeit ist nur gegeben bei einfacher Geometrie der Fundamente oder einheitlichen Größen von Einzelfundamenten.

Erdberührte Außenwände	Vermeidung von Bitumen durch die Ausführung einer Weisse Wanne oder einer Braune Wanne mit Bentonitdichtmatten Entwicklungsbedarf bei Alternativen für Bitumen- Dichtung, z.B. Material, das im Spritzverfahren aufgebracht und wieder abgelöst werden kann (Materialentwicklungen auf der Basis des Reifengummi-Recyclings, flüssig auftragbare und später ablösbare Bautenschutzmatte aus Altgummi).
Perimeterdämmung	Schaumglasplatten mit mechanischer oder punktueller Befestigung mit mineralischem Kleber oder Schaumglasschotter

Außenwände

Mauerwerk	rein mineralischer Aufbau: Kalksandstein, Mauerziegel, Betonwerkstein mit mineralischen Dämmstoffen (z.B. Schaumglas), Oberflächenbeschichtungen und Zuschlagsstoffen Porosierter Mauerziegel ohne Dämmstoff ist rein mineralisch und recyclingfähig, erreicht aber nicht PH- Standard Einsatz von mineralischen Innen- und Außenputzen, Vermeidung von Gipsputzen- sind schlecht vom Mauerwerk zu lösen. Entwicklungsbedarf: kostengünstiger Putze und Spachtelmassen auf mineralischer Basis
Ortbetonwände	Abfallvermeidung durch den Einsatz von wiederverwendbaren Elementschalungen (wiederverwendbare Schalungselemente sind bei großen Flächen einsetzbar, bei kleinteiligen Flächen und Restflächen werden konventionelle Schalungsplatten eingesetzt) Verwenden von Spachtelmassen auf mineralischer Basis
Holz	Einsatz von Holz in Kombination mit einer Dämmung aus organisch nachwachsenden Rohstoffen Einsatz von demontagefreundlichen Füge-Techniken für die Verbindung der konstruktiven Elementen, wie z.B. Steckverbinder- Systeme (z.B. System Sherpa, Fa. Harrer) konstruktiver Brandschutz vor chemischem Brandschutz zur Erhöhung des Brandwiderstands werden massive Holzwände mit GK-Platten beplankt und vernagelt- schränkt die Wiederverwertbarkeit ein!
Holz- Massivbau	gute Vorfabrikationsmöglichkeit Einsatz von mechanischen Verbindungen für die Fassadenkonstruktion
Holzständerkonstruktion	Sehr gute Trennbarkeit, da die Schichten nur mechanisch miteinander verbunden sind. Dämmung zwischen den Ständern ist je nach Zustand und Verschmutzungsgrad wiederverwendbar
Skelettbau	große Flexibilität auch im Holzbau sind große Spannweiten (wirtschaftlich) möglich Stahlbau: hohe Recyclingrate, lösbare Verbindungen sind gut ausführbar Beispiel für lösbare Schraubverbindungen im Stahlbau:



ArchitectureWeek.com

Quelle: www.architectureweek.com (Werner Sobek, R128)

Einsatz von demontagefreundlichen Fügetechniken für die Verbindung der konstruktiven Elemente, wie Klemmverbindungen z.B. Beamclamp; Steckverbindungen

Fassade	Fassade sollte im Schichtaufbau separierbar sein
Wärmedämmverbundsysteme	<p>Einsatz von Mineralwolle: Mineralwolle beeinflusst die Homogenität der Recyclingbaustoffe stark negativ, stoffliches Recyclingpotential von Mineralwolle ist sehr niedrig</p> <p>WDVS mit Kleb- und Dübelverfahren: Recycling wird wegen Verbunds aus Kunststoff und Dämmstoff nicht realisiert (gilt nicht nur für EPS, sondern auch für Kork , ...)</p> <p>Wärmedämmverbundsysteme mit EPS: stoffliche Verwertung sehr aufwändig</p> <p>Entwicklung von Dünnputzen auf einer Basis die mit EPS entsorgungskompatibel ist.</p>
Hinterlüftete Fassaden	<p>Vorgehängte Fassadenkonstruktionen müssen von den mineralischen Bauteilen leicht trennbar sein, die Fassadenelemente selbst zerlegbar oder als Bauteil wiederverwendbar.</p> <p>Einsatz von wärmegeprägten, rückbaufähigen Konsolen (z.B. Phoenix, Wagner System AG)</p>
Dämmung	
NAWAROS	zum Teil landwirtschaftliche Abfall- oder Nebenprodukte, Entsorgung meist durch Verbrennung.
Decken	
Fußbodenaufbau	<p>Entwicklungspotential bei den Deckenkonstruktionen: Entwicklung lösbarer Verbindungen für Blockelemente (z. B. Ziegel- Deckenelemente mit Fugenverzahnung und demontierbarer (Schraub- Verbindung).</p> <p>Schallproblematik bei der Ausführung von Holzdecken beachten!</p> <p>Aufbau eines Estrichs hat einen entscheidenden Einfluss auf dessen Wiederverwertbarkeit (schwimmend)!</p> <p>Doppelbodensysteme (im Büro- und Gewerbebau): Flexibilität für Leitungsführungen</p> <p>Justierbare Fußbodenkonstruktionen bieten Platz für Leitungsführungen und sind demontierbar</p> <p>Vermeidung von geklebten Bodenbelägen</p>
Dachaufbau	

	<p>Vermeidung von Mischprodukten- keine Mischung von mineralischen und organischen Baustoffen</p> <p>Entwicklungsbedarf: Alternative zu geklebten Abdichtungen am Dach</p> <p>Innovation: trockene Verbindungstechnik ohne Verguss, aber mit Kraftschlüssigkeit???</p> <p>Flachdach: Warmdach oder Duo- Dach mit EPDM Dachdichtungsbahn, lose verlegt</p>
Gewerbebau	Ausführung von Foliendächern
Innenausbau	
	<p>Abfallvermeidung in der Ausführung durch Einsatz von Fertigteil- Elementen (Planungslogistik!)- wenn die Fugen trennbar ausgeführt werden</p> <p>Trennwände in Trockenbauweise: bei der Errichtung Koordination mit Haustechnik (Einlegen von Leitungen)</p> <p>Einsatz von Lehm- Lehmputz, Lehmbauplatten (problematisch in der Ausführung), Stampflehmwände</p> <p>geschraubte Boden-, Wand- und Deckenbekleidungen</p>
Bürobau	Einsatz von Systemwänden, die leicht zu demontieren und versetzen sind
Haustechnik	
	<p>Ausbildung von Installationsebenen (Boden, Wand)- Zugänglichkeit für Wartungsarbeiten und Austausch von Komponenten. Leitungsführung in Fußbodenkanälen, nicht im Estrich.</p> <p>Ausführung von Vorwandinstallationen/ Vorsatzschalen, Installationsschächten..., die offenbar und zugänglich sind.</p> <p>Elektroleitungen in Kabelkanälen führen oder Installieren von Instabus- Systemen</p>
Bürobau, Gewerbebau	<p>Gewährleistung größtmöglicher Flexibilität, Zugänglichkeit für Wartungsarbeiten und Erweiterungsmöglichkeiten (Kabelkanäle, Instabus- Systeme).</p> <p>Im Gewerbebau z.B. Leitungsführung an der Decke, so dass Versorgung zu jedem Punkt möglich ist.</p>
Allgemeine Grundlagen	
	<p>Klebstoffe beeinträchtigen die Recyclingfähigkeit und können zu Qualitätseinbußen bei den Sekundärbaustoffen führen- das gilt insbesondere für Gipsbaustoffe, Mauerwerk und Beton.</p> <p>Einsatz von Baustoffen mit Recyclinganteil</p> <p>Vermeidung von unlösbaren Verbindungen</p> <p>Vermeidung von Verbundstoffen oder Einsatz von solchen, die wieder trennbar sind</p> <p>Beachten der unterschiedlichen Lebenszyklen- die unterschiedliche Lebensdauer verschiedener Bauteile z.B. Mauerwerk, Wärmedämmung, hat Einfluss auf die Materialwahl</p>
Außenanlagen	
	<p>Vermeidung von versiegelten Oberflächen</p> <p>Betonsteine im Sandbett verlegt sind leicht rückzubauen</p> <p>Schotterrassen erlaubt die flächenhafte Versickerung von Niederschlägen, trägt somit zur Entlastung des Kanalsystems und der Grundwassererneuerung bei. Geeignet für Flächen mit geringer Verkehrsbelastung sowie des ruhenden Verkehrs und Freiflächen.</p>

7.2.1. Fassaden

Über die derzeitigen Funktionen hinausgehend werden in Zukunft vermehrt zusätzliche Anforderungen an die Gebäudehüllen gestellt werden. Die Fassaden werden nicht mehr nur

Witterungsschutz sein und ästhetischen Kriterien genügen, sie werden auch weitere Funktionen erfüllen sollen. Dabei wird es einerseits um die Energieproduktion an den Fassaden gehen, andererseits um den mikroklimatischen Mehrwert durch eine funktionierende Fassadenbegrünung.

Außerhalb von Wärmedämmung und Winddichtung wird der Oberflächenschutz, wenn er nicht Energieerzeuger oder Mikroklimaverbesserer ist, zumindest kreislauffähig, kostengünstig und materialextensiv sein sollen.

Hinter diesen Oberflächen kann sich entweder eine massive Wand oder eine Leichtbauholzkonstruktion befinden. Wesentlich ist der Aufbau in Schichten, der bei entsprechender Planung im Rückbau auch wieder in seine Bestandteile zerlegbar ist.

Wir haben hier ein paar Beispiele zusammengestellt, in welche Richtung es in Zukunft an der Fassade gehen könnte.

7.2.1.1. Energieerzeugende Gebäudehüllen

Der Einsatz von neuen Materialien und Technologien ermöglicht bereits jetzt die Nutzung von Fassaden als Speichermasse und zur Energiegewinnung durch die Integration von Photovoltaik- und Solarmodulen.

- Gebäudeintegrierte Photovoltaik

Bei gebäudeintegrierter Photovoltaik ersetzt eine multifunktionelle Gebäudehülle die herkömmlichen Baumaterialien für die Außenhaut.

Das von der Hochschule für Technik in Stuttgart im Rahmen des "Solardecathlon Europe 2010" entwickelte Gebäudeprojekt "home+" will zeigen, dass es möglich ist, anspruchsvolle Architektur und Stromerzeugung durch Photovoltaik miteinander zu verbinden. Sunways stellt für das Projekt farbige Solarzellen zur Verfügung.

Das Dach und die Ost- und Westfassaden werden mit einer zweiten Haut aus farbigen Photovoltaik-Modulen zur Stromerzeugung versehen. Damit wird das Gebäude zum »Plusenergiehaus«. Die Energiehülle erzeugt tagsüber Strom und stellt zusätzlich nachts Kälte bereit. Dazu wird Wasser aus einem Rückkühlspeicher durch Rohre hinter den PV-Modulen auf dem Dach gepumpt. Durch die Abstrahlung gegen den Nachthimmel kühlen die PV-Module aus und entziehen dem dahinter vorbeifließenden Wasser Wärme. Das so gekühlte Wasser wird zur Regenerierung der PCM-Decke im Gebäudeinneren, zur direkten Kühlung des Fußbodens und zur Rückkühlung einer kleinen neu entwickelten reversiblen Wärmepumpe genutzt, die zur Abdeckung von Spitzenlasten vorgehalten wird.

Quelle: www.detail.de



Abbildung 155: home+, Solardecathlon 2010

Quelle: www.presseanzeiger.de



Abbildung 156: Solarzellen, Sunways

Quelle: www.sunways.eu

- Schüco E2 Energiefassade

Ein Beispiel für ein System, das mittlerweile bereits in Serie produziert wird, ist die E2-Energiefassade der Firma Schüco. Über intelligente Schnittstellen werden vier Funktionsmodule verbunden: die Öffnungselemente, der Sonnenschutz, die dezentrale Lüftungstechnik und die Photovoltaikmodule. Sie lassen sich einzeln, gruppenweise oder als energieeffizientes Gesamtsystem in das Gebäude integrieren.

Quelle: www.schueco.com

- i-modul Fassade

Bei dieser multifunktionalen Fassade sind wesentliche gebäudetechnische Funktionen wie Heizen/ Kühlen/ Kunst- und Tageslichtversorgung/ Sommerlicher Wärmeschutz/ Winterlicher Solarenergiezugewinn, Energiegewinnung, natürliche Belüftung und Nachtauskühlung in die Fassade verlegt.

Der modulare Aufbau der Elemente bietet überdies Flexibilität in der Gestaltung der Fassade.

Quelle: www.gatermann-schossig.de



Abbildung 157: Capricorn Haus Medienhafen Düsseldorf

Quelle: www.detail360.de/projekt/capricorn-haus-medienhafen-duesseldorf-pjid_836.htm

7.2.1.2. Grüne Fassaden

Grüne Fassaden verändern nicht nur das Stadtbild auf eine positive Art und Weise, sondern liefern auch einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung des Stadtklimas.

Eine begrünte Fassade wirkt sich aber auch positiv auf das Raumklima der angrenzenden Wohnräume aus, weil durch die Verdunstungsleistung der Pflanzenschicht im Sommer für Kühlung gesorgt wird, und führt so zu einer erheblichen Verbesserung der Luftqualität durch ihre Funktion als Schadstofffilter.

Der Grundaufbau bei den Grünen Wänden von Patric Blanc besteht in der Regel aus einem Metallgerüst, das direkt an der Stützmauer befestigt wird und eine stetige Luftzirkulation ermöglicht. In diesem Metallraster liegen 10 mm dicke Hartschaumplatten. Sie dienen als Träger für die in zwei Schichten darüber gespannten 3 mm starken Filzlagen. Die Pflanzen werden durch Schnitte in der ersten Lage hineingeschoben und wachsen zwischen den beiden Filzschichten. Die Bewässerung erfolgt mit einem perforierten Kunststoffrohr, das waagrecht am oberen Ende der grünen Wand angebracht ist. Die Pflanzen stützen durch die Ausbildung von Wurzeln die Tragkonstruktion mit, sodass der Aufbau ca. 30 kg/m² wiegt.



Abbildung 158: Grüne Fassade von Patric Blanc

Quelle: www.yourdailyfix.net/vega/2009/01/page/2/

Ein anderes System wurde von der Fa. Forster Baugrün AG entwickelt. Aufbauend auf einem System zur Dachbegrünung entstanden die «HF-Vegetationswände»: Nach Montage der vorgefertigten, feuerverzinkten Stahlelemente mit vollflächiger Rückseite auf ein Stahlgerüst werden diese nach und nach mit Pflanzen und Substrat gefüllt. Gleichzeitig eingesetzte Querlamellen geben Halt. Die Standardmasse sind 90 oder 180 cm in der Höhe, 120 cm in der Breite, und 12.5 cm in der Tiefe. Die Wand kann als fertig bepflanztes Element gesetzt oder vor Ort bepflanzt werden. Be- und Entwässerung kann integriert werden, ihre Bedienung ist automatisiert oder auch per Hand möglich. Das Gewicht liegt in bepflanztem, wassergesättigtem Zustand bei 150 kg/m².

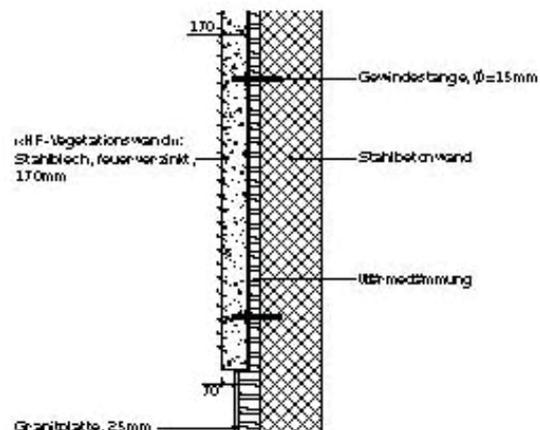


Abbildung 159: HF Vegetationswand

Quelle: TEC21, 09/2010

Firma Creaplant bietet das System «Wonderwall» an, das in den Niederlanden entwickelt wurde. Der technische Grundaufbau besteht aus einer Basiskonstruktion aus rostfreiem Metall, einer mehrschichtigen Vegetationsmatte und integrierten Bewässerungsleitungen. Vorkultivierte Pflanzen werden mit Wurzelballen in Taschen der Vegetationsmatten gesetzt. Das Gewicht liegt in unbewässertem Zustand bei 30 kg/m². Bisher wurde dieses System vornehmlich im Innenraum angewendet, der Einsatz ist aber auch im Außenraum ohne weiteres möglich, wie das Projekt Mercato Sportplaza in Amsterdam zeigt.



Abbildung 160: Wonderwall, Quelle: www.copijn.nl/sportplaza-mercator-amsterdam

Quelle: Leitfaden für die Fassadenbegrünung, „die umweltberatung“ Wien, 2009;
www.nextroom.at/periodical.php?id=14971&inc=artikel

7.2.1.3. Textile Fassaden

Textile Fassaden vereinen die Funktion eines hochwirksamen Wetterschutzes und der Fassadenbekleidung, sie tragen aber auch in hohem Maß zur Wärmeregulierung des Gebäudes bei, indem sie im Sommer eine zu starke Aufheizung verhindern.

Nach Ablauf der Nutzungsdauer (ca. 20 Jahre) werden zum Beispiel von Fa. Stamisol / Ferrari Architecture (www.stamisol.com) die PVC- Verbundstoffe wieder in den Produktionskreislauf zurückgeführt: die nicht mehr gebrauchten Membranen werden vom Hersteller eingesammelt und die beschichteten Altgewebe in gebrauchsfertige Polyesterfasern und PVC- Vorprodukte aufgespaltet (www.texyloop.com)



Abbildung 161: Konzerthaus für den Dänischen Rundfunk, Kopenhagen, Ateliers Jean Nouvel, 2009

Quelle: www.tab.de/artikel/tab_Stille_Kuehlung_im_Konzerthaus_Kopenhagen_879083.html

Die durchscheinende blaue Hülle kann als Medienfassade je nach Anlass bespielt werden und wird dann zur weithin sichtbaren Tafel in der eher suburbanen Umgebung. Fassaden aus Metallgeweben

- Fassadenverkleidung aus Edelstahlgittergeflecht



Abbildung 162: Haus für Musik und Musiktheater (MUMUTH) in Graz, UN-Studio (Ben van Berkel und Caroline Bros)

www.detail.de



Abbildung 163: DMG Headquarters Klaus, Oskar Leo Kaufmann, Albert Rűf

www.archtour.at

- Netzgitter aus Kupfer

bieten mit textilähnlicher Struktur bieten den mechanischen Schutz einer offenen Metallhaut wie die Durchlässigkeit eines halb transparenten Schleiers. Der Einsatz als Streckmetall oder Streckgitter bringt Leichtigkeit an die Fassade, die Gitterstruktur scheint vor dem Hintergrund zu schweben.



Abbildung 164: Privathaus, Affoltern am Albis, CH, Arch. Deon AG, Luzern

Quelle: www.kme.com



Abbildung 165: BTV Bank, Innsbruck, Arch. Hanno Vogl- Fernheim, Innsbruck

Quelle: www.kme.com

7.2.1.4. Fassadenplatten

Der Vorteil von Fassadenplatten liegt in der langen Lebensdauer, in der einfachen Demontage und dementsprechend dem einfachen Rückbau.

- Keramische Fassadenelemente stehen in verschiedensten Formaten für die Ausführung von hinterlüfteten Fassaden zur Verfügung, auch in Quadrat-, Rund, Rechteckform (sogenannte „Baguettes“), Massivkeramik oder als Schuppenfassade. Die Unterkonstruktion besteht aus tragenden Aluminiumprofilen, die Platten werden in Plattenhalter eingehängt. (z.B. NBK Ceramic, www.nbk.de)



Abbildung 166: Museumsneubau Sammlung Brandhorst, München, Sauerbruch & Hutton, Berlin

Quelle: www.dezeen.com



Abbildung 167: Moeding Ziegelfassaden, www.moeding.de

Quelle: www.detail.de

- Fassadenplatten aus Glasfaserbeton, z.B. „concrete skin“ (www.rieder.cc)
Plattenstärke 8 – 13mm, es sind sowohl sichtbare als auch verdeckte Befestigungssysteme für concrete skin - sichtbar mit Schrauben oder Nieten oder unsichtbar durch Kleben oder mit Hinterschnittanker- möglich. Die Fassadenplatten bestehen aus überwiegend mineralischen Rohstoffen (Anteil an Sand, Zement und Glasfasern über 95%), sind gut rückbaubar, von einem Recycling der Platten ist allerdings nicht auszugehen.



Abbildung 168: City Stadion, Johannesburg, Südafrika

Quelle: www.stylepark.com

- Rheinzink Fassaden

Rheinzink ist eine Legierung aus Elektrolyt-Feinzink mit 99,995%-igem Reinheitsgrad und exakt definierten Anteilen an Kupfer und Titan und ist als "walzblankes" und als werkseitig bereits vorbewittertes Material mit typisch blaugrauer oder schiefergrauer Optik lieferbar.

Für die Montage der Paneele werden Steck- und Klick- Leistensysteme angewendet.

Der hohe Altmetallwert und die problemlose Wiedereinschmelzung begründen Recycling auch aus ökonomischer Sicht. Die Recyclingquote liegt bei über 90%.

Die Produkte von Rheinzink sind c2c zertifiziert.



Abbildung 169: Rheinzink Fassade

Quelle: www.rheinzink.at

7.2.2. Decken

Im Folgenden werden einige Beispiele für neue Entwicklungen von Deckensystemen aufgezeigt und mögliche Fußbodenaufbauten vorgeschlagen.

7.2.2.1. Deckensysteme

7.2.2.1.1. Slim- Floor

Slim-Floor ist eine Stahlskelettbauweise, bei der die Stahlträger vollständig in die Deckenkonstruktion integriert werden.

Die Deckenkonstruktion kann aus verschiedenen Baustoffen bzw. Bausystemen bestehen kann, integriert sind, besonders bewährt haben sich vorgespannte Hohldielen. Man erreicht dadurch große freie Spannweiten bei geringem Eigengewicht und geringen Bauhöhen der Decken. Die Stützen werden aus handelsüblichen Stahlprofilen hergestellt und sind aufgrund der hohen Tragfähigkeit von Stahl sehr schlank. Dadurch lassen sich die Stützen in der Regel in Außen- und Innenwänden so integrieren, dass sie nicht in Erscheinung treten und die Flexibilität nicht einschränken.

Die Slim-Floor Bauteile (Stützen und Träger) werden in der Fabrik millimetergenau vorgefertigt und vor Ort in kürzester Zeit witterungsunabhängig montiert. Die Verbindungen sind ausschließlich verschraubt, so dass auch ein Rückbau sehr einfach möglich ist.

Die nichttragenden Fassaden- und Innenausbausysteme können je nach Anforderung frei gewählt werden.

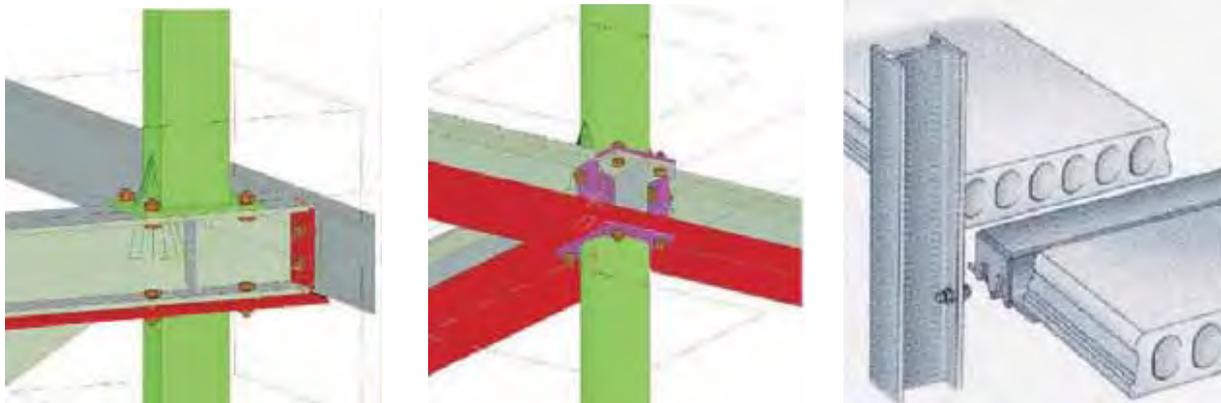


Abbildung 170: Slim- Floor

Quelle: www.doubrava.at

Der Vorteil der Vorfertigung liegt sowohl in der Reduzierung der Baustellenabfälle als auch in der Reduzierung der Bauzeit.

7.2.2.1.2. Stegdecke mit integrierter Haustechnik

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Nachhaltig Bauen mit Beton“ hat die RWTH Aachen als Konsequenz aus intensiven Überlegungen zum Thema flexible Gebäudenutzung eine umgedrehte Stegbalkendecke entwickelt, die die Integration der Haustechnik ermöglicht. Die Stege (Druckzone) bestehen aus hochfestem Beton, die Platte unten ist vorgespannt. Sie hat eine glatte Deckenuntersicht und bietet zwischen den Stegen Platz für die Integration von Gebäudetechnikleitungen. Durch das geringe Eigengewicht lassen sich große Spannweiten und damit eine hohe Flexibilität der Raumaufteilung erreichen.

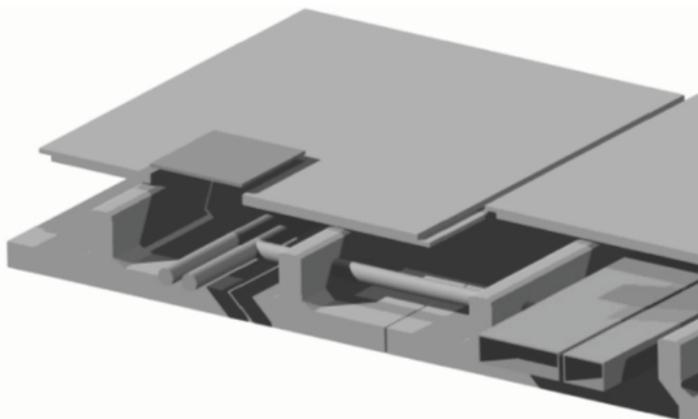


Abbildung 171: Stegdecke mit integrierter Haustechnik

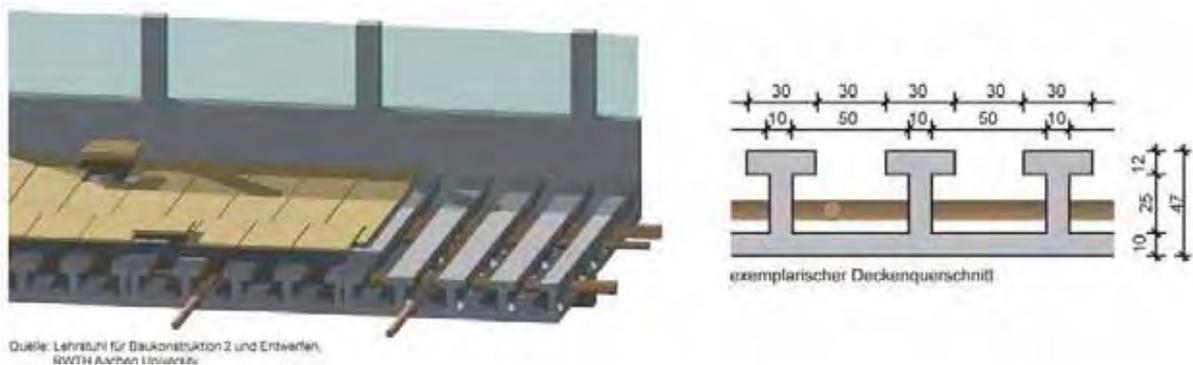


Abbildung 172: Stegdecke mit integrierter Haustechnik

Quelle: Innovative Konzepte im Massivbau, Beton- und Stahlbetonbau 104 (2009), Heft 1, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften

Die Installation der Gebäudetechnik kann von oben erfolgen, Änderungen und Wartungsarbeiten erfolgen durch Revisionsöffnungen.

Die Räume können auf der Grundfläche variabel angeordnet werden. Es bestehen unter den einzelnen Etagen keine Abhängigkeiten hinsichtlich der Gebäudetechnik. So ist es möglich, bei Nutzungswechsel auf die sich ändernden Anforderungen an die Gebäudetechnik zu reagieren. Die horizontale Flexibilität wird durch eine vertikale Installationsflexibilität komplementiert. Die Tragstruktur ermöglicht damit in einem Gebäude wahlweise eine reine Wohn- oder Büronutzung sowie eine Mischnutzung Wohnen/ Büro in zeitlich beliebiger Nutzungsabfolge. In der Abbildung sind exemplarisch drei Bürogrundrisse mit unterschiedlicher Anordnung der Installationseinheiten dargestellt.

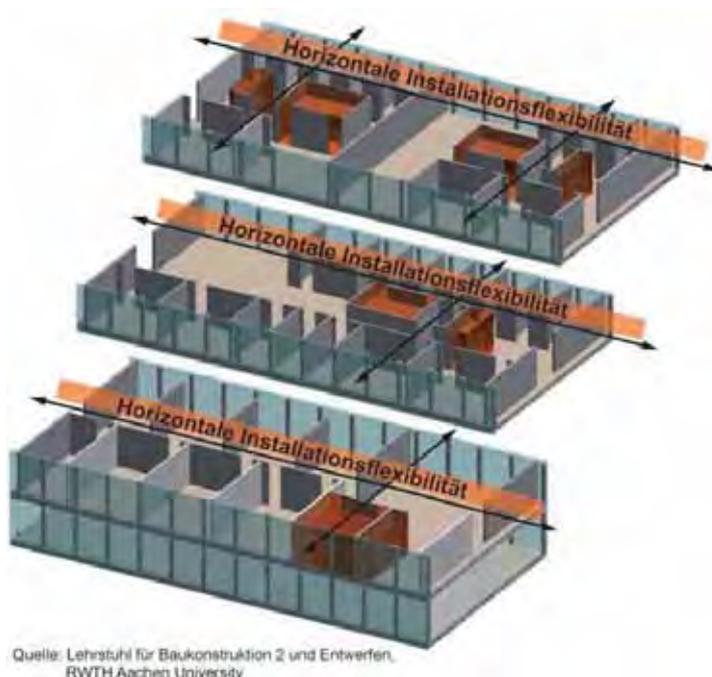


Abbildung 173: Flexibilität beim Einsatz der Stegdecke

Quelle: Innovative Konzepte im Massivbau, Beton- und Stahlbetonbau 104 (2009), Heft 1, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften

7.2.2.1.3. Deckenkonstruktionen aus Holz

Lignotrend entwickelte eine nach oben offene Brettsperrholz- Rippenenelementdecke, die aufgrund der Bauweise ausreichend Platz für Installationen schafft. Die Hohlräume werden nach Einbringen der Installationen mit einer Gewichtsschüttung aufgefüllt, in Verbindung mit einem Estrichaufbau ist

damit sogar ausreichender Trittschallschutz für den Einsatz als Wohnungstrenndecke gewährleistet.

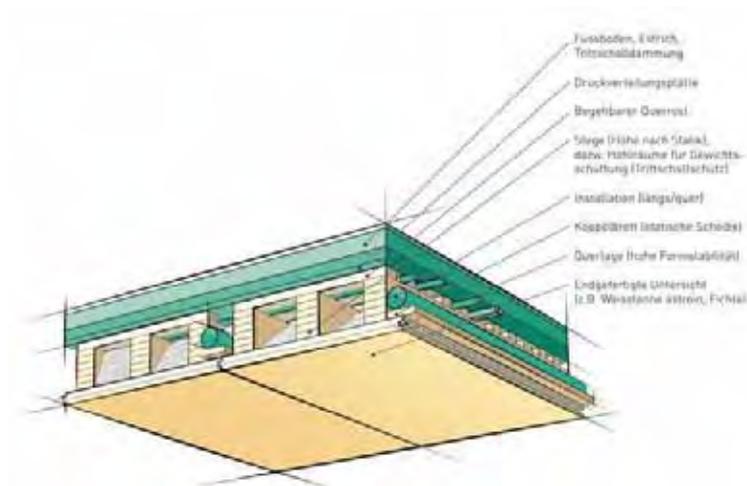


Abbildung 174: Deckenaufbau Lignotrend-Decke

Quelle: www.lignotrend.com

Die Internationale Bauausstellung (IBA) Hamburg präsentierte die Wettbewerbsergebnisse der „Bauausstellung in der Bauausstellung“ 2010 zu den Themen Smart Materials, die die Verbindung neuester Technologien und Materialien mit einem ganzheitlichen Anspruch auf Nachhaltigkeit und Ressourcenschutz zeigen.

Bieling und Partner Architekten verwenden in ihrem Hybrid House eine auf einem Raster basierende Konstruktion aus Holzstützen, Holzunterzügen und Brettsperrholzdecken und ermöglichen so eine große Flexibilität in der Grundrissorganisation. Die Fassade besteht aus vorgefertigten Holzrahmenelementen.

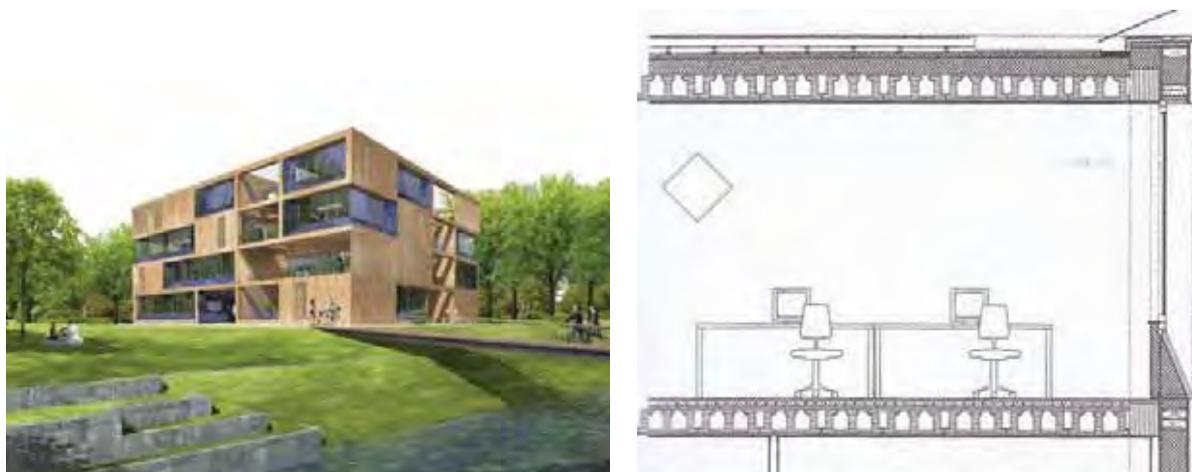


Abbildung 175: Hybrid House

Quelle: Arch+, 05.2010, www.detail.de

Im Entwurf von Kaden Klingbeil Architekten wird für den Wohnbau ein Holz- Skelettbau mit vorgefertigten Elementen und streng modularem Aufbau vorgeschlagen.

Die Decke übernimmt nicht nur eine Trag- und Speicherfunktion, sondern bietet gleichzeitig ausreichend Platz für die Haustechnik. Beim Deckenaufbau wird das Prinzip der klassischen Holz-Verbunddecke umgekehrt: Die Speichermasse der Betonplatte unten wird mit aktiver Bauteiltemperierung kombiniert. Installationen für Heizung und Kühlung laufen an der Zimmerdecke.

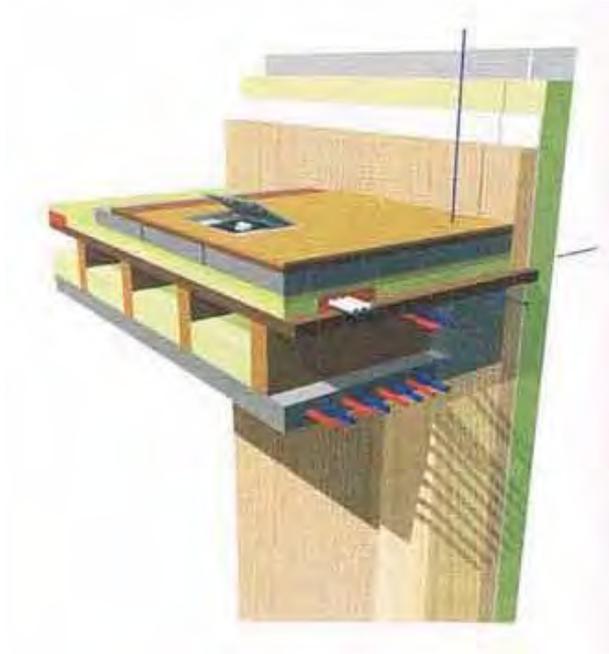


Abbildung 176: vorgefertigtes Deckenelement, Kaden Klingbeil Architekten

Quelle: Arch+, 05.2010, www.detail.de

Hohlkastendecken, ein Deckensystem aus Brettschichtholzträgern, die ober- und unterseitig mit Dreischichtplatten geschlossen sind, ermöglichen schon mit einer Höhe von 40cm Spannweiten bis zu 11m und schaffen so ausreichende Flexibilität in der Grundrissgestaltung. Darüber hinaus bietet der Hohlraum Platz für Installationen.

Die Hohlräume werden je nach Anforderung mit Dämmstoff oder mit Splittschüttung ausgefüllt.



Abbildung 177: Hohlkastendecke

Quelle: www.detail.de

7.2.2.2. Fußbodenkonstruktionen

Unter dem Aspekt der leichten Demontage sind demontierbare Fußbodenkonstruktionen einer Estrich- Konstruktion vorzuziehen.

Beim Abbruch landet nämlich der mit Fußbodenresten verunreinigte Estrich auf der Deponie, lediglich Estrich, der nach Abbruch nur mit PE- Folie verbunden bleibt, kann recycelt werden.

Alternativ können folgende Konstruktionen ausgeführt werden:

- Fußbodenaufbau mit Trockenestrich
- Doppelbödensysteme
- Polsterholzbodenaufbauten
- Höhenverstellbare, trittschalldämmende Distanzfüße, z.B. System „Catstep“.

Fußbodenkonstruktionen mit dem trittschalldämmenden Polsterholzstützfuß „catstep“ erreichen die Schallschutzqualität eines schwimmenden Betonestrichs.

Der Stützfuß in Metallausführung wird alle 60 cm mittels Einschlagmutter im Polsterholz befestigt, woraus sich ein Flächenbedarf von ca. 3-4 Stk/m² ergibt. Bei einer Verstellbarkeit von 3,5 cm stellt auch eine recht unebene Rohdecke kein Problem dar. Die Distanzierung des Polsterholzes von der Rohdecke schränkt darüber hinaus die Verlegung von Leitungen auf der Rohdecke in keiner Weise ein.

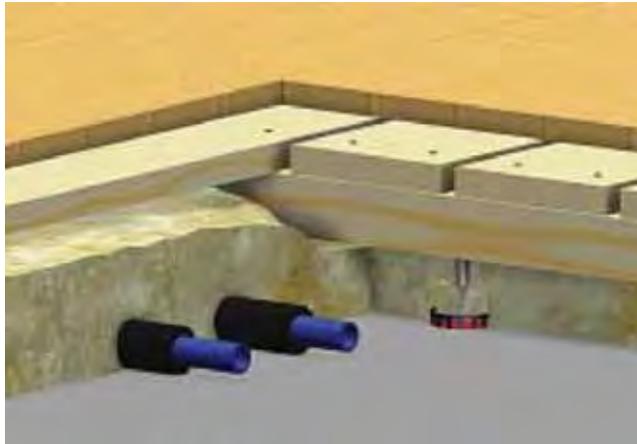


Abbildung 178: Distanzbodensystem „Catstep“

Quelle: www.bautech.at

Um den geforderten Schallschutz bei Holzdecken zu gewährleisten, muss Gewicht in Form von schweren Deckenschüttungen eingebracht werden. Dafür eignen sich zum Beispiel Betonplatten, Estrichziegel, Ziegel, kaseingebundene Schüttungen oder Lehm- Mauerwerk.

Bei den Brettsperrholz- Deckenelementen von Firma LIGNO (siehe Best Practice Beispiele: 3.4.12 Lignotrend Massivholz Bauweise) werden aus diesem Grund die nach oben offenen Rippen nach Verlegen der Haustechnikleitungen mit Kalksplitt befüllt.

7.2.2.3. Bodenbeläge

Vollflächige Verklebungen sind im Hinblick auf die spätere Demontage zu vermeiden.

- Teppich
 - Verkletten statt Verkleben
(„Vorwerk“ hat ein System entwickelt, wo auf ein vollflächiges Verkleben verzichtet wird. Die volltextilen Teppichrücken werden mit einem auf dem Boden befestigten Klettband verhakt.)
 - Punktweises Verkleben
 - Verkleben mit doppelseitigem Klebeband
- Parkettböden:
 - Schwimmende Verlegung
 - Selbstklebendes Parkett: selbstklebende Streifen an der Dielenunterseite ermöglichen die vollständige Fixierung auf dem Unterboden. Die Schutzfolie des Bodens wird einfach abgezogen und auf den Untergrund verklebt (ComforTec, www.haro.de).

8. DEL Recycling von haustechnischen Anlagenteilen

8.1. Einführung

Die haustechnischen Anlagen (Heizungs-, Sanitär-, Lüftungs-, Elektroanlagen, ...) sind in der Regel mit unterschiedlichem Aufwand von den restlichen Bauteilen zu trennen (Unterputzinstallationen vs. Aufputzinstallationen). Der Aufwand, um die verwendeten Materialien wieder einer Verwertung oder einer fachgerechten Entsorgung zuzuführen, kann daher von gering (einfache Demontage, keine Trennung und/oder Aufbereitung) bis hin zu komplexen Aufbereitungsverfahren umfassen. Es gibt aber auch Materialien, die keiner weiteren Wiederverwertung zugeführt werden können und dementsprechend fachgerecht entsorgt werden müssen.

Idealerweise wird bereits im Rahmen der Konstruktion und Produktion von Anlagenteilen (z.B. Pumpen, ...) auf ein späteres Recycling Rücksicht genommen. Dabei werden z.B. entweder nur eine geringe Anzahl verschiedener Materialien benutzt oder die Materialien werden eindeutig gekennzeichnet.

Speziell im Bereich der Photovoltaik-Hersteller gibt es beispielsweise einen Interessensverband, dessen Ziel die Erstellung eines freiwilligen, branchenweiten Rücknahme- und Recycling-Programms für Altmodule in Europa und die hiermit verbundene Schaffung eines beispielhaften Unternehmensmodells" ist (Quelle: www.pvcycle.org), siehe auch 8.5 Recycling von Photovoltaik-Modulen.

Photovoltaik-Module und thermische Solarkollektoren stellen insbesondere eine Ausnahme dar, da diese einerseits aufgrund der Möglichkeit zur kostenlosen Nutzung der Sonnenenergie im großen Umfang gefördert werden, andererseits für die Herstellung teilweise hochgiftige Materialien verwendet werden, welche nach Ablauf der Nutzungsdauer oder bei Schäden einer sichergestellten und nachhaltigen Wiederverwertung zugeführt werden müssen.

Zu beachten ist jedoch, dass einzelne Komponenten oft aus einer Vielzahl von unterschiedlichen Materialien bestehen, welche mitunter nur schwer voneinander zu trennen sind.

8.2. Bestandteile von haustechnischen Anlagen

Haustechnische Anlagen bestehen im Wesentlichen aus folgenden Komponenten

8.2.1. Rohre & Armaturen

Rohre und Armaturen können sowohl aus Metallen als auch aus Nicht-Metallen bestehen. Kriterien für die Verwendung sind z.B. Betriebsdruck, Betriebstemperatur. Speziell bei der Verwendung von Kunststoffrohren ist es häufig der Fall das Form- und Verbindungsstücke aus einem anderen Werkstoff als die Rohrleitung selber bestehen.

Typische Rohrmaterialien sind PE, PP, PVC und weitere davon abgeleitete Materialien.

In Gebäuden mit größerer Ausdehnung und bei Vorhandensein von mehreren Brandabschnitten kann es unter Umständen vorkommen, das Leitungsabschnitte mit brandschutztechnischen Hilfsmitteln gegen Brandeinwirkung geschützt werden / worden sind. Besonders sei hier auf die in der Vergangenheit oftmalige Verwendung von asbesthaltigen Baustoffen hingewiesen. Hier sind bei der Demontage besondere arbeitsrechtliche Schutzvorkehrungen für das Personal zu beachten (Atemschutz, ...) und die fachgerechte Entsorgung ist nachweislich zu dokumentieren. Aufgrund des Verbotes von Asbest kommen heute ungefährliche Ersatzstoffe zum Einsatz.

8.2.2. Anlageneinbauteile wie Kessel, Ventilator, Pumpe

Bei den Anlagenbauteilen ist in der Regel eine Vielzahl unterschiedlichster Materialien anzutreffen. Die Unterscheidung und Trennungsmöglichkeiten sind sehr verschieden. So lassen sich z.B. alte Heizkessel relativ leicht in wenige unterschiedliche Materialien trennen (Verkleidung: Stahlblech, Dämmung: Mineralwolle, Kesselkörper: Gusseisen oder Stahl). Bei elektrotechnischen Komponenten kann hingegen eine Identifizierung und Trennung oft nur sehr schwer möglich sein, wie z.B. bei Platinen von Steuerungs- und Regelungsanlagen.

Typische Materialien sind Stahl (Kesselstahl, Stahl verzinkt, Edelstahl), verschiedene Kunststoffe, Kupfer, Messing, elektrotechnische Schaltelemente und Platinen aus verschiedenen Kunststoffen.

8.2.3. Verbindungsstücke für Rohrleitungen oder Kanäle

Wie auch schon bei "Rohre & Armaturen" angeführt unterscheiden sich die Verbindungsstücke von Rohren und Kanälen mitunter vom z.B. Rohrleitungsmaterial. Im Besonderen bei den in den letzten Jahren vermehrt eingesetzten Kunststoff- oder Kunststoffverbundrohren bestehen die Verbindungsstücke (Bogen, Abzweiger, ...) oft aus Metall, wie z.B. Messing. Bei einer sortenreinen Trennung können die Metallanteile direkt wieder der Metallverarbeitung zugeführt werden (z.B. wird Altkupfer bei der Herstellung von Kupferlegierungen hinzugegeben).

Bei Stahlleitungen ist auch die klassische Schweißverbindung sehr verbreitet. Hierbei wird unter Hitzeeinwirkung das Material im Bereich der Verbindungsstelle punktuell zum Schmelzen gebracht und unter Beigabe eines Lotes miteinander verbunden. Nach Erkalten ist eine untrennbare Verbindung hergestellt, welche fast die gleichen Materialeigenschaften wie das Rohrmaterial und das Verbindungsstück aufweist. Diese Verbindungstechnik kann in Abhängigkeit der haustechnischen Anlage teilweise in Vorschriften, Normen oder sonstigen Richtlinien vorgegeben sein (z.B. darf eine Gasleitung nur mittels Schweiß- oder Pressverbindung, aber nicht mittels Gewindeverbindung hergestellt werden – je nach Gasversorger unterschiedlich).

Typische Materialien sind Messing, Rotguss und verschiedene Kunststoffe (z.B. PE, PVC, ...) für Rohrleitungen aus Kunststoff oder Kupfer. Bei Rohrleitungen aus Stahl oder Lüftungskanäle kommen in der Regel Verbindungsstücke aus demselben Material zum Einsatz.

8.2.4. Befestigungen

Konstruktionen zur Befestigung und Führung von Leitungen (Wasser, Gas, Elektro) bestehen in der Regel aus Stahl bzw. verzinktem Stahl. Für Leitungen kleinerer Dimensionen werden jedoch auch Befestigungen aus Kunststoff verwendet.

8.2.5. Dämmungen von Anlagenteilen

Bei der Dämmung von Rohren, Kesseln, usw. steht primär die Reduzierung von Wärmeverlusten im Vordergrund. Wurden vor der Verbreitung von Kunststoffen noch Dämmstoffe wie Mineralwolle (Glaswolle) eingesetzt, kommen heutzutage vermehrt Kunststoffe zum Einsatz. Bei der Produktion von Kunststoffdämmmaterialien wurden in der Vergangenheit oft Mittel eingesetzt, welche aus Umweltschutzgründen heutzutage nicht mehr erlaubt sind (Stichwort Treibgase, FCKW, ...). Daher sind neben umweltfreundlichen FCKW-, HFCKW und HFKW-freien Dämmstoffen vermehrt auch wieder ökologische Dämmmaterialien wie z.B. Schafwolle in den Vordergrund gerückt.

8.3. Haustechnische Anlagenkomponenten

Haustechnische Anlagenkomponenten bestehen in der Regel aus einer Vielzahl unterschiedlichster Materialien. Verschiedene Aspekte wie Betriebssicherheit, Gewichtsersparnis, Festigkeit und Preis führen zu dieser Vielfalt. Oft ist eine eindeutige Identifizierung und Trennung der Materialien nicht oder nur sehr schwer möglich. Zur Veranschaulichung sind nachstehend beispielhafte Komponenten und deren Hauptbestandteile angeführt.

Heizungspumpe

- Gehäuse: Gusseisen (Sphäroguss, Grauguss), Messing, Rotguss und Edelstahl
- Innenteil: Kupfer(wicklungen), Eisenkern, Kunststoff(e), Platinen

Heizkessel

- Gehäuse: Stahlblech verzinkt und/oder lackiert
- Kesselkörper: Stahl (Edelstahl, normaler Kesselstahl, Gusseisen)
- Dämmung: Mineralwolle, PUR-Schaumstoff
- Sonstiges: angebaute Regelung (Platinen, Kunststoffe, ...)

- Kesselwasser: normales "verbrauchtes" Wasser, je nach Einsatzort mit z.B. Frostschutz, zusätzlichen Inhibitoren (Steinschutz, ...)

Lüftungsgerät (Ventilator, Filter, ...)

- Gehäuse: Stahlblech verzinkt, Kunststoff
- Ventilator(motor): Gusseisen, Kunststoff, Kupferwicklungen, Eisenkern, Kunststoff(e), Platinen
- Filter: Filtertaschen (Kunststoff + Verunreinigungen)

Wärmepumpe

- Gehäuse: Stahlblech verzinkt oder lackiert
- Kompressor: Gusseisen, Kunststoff, Kupferwicklungen, Eisenkern, Kunststoff(e), Platinen
- Betriebsmittel: Kältemittel, Schmierstoffe

Elektroschaltschrank (Sicherungskasten, ...)

- Gehäuse: Stahlblech lackiert oder beschichtet, Kunststoff (ABS, PVC, ...)
- Innenteile:
 - Kabel (Kupfer, PVC-Isolierung, Silikonisolierung, ...)
 - Schutzschalter (Kunststoffgehäuse, Metall, ...)

PV-Modul

- Gehäuse Aluminium
- Monokristallines, Polykristallines und Amorphes Silizium
- Galliumarsenid (GaAs), Cadmiumtellurid (CdTe) oder Kupfer-Indium-Diselenid (CuInSe₂)
- Interessenverband PV CYCLE zur Rücknahme von PV-Modulen durch die Hersteller

Thermischer Solarkollektor

- Gehäuse: Aluminium
- Absorberbeschichtung
 - galvanisch aufgebrachte selektive Schichten : Schwarzchrom, Schwarznickel und mit Nickel pigmentiertem Aluminiumoxid
 - Vakuum-Verfahren: Titan-Nitrid-Oxid-Schicht (emissionsfreies, weniger energieaufwendiges Produktionsverfahren)
- Verrohrung: Kupfer
- Dämmung: Mineralwolle
- Glas: Sicherheitsglas, evtl. mit Beschichtung

8.4. Haustechnische Materialien und deren Recycling(möglichkeiten)

Wichtigstes Kriterium für die Verwendung von Materialien für das Recycling ist die eindeutige Identifizierung und die Reinheit, in der das Material vorliegt. Oft ist aufgrund der anfallenden Mengen vor Ort nur eine Grobsortierung sinnvoll, damit dann erst in weiterer Folge durch z.B. ein qualifiziertes Entsorgungsunternehmen die endgültige Trennung und Aufbereitung durchgeführt wird (z.B. Abbruch eines Ein- bzw. Zweifamilienhaus). Bei größeren Objekten (Industrieobjekte, ...) ist aufgrund der anfallenden Mengen je nach der Gegebenheit auch vor Ort eine umfangreichere Trennung sinnvoll.

Im Bereich der Trinkwasserinstallation müssen sämtliche Materialien, die mit Trinkwasser in Berührung kommen, dem österreichischen Lebensmittelgesetz entsprechen. Dies wird zum Beispiel in Österreich durch die ÖVGW-Qualitätsmarke sichergestellt. Dadurch kann auch in der Regel ausgeschlossen werden, das bei ordnungsgemäßen Gebrauch diese Anlagenteile mit

Stoffen beaufschlagt werden / sind, welche eine Wiederverwertung erschweren oder unmöglich machen.

Bei den Überlegungen einer Wiederverwertung von Materialien ist zu beachten, dass alle Materialien einem gewissen Alterungsprozess unterliegen. Dieser ist von Material zu Material unterschiedlich und hängt auch von den jeweiligen Betriebsbedingungen vor Ort ab, denen das Material über längere Zeit ausgesetzt wird oder war. Daher sind im Rahmen von Recyclingmaßnahmen auch Aspekte wie Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit der recycelten Materialien zu beachten. Daraus wiederum lassen sich dann die zukünftigen Verwendungszwecke ableiten.

Im Einzelnen sind nachfolgend beispielhaft die häufigsten Materialien und deren Möglichkeiten zur Wiederverwertung angeführt.

8.4.1. Metall

Metalle eignen sich in der Regel gut für eine Wiederverwertung, da zum Beispiel Alteisen (Schrott) ein wichtiger Bestandteil bei der Stahlerzeugung ist. Augenmerk ist auf eventuelle Beschichtungen (Korrosionsschutz, ...), Ablagerungen bei Rohren durch den Betrieb beziehungsweise generell auf Korrosion zu legen, da dadurch eine Wiederverwertung oft nur bedingt bis nicht mehr möglich sein kann.

Kupfer und Kupferlegierungen werden wieder für die Herstellung von Kupferlegierungen verwendet. So wird zum Beispiel für die Herstellung von Absperrarmaturen aus Messing ein Anteil von Alt-Kupfer zugefügt, um den Verbrauch von reinem Rohkupfer zu reduzieren.

Besonders im Zuge von Sanierungen von Gründerzeithäusern, aber auch Objekten jüngerer Datums sind häufig noch Leitungen (Schmutzwasser, aber auch Trinkwasser) aus Blei anzutreffen. Bleiabfälle sind unbedingt über eine autorisierte Sammelstelle fachgerecht zu entsorgen, da das Material Blei bei nicht gerechter Entsorgung eine Gefährdung für die Umwelt und Gesundheit darstellt. Es gibt Verfahren in denen das Blei recycelt und wieder für neue Anwendungen genutzt werden kann (z.B. Blei für Autobatterien, ...).

Siehe auch Kapitel 4.4.2. Metalle.

8.4.2. Kunststoff

Rohre aus Kunststoffmaterialien zeichnen sich neben Vorteilen in der Herstellung vor allem durch eine besondere Langlebigkeit aus. Am Ende ihrer Nutzungsdauer stellen sie eine wertvolle Rohstoffquelle für das Recycling dar. Durch Vereinigungen wie zum Beispiel dem Österreichischen Arbeitskreis Kunststoffrohr Recycling (ÖAKR) wird durch ein Netz von Sammelstellen die Rückführung von alten Kunststoffrohren, aber auch Restmaterialien von der Installation, gewährleistet. Nach der Sammlung, Sortierung und Reinigung werden die Kunststoffreste zu Mahlgut oder Regranulat aufbereitet, um anschließend wieder dem Produktionsprozess zugeführt zu werden.

Häufigste Materialien für Kunststoffrohre und sonstige Kunststoffgerätschaften (z.B. Gehäuse, ...) sind

- PVC – Polyvinylchlorid
- PE – Polyethylen (vernetzt)
- PP – Polypropylen
- ABS – Acrylnitril-Butadien-Styrol

Kunststoffverbundrohre sind in den letzten Jahren in der Haustechnik sehr stark eingesetzt worden und werden weiterhin häufig verwendet, da sie relativ einfach zu verarbeiten sind. Der Aufbau des Rohres ist in der Regel nach folgendem Prinzip (von innen nach außen, je nach Hersteller und Rohrtyp geringfügig unterschiedlich) gestaltet:

- Kunststoff (meist PE– Polyethylen)
- Metallschicht (meist Aluminium)
- Kunststoff (meiste PE – Polyethylen)

Die Verbindung der Materialien erfolgt teilweise durch so genannte Haftvermittler, bzw. dadurch, dass die Metallschicht durch die umgebenden Kunststoffschichten "eingeschweißt" wird. Hinzu kommt, dass für die Verbindung der Rohre (Bögen, Abzweiger, ...) hauptsächlich Formstücke aus Metall (z.B. Messing, ...) verwendet werden. Dadurch ergibt sich auch die Problematik bei der Wiederverwertung und Aufbereitung des Rohrmaterials, da eine Trennung der Materialien einen relativen hohen Aufwand bedeutet. Um dennoch die Materialien bestmöglich wieder verwerten zu können, ist unbedingt die sachgerechte Entsorgung über Fachbetriebe notwendig, zum Beispiel über einen Mitgliedsbetrieb des ÖAKR (siehe oben) oder andere qualifizierte Entsorgungsbetriebe.

Siehe auch 4.4.4 Kunststoffe.

8.4.3. Elektrotechnische Komponenten

Die umweltverträglichste Form des Recycling von elektrotechnischen Komponenten ist die Wiederverwendung der Teile selber soweit dies möglich ist (zu berücksichtigen sind Betriebssicherheit, Betriebskosten, da alte Geräte tendenziell einen schlechteren Wirkungsgrad haben als neue, ...).

Elektro- und Elektronikschrott ist europaweit der Abfallstrom mit den größten Zuwachsraten. Da bei elektronischen Geräten unterschiedlichste Materialien verbaut sind, stellt das Recycling hohe Anforderungen an Trenn- und Sortiervorgänge. Neben dem Anfall von Metallen aller Art, welche wieder zur Metallerzeugung verwendet werden können, fallen vor allem Kunststoffe an. Diese können z.B. über Polymer-Separatoren aus vorgebrochenem E-Schrott separiert und über einen Nah-Infrarotdetektor von nicht gewünschten Kunststofffraktionen befreit werden. Die sortenreinen Kunststoffe können in den Produktionskreislauf rückgeführt werden. Nicht sortierter Kunststoffmix kann einer thermischen Verwertung zugeführt werden.

Elektroschrott enthält außerdem Edelmetalle wie Gold und Platin, welche zurückgewonnen werden können (16 Gramm Gold je Tonne Elektronikmüll, ELBW 2010)

e.l.b.w Umwelttechnik 4/2010: Hochwertige Kunststoffe aus alten Elektrogeräten (Seite 50) und Elektroschrott-Verwertung ohne Umweltbelastungen (S. 54)

Sind im Rahmen einer umfangreichen Sanierung oder Demontage eines Objektes auch Transformatoren zu behandeln so ist im Speziellen darauf zu achten, dass bei älteren Modellen das Transformatoröl noch PCB (polychlorierte Diphenyle, die durch die Stockholmer Konvention vom 22. Mai 2001 weltweit verboten wurden) enthalten kann. Dies sind krebserregende Chlorverbindungen, welche in der Regel nur durch eine thermische Verwertung in Spezialverbrennung (z.B. Sondermüll- und Klärschlammverbrennungsanlage Simmeringer Haide der Fernwärme Wien) verwertet werden können und dürfen.

Ähnlich den Transformatoren sind alte Kabel zu behandeln. Diese sind teilweise mit bitumengetränktem Gewebe "isoliert", oder weisen bei größeren Leitungsquerschnitten eine Isolierschicht aus Blei oder flüssigem Öl auf. Bei solchen Komponenten ist unbedingt vor Beginn der Arbeiten mit einem qualifizierten Entsorgungsbetrieb oder dem jeweiligen Energieversorger Kontakt aufzunehmen.

8.4.4. Sonstige Materialien

Ein weiteres, häufig anzutreffendes Material speziell für Schmutzwasserleitungen bei alten Objekten, ist Steinzeug bzw. Steingut. Wenn keine besonderen Ablagerungen an den Rohren vorhanden sind - Steinzeug wird aufgrund der chemischen Beständigkeit häufig im (chemischen) Laborbereich verwendet, aber auch Verunreinigungen durch diverse Dichtmaterialien wie zum Beispiel Teer usw. können auftreten- kann das anfallende Material wie gewöhnlicher Bauschutt behandelt werden.

Bei Gegenständen aus Keramik, zum Beispiel Waschtisch oder WC, kann eventuell eine Weiterverwendung sinnvoll sein, da bei ordnungsgemäßem Gebrauch und entsprechender Reinigung keine nachhaltigen Qualitätsverluste bei der Keramik zu erwarten sind. Problematisch bei der Weiterverwendung ist oft nur die Weiterentwicklung des Designs ("aus der Mode") beziehungsweise hygienische Aspekte (speziell bei WC's). Im Falle, dass die Keramik beschädigt ist, kann sie grundsätzlich wie Bauschutt einer Weiterverwertung zugeführt werden.

Der Umgang mit Rohren aus Faserzement mit Synthesefasern ist in der Regel unproblematisch. Ist jedoch nicht auszuschließen, dass statt der heutzutage verwendeten Synthesefasern noch Asbestfasern verwendet wurden, so sind Maßnahmen zu ergreifen, um die Entstehung von gesundheitsschädigendem Asbest-Feinstaub bei der Demontage und weiteren Bearbeitung zu verhindern. Der Faserzement besteht aus geschnittenen Fasern und einer Bindemasse aus Zement (geläufige Bezeichnung "Eternit"). Als Fasern verwendet man meist spezielle organische Synthesefasern auf Basis Polyacrylnitrat oder Polyvinylalkohol. Die früher verwendeten Asbestfasern dürfen wegen ihrer gesundheitsschädigenden Wirkungen nicht mehr verwendet werden.

Bei Verdacht auf asbesthaltige Materialien sind in jedem Fall spezielle Maßnahmen für die Demontage, Entsorgung und Aufbereitung durch qualifizierte Entsorgungsunternehmen auch im Sinne des Arbeitnehmerschutzes zu veranlassen.

8.4.5. Dämmmaterialien

Als Dämmstoffe bezeichnet man Baustoffe, die aufgrund vieler Hohlräume ein großes Volumen bei geringem Gewicht haben und sich somit für die Minimierung von Wärmeverlusten eignen. Die ruhende, zum Teil eingeschlossene Luft, welche im Vergleich zu Festkörpern ein schlechter Wärmeleiter ist, bewirkt die wärmedämmende Eigenschaft dieser Materialien.

Wärmedämmstoffe besitzen eine niedrige spezifische Wärmeleitfähigkeit λ von kleiner 0,1 W/(mK). Dämmstoffe spielen eine wesentliche Rolle für eine energiebewusste Bauweise und tragen zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes bei, der die Ursache für den künstlichen Treibhauseffekt und Klimaveränderungen ist. (Quelle: www.waermedaemmstoffe.com)

Bei haustechnischen Anlagen kommen verschiedene Materialien für die Dämmung von Rohrleitungen, Armaturen, Kesseln usw. zum Einsatz. Die häufigsten sind:

- Mineralwolle (Glas- und Steinwolle)
- Polyurethan-Hartschaum (PUR)
- Schaumstoffe auf Basis von synthetischem Kautschuk (Elastomer)

Während Mineralwolle im Großen und Ganzen teilweise recycelbar ist, so ist für z.B. PUR-Dämmstoffe derzeit kein Recyclingverfahren bekannt. Bei einer thermischen Verwertung von PUR-Dämmstoffen können gegebenenfalls FCKW's (Fluor-Chlor-Kohlen-Wasserstoff) freigesetzt werden (Quelle www.waermedaemmstoffe.com). Daher ist bei der geplanten Verwendung von PUR-Dämmstoffen zumindest auf eine FCKW-freie Herstellung zu achten, idealerweise sollte jedoch auf Dämmmaterialien auf PUR-Basis verzichtet werden.

Siehe auch Kapitel 4.4.4.3 Polystyrol-Dämmplatten sowie Kapitel 4.4.5.1.1 Mineralwolle-Dämmstoffe.

8.4.6. Betriebsmittel

Bei haustechnischen Anlagen welche mit Wasser betrieben werden, zum Beispiel Heizungsanlage, Kälteanlage usw., kann es vorkommen, dass aus diversen Gründen dem Wasser zur Erhöhung der Betriebssicherheit diverse Zusatzstoffe hinzugefügt werden oder worden sind. Dies können zum Beispiel folgende Zusätze sein

- Frostschutzmittel (auf Glykol-Basis, ...)
- Zusätze zur Verhinderung von Korrosionsschäden

Die genauen Eigenschaften sind den zugehörigen Sicherheitsdatenblättern der Zusatzstoffe zu entnehmen, in welchen auch der Umgang bei der Entsorgung angeführt ist. In der Regel stehen diese Informationen jedoch nicht mehr zur Verfügung beziehungsweise ist auch mit einer Änderung der Zusatzstoffe über einen längeren Zeitraum zu rechnen. Kommt es zum Beispiel durch kleinste Undichtigkeiten im System zu Verlusten, so wird in der Regel frisches Wasser nachgespeist und somit die Konzentration im System immer mehr verdünnt. Aber auch durch so genannte Alterungsprozesse kann es zu Änderungen in der Konzentration führen, so lässt zum Beispiel die Frostschutzwirkung bei einigen Mitteln über die Jahre nach.

Um eine eindeutige Beurteilung des aktuellen Zustandes von solchen Flüssigkeiten zu bekommen, ist vor etwaigen Maßnahmen die Kontaktaufnahme mit einem qualifizierten Entsorgungsbetrieb und / oder eine chemische Analyse solcher Betriebsmittel zu empfehlen. Erst nach dem die Qualität zweifelsfrei bestimmt worden ist, kann über die weitere Verwertung oder Entsorgung entschieden werden.

Besonderes Augenmerk in Bezug auf Betriebsmittel ist auf Kältemaschinen (auch Kühlschränke) und das darin enthaltene Kältemittel zu legen. Obwohl FCKW-haltige Kältemittel mittlerweile seit einigen Jahren bei Neugeräten verboten sind, kann es dennoch bei Altgeräten vorkommen, dass diese im Kältekreislauf enthalten sind. Konstruktionsbedingt ist in solchen Kreisläufen nicht nur das Kältemittel sondern auch ein Schmiermittel für den Kompressor enthalten. Daraus ergibt sich, dass eine Mischlösung aus Kältemittel und Schmiermittel vorliegt. Diese Geräte sind unbedingt über qualifizierte Entsorgungsbetriebe oder Sammelstellen einer fachgerechten Wiederverwertung (oder Entsorgung) zuzuführen.

Als Alternative zu den chemischen, künstlich hergestellten Kältemitteln gibt es auch alternative Kältemittel wie z.B. Propan oder Ammoniak. Diese sind jedoch teilweise brennbar (Propan), was unter dem Gesichtspunkt der Betriebssicherheit bedenklich ist, oder sind so wie Ammoniak nur bei Großanlagen unter zum Teil beträchtlichen Mehraufwand (Anlagenbetrieb, Sicherheitsvorkehrungen) realistisch einsetzbar. Daher wird nach wie vor auf künstliche Kältemittel zurückgegriffen, wobei neue Kältemittel in Bezug auf Auswirkungen auf z.B. Treibhauseffekt in den letzten Jahren entsprechend verändert und optimiert wurden.

Zur Sicherstellung einer gesicherten Wiederverwertung von Kühlschränken (=Kältemaschine) wurde durch die Kühlgeräteverordnung (BGBL 408/1992) mit der "Kühlgeräte- Entsorgungsplakette" eine kostenfreie Rücknahme des Altgerätes sichergestellt und damit verhindert, dass Kühlgeräte auf andere Art und Weise unkontrolliert und unter Freisetzung von Schadstoffen (Kältemittel) entsorgt werden.

8.4.7. Brandschutztechnische Einrichtungen

Je nach Größe und Nutzung des Objektes ist mit der Ausbildung von Brandabschnitten und / oder mit dem Vorhandensein von Löscheinrichtungen zu rechnen. Da es sich bei brandschutztechnischen Einrichtungen um Sicherheitseinrichtungen handelt, ist eine gleichartige Weiter- oder Wiederverwendung in der Regel oft kritisch.

8.4.7.1. Brandabschnitte

Werden Brandabschnitte mit diversen haustechnischen Leitungen (Wasser, Heizung, Strom, ...) durchdrungen, so ist zu gewährleisten, dass der Bauteil die brandschutztechnischen Anforderungen trotzdem erfüllt. Dies bedeutet, dass die Öffnungen (Durchbrüche) brandschutzmäßig abzuschotten sind.

Die am meisten verbreitete Brandabschottung ist das so genannte Weichschott. Dabei werden Platten aus Mineralwolle (Brennpunkt größer 1.000°C) beidseitig mit einer Beschichtung versehen und die Fugen mit einer Füllmasse verschlossen. Es ist jedoch auch möglich, dass andere Materialien, so genannte intumeszierende Materialien (unter Temperatureinwirkung aufschäumend und eine Isolierschicht bildend) eingesetzt werden.

Grundsätzlich ist jede Brandabschottung mit einer Kennzeichnung zu versehen aus welcher zumindest ersichtlich ist,

- welches Produkt verwendet wurde
- wann dieses Brandschott erstellt wurde
- wer dieses Brandschott erstellt hat

Daher sollte in der Regel eine Identifizierung der verwendeten Materialien relativ einfach sein, und durch eine Kontaktaufnahme mit dem Hersteller (oder zum Beispiel Sicherheitsdatenblatt) eine optimale Entsorgung oder Wiederverwertung möglich sein.

Brandschutztechnische Einbauten wie Brandschutzklappen bestehen aus nichtbrennbaren Materialien, wie z.B. Stahlblech verzinkt, welche auch relativ einfach einem Recycling zugeführt

werden können. Elektrische Antriebe sind je nach Ausführung gegebenenfalls als Elektronikschrott zu behandeln oder entsprechend ihren Einzelteilen zu trennen und wieder zu verwerten.

Teilweise ist es auch möglich das gewisse Leitungsabschnitte, speziell Lüftungskanäle, mit einer brandschutztechnischen Verkleidung ausgestattet sind. Bei älteren Anlagen kann es unter Umständen vorkommen, dass diese Materialien noch Asbest enthalten. In diesem Falle sind dann bei der Demontage und Weiterverwertung die entsprechenden sicherheitstechnischen Bedingungen einzuhalten (Arbeitnehmerschutz, Sondermüllbehandlung, ...). Heutzutage verwendete Materialien enthalten jedoch kein Asbest mehr.

8.4.7.2. Löscheinrichtungen

Löscheinrichtungen haben in der Regel den Zweck, einen beginnenden Brand einzudämmen (zum Beispiel Sprinkler, ...), beziehungsweise brandschutztechnisch ausgebildeten Personen einen ersten Löschangriff zu ermöglichen (Feuerlöscher, Wandhydranten, ...).

Die Leitungen sind in der Regel aus Stahl (natur, verzinkt oder Edelstahl) und somit für eine Wiederverwertung gut geeignet. Als häufigstes Löschmittel wird Wasser eingesetzt. Bei einer Sprinkleranlage, die in Bereichen mit Frostgefahr verlegt ist, besteht die Möglichkeit, dass dem Wasser ein Frostschutzmittel zugesetzt ist. Genauere Informationen hierzu liefert entweder das Anlagenbuch oder -dokumentation, oder im Zweifelsfalle eine Wasseranalyse.

Neben Wasser gibt es jedoch auch noch andere Löschmittel wie zum Beispiel

8.4.7.3. Schaum, Pulver (Feuerlöscher)

Der Inhalt ist meistens auf den Feuerlöschern selbst vermerkt. Für eine optimale Wiederverwertung ist mit dem entsprechenden Hersteller Kontakt aufzunehmen.

8.4.7.4. Gaslöschanlagen

Bei diesen Anlagen wird anstatt Wasser so genanntes Inertgas zur Brandbekämpfung eingesetzt. Die Verteilung des Gases erfolgt wie bei Wasser über Stahlleitungen. Die Lagerung der Gase erfolgt in eigenen Gasflaschen unter Hochdruck (z.B. 50 Liter-Flaschen, 200bar Flaschendruck). Neben natürlichen Inertgasen wie zum Beispiel Stickstoff, Argon oder Kohlendioxid gibt es auch Gasgemische aus mehreren Gasen. Löschgase mit Bestandteilen aus Halon sind seit 1. Jänner 2004 in Österreich grundsätzlich nicht mehr erlaubt (Montrealer Protokoll).

Die genaue Verwertung von Löschgasen ist abhängig von deren Zusammensetzung. Da diese jedoch in der Regel keinem Alterungsprozess unterliegen wäre eine Weiterverwertung nach entsprechender Überprüfung möglich. Genauere Informationen zur Zusammensetzung von Löschgasen sind in der Regel aus dem Anlagenbuch oder -dokumentation zu entnehmen. Zu Fragen der Wiederverwertung oder Weiterverwendung ist in erster Linie der Hersteller zu kontaktieren.

8.4.7.5. Brandmeldeeinrichtungen

Brandmeldeeinrichtungen wie zum Beispiel Rauchmelder oder andere Detektionseinrichtungen bestehen zum Großteil aus Kunststoff und sind daher auch wie dieser zu behandeln. Aufgrund der eingebauten Elektronik kann es jedoch auch vorkommen diese Komponenten wie Elektronikschrott zu behandeln.

8.4.8. Aspekte für ein Recycling von haustechnischen Materialien

Idealerweise wird die einfache Trennung und Wiederverwertung der verwendeten Materialien und Werkstoffe bereits bei der Konstruktion berücksichtigt, und zwar insofern, dass nur Materialien verwendet werden, welche recycelt werden können, eindeutig identifizierbar sind (Kennzeichnung) und auch leicht von anderen Komponenten und Materialien getrennt werden können (z.B. keine Verbundwerkstoffe). Dies betrifft sowohl den Hersteller von Anlageneinbauteilen (z.B. Heizkessel, ...) aber auch den Planer im Zuge von Ausschreibungen der Materialien und Komponenten bis hin zu der ausführenden Firma vor Ort. Weiters lassen sich Installationen von Leitungen und Armaturen in Schächten oder abgehängten Decken (Aufputzinstallationen) leichter demontieren als fix in das Mauerwerk eingebaute (Unterputzinstallation).

So ist zum Beispiel die Verwendung von Kunststoffrohren aus PE oder PP gegenüber PVC oder Kunststoffverbundrohren vorzuziehen. Bei Metallrohren ist die Verwendung von Kupferrohren zu empfehlen, da neben den Recyclingmöglichkeiten bei diesem Material (speziell bei der Verwendung in der Trinkwasserinstallation) die antibakteriellen Eigenschaften von Kupfer der Trinkwasserhygiene zu Gute kommen.

Im Besonderen bei den Fügetechniken für Rohrverbindungen sind neben den Aspekten für ein späteres Recycling auch sicherheitstechnische Aspekte sowie allfällige sonstige Richtlinien, Normen und Vorschriften zu beachten. Nicht immer sind zum Beispiel Gewindeverbindungen bei Rohrleitungen zulässig, welche sich relativ leicht trennen lassen würden und deren Dichtmittel z.B. bei Trinkwassersystemen dem österreichischen Lebensmittelgesetz entsprechen müssen.

Bei der Demontage von haustechnischen Anlagen hängt es vom Umfang und der Reinheit der anfallenden Materialien ab, ob und in welchem Ausmaß eine Sortierung und gegebenenfalls Aufbereitung vor Ort sinnvoll ist oder ein Transport zu (durch) einen qualifizierten Entsorgungsbetrieb notwendig ist.

Ergibt sich im Zuge von Umbauarbeiten oder dem vollständigen Abriss eines Objektes die Notwendigkeit, verschiedene haustechnische Anlagenteile einer Wiederverwertung zuzuführen beziehungsweise fachgerecht zu entsorgen, so empfiehlt es sich vor Beginn der Arbeiten bereits entsprechende Überlegung anzustellen und mit facheinschlägigen Firmen Kontakt aufzunehmen.

Als erste mögliche Ansprechpartner bieten sich an (nur beispielhaft, kein Anspruch auf Vollständigkeit):

- Lokale / kommunale Abfallentsorger
- Abfallbeauftragte der Gemeinden
- Qualifizierte Entsorgungsbetriebe oder –verbände
- Hersteller beziehungsweise Lieferanten von haustechnischen Anlagen und Komponenten

8.5. Recycling von Photovoltaik- Modulen

Nach mindestens 25 Jahren sind Photovoltaik-Module am Ende ihres Lebens. Dann müssen die Module dem Recycling zugeführt werden. Einer vom BINE(<http://www.bine.info>) veröffentlichten Studie zufolge, arbeiten Forscher der Deutschen Solarworld AG und der TU Bergakademie Freiberg seit 2002 daran, Modulrecycling- Verfahren umweltschonender und effizienter zu machen.

Mit modernster Technologie lassen sich Produktionsabfälle, komplett ausgediente und sogar gebrochene Silizium- oder Dünnschichtmodule wiederaufbereiten und dabei Recyclingraten von über 95% erzielen.

Um in Europa ein freiwilliges branchenweites Rücknahme- und Recyclingprogramm für Altmodule einzurichten, hat die Solarindustrie als gemeinsame Initiative den Verband PV CYCLE gegründet. Die Vorgabe lautet, mindestens 65% aller Altmodule, die abgebaut werden, zu sammeln und daraus 85% oder mehr der wertvollen Stoffe wie Glas, Aluminium und Halbleitermaterialien zurückzugewinnen.

In der Pilotanlage Freiberg gewinnt man Solarzellenbruch, der gereinigt wird, so dass reines Silicium entsteht. Diese wird wieder zu multikristallinen Gussblöcken eingeschmolzen, aus denen neue Wafer hergestellt werden. Das erspart die aufwendige Gewinnung von Silicium aus hochreinem Quarz.

In zwei Prozessstufen trennt die Anlage die Komponenten der Module: in der ersten, thermischen Stufe werden die Kunststoffanteile des Moduls entfernt, Glas und Rahmenteile demontiert und sortenrein recycelt. In der zweiten Stufe wird aus Bruchsolarzellen Solarsilicium zurückgewonnen.

Noch arbeitet die Pilotanlage energie- und rohstoffaufwändig, zudem verursachen die manuelle Separation und der niedrige Durchsatz relativ hohe Kosten.

Nächstes Ziel ist die Errichtung einer großmaßstäblichen Demonstrationsanlage, bei der alle bisher gewonnenen Erkenntnisse realisiert werden sollen. Das bedeutet, dass standardisierte und automatisierte Abläufe ein ökonomisch und ökologisch optimales Recycling-Ergebnis liefern.

Ein anderes Verfahren zum Recycling von Dünnschicht-Modulen wurde vom amerikanischen Unternehmen First Solar entwickelt. Dabei werden ganze sowie zerbrochene Module und Produktionsabfälle im selben Prozess verarbeitet und es werden 90 % des Glases und 95 % des Halbleitermaterials zurückgewonnen.

Quelle: www.bine.info, projektinfo 02/10

9. DEL Katalog recycelbarer Konstruktionen

9.1. Einleitung

Auf Basis der Analyse von bestehenden Baukonstruktionen und den erarbeiteten Entwurfsempfehlungen wird in diesem Kapitel ein Katalog von möglichen Bauteilaufbauten unter besonderer Berücksichtigung ihrer Trennbarkeit, Materialvielfalt und Recycelbarkeit zusammengestellt. Ziel ist ein Recycelbarkeitsanteil von 95%.

Die recycelbaren Konstruktionen werden jeweils konventionellen Konstruktionen gegenübergestellt. Die Konstruktionen werden außerdem in bauphysikalischer und ökologischer Hinsicht bewertet. Diese Ergebnisse in Kombination mit den Ergebnissen aus der Analyse der Einsatzmöglichkeiten für Recyclingmaterialien bilden später die Grundlage für die Bauteilauswahl im konkreten Projekt „Leuchtturm Gugler“.

Im Vorfeld werden zunächst unterschiedliche Bewertungsmethoden beschrieben und darauf aufbauend wird ein erweitertes Bewertungsschema für Baukonstruktionen entwickelt, das Kriterien wie Baustellenabfälle, Lebenserwartung, Instandsetzung, Rückbau (Trennbarkeit und Materialvielfalt), Wiederverwendung, Recycling, Verbrennung und Ablagerung berücksichtigt.

Die detaillierten Ergebnisse sind in Anhang 3: Sammlung von Bauteilaufbauten mit Bewertung aus ökologischer und bauphysikalischer Sicht dargestellt.

9.2. Bewertung von Baukonstruktionen

9.2.1. Bewertungsmethoden

9.2.1.1. Passivhaus-Bauteilkatalog

Im Passivhaus-Bauteilkatalog wurde eine qualitative Methode für die Bewertung des Entsorgungspotentials entwickelt, die sich aus einer Bewertung der Entsorgungseigenschaften des Bauteils und der enthaltenen Baustoffe zusammensetzt. Zur Beurteilung herangezogen werden die Entsorgungswege Recycling, Verbrennung und Ablagerung. Beurteilt wird der aktuelle Entsorgungsweg einer Bauteilkomponente, der zum jetzigen Zeitpunkt überwiegend (mind. 80 %) beschritten wird und das Verwertungspotenzial, das bei Verbesserung der Rahmenbedingungen bis zum angenommenen Zeitpunkt der Entsorgung des Bauprodukts aus wirtschaftlicher und technischer Sicht möglich wäre, auf einer Skala von 1 bis 5, wobei 1 das beste Ergebnis darstellt.

Durch das Verwertungspotential der Baustoffe wird die zu beseitigende Abfallmenge reduziert. Bei einem Verwertungspotential von 1 beträgt die verbleibende Abfallmenge 25 %, 50 % bei 2, usw. Die Abfallmenge von 125 % bei einer Einstufung in 5 ist so zu interpretieren, dass zusätzliches Material benötigt wird, um den Abfall zu entsorgen. Für die Berechnung der Entsorgungskennzahl auf Bauteilebene wird die Abfallmenge mit der Einstufung für den aktuellen Entsorgungsweg gewichtet. Zusätzlich gibt es Bonuspunkte für niedrige Fraktions- und Schichtzahl.

Die Methode befindet sich noch im Fluss, hat sich auch seit der Erstpublikation (Abfall 2003) bereits deutlich weiterentwickelt. Im Folgenden ist die geringfügig adaptierte Methode zur Berechnung der Entsorgungseigenschaften von Baukonstruktionen aus dem Kriterienkatalog des klima:aktiv Dienstleistungsgebäudes beschrieben:

1. Berechnung des anfallenden Volumens

- Für jedes im Bauteil eingesetzte Material wird das zur Entsorgung anfallende Volumen berechnet. Diesem Kriterium liegt die Hypothese zugrunde, dass die ökologischen Aufwendungen für die Entsorgung umso aufwendiger sind, je höher die anfallende Menge ist und dass in vielen Teilbereichen der Entsorgung (Lagerung, Transport, Deponierung) das Volumen maßgeblich ist. Die anfallende Menge wird in m^3 angegeben. Dabei werden alle über den Betrachtungszeitraum von 100 Jahren anfallenden Mengen gezählt („aggregiertes Volumen“). Z.B. fallen bei einer 10 cm dicken Dämmstoffschicht mit 40 Jahren Nutzungsdauer $0,1 \text{ m} \cdot 100 / 40 = 0,25 \text{ m}^3$ Dämmstoff pro m^2 Bauteil an.

- Es werden alle Materialien berücksichtigt, die auch in die Berechnung der ökologischen Kennwerte für die Herstellung Eingang finden.

2. Gewichtung mit den Entsorgungseinstufung der Baustoffe

Das an jedem Material des Bauteils angefallene Volumen wird mit der Entsorgungseinstufung des Materials multipliziert. D.h. für einen Baustoff mit der Entsorgungseinstufung 3 wird das dreifache Abfallvolumen berechnet. Z.B. 0,25 m³ Zellulosefaserflocken mit der Entsorgungseinstufung 3 ergeben ein „gewichtetes“ Volumen von 0,75 m³.

3. Gewichtung mit dem Verwertungspotential der Baustoffe

Durch das Verwertungspotential der Baustoffe wird die zu beseitigende Abfallmenge reduziert. Dabei wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

Verwertungspotential	Abfall
1	25 %
2	50 %
3	75 %
4	100 %
5	125 %

Die Tabelle kann folgendermaßen interpretiert werden: Von einem Baustoff mit dem Verwertungspotential 1 fallen nur 25 % als Abfall an, 75 % werden recycelt usw. Für die Beseitigung eines Baustoffs mit Verwertungspotential 5 wird zusätzliches Material zur Aufbereitung benötigt, daher wird die Abfallmenge um 25 % erhöht (125 %).

4. Addition der Baustoffergebnisse

Die Summe aller auf diese Weise gewichteten Volumen der Baumaterialien eines Bauteils ergibt die materialbezogene Entsorgungskennzahl des Bauteils.

5. Berücksichtigung der Fraktionsanzahl

Diesen Kriterien liegt die Hypothese zugrunde, dass die hochwertige Entsorgung von Baurestmassen umso wahrscheinlicher ist, je höher der Anteil einer Reststoff-Fraktion ist.

Die Baustoffe werden daher den 3 Fraktionen „organisch“, „mineralisch“ und „metallisch“ zugeordnet, die sich grundsätzlich in den Entsorgungswegen unterscheiden.

Wenn das gesamte Bauteil im Wesentlichen (95 %) nur aus einer Fraktion besteht, wird die Entsorgungskennzahl des Bauteils um 0,1 herabgesetzt.

Übersichtstabelle zur Einstufung der Entsorgungseigenschaften von Baustoffen

	Art	1	2	3	4	5
A	Recycling	Wiederverwendung: Recycling zu technisch vergleichbarem Sekundärprodukt oder -rohstoff	Recyclingmaterial ist hochwertiger Rohstoff mit hohem Marktwert; Recycling zu technisch vergleichbarem Sekundärprodukt oder -rohstoff nach Aufbereitung/Trennung	Recyclingmaterial ist hochwertiger Rohstoff mit niedrigem Marktwert	Recycling technisch möglich, aber wegen zu großem Aufwand nicht praktikabel (z.B. großer Reinigungs- oder Transportaufwand) Downcycling zu minderwertigeren Produkten	Recycling mit technisch und wirtschaftlich nicht vertretbarem Aufwand verbunden
B	Verbrennung	Energetische Verwertung, Abfall erfüllt Kriterien für Brennstoff nach BImSchV* für Öfen <15 kW	Energetische Verwertung, Abfall erfüllt Kriterien für Brennstoff in größeren Anlagen z.B. betriebliche Anlagen nach FAV** bzw. BImSchV* > 50 kW möglich	Energetische Verwertung in Müllverbrennungsanlagen bzw. Anlagen zur Mitverbrennung	Verbrennung nach Aufbereitung (z.B. Reinigung von mineralischen Bestandteilen)	Verbrennung von Materialien mit höherem Gehalt an Metall- und Halogenverbindungen (> 1M%) oder klimaschädlichen Substanzen (HFKW)
C	Ablagerung	Kompostierung bzw. Vererdung	Ablagerung auf Baurestmassen- bzw. Inertstoffdeponien	Gesetzl. Ablagerung auf Baurestmassendeponie möglich, aber problematisch	Beseitigung auf Massenabfalldeponie oder Reststoffdeponie bzw. Deponien für nicht gefährliche Abfälle; Emissionen in die Umwelt möglich	Gefährlicher Abfall aufbereitet für Ablagerung, starke Verunreinigungen (Schamotterohr), problematisches Verhalten (Metalle)

* BImSchV :BGBl I S. 491 Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen, zuletzt geändert 2001, BGBl. I S 1950 (Deutschland)

Tabelle 14: Einstufung der Entsorgungseigenschaften und Verwertungspotentiale von Baustoffen

9.2.1.2. klima:aktiv Dienstleistungsgebäude und Total Quality Building

In den Gebäudebewertungen „klima:aktiv Dienstleistungsgebäude“ und „Total Quality Building“ wird die im Rahmen des Passivhaus-Bauteilkatalogs entwickelte Methode für Baukonstruktionen herangezogen, um einen Entsorgungsindikator für das gesamte Gebäude zu berechnen.

Der Entsorgungsindikator stellt ein mit Entsorgungs- und Recyclingeigenschaften gewichtetes Volumen dar. Die Bilanzgrenze für den Entsorgungsindikator des Gebäudes ist dieselbe wie für den OI3 (thermische Gebäudehülle mit folgenden Unterschieden:

- Fenster und Türen werden im Entsorgungsindikator nicht berücksichtigt.
- Die Nutzungsdauer der Baustoffschichten ist zu berücksichtigen.
- Hinterlüftete Konstruktionen sind zu berücksichtigen.

Der EI eines Gebäudes ist der flächengewichtete Mittelwert der Entsorgungsindikatoren der Konstruktionen (EI_{Kon}).

Jedes Bauteil innerhalb der Bilanzgrenze wird in mehreren Schritten bewertet.

1. Berechnung des anfallendes Volumen
2. Gewichtung mit der Entsorgungseinstufung der Baustoffe
3. Gewichtung mit dem Verwertungspotential der Baustoffe
4. Addition der Baustoffergebnisse
5. Berücksichtigung der Abfallfraktionen

Die aus diesem Verfahren für jeden Bauteil resultierenden Entsorgungsindikatoren EI_{Kon} werden durch die Flächen gemittelt und so der Entsorgungsindikator EI des Gebäudes errechnet. Die Zuordnung der klima:aktiv Punkte erfolgt durch folgende lineare Funktion:

50 Punkte für $EI < 1,0$

- $25 \cdot EI + 75$ Punkte für $1,0 < EI < 3,0$

0 Punkte für $EI > 3,0$

9.2.1.3. ABC-Disposal

Ziel von ABC-Disposal war die Entwicklung einer Methode zur systematischen Bewertung der Entsorgungseigenschaften von Baumaterialien am Ende des Gebäudelebensweges, wobei unter dem Begriff „Entsorgung“ sämtliche Behandlungsmöglichkeiten für Abbruchmaterialien (Wiederverwendung, stoffliche Verwertung, thermische Verwertung, Beseitigung) verstanden wurden. Der Entwicklung der Bewertungsmethode ging eine umfassende Grundlagenrecherche über die Entsorgungseigenschaften und -praxis der relevanten Baumaterialien voraus.

Die Schwierigkeit bei der standardmäßigen Anwendung liegt in der Komplexität der Fragestellung, das derzeit noch kein einfaches Schema erlaubt, das auf Knopfdruck eindeutige Ergebnisse liefert. Anders als bei der Ökobilanz der Gebäudeerrichtung, die eindeutig definiert werden kann, gibt es beim Abbruch unterschiedlichste Vorgangsweisen – vom verwertungsorientierten Rückbau bis zum „Abbruch mit der Birne“ – so dass die unterschiedlichen Fraktionen, die ins Recycling, zur Verbrennung oder in die Deponierung wandern, sehr unterschiedlich aussehen können.

In ABC-Disposal wird von einem verwertungsorientierten Rückbau ausgegangen. Die Entsorgungsprozesse (Entsorgungswege der Baumaterialien, Aufbereitung, Recyclingverfahren) werden in Abhängigkeit von der Einbausituation definiert und orientieren sich am derzeitigen Stand der Technik). Die Entsorgungsprozesse werden mittels quantitativer und qualitativer Indikatoren abgebildet.

Für die quantitative Bewertung wird die Ökobilanz-Methode nach CML (2001) herangezogen. Als wesentliche Quelle für Ökobilanzdaten zu Entsorgungsprozessen dient ECOINVENT v 2.0.

Die qualitative Bewertung beruht auf einem Raster, mit dem die Entsorgungseigenschaften der anfallenden Baumaterialfraktionen bewertet werden. Dabei wird das Verhalten der Baumaterialien auf den drei Entsorgungswegen Recycling, Verbrennung und Deponierung den vier Qualitätsstufen „1=ausgezeichnet“ bis „4=problematisch“ zugeteilt. Messgröße ist die Masse.

		1 Ausgezeichnet	2 Sehr gut	3 Mit Schwachstellen	4 Problematisch
1	Recycling	Wiederverwendung, -verwertung zu technisch gleichwertigem Sekundärprodukt oder -rohstoff	Recyclingmaterial wird mit geringem Aufwand sortenrein gewonnen und kann hochwertig verwertet werden.	Recyclingmaterial ist verunreinigt, kann mit höherem Aufwand rückgebaut und nach Aufbereitung verwertet werden	Downcycling
2	Verbrennung	Hoher Heizwert (> 11 MJ/kg), sortenrein, natürliche Metall- und Halogengehalte im ppm-Bereich	Hoher Heizwert, geringe Metall- oder Halogengehalte (< 1 M%)	Hoher Stickstoffgehalt oder geringer Heizwert, geringe Metall- oder Halogengehalte (< 1 M%)	Hoher Metall- oder Halogengehalt
3	Deponierung	Zur Ablagerung auf Inertabfalldeponie geeignete Abfälle	Mineralische Baurestmassen mit geringen Verunreinigungen, ausgenommen der in Klasse 3 und 4 eingeordneten Materialien	Baurestmassenqualität Anh. 2 Tab. 2, insbesondere gipshaltige, faserförmige oder mineralisierte organische Materialien sowie Materialien mit geringen nicht-mineralischen Bestandteilen	Organisch-Mineralischer Verbund, Metalle als Verunreinigungen von Baurestmassen

Tabelle 15: Beurteilungskriterien für die qualitative Einstufung beim Rückbau eines Gebäudes anfallenden Fraktionen nach ABC-DISPOSAL (2009)

Beispiele für die Einstufung diverser Fraktionen zeigt die folgende Tabelle:

	Art	1 Ausgezeichnet	2 Sehr gut	3 Mit Schwachstellen	4 Problematisch
1	Recycling	Sortenreiner Beton, Metall, Pflastersteine, Kies, KVH, Leimbinder, Asphalt	Beton, Ziegel, Dachziegel, Kalksandstein	mit organischer Bestandteilen verunreinigter Beton und Ziegel	PVC-Fenster, Verbundmaterialien, z.B. EPS-Beton
2	Verbrennung	Unbehandelte Produkte aus Holz (Latten, Verschalungen)	Beschichtetes Holz, Polyethylen, EPS, ...	EPS-WDVS, Bitumenbahnen, Schafwolle, Polyurethan	Produkte aus Weich-PVC (Bodenbeläge, Folien, ...), Metalle
3	Deponierung	Glas, Keramik, Fliesen	Nicht recycelbarer Beton, Ziegel und Porenbeton; Mineralschaumplatte, Schaumglas, Perlite, Blähton, Blähglas	Glaswolle, Gipskarton/faserplatten, Gipsputz, auf Beton anhaftender Kunststoff, min. geb. Holzspan/ Holzwolle, Bitumen, Faserzement	Metalle, EPS-Beton, EPS-Schalsteine, Schalsteine mit organischem Dämmmaterial

Tabelle 16: Beispiel für die Einstufung der beim Rückbau eines Gebäudes anfallenden Fraktionen

Mit diesen Grundlagen stellt sich die Vorgangsweise bei der Bewertung der Entsorgungseigenschaften des Gebäudes folgendermaßen dar:

- Virtueller Rückbau: Erstellen der Massenbilanz des Gebäudes, aufgeschlüsselt nach den eingesetzten Baumaterialien in Abhängigkeit ihrer Verbindung zu den angrenzenden Bauteilschichten (= ihrer Trennbarkeit)
- Zuordnung von Entsorgungswegen zu den erhaltenen Baustofffraktionen.
- Quantitative Bewertung (Ökobilanz)
- Qualitative Bewertung („Entsorgungsmatrix“)

Von den „ABC-Disposal“-Projektpartnern wurde die im Passivhaus-Bauteilkatalog vorgenommene gleichberechtigte Einstufung der drei Kategorien „Recycling“, „Verbrennung“, „Deponierung“ abgelehnt. Recycling müsse als der beste, die Deponierung als der schlechteste Entsorgungsweg aus dem Bewertungsprozess hervorgehen. ABC-Disposal stoppt daher bei einer Quantifizierung der in den jeweiligen Kategorien und Stufen anfallenden Mengen. Die folgende Abbildung zeigt

beispielhaft das Ergebnis für ein Einfamilienhaus in unterschiedlichen Bauweisen und unter Berücksichtigung unterschiedlicher Szenarien.

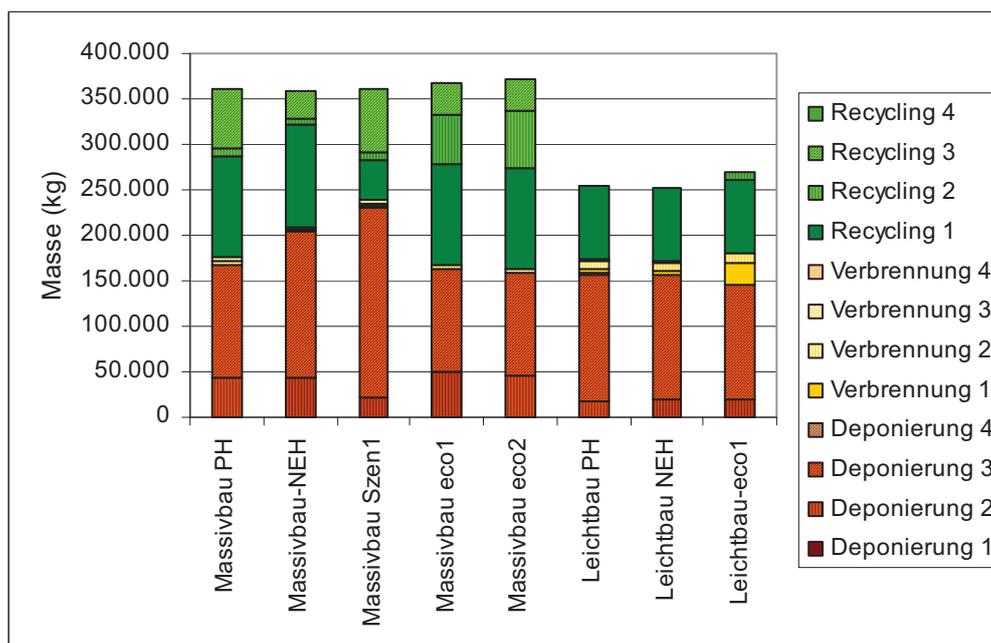


Abbildung 179: Grafische Darstellung der Ergebnisse aus der qualitativen Bewertung des IBO-Einfamilienhauses in unterschiedlichen Varianten.

Die ABC-Disposal-Bewertungsmethode ergibt derzeit ein sehr transparentes Bild über die anfallenden Abfallmengen und deren qualitativen Einstufung.

Die entwickelte Methode ist derzeit gut geeignet, unterschiedliche Maßnahmen oder Szenarien an ein und demselben Gebäude abzubilden und zu bewerten. Für einen Vergleich unterschiedlicher Gebäuden fehlt entweder noch eine Normierung (z.B. prozentuelle Angaben) oder eine Bezugsgröße. Dazu soll die weitere, kontinuierliche Beschäftigung mit dem Thema führen.

In der engeren Auswahl für die Wahl der Messgröße stehen Masse oder Volumen. In ABC-Disposal wurde gemeinsam mit den Experten aus der Entsorgungspraxis die Masse als Messgröße festgelegt. Dabei wurden die Vorteile (die Bewegung von Massen hat Einfluss auf viele ökologische Wirkungen, die Funktionseinheit der Entsorgungsprozesse in ecoinvent v2.0 ist die Masse) und die Nachteile (leichte Materialien wie Dämmstoffe oder sperrige Materialien nehmen ebenfalls beträchtlichen „Raum“ ein, werden aber über die Masse nicht entsprechend erfasst) abgewogen.

Bei Messgröße „Masse“ liegt das entscheidende Optimierungspotential darin, dafür zu sorgen, dass die mineralischen Baurestmassen möglichst sauber und sortenrein zurückgewonnen und damit recycelt werden können. Dieses Ergebnis ist zweifelsohne auch bei anderen Messgrößen und Systemgrenzen gültig, könnte aber durch weitere Erkenntnisse bereichert werden, wenn zusätzlich das Volumen als Bezugsgröße herangezogen werden würde.

Weiters wurde in ABC-Disposal die 5-stufige Matrix des Passivhaus-Bauteilkatalogs auf eine 4-stufige Matrix reduziert. Dies schien förderlich, da im Gegensatz zum Passivhaus-Bauteilkatalog keine Aggregation zu einer Einzahlbewertung erfolgt und weniger Qualitätsstufen eine die auszuwertende Information überschaubarer macht. Als nachteilig stellte sich heraus, dass im Entsorgungsweg „Deponierung“ dadurch zu wenig zwischen geringfügig verunreinigten Baurestmassen (z.B. Beton mit Bitumenabdichtung und größerem Materialmix (z.B. Holzmantelbeton) – beides Stufe 3 – unterschieden werden kann.

Mit der Methode können Baumaterialien und Gebäude bewertet werden. Baukonstruktionen werden damit nicht direkt abgebildet.

9.2.1.4. C2C

Autor: Dr. Heinz Gattringer (alchemia)

Cradle to Cradle kennt – wie die Natur – keinen Abfall, keinen Verzicht und keine Einschränkungen. Über biologische und technische Nährstoffkreisläufe werden die richtigen Materialien zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort eingesetzt. Am Ende steht immer eine bessere Qualität.

Die Produktionsweise „Von der Wiege zur Wiege“ (Cradle to Cradle) steht hierbei im direkten Gegensatz zu dem Modell „Von der Wiege zur Bahre“ (Cradle to Grave), in dem Materialströme häufig ohne Rücksicht auf Ressourcenerhaltung errichtet werden.

Die auf der Erde vorhandenen Materialströme können in zwei Kategorien eingeordnet werden: Biomasse und Industriemasse. Bei beiden Materialströmen handelt es sich um biologische und technische Nährstoffe. Intelligentes Produzieren bedeutet, dass alle Materialien sicher innerhalb eines Metabolismus', entweder dem biologischen oder dem technischen, zirkulieren können.

Im biologischen Metabolismus werden sämtliche Materialien von Mikroorganismen zu Nährstoffen zersetzt. Biologisch abbaubare Produkte werden zu Kompost, der wiederum Nährboden für neue natürliche Rohstoffe darstellt.

Alle in diesem Metabolismus zirkulierenden Produkte werden als Verbrauchsgüter bezeichnet. Einige Verpackungsmaterialien, Kleidung und auch Verschleißteile wie Autoreifen und Bremsbeläge werden für diesen Kreislauf konzipiert.

Der technische Metabolismus besteht aus künstlich gestalteten und aktiv gesteuerten Materialströmen. Die Idee ist, industrielle Masse auf beständigem Qualitätsniveau in geschlossenen Systemen zirkulieren zu lassen. Die Geschlossenheit des Systems ist Grundvoraussetzung für die mögliche Verwendung toxischer Stoffe. Diese sind für einige Produkte wie z.B. Isolierfenster bisher unersetzlich. Die leichte Demontierbarkeit und die sorgfältige Materialauswahl eines Produkts sind ein wesentlicher Aspekt des Designs.

Produkte und Materialien in diesem Kreislauf werden Gebrauchsgüter genannt. Dieser Name leitet sich vom Konzept eines Dienstleistungs- oder Serviceprodukts ab. Beispielsweise wird eine Waschmaschine nicht mehr gekauft, sondern lediglich deren Dienstleistung gegen eine Gebühr genutzt. Bei diesem Leasingprinzip verbleiben die Materialien im Besitz des Herstellers und gehen nach einer definierten Nutzungsphase an ihn zurück. Einer der Vorteile dieses Systems ist, dass der Hersteller somit höherwertige Materialien einsetzen kann, da er sie zur Wiederverwendung zurück erhält.

Quelle: www.epea-hamburg.org

Gleichzeitig ist er aus betriebswirtschaftlichen Gründen an eine angemessene Langlebigkeit und einer technischen Verlässlichkeit seines Produkts interessiert. Im Gegensatz zu einigen billig Produkten. Diese Strategie wird von der Firma Schüco in einigen Bereichen ihres Sortiments bereits umgesetzt und kann auf Wunsch in Anspruch genommen werden (Fenster, Türen und andere Gebäudehüllenkomponenten).



Quelle: www.ecologic-architecture.org

Bei Baukonstruktionen kann das Problem der langen Zeiträume zwischen Einbau und Recycling von Bauabfällen nur durch Vorsorge berücksichtigt werden. Wenn wir die Verwendung unserer heutigen Bauten bzw. Baustoffe in ferner Zukunft nicht ausreichend genau kennen, so muss zumindest deren Recycling ermöglicht werden.

Zwei Punkte sind wesentlich:

- die Sortenreinheit mit einer aussagekräftigen Deklaration

- die Vermeidung von harten Schadstoffen

Zudem sollten alle Baumaterialien auf ihre Weiterverwendung überprüft werden. Eine gezielte Auswahl von Materialien, bei der schon an eine nächste Nutzung gedacht wird, sollte das Ziel sein.

Die natürlichen Kreisläufe leben vom Nutzen. Jeder profitiert von jedem. Abfälle werden genutzt und neues Leben aufgebaut. Sie werden wirklich wieder verwendet. Braungart hat das Problem grundsätzlich angefasst und den Gedanken vom natürlichen und technischen Kreislauf entwickelt. Wie der natürliche braucht auch der technische Kreislauf Nährstoffe, um sich zu ernähren, d. h. nachhaltig zu funktionieren. Dieser Kreislauf kann nicht am Leben erhalten werden, wenn er vergiftete Nahrung bekommt oder wirklicher Abfall als Nahrung deklariert wird. Auch wird er kaum von Stoffen leben können, auf deren Verpackung zwar Nährstoff draufsteht, aber keiner enthalten ist. Stoffe müssen vorteilhaft verwertbar sein. Nur solche Stoffe dürfen in den Kreislauf eingebracht werden. Ein Kunststoffprofil z. B. muss so sortenrein geschmolzen werden, dass es ein neues Produkt ernähren kann, z. B. ein neues Fenster aus ihm konkurrenzfähig hergestellt und verkauft werden kann. Der Energieaufwand darf dabei nur so groß sein, wie der natürliche oder technische Kreislauf ohne Schaden leisten kann.

Natürliche und künstliche Kreisläufe sind miteinander verbunden und praktisch unendlich. Über lange Zeiträume unterliegen beide der ständigen Veränderung. Diese Veränderung darf aber die beiden Kreisläufe nicht nachhaltig schädigen. Andernfalls ist die Lebensgrundlage zerstört.

Quelle: www.ecologic-architecture.org

Drei Kriterien des Cradle to Cradle Ansatzes divergieren etwas von der üblichen Nachhaltigkeitsdiskussion im Baugewerbe (und allgemein), deshalb werden sie hier gesondert hervorgehoben:

1. Cradle to Cradle predigt nicht Einschränkung und Minimierung. Beim Planen und Ausführen eines Bauvorhabens soll das Objekt nicht ein Monument des Verzichts hinsichtlich Materialmenge, Funktionalität und ästhetischer Qualität sein. So wie die Natur vielfältig, großzügig und verschwenderisch sein kann, darf das auch ein Gebäude sein. Solange es eben keine Materialressourcen verbraucht, sondern nur zeitweise in verbauter Form verwendet. Hierzu sind natürlich der Einsatz intelligenter Produkte und Konstruktionsweisen nötig. Hierzu siehe Punkt 2.
2. Cradle to Cradle setzt voraus, dass die End of Life Optionen eines Produkts und deren werterhaltenden Materialführung im Grunddesign des Produkts mit enthalten sind. Ferner verlangt C2C vom Hersteller, dass er eine Rückgewinnungsstrategie für die Materialien in seinem Produkt dem Käufer anbietet. Diese Strategie ist nur annehmbar, wenn dadurch ein Recycling auf gleichbleibender Qualitätsstufe oder höher möglich ist. Sehr oft bedeutet dies Maßnahmen, die über der vorhandenen, großflächigen und undifferenzierten „öffentlichen“ Abfallverwertungsinfrastruktur gehen. Dies, weil die in Mitteleuropa übliche Recyclinginfrastruktur - die wohl weltführend ist -, bis dato immer noch (im besten Fall) ein Downcycling ist, wenn sie nicht direkt mit einer mehr oder weniger schadstoffarmen Verbrennung oder Deponierung endet. D.h., der Hersteller übernimmt direkt tatkräftige Verantwortung für die End of Life Nutzung seiner Produkte, recycelt diese selber oder in Partnerschaft mit professionellen Wiederaufbereitern und verwendet dann die Recyclingmaterialien erneut für seine Produkte. Er bedarf nicht des Druckes und Zwanges des Gesetzgebers um dies zu erreichen, er vermarktet diese zusätzliche Qualitätsdimension seiner Produkte bewusst und eröffnet sich damit neue Marktsegmente.
3. Ein Cradle to Cradle Gebäude muss immer so breit wie möglich angesetzte Zusatznutzen für die Nutzer selber, die Öffentlichkeit und auch der Natur anbieten. Gebäude sollen z.B. helfen, die Umgebungsluft zu reinigen, überschüssige Energie erzeugen und dem öffentlichen Netz einspeisen, Lebensraum für Pflanzen anbieten, wirtschaftliche und soziale Impulse für die Region setzen, Industriegebäude an Flüssen, die Wasser für Gewerbebezwecke entnehmen, sollen Wasser an den Fluss zurückgeben, das noch sauberer ist als bei der Entnahmestelle; in ländlichen Umgebungen sollen Gebäude z.B. der lokalen Biodiversität dienlich sein. Weitere kreative Ideen sind willkommen und erwünscht.

Ein Kritikpunkt der oft gegenüber dem Cradle to Cradle Ansatz erhoben wird ist an die Kriterien der Großzügigkeit und mangelnder Beschränkung geknüpft. Diese ist letztendlich an den Energieaufwand für kleinstrukturierte Wiedergewinnungslogistik, differenziertes Recycling, längere Transportwege und Energiebedarf für breiter angesetzte Dienstleistungen des Gebäudes geknüpft. Kurz, es wird behauptet, dass der Energiebedarf für Cradle to Cradle Leistungen höher ist, und daher der CO₂-Ausstoß entsprechend höher und klimaschädlicher.

Der höhere Energieaufwand für Cradle to Cradle bewahrheitet sich in den meisten Fällen nicht im Vergleich zum Energieaufwand für die Neuherstellung aus Primärressourcen. Eine höhere Energiebilanz für C2C ergibt sich fallweise im Vergleich zu breitflächigem Downcyclen mit anschließender Verbrennung (nach ein bis zwei Zyklen) in Anlagen mit thermischer Energierückgewinnung. Hier ist der erhöhte Energiekonsum der stofflichen Erhaltung von Materialien und Ressourcen gegenüberzustellen.

Die definitive Antwort liefert Cradle to Cradle mit dem Argument, dass die Energiefrage nur ein Problem ist, weil die moderne Gesellschaft auf die falschen Energieträger aufgesetzt ist: fossile Kohlenstoffressourcen (Erdöl, Kohle, Erdgas). Ironischerweise ist Energie die einzige Komponente im System Erde dass von außen, von der Sonne, in unbegrenzter Menge für die ganze Lebensdauer des Planeten zugeführt wird. In einer Stunde bekommt die Erde die Menge Energie von der Sonne, die dem derzeitigen gesamten Konsum der Menschheit entspricht. Energieverfügbarkeit ist offensichtlich nicht der limitierende Faktor für unsere Existenz.

Klar ist die Notwendigkeit, die Energieversorgung unserer Gesellschaft auf erneuerbare Energieträger umzustellen. Und dies nicht zu knapp bemessen, da Energieverfügbarkeit offensichtlich die Grundlage für viele gewinnbringende, nützliche und kreative Stoffkreisläufe ist. Daher ist auch eine Forderung für Cradle to Cradle Produkte, dass der Energieaufwand für die Bereitstellung der Dienstleistung zunehmend aus erneuerbaren Quellen gedeckt wird. Dadurch kann der Energiebedarf für C2C Lösungen letztendlich nicht mehr Klimarelevant gestaltet werden.

Gerade im Bau kann durch Verwendung biogener organischer Baustoffe (Holz, Stroh, Flachs, Zellstoff, etc.) ein Gebäude zu einer CO₂-Senke umfunktioniert werden. D.h., die Menge an gespeicherten organischen Kohlenstoff ist höher, als die äquivalente Menge die als CO₂ ausgestoßen wurde, um die Energie für die Konstruktion des Gebäudes bereitzustellen.

Das Holzbausystem Holz100 ist weltweit der erste Baustoff, der von Dr. Michael Braungart ausgezeichnet wurde (2009).

Die Kriterien, die für das Cradle to Cradle Prinzip ausschlaggebend sind, sind folgend beispielhaft aufgeführt:

- Kein Bauschutt
- Übriges Holz kann verheizt werden
- Holz = nachwachsender Rohstoff. Das Holz stammt ausschließlich aus nachhaltig bewirtschafteten Forstbetrieben (PEFC – zertifiziert)
- Die Verbindungen werden mit Holzdübeln anstelle von Metallverbindern ohne Einsatz von Leim hergestellt
- Sollte ein Haus nach Jahren abgetragen werden, können die Holzwände wieder in die Holz100 Fabrik gebracht werden, ein Roboter bohrt die Dübel heraus, nimmt die Brettschichten auseinander und ein neues Haus kann entstehen!

Weitere C2C-Zertifizierte Baustoffe sind Keramikfliesen oder Textilien für das Interior-Design und neue Produkte kommen stets hinzu. Ausschlaggebend für Gebäude ist jedoch eine Konstruktionsform, die eine Rückgewinnung der einzelnen Komponenten möglich macht, selbst wenn die einzelnen Komponenten nicht unbedingt C2C-konform sind. Schließlich liegen die Detailsigenschaften und Verfügbarkeit von C2C-Produkten nicht im Einflussbereich des Bauherren bzw. Bauträgers. Er kann jedoch wohl eine wiedergewinnungsbegünstigende Bauform umsetzen. Hier werden Standards nicht vorgeschrieben, innovative und bahnbrechende Neuerungen werden jedoch honoriert und anerkannt.

Anders als bei C2C Produkten, die aus einem Fertigungsprozess stammen, der verändert und optimiert werden kann, ist ein Gebäude, dass nach diesen Kriterien entworfen wird, ein Abbild der

technischen Machbarkeit zu dem Zeitpunkt des Entstehens. Eine komplette Rückführung kann auch nach heutigen Standards bereits angedacht werden. Es gibt einige Grundlagen, die für C2C optimierte Gebäude angewendet werden sollten, wie z.B. ein seltener Erden freier Baustahl, PVC freie Konstruktion oder Gebäudeanstrichfarben, die Luft reinigen können.

9.2.2. Bewertungsschema für Baukonstruktionen

9.2.2.1. Vorgangsweise bei der Methodenfestlegung

In der Zusammenschau der bestehenden Bewertungsmethoden und der neuen Erkenntnisse aus dem vorliegenden Projekt wurden zunächst folgende Eckpunkte für die Bewertung von Baumaterialien, Baukonstruktionen und schließlich auch Gebäuden festgelegt:

- Entsorgungseigenschaften von Baumaterialien (bzw. -abfällen): Baumaterialien, die heute eingebaut werden, werden erst in vielen Jahren entsorgt. Da wir heute keine Kenntnis über die bis dahin verfügbare Technik, Rohstoffverfügbarkeit etc. haben, können wir bei der Bewertung der Entsorgungseigenschaften nur vom heutigen Stand der Technik ausgehen.
- Bewertungsstufen: Die im Passivhaus-Bauteilkatalog und in ABC-Disposal eingeführte Bewertung in Qualitätsstufen soll beibehalten werden. Fünf Bewertungsstufen von 1=sehr günstig bis 5= ungünstig werden erstens als differenzierter und als intuitiver (=Schulnotensystem) als das vierstufige Bewertungssystem in ABC-Disposal angesehen, zweites zeigten sich beim 4-stufigen ABC-Disposal-Schema Schwächen bei der Differenzierung der Deponierungseigenschaften.
- Die in ABC-Disposal – im Gegensatz zum Passivhaus-Bauteilkatalog – postulierte Hierarchie der Entsorgungswege „Stoffliche Verwertung“ vor „thermischer Verwertung“ vor „thermischer Beseitigung und Deponierung“ soll beibehalten werden.
- Als Messgröße sollen zunächst sowohl die Masse als auch das Volumen in Betracht gezogen werden, um die unterschiedlichen Auswirkungen abschätzen zu können.
- Folgende Prozesse werden grundsätzlich für eine Bewertung in Betracht gezogen und im Folgenden eingehender analysiert: Baustellenabfälle, Lebenserwartung, Instandsetzung, Rückbau (Trennbarkeit und Materialvielfalt), Wiederverwendung, Recycling, Verbrennung und Ablagerung.

9.2.2.2. Baustellenabfälle bei der Gebäudeerrichtung

Baustellenabfälle bei der Gebäudeerrichtung standen nicht im Fokus der vorliegenden Studie, sollen hier aber trotzdem kurz besprochen werden.

Bei der Gebäudeerrichtung anfallende Abfälle setzen sich zusammen aus

- Verpackungsmaterialien,
- Verschnittmengen, Bruchstücken und Reststoffen
- Aushubmaterial

Bei Verpackungsmaterialien steht die Vermeidung an erster Stelle, gefolgt von der Verwendung von Mehrwegsystemen. Die getrennte Sammlung ist die Mindestanforderung an Einwegsysteme. Bei der Planung von Baukonstruktionen und Gebäuden liegen für die meisten Baumaterialien keine Informationen über die Verpackungsmaterialien vor, da dies von Produkt zu Produkt verschieden ist. Die Vermeidung von Verpackungsmaterialien wäre daher am besten bei der Beschaffung von Baumaterialien aufgehoben. Bei der Bauteilbewertung wird von einer Bewertung der Verpackungsmaterialien abgesehen.

Auch bei den Baustellenabfällen steht an erster Stelle die Vermeidung. Die Verschnittmenge kann wie im Kapitel 6.1.3 „Materialmenge minimieren in der Planung“ beschrieben durch Verwendung von Fertigteilen, die Anwendung von Standardmaßen und den Verzicht auf verschnittintensive Sonderlösungen, durch die Anwendung von Gestaltungsregeln für wenig Verschnitt, etc. reduziert werden. Reststoffe können durch die genaue Berechnung der benötigten Mengen und Bestellung entsprechender Gebindegrößen bzw. durch die Verwendung verschleißbarer Gebinde reduziert

werden. Wie bei den Verpackungsmaterialien erscheint uns eine Bewertung dieser Planungs- und Ausführungskriterien auf allgemeiner Ebene ohne genaue Kenntnis der eingesetzten Produkte nicht durchführbar.

Die Möglichkeiten des Recyclings von Bauabfällen werden durch eine gute Vorsortierung auf der Baustelle maßgeblich unterstützt. Eine abfallwirtschaftlich optimierte Entsorgung kann durch die getrennte Sammlung erreicht werden. Total Quality Building (TQB) belohnt daher die Bereitstellung entsprechender Sammelbehälter (Mulden, Container) für Holz, Metalle, Restbeton, Asphalt, Bodenaushub, mineralischer Bauschutt und sonstige Baustellenabfälle, in die alle ausführenden Firmen ihre Baurestmassen und Abfälle abgeben. In jenen Fällen, in denen ausreichend Flächen auf der Baustelle selbst zur Verfügung stehen (größer als 60m²) und bei denen eine Bauzeit von ein bis zwei Jahren vorgesehen ist, sollte laut TQB eine Sortierinsel eingerichtet werden. Bei Kleinbaustellen kann durch Stockgestelle das Sammelvolumen und die Verwertungsquote um bis zu 30 % erhöht werden. Eigens geschultes Fachpersonal steigert die Effizienz der Sammellogistik, weshalb in TQB auch die Bestellung eines Umweltkoordinators zur rechtzeitigen Einbeziehung der Umweltaspekte in die Planung und zur späteren Koordination der Akteure auf der Baustelle mit Punkten (5 v. 1000) belohnt wird.

Aushubmaterial ist keine auf Baukonstruktions- bzw. Materialebene bewertbare Kategorie und wird daher an dieser Stelle nicht genauer betrachtet. In Total Quality Building (TQB) werden Punkte (5 v. 1000) verliehen, wenn die Wiederverwendung von Aushubmaterial auf der Baustelle vorgenommen wird und eine Zwischenlagerungsmöglichkeit vorgesehen ist. Weitere Ausführungen zu Aushubmaterial siehe Kapitel 4.3.3.3 „Verwerten von Bodenaushub“.

9.2.2.3. Lebenserwartung

Die Lebenserwartung von Bauteilschichten wird bei der Berechnung der ökologischen Kennwerte berücksichtigt. Schichten, die eine kurze Lebenserwartung als die Betrachtungsdauer von 100 Jahren haben, müssen entsprechend ihren Erneuerungszyklen mehrfach produziert und entsorgt werden. Anstriche mit einer Lebensdauer von 5 Jahren werden somit den 20-fachen Herstellungs- und Entsorgungsaufwand belastet. Eine eigene Bewertungskategorie für die Lebenserwartung ist daher nicht erforderlich. Bei der Planung langlebiger Gebäude sollte aber selbstverständlich auf die Auswahl langlebiger Materialien geachtet werden.

9.2.2.4. Instandsetzung

Die Häufigkeit der Erneuerungsarbeiten wird in der Ökobilanz berücksichtigt (siehe auch vorheriges Kapitel).

Neben den ökologischen Belastungen bei Wartungs-, Erneuerungs- und Sanierungsarbeiten sind auch die personellen Aufwände und die Kontrollierbarkeit der Gebäudebestandteile von Belang. Die Zugänglichkeit der Bauteile erleichtert diese Arbeiten maßgeblich.

Gebäudebestandteile könnten z.B. entsprechend der folgenden Eigenschaften eingestuft werden:

1	Wartungs- oder Instandsetzungsarbeiten sind ohne Aufwand möglich, gute Zugänglichkeit, z.B. Aufputz verlegte Leitungen, haustechnische Anlagen,
2	Wartungs- oder Instandsetzungsarbeiten mit geringem Aufwand möglich, z.B. Demontage und Wiedermontage von Plattenverkleidungen
3	Wartungs- oder Instandsetzungsarbeiten mit mittlerem Aufwand möglich, z. B. UP-Leitungen
4	Zugänglichkeit nicht gegeben, Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten nur mit vorangegangenen Abbrucharbeiten möglich, z.B. Kesselaustausch nur nach Abriss von Bestandteilen der Gebäudehülle möglich.
5	Zugänglichkeit nicht gegeben, Wartung nicht möglich

Die Einstufungskriterien können als Hilfestellung bei der Gebäudeplanung herangezogen werden. Als Bewertungskriterien auf Baukonstruktionsebene sind sie aufgrund der Abhängigkeit von der Einbausituation nicht geeignet.

9.2.2.5. Rückbau (Trennbarkeit und Materialvielfalt)

9.2.2.5.1. Trennbarkeit

Die sortenreine Trennung von Baustoffschichten ist Voraussetzung für ein hochwertiges Recycling bzw. für eine problemlose Entsorgung. Die Wahl der entsprechenden Fügetechnik ist daher bereits in der Planung von größter Bedeutung für den späteren Rückbau. Grundsätzlich ist der Aufwand maßgeblich für die Entscheidung, ob ein geordneter Rückbau erfolgt.

Der Aufwand für die Trennbarkeit einer Schicht könnte entsprechend der folgenden Tabelle in 5 Stufen unterteilt werden:

1	Verbindung ist lösbar (zerstörungsfreie Trennung): Geschichtete Verbindungen oder Formschluss (ingeschnappt, eingehängt, geklemmt, gesteckt, etc.)
2	Verbindung ist bedingt lösbar (zerstörungsfreie Trennung mit Aufwand) oder stoffliche Trennung der Schichten ist einfach möglich: Kraftschlüssige Verbindungen, z.B. Abschrauben von Holzverschalungen, Lösen von Folien, Demontage von Alu-Fassaden, Gipsplatten im Trockenausbau, genagelter Fußbodenbelag, Holzbalkendecke, Brettsper Holzdecke ohne Aufbeton, etc. Absaugen von Materialien, die in eine Konstruktion eingeblasen wurden
3	Eine stoffliche Trennung ist mit mittlerem Aufwand durchführbar, üblich bzw. wirtschaftlich innovativ möglich: z.B. Abschlagen von Putzen, die nur mechanisch am Untergrund haften bzw. leicht zu lösen sind, Ablösen von mit Haftklebstoffen verlegten Bodenbelägen vom Estrichen. Eine stoffliche Trennung ist nur bis zu einem gewissen Grad erforderlich: z.B. rein mineralische Wandaufbauten wie vermörteltes und verputztes Ziegelmauerwerk.
4	Eine stoffliche Trennung ist zwar möglich, aber nur mit großem Aufwand (Stoffschluss): wie z.B. das Abschlagen von gut anhaftenden Putzen, Brettsper Holzdecke mit Aufbeton, flächig verklebter Bodenbelag, Estrichtrennfolien.
5	Verbindungen ist nur mit Schädigung oder Zerstörung der Füge Teile lösbar (Stoffschluss): z.B. geschweißte und geklebte Verbindungen, Sandwichmaterialien, geklebte und gedübelte Wärmedämmfassaden, Armierungsgewebe, aufgeflämmte Bitumenbahnen, EPS-Beton, Holzwolledämmplatten.

Nur die ersten beiden Stufen entsprechen den Anforderungen einer lösbaren bzw. bedingt lösbaren Verbindung gemäß Definitionen im Kapitel 5.2.3 Parameter für die konstruktive Ausführung. Hier besteht prinzipiell die Möglichkeit der Wiederverwendung bzw. Wiederverwertung. Ab Stufe 3 ist nur eine stoffliche Trennung und damit nur eine stoffliche Verwertung der Schichten möglich.

Bei der Beurteilung der Trennbarkeit von Baukonstruktionen als eigene Bewertungskategorie stehen zwei Fragen im Vordergrund:

- Aggregation der Trennbarkeit der einzelnen Schichten
- Redundanz mit den Bewertungskategorien „Wiederverwendung“, „Recycling“, „Verbrennung“ und „Ablagerung“

Ad a) Innerhalb einer Baukonstruktion können einzelne Schichten sehr gut voneinander trennbar sein, andere gar nicht. Wie soll daher die Konstruktion insgesamt bewertet werden? Eine Möglichkeit wäre die Anzahl der trennbaren Schichten zu bewerten. Dabei wird aber übersehen, dass z.B. die Trennbarkeit von zwei Schichten wegen ihres problematischen Verhaltens oder der großen Einsatzmenge von besonderer Bedeutung für die Recyclierbarkeit der Konstruktion wären. Zweiteres würde für eine Bewertung der Menge der trennbaren Schichten sprechen, besonders problematisches Verhalten von nicht trennbaren Schichten wird aber auch dadurch nicht berücksichtigt. Auch umgekehrt kann es tlw. unerheblich sein, ob Schichten voneinander getrennt werden können, z.B. wenn sie gemeinsam wiederverwendet, verwertet oder unproblematisch entsorgt werden können.

Ad b) Die Trennbarkeit ist eine wichtige Voraussetzung für die Einstufung von Bauteilschichten in den Bewertungskategorien „Recycling“, „Verbrennung“ und „Ablagerung“. Nicht trennbare Schichten werden nicht wiederverwendbar sein, die Recyclierbarkeit wird herabgesetzt, wenn sich auf dem recycelbaren Material Verunreinigungen mit anderen Materialien befinden.

Fazit: Wegen der Redundanz mit den Bewertungskategorien „Wiederverwendung“, „Recycling“, „Verbrennung“ und „Ablagerung“ ging sie bisher (Passivhaus-Bauteilkatalog, ABC-Disposal) nicht als explizite Bewertungskategorie in den „Entsorgungsindikator“ ein. Nichtsdestotrotz ist die Trennbarkeit der Schichten ein wichtiges Auswahlkriterium für Baukonstruktionen bei der Gebäudeplanung. In der vorliegenden Studie wird die Trennbarkeit von Baukonstruktionen daher folgendermaßen bewertet:

1	Keine Trennung erforderlich (z.B. unverputzte Lehmziegelwand)
2	Alle Schichten sind lösbar verbunden (kraftschlüssig oder lösbare Klebungen)
3	Einzelne verklebte Schichten
4	Alle Schichten untereinander verklebt, trennbar
5	Wesentliche Schichten sind nicht oder nur mit hohem Aufwand trennbar

9.2.2.5.2. Materialvielfalt

Diesem Kriterium liegt die Hypothese zugrunde, dass das hochwertige Recycling von Baurestmassen umso wahrscheinlicher ist, je „verwandter“ die anfallenden Reststoff- Fraktion sind. Die Baustoffe werden daher den 3 Fraktionen „organisch“, „mineralisch“ und „metallisch“ zugeordnet, die sich grundsätzlich in den Entsorgungswegen unterscheiden.

1	Ein Hauptmaterial mit maximal geringen Schichten "verwandten" Nebenmaterials (z.B. Ziegel mit KZ-Verputz und Mörtel), Holzmassivwand mit unverputzter Holzfaserplatte, mineralisch verspachtelte Betonwand)
2	Rein mineralische / Reine nawaro Konstruktion aus mehreren Schichten (Gipskartonwand, Ziegelwand mit Vorsatzschale) oder 1 Hauptmaterial mit "nicht verwandten" Nebenschichten (z.B. tapezierte Stahlbetonwand)
3	Mix aus je einem organischen und einem mineralischen Hauptmaterial (z.B. EPS-WDVS auf mineralischer Konstruktion) bzw. organisch-mineralischer Materialverbund aus (Holzmantel ohne Wärmedämmung) Rein mineralische bzw. rein organische Konstruktion aus mehreren Schichten mit geringfügigen organischen bzw. mineralischen Bestandteilen (Holzleichtbauwand mit nawaro Dämmstoffen, aber mineralischer Fassadenverkleidung)
4	Höhere Anzahl an mineralischen und organischen Materialien (Stahlbetonwand mit Abdichtung und WDVS, Holzmantel mit WDVS)
5	Hohe Anzahl an mineralischen und organischen Materialien (Duodach mit vielen Schichten), verklebte Schichten mit metallischen Bestandteilen

Die Recyclingquote für trennbare metallische Konstruktionsbestandteile wie z.B. Metallsteher ist so hoch (85 %), dass sie nicht als Bestandteil des Materialmixes für die Entsorgung betrachtet werden.

9.2.2.6. Wiederverwendung

Von Wiederverwendung spricht man, wenn einzelne Bauteile bzw. Baustoffe ohne mechanische oder stoffliche Behandlung eingesetzt werden können. Ausschlaggebend für die Wiederverwendbarkeit ist einerseits der Aufwand für den unzerstörte Trennung als auch die Möglichkeit der neuerlichen Verwendung. Manchmal ist auch ungeachtet des hohen Aufwands die Wertschöpfung des Materials ausschlaggebend, z.B. Fliesen aus Gründerzeithäusern, wertvolle Türen, Fenster,... Da die Wiederverwendbarkeit entweder eine direkte Folge der Trennbarkeit oder eine Frage der Wertigkeit der eingebauten Materialien oder eine über die Konstruktion hinausgehende Frage der Verbindung der Elemente ist wird sie bei der Bewertung der Konstruktionen nicht als eigene Kategorie bewertet. Die Wiederverwendbarkeit von Baumaterialien wird als Teil des Recycling (der stofflichen Verwertung) angesehen.

9.2.2.7. Recycling, Verbrennung, Deponierung

9.2.2.7.1. Festlegung und Benotung des Entsorgungsweges

Wie in ABC-Disposal und Passivhaus-Bauteilkatalog wird von einem verwertungsorientierten Rückbau ausgegangen. Diese Vorgangsweise hat sich als sinnvoll erwiesen, da bei einem „Abbruch mit der Birne“ alle noch so engagierten Bemühungen in der Planung zunichte gemacht

und ihren Sinn verlieren würden. 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 eingestuft. Dies bedeutet, dass nur von heute bereits existierenden Technologien ausgegangen wird. Von diesen Technologien sind wiederum viele heute wirtschaftlich noch uninteressant und werden daher nicht eingesetzt. So gibt es z.B. Fräsmaschinen, die Putze sauber vom Untergrund trennen können oder Bitumenschichten vom Beton fräsen können. Für Mineralwolle oder Gipskartonplatten gibt es bereits funktionierende Recyclingversuche mit Baustellenabfällen, es ist daher davon auszugehen, dass auch Abbruchmaterialien recycelt werden könnten. Es fehlt jedoch der wirtschaftliche Antrieb für die Anwendung all dieser Technologien. Für die Einstufung bedeutet dies, dass Materialien, für die noch nicht genutzte Technologien bestehen, ev. schlechter bewertet werden als es der Entsorgungspraxis in 50 Jahren entsprechen wird.

Ausgangspunkt für die Bewertung der Eigenschaften von Baumaterialien in die in ABC-Disposal erarbeitete Bewertungsmatrix sein. Es wird jedoch ein 5-stufiges statt einem 4-stufigen System bevorzugt. Einige Einstufungstexte mussten daher umdefiniert bzw. neu eingeführt werden.

	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 nicht-organischen 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 nicht-mineralischen Bestandteilen, z.B. Mineralische Baurestmassen mit organischen Verunreinigungen durch Bitumen oder WDVS-Resten
4	Downcycling	Hoher Stickstoffgehalt, hoher Anteil mineral Bestandteile oder erhöhter Metall- oder Halogengehalte (3-10 M%)	Gipshaltige, faserförmige oder mineralisierte organische Materialien sowie Mat. mit höheren nicht-mineralischen Verunreinigungen.
5	Kein Recycling möglich	Hoher Metall- oder Halogengehalt	Organisch-Mineralischer Verbund, Metalle als Verunreinigungen von Baurestmassen

Tabelle 17: Beurteilungskriterien für die qualitative Einstufung der Entsorgungseigenschaften von Baukonstruktionen im vorliegenden Projekt.

Beispiele für die Einstufung diverser Fraktionen im vorliegenden Projekt zeigt die folgende Tabelle:

	Recycling	Verbrennung	Deponierung
1	Sortenreiner Beton, Metalle, Pflastersteine, Schüttungen, KVH, Leimbinder, Asphalt	Unbehandelte Produkte aus Holz (Latten, Verschalungen), Holzfasernplatten (Nassverfahren), Kork	Glas, Keramik, Fliesen
2	Sauberer Beton, Ziegel, Dachziegel, Kalksandstein	Beschichtetes Holz, Holzwerkstoffe, Polyethylen	Nicht recycelbarer Beton, Ziegel und Porenbeton; Mineralschaumplatte, Schaumglas, Perlite, Blähton, Blähglas, Lehmplatten
3	Mit organischer Bestandteilen verunreinigter Beton	EPS, Hanf, Flachs, Schafwolle, Stroh, Bitumenbahnen	Beton mit gering anhaftenden organischen Bestand-

	und Ziegel		teilen (Kunststoff, Bitumen, Holz); Faserzement; mineral Putze und Mörtel
4		EPS-WDVS, PU-Platten, Kunststoffe mit hohem Füllstoffanteil (Gummi, Polyolefinböden), Zellulosefaser	Gipskarton/ faserplatten, Gipsputz, Glaswolle, min. geb. Holzspan/ Holzwolle, Putze und Mörtel mit hohem organ. Anteil
5		Produkte aus Weich-PVC (Bodenbeläge, Folien, ...), Metalle	Metallverunreinigungen, EPS-Beton, EPS-Schalsteine, Schalsteine mit organischem Dämmmaterial

Tabelle 18: Beispiel für die Einstufung der anfallenden Fraktionen

Wie bei ABC-Disposal (und davor auch schon im Passivhaus-Bauteilkatalog) wird eine gemeinsame Bewertung der drei Entsorgungskategorien vorgenommen. Die Bauteilschichten werden dem heute gängigen Entsorgungsweg zugeordnet und entsprechend der Bewertungsmatrix eingestuft. Neu eingeführt wurde, dass „Recycling“ und „Verbrennung“ nur bis zur Stufe 3 als Verwertung gezählt werden. Stufe 4 und 5 werden ebenso wie alle Stufen der Kategorie „Beseitigung“ zugeordnet.

Die folgende Tabelle zeigt die Vorgehensweise beispielhaft. Der Normalbeton ist mit Bitumenanstrich und -abdichtung sowie Resten der aufgeklebten XPS-Perimeterdämmung verunreinigt und wird daher deponiert (= B3). Die XPS-Dämmung kann nicht vollständig vom Beton getrennt werden, sie wird teils als Verunreinigung deponiert, teils mit mineralischen Verunreinigungen versehen verbrannt (= B4). Splitt und Armierungsstahl können ausgebaut und hochwertig recycelt werden (= R1).

Bauteilschichten	Dicke	Masse	Weg	Note
Vlies (PP)	0,0004	0,35	V	3
Splitt	0,1500	240,00	R	1
Polystyrol extrudiert CO2-geschäumt (XPS)	0,5000	19,00	B	4
Polymerbitumen-Dichtungsbahn	0,0008	21,50	B	3
Bitumenanstrich	0,0006	0,75	B	3
Normalbeton	0,2500	575,00	B	3
Armierungsstahl	0,0016	12,50	R	1
Gipsspachtel	0,0050	8,00	B	4

Tabelle 19: Einstufung der Bauteilschichten in der Entsorgungsmatrix am Beispiel einer erdberührten Außenwand. B = Beseitigung, R = Recycling, V = Verbrennung (thermische Verwertung)

9.2.2.7.2. Zusammenführung

Nach der Benotung aller Bauteilschichten erfolgt im nächsten Schritt eine Zusammenführung für jeden Entsorgungsweg. Als Messgröße dient einmal die Kubatur (m³) und einmal die Masse (kg), die grundsätzliche Vorgangsweise ist aber dieselbe:

- 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.

Tabelle 20 zeigt die Auswertung des Beispiels aus Tabelle 19. Gezeigt sind außerdem die Ergebnisse für die ökologisch optimierte Variante, um die mögliche Variation aufzuzeigen.

Eigenschaft	EAW1.1		Variante	
	Menge	Note	Menge	Note
Recyclierbarkeit (Messgröße: Kubikmeter im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet (R)	17%	1,0	100%	1,0
Thermisch verwertet (V)	0%	3,0	0%	3,0
Beseitigt (B)	83%	3,7	0%	-

Recyclierbarkeit (Messgröße: Kilogramm im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet (R)	29%	1,0	100%	1,0
Thermisch verwertet (V)	0%	3,0	0%	3,0
Beseitigt (B)	71%	3,0	0%	-

Tabelle 20: Zusammenführung der Einstufung der Bauteilschichten aus Tabelle 19 wie oben beschrieben. Unter „Variante“ werden außerdem noch die Ergebnisse für die ökologisch orientierte Variante gezeigt.

Wie aus dem Beispiel ersichtlich unterscheiden sich die Ergebnisse erwartungsgemäß je nach Messgröße wesentlich. Leichte Materialien spielen beim Bezug auf das Volumen eine wesentliche Rolle, während sie beim Bezug auf die Masse eher untergehen.

Die Ergebnisse mit Messgröße Volumen sind differenzierter und aussagekräftiger. Die Kubatur ist unserer Ansicht nach auch die ökologisch relevantere Messgröße für die Entsorgung. Dem steht die Entsorgungspraxis, die sich in der Regel auf Massen bezieht, gegenüber.

9.2.2.7.3. Einzahlbewertung

Da die oben beschriebene Ergebnistabelle doch sehr unübersichtlich ist und eine Interpretation nur innerhalb und nach eingehender 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 2-3
- 3 Beseitigung

Für jeden Entsorgungsweg wird das anfallende Volumen mit der Note und dem Gewichtungsfaktor multipliziert. Die Ergebnisse werden anschließend addiert.

Für das in Tabelle 20 angeführte Beispiel ergibt sich somit folgende Recyclingnote:

$$0,91 \text{ m}^3 * (17 \% * 1,0 * 1 + 0 \% * 3,0 * 2 + 83 \% * 3,7 * 3) / 1 \text{ m}^3 = 8,5$$

Die Ergebnisse geben eine rasche Orientierung, sind aber noch 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 müssen theoretische Grundlagen für die Festlegung der Gewichtungsfaktoren geschaffen werden.

9.3. Bewertung aus ökologischer Sicht

9.3.1. Übersicht

Eine Methode zur Bewertung der Umweltauswirkungen eines Produkts ist die Ökobilanz. Sie beruht auf der Erfassung aller wesentlichen Stoff- und Energieströme (Sachbilanz), die Klassifizierung und Charakterisierung der Substanzen hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen (Wirkungsabschätzung bzw. Wirkbilanz) und die anschließende Auswertung.

Methodische Grundlagen der Ökobilanz sind:

- ISO 14040 Environmental management – Life cycle impact assessment –Principles and framework (ISO 14040: 2006. Oktober 2006)
- ISO 14044 Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006. Oktober 2006)

Die hier verwendeten Daten für die Baumaterialien stammen aus der IBO-Referenzdaten-Liste. Die wesentlichen Rahmenbedingungen und methodischen Vorgaben für die Wirkbilanzerstellung sind unter

http://www.ibo.at/documents/LCA_Methode_Referenzdaten_kurz_091009.pdf

veröffentlicht.

Die Baumaterialien wurden im vorliegenden Projekt bis zum Ende der Produktionsphase bilanziert. Die ökologischen Kennwerte der Bauteile sind die Summe der ökologischen Kennwerte aller eingesetzten Baustoffe pro m². Transporte zur Baustelle und Materialverluste (Verschnitte etc.) sind nicht berücksichtigt.

In der Ergebnistabelle werden

- unter „Herstellung“ die Aufwände für die einmalige Herstellung eines m² Bauteils dargestellt,
- unter „Herstellung und Erneuerung“ außerdem die unterschiedlichen Lebensdauern der einzelnen Schichten berücksichtigt.

In den Abbildungen (siehe Anhang 3: Sammlung von Bauteilaufbauten mit Bewertung aus ökologischer und bauphysikalischer Sicht) werden die Aufwände für die Herstellung und Erneuerung farblich differenziert nach den einzelnen Bauteilschichten dargestellt. Die dafür angesetzten Lebensdauern der einzelnen Schichten werden angeführt.

9.3.2. Primärenergieinhalt

Als Primärenergieinhalt (abgekürzt PEI, auch Primärenergieverbrauch bzw. -bedarf) wird der zur Herstellung eines Produktes oder einer Dienstleistung erforderliche Gesamtverbrauch an energetischen Ressourcen bezeichnet. Der Primärenergieinhalt beinhaltet also z.B. auch die Energieaufwendungen für die Rohstoffgewinnung oder Energieverluste durch Abwärme. Er wird aufgeschlüsselt nach Energieträgern aus nicht erneuerbaren Ressourcen (Erdöl, Erdgas, Braun- und Steinkohle, Atomkraft) und Energieträgern aus erneuerbaren Ressourcen (Biomasse, Wasserkraft, Sonnenenergie und Windenergie). Der Primärenergieinhalt wird aus dem oberen Heizwert aller eingesetzten energetischen Ressourcen berechnet.

9.3.3. Treibhauspotenzial

Das Treibhauspotenzial GWP (global warming potential) beschreibt den Beitrag eines Spurengases zum Treibhauseffekt relativ zu Kohlendioxid. Für jede treibhauswirksame Substanz wird eine Äquivalenzmenge Kohlendioxid in Kilogramm errechnet. Somit kann der direkte Einfluss auf den Treibhauseffekt zu einer einzigen Wirkungskennzahl zusammengefasst werden. Das Treibhauspotenzial kann für verschiedene Zeithorizonte (20, 100 oder 500 Jahre) bestimmt werden. Der kürzere Integrationszeitraum (Zeitspanne, während der das Eingangssignal abgetastet und der durchschnittliche Wert berechnet wird) von 20 Jahren ist entscheidend für Voraussagen bezüglich kurzfristiger Veränderungen aufgrund des erhöhten Treibhauseffekts, wie sie für das Festland zu erwarten sind. Entsprechend kann er verwendet werden, wenn der Temperaturanstieg auf z.B. 0,1 °C pro Dekade begrenzt werden soll. Die Verwendung der längeren Integrationszeiten von 100 und 500 Jahren demgegenüber ist angebracht für die Evaluation des langfristigen Anstiegs des Wasserspiegels der Weltmeere und dient beispielsweise dazu, die Treibhausgase unter der Begrenzung des totalen, anthropogen verursachten Temperaturanstiegs auf z.B. 2 °C zu gewichten. Für Baumaterialien wird meist so wie auch hier der GWP 100 verwendet.

9.3.4. Versauerungspotenzial

Versauerung wird hauptsächlich durch die Wechselwirkung von Stickoxid- (NO_x) und Schwefeldioxidgasen (SO₂) mit anderen Bestandteilen der Luft verursacht. Durch eine Reihe von Reaktionen wie die Vereinigung mit dem Hydroxyl-Radikal (OH*-Radikal) können sich diese Gase innerhalb weniger Tage in Salpetersäure (HNO₃) und Schwefelsäure (H₂SO₄) umwandeln - beides Stoffe, die sich sofort in Wasser lösen. Die angesäuerten Tropfen gehen dann als saurer Regen nieder. Die Versauerung 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 Versauerung sind noch immer nur bruchstückhaft bekannt. Zu den eindeutig zugeordneten Folgen zählt die Versauerung von Seen und Gewässern, die zu einer Dezimierung

der Fischbestände in Zahl und Vielfalt führt. Die Versauerung 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 Versauerung.

Das Maß für die Tendenz einer Komponente, säurewirksam zu werden, ist das Versauerungspotenzial AP (acidification potential).

9.3.5. Lebensdauer und Erneuerungszyklen

Die Lebensdauer einer Bauteilschicht ist jener Zeitraum, der sich von ihrem Einbau bis zum Verlust ihrer funktionalen Anforderungen (bauphysikalische, statische etc.) erstreckt.

Die Erneuerungszyklen sind auf einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren bezogen.

Bauteilschichten mit kürzerer Lebensdauer als der übrige Bauteil, die so eingebaut sind, dass sie ohne Zerstören des übrigen Bauteils ausgewechselt werden können, sind in der ökologischen Beurteilung so viele Male angesetzt, wie sie während der angenommenen Lebensdauer des Gesamtbauteils ausgetauscht werden müssen. Da es sich bei der Anzahl der Erneuerungen um eine theoretisch berechnete Zahl auf Basis der Richtwerte für die Lebensdauern handelt, können auch nicht ganze Instandhaltungszyklen resultieren.

Die Annahmen zu den Nutzungsdauern der einzelnen Schichten sind beim jeweiligen Bauteil angeführt.

9.4. Bewertung aus bauphysikalischer Sicht

Die folgenden bauphysikalischen Kennzahlen werden tabellarisch angegeben:
Gesamtdicke in cm (als Bestandteil der Konstruktionsbeschreibung im Anhang 5)

- Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert in W/m^2K gemäß ÖNORM EN ISO 6946
- Bewertetes Schalldämmmaß R_w gemäß ÖNORM EN 12354-1 bis 4 in dB
- Bewerteter Standard-Trittschallpegel $L_{nT,w}$ gemäß ÖNORM EN 12354-1 bis 4
- In der Kondensationsperiode kondensierende Wasserdampfmenge in kg/m^2a
- In der Austrocknungsperiode ausdiffundierende Wasserdampfmenge gemäß ÖNORM B8110-2 in kg/m^2a
- Wirksame Wärmespeicherkapazität gemäß ÖNORM EN ISO 13786 in kJ/m^2K

Die Statik der gezeigten Details muss für jeden Anwendungsfall überprüft und ggf. angepasst werden.

9.5. Kostenbewertung

Die konventionellen Aufbauten wurden den erarbeiteten kreislauffähigen Konstruktionen gegenübergestellt und auch kostenmäßig bewertet. Die Ergebnisse finden sich in Anhang 1: Kostenbewertung der Bauteilaufbauten.

Bei der Kostenermittlung für die Wand-, Decken- und Dachaufbauten hat sich vor allem eines herausgestellt: Angebot und Nachfrage bestimmen den Markt- und dass viele der eingesetzten Materialien noch richtige Exoten darstellen, spiegelt sich in den Kosten deutlich wider.

Preise für solche Materialien liegen zum Teil 2 bis 3 mal höher als für konventionelle Baustoffe, teilweise gestaltete es sich schwierig an Informationen über Material- und Verarbeitungspreise zu kommen.

In der Kostenbewertung im Anhang sind deshalb die Preise, die auf Basis von Listenpreisen und angenommenen Lohnkosten, geschätzt wurden, extra markiert; einzelne Materialien blieben aufgrund fehlender Informationen sogar gänzlich unbewertet.

Bei größeren Abnahmemengen durch Baufirmen sind Abschläge von 5- 40% möglich, was die angegebenen Preise noch erheblich verändern könnte.

Die Gründe für die hohen Kosten finden sich wahrscheinlich zum einen in der (noch) fehlenden Nachfrage und den daraus resultierenden geringen Produktionsmengen, aber auch in der im Vergleich zu vielen Standardprodukten fehlenden industriellen Herstellung.

Die vergleichsweise hohen Preise betreffen nicht nur Dämmmaterialien wie Glasschaumschotter oder Schaumglasplatten, sondern genauso Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen.

Der Preis für die Dämmung eines Sparrendachs liegt fast beim Dreifachen bei der Ausführung von Flachs anstelle von Mineralwolle (siehe DA1.6), der Preis für die Dämmung einer Holzständerwandkonstruktion ungefähr beim Doppelten bei der Ausführung von Flachs anstelle von Steinwolle (siehe AW1.4 Holzständerwandkonstruktion). Eine ähnliche Situation zeigt sich beim Aufbau AW 1.3a/ Ziegelmauerwerk mit hinterlüfteter Fassade: die Ausführung von Schafwolle zwischen Doppel- T- Trägern anstelle von Steinwolle verdoppelt den Preis für die Dämmung.

Die Kosten für die Lopas Passivhaus- Modulbauweise betragen im Vergleich gesehen 400€ je m² Wand- und Dachfläche (wobei in diesem Preis der Anteil für die Fensterflächen bereits enthalten ist), das bedeutet ca. 2.000€ je m² Nutzfläche (schlüsselfertig).

Minderkosten ergeben sich im Fall des Geschossdeckenaufbaus mit dem Brettsperrholz-Element LIGNO Q3 dadurch, dass die Decke bei einer Ausführung mit Estrich und durch die Befüllung mit Kalksplitt den im Geschoßwohnbau erforderlichen Schallschutz erreicht, und zusätzliche akustische Maßnahmen wie eine abgehängte Deckenkonstruktion entfallen können.

Die Mehr- oder (seltener) Minderkosten der kreislauffähigen Lösungen im Vergleich zu den Standardkonstruktionen sind jeweils für die Gesamtsumme pro m² prozentuell angegeben.

9.6. **Aufbautenkatalog**

9.6.1. **Fundamente**

Je nach statischer Erfordernis können Fundierungen als Platten-, Streifen- oder Punktfundamente ausgeführt werden, in Hinblick auf den späteren Abbruch ist in jedem Fall eine ressourcenschonende Ausführung anzustreben; das bedeutet zum einen eine Minimierung im Materialverbrauch oder zum anderen die Vermeidung von unnötigen Abfall, z.B. durch den Einsatz von mehrfach wiederverwendbaren Elementschalungen.

9.6.2. **Erdberührte Außenwände**

Bei einem konventionellen Aufbau mit Bitumenabdichtung und flächig geklebten XPS Platten werden beim Rückbau die XPS-Platten vor Ort vom Untergrund gefräst und gemeinsam mit der Drainageschicht thermisch verwertet. Der mit Bitumen und Dämmstoffresten verunreinigte Stahlbeton kommt nicht ins Recycling, sondern wird deponiert

Um den Einsatz von Bitumen zu vermeiden, wird für die Herstellung des Kellers die Ausführung als Weiße Wanne oder Braune Wanne mit Bentonitdichtmatten empfohlen. Bentonitdichtmatten bestehen aus Bentonit, eingebettet in PP- Vliese und Gewebe, sowie einer PE- Folie und können in der Regel problemlos von den Wänden entfernt und der Stahlbeton kann somit recycelt werden.

Die Problematik der geklebten Bitumenabdichtung wirft die grundsätzliche Frage auf, welche Funktion der Keller zu erfüllen hat und ob die absolute Trockenheit erreicht werden muss. Bei erdberührten Wänden von Gründerzeithäusern in Wien wurde praktisch nie eine Feuchtigkeitsabdichtung ausgeführt. Je nach Lage im Grundwasser und bei Gewährleistung einer ausreichenden Durchlüftung sind die Keller aber durchaus trocken und zur Nutzung für Lagerräume geeignet.

EAW1.1 Keller Stahlbeton

[cm] *Alternativer Aufbau*

- Erdreich

-	PP Filtervlies
40,00	Schaumglasschotter
25,00	WU-Beton
0,50	Mineralische Spachtelung
65,50	Gesamt

Eine Alternative zur Perimeterdämmung mit Glasschaumschotter sind Schaumglasplatten oder auch Wall-Bags, die von Misapor angeboten werden: mit Glasschaumschotter gefüllte Geofiltergewebe- Bags umschließen als thermische Dämmung die Kellerwände. Der Wall-Bag wird einfach an die Wand montiert und die fertig konfektionierten Kammern anschließend befüllt. Das Geofiltergewebe übernimmt die Funktion einer Schalung und schützt die Kellerwand. Die Wall-Bags können bei einem Neubau auf der Kellerdecke mit überstehendem Geofiltergewebe ganz einfach befestigt werden. Nach dem Befüllen wird das überstehende Geofiltergewebe umgeklappt und dient so als Schutz vor dem Eindringen von Feinanteilen.



Abbildung 180: Big- Bags

Quelle: www.misapor.ch

9.6.2.1. Außenwände

Für die Außenwandkonstruktionen ergeben sich im Sinn der Kreislauffähigkeit verschiedene Möglichkeiten in der Anordnung und der Verbindung der einzelnen Schichten.

Grundsätzlich gilt aber: eine geringe Anzahl an Baustoffen erleichtert das sortenreine Trennen nach der Nutzung und reduziert die Anzahl der unterschiedlichen Entsorgungswege.

Daraus ergeben sich folgende Prinzipien für die Ausführung: ein rein mineralischer Aufbau, also mineralisches Konstruktionsmaterial, mineralische Dämmung, mineralische Putze, oder ein mineralisches Konstruktionsmaterial in Kombination mit einer Dämmung aus nachwachsenden Rohstoffen; aber auch der Einsatz lediglich einem Dämm- Material im gesamten Gebäude erleichtert die Durchführung einer geeigneten Verwertung.

Diese Überlegungen können sowohl im Massiv- wie auch im Skelettbau angewendet werden. Auch Betonkonstruktionen können in Skelettbauweise ausgeführt werden, im Sinne einer rein mineralischen Ausführung mit Füllungen aus Lehm oder Kalksandstein mit einer mineralischen Dämmung.

AW1.1 Stahlbeton mit Wärmedämmverbundsystem (mineralisch)

[cm] *Alternativer Aufbau*

1,00	Silikatputz
28,00	Mineralschaumplatte
20,00	STB-Wand (Ortbeton)
0,50	mineralische Spachtelmasse
49,50	<i>Gesamt</i>

AW1.2a Ziegelmauerwerk mit Putzfassade

[cm]	<i>Alternativer Aufbau</i>
1,00	Silikatputz
1,20	Blähglasplatte
4,00	Hinterlüftung, Tragprofil Wärmedämm-Konsole Phoenix
0,02	PE-Windsperre
18,00	Glaswolle Dämmplatten (mit Glasvlies)
25,00	Ziegel, Hochlochziegel porosiert
1,50	Lehmputz
50,72	<i>Gesamt</i>

AW1.2b Ziegelmauerwerk mit Putzfassade

[cm]	<i>Alternativer Aufbau</i>
1,00	Kalkzementputz
50,00	Hochwärmedämmender Ziegel
1,50	Lehmputz
52,50	<i>Gesamt</i>

AW1.3a Ziegelmauerwerk mit hinterlüfteter Fassade

[cm]	<i>Alternativer Aufbau</i>
2,00	Holzschalung Lärche
4,00	Hinterlüftung, Lattung
0,02	PE-Winddichtung, diffusionsoffen
2,00	Holzschalung (Streuschalung, 1mm Abstand)
22,00	Schafwolle zw. Doppel-T-Träger
25,00	Ziegel, Hochlochziegel porosiert
1,50	Lehmputz
56,52	<i>Gesamt</i>

AW1.3b Ziegelmauerwerk mit hinterlüfteter Fassade

[cm] Alternativer Aufbau	
2,00	Holzschalung / PV-Module
4,00	Hinterlüftung, Tragprofil Wärmedämm-Konsole Phoenix
0,02	PE-Winddichtung, diff.offen
18,00	Glaswolle- Dämmplatten (mit Glasvlies)
25,00	Ziegel, Hochlochziegel porosiert
1,50	Lehmputz
50,52	<i>Gesamt</i>

AW1.3c Ziegelmauerwerk mit hinterlüfteter Fassade

[cm] Alternativer Aufbau	
4,00	Ziegelfassade
2,00	Hinterlüftung, Alu- Unterkonstruktion
0,02	PE-Winddichtung, diff.offen
22,00	Steinwolle
25,00	Ziegel, Hochlochziegel porosiert
1,50	Lehmputz
54,52	<i>Gesamt</i>

AW1.4 Holzständerwand mit hinterlüfteter Fassade

[cm] Alternativer Aufbau	
2,00	Holzschalung Lärche
3,00	Lattung 3/5cm
	- PE-Winddichtung, diffusionsoffen
2,50	Diagonalholzschalung
24,00	Holzrahmenkonstruktion mit Flachsdämmung
2,50	Diagonalholzschalung
	- PE-Dampfbremse
5,00	Lattung, dazw. Flachsdämmung
3,00	Lehmbauplatten
42,00	<i>Gesamt</i>

AW1.5a Holzmassivwand

[cm] Alternativer Aufbau	
2,00	Holzschalung
3,00	Lattung 3/5cm
0,02	PE-Winddichtung, diff.offen
26,00	Flachs zw. Holzkonstruktion
	- Baupapier-Dampfbremse
10,00	Brettsperrholzwand
1,50	Gipskartonplatten
42,52 Gesamt	

AW1.5b Holzmassivwand

[cm] Alternativer Aufbau	
1,00	Silikatputz
26,00	WDVS mit Holzfaser-Dämmplatte
10,00	Brettsperrholzwand
1,50	Gipskartonplatten
38,50 Gesamt	

AW1.5c Holzmassivwand

[cm] Alternativer Aufbau	
2,00	Holzschalung
3,00	Lattung 3/5cm
2,00	Holzweichfaserplatte
	- Windpapier, werkseitig integriert
50,00	Massivholzwand (z.B. Holz100)
57,00 Gesamt	

AW1.5d Holzmassivwand

[cm] Alternativer Aufbau Baukastensystem (z.B. HIB)	
50,00	Holzelemente mit Hohlraumdämmung z.B. aus Hanffasern
50,00 Gesamt	

AW1.6a Fassadenelement

[cm] *Alternativer Aufbau*

1,80 OSB Platte

16,00 EPS- Platte

1,80 OSB Platte

19,60 *Gesamt*

AW1.6b Fassadenelement

[cm] *Alternativer Aufbau Holzrahmenelement optimiert*

2,00 Holzverschalung

3,00 Lattung 3/5cm

- PE-Windsperre

16,00 Doppel-T-Träger dazw. Steinwolle- Dämmung

- Dampfbremse

1,50 Faserzementplatte

22,50 *Gesamt*

AW1.6c Fassadenelement

[cm] *Alternativer Aufbau Holzrahmenelement*

Außenverkleidung

3,00 Lattung 3/5cm

0,02 PE-Windsperre

1,50 Holzfaserplatte

24,00 Wandriegel verleimt, dazw. Steinwolle- Dämmung

0,02 Dampfbremse

1,50 OSB Platte

3,00 Gipsfaserplatten, 2-lagig

9.6.3. Decken

Für Decken gelten in Bezug auf Materialvielfalt und Verbindungstechniken dieselben Prinzipien wie für die Außenwände.

Im Folgenden sind verschiedene Ausführungsmöglichkeiten von Geschoßdecken (Massivbau Stahlbeton oder Holz, Holzrahmenbau) und Fußbodenaufbauten zusammengestellt.

Die bereits im Kapitel 0:

DEL. Entwurfsempfehlungen für kreislauffähige Konstruktionen behandelte Problematik der Demontagefähigkeit von Fußbodenkonstruktionen war ausschlaggebend für die Bevorzugung von Fußbodenaufbau mit Trockenestrich, Doppelbödensystemen, Polsterholzbodenaufbauten oder höhenverstellbaren, trittschalldämmenden Distanzfüßen. Estrich kommt lediglich im Holzbau zum Einsatz, wo die Masse für das Erreichen des erforderlichen Schallschutzes benötigt wird.

DE1.1a Geschoßdecke Massivbau

[cm] Alternativer Aufbau	
-	Bodenbelag (Parkett, Teppich) schwimmend
2,50	Trockenestrichelement, 2-lagig
4,00	Holzfaser Trittschalldämmung
-	PE-Dampfbremse
4,00	Kiesschüttung gebunden
18,00	STB-Decke lt. Statik
-	mineralische Spachtelung
28,50 Gesamt	
10,50 Bodenaufbau	

DE1.1b Geschoßdecke Massivbau

[cm] Alternativer Aufbau	
-	Bodenbelag (Parkett, Teppich) verklebt
3,20	Spanplatten
3,00	Mineralwolle zw. höhenverstell., trittschalldämm. Distanzfüßen
18,00	STB-Decke lt. Statik
-	mineralische Spachtelung
24,20 Gesamt	
6,20 Bodenaufbau	

DE1.1c Geschoßdecke Massivbau

[cm] Alternativer Aufbau	
-	Bodenbelag (Parkett, Teppich) verklebt
3,20	Spanplatten
3,00	Mineralwolle zw. höhenverstell., trittschalldämm. Distanzfüßen
22,00	STB-Decke lt. Statik
-	mineralische Spachtelung
28,20 Gesamt	

DE1.1d Geschoßdecke Massivbau

[cm] *Alternativer Aufbau*

- Holzboden

2,50 Blindboden

5,00 Polsterholz, dazw. Mineralwolle

6,00 Holzfaser- Trittschalldämmstreifen

18,00 STB-Decke lt. Statik

- mineralische Spachtelung

31,50 *Gesamt*

7,50 *Bodenaufbau*

DE1.1e Geschoßdecke Massivbau

[cm] *Alternativer Aufbau*

- Holzboden

2,50 Blindboden

5,00 Polsterholz, dazw. Schafwolle

6,00 Holzfaser- Trittschalldämmstreifen

18,00 Betonhohldiele für Wohnbau

- mineralische Spachtelung

31,50 *Gesamt*

7,50 *Bodenaufbau*

DE1.1f Geschoßdecke Massivbau

[cm] *Alternativer Aufbau*

- Bodenbelag (Parkett, Teppich) verklebt

4,00 Calciumsulfat-Platten

4,00 Mineralwolle zw. höhenverstell., trittschalldämm.
Distanzfüßen (Catstep, Dibo)

3,00 Mineralwolle zw. Distanzfüßen

22,00 STB-Decke lt. Statik

- mineralische Spachtelung

33,00 *Gesamt*

8,00 *Bodenaufbau*

DE1.2a Geschoßdecke Massivholzbau

[cm] *Alternativer Aufbau*

2,00	Parkett schwimmend
5,00	Estrich
-	PE-Folie
3,00	Trittschalldämmung Glaswolle
5,00	Betonplatten/ Ziegelplatten
12,00	Brettsper Holzplatte lt. Statik
1,00	Luftraum
4,00	Schafwolle
3,00	Gipsfaserplatten 2-lagig
35,00	<i>Gesamt</i>
15,00	<i>Bodenaufbau</i>

DE1.2b Geschoßdecke Massivholzbau

[cm] *Alternativer Aufbau*

1,00	Keramischer Belag, verklebt
5,00	Estrich
-	PE-Folie
3,50	Trittschalldämmung Mineralfaser
1,50	Holzfaserverplatte zur Druckverteilung
19,60	Brettsper Holz-Element LIGNO Q3, mit Kalksplitt befüllt
30,60	<i>Gesamt</i>
11,00	<i>Bodenaufbau</i>

DE1.2c Geschoßdecke Massivholzbau

[cm] *Alternativer Aufbau*

2,00	Parkett, verklebt oder schwimmend
3,20	Spanplatten
3,50	Glaswolle Trittschalldämmung 40/35
1,50	Holzfaserverplatte zur Druckverteilung
19,60	Brettsper Holz-Element LIGNO Q3, mit Kalksplitt befüllt
29,80	<i>Gesamt</i>
10,20	<i>Bodenaufbau</i>

DE1.3 Geschoßdecke Holzrahmenbau

[cm] Alternativer Aufbau	
1,00	Bodenbelag, schwimmend
2,50	Trockenestrichelement
3,00	Mineralwolle Trittschalldämmplatte MW-S 35/30
4,00	Schwere Splittschüttung, ungebunden, verdichtet
2,00	Schalung Holz
16,00	Holzkonstruktion, dazw. Schafwolle (5 cm) eingelegt
3,00	Lattung 3/5cm
2,50	Holzverschalung
34,00 Gesamt	
12,50 Bodenaufbau	

DE1.4 Fußboden zu unbeheizt / Keller

[cm] Alternativer Aufbau	
0,50	Feinsteinzeug
0,50	Dünnbettmörtel
2,50	Trockenestrichelement, 2-lagig
4,00	Trittschalldämmung Holzfaser
	- PE-Dampfbremse
4,00	Kiesschüttung gebunden
20,00	STB-Decke lt. Statik
20,00	Glaswolle-Dämmung
1,50	GK-Platte
53,00 Gesamt	
7,50 Bodenaufbau	

DE1.5 Fußboden zu unbeheizt / Keller

[cm] Alternativer Aufbau	
1,00	Textiler Bodenbelag, mit Haftstreifen verlegt
2,50	Trockenestrichelement, 2-lagig
	- PE-Dampfsperre
4,00	Holzfaser-Dämmplatte
22,00	Perlite
20,00	STB-Decke lt. Statik
8,00	Glaswolle-Dämmung
1,50	GK-Platte
59,00 Gesamt	

DE1.6 Fußboden zu Erdreich, oberseitig gedämmt

[cm]	Alternativer Aufbau
0,50	Keramischer Belag
0,50	Kleber
3,30	Faserzement-Trockenestrich
	- PE-Dampfbremse
4,00	Holzfaser-Dämmplatte
26,00	Perlite verdichtet
25,00	WU-Beton
	- Baupapier
15,00	Rollierung
	- PP-Filtervlies
74,30	Gesamt
34,30	Bodenaufbau

DE1.7a Fußboden zu Erdreich, unterseitig gedämmt

[cm]	Alternativer Aufbau
1,00	Textiler Bodenbelag, vollflächig verklebt
3,00	Trockenestrichelement, 2-lagig
4,00	Trittschalldämmung Holzfaser
5,00	Splitt zementgebunden
25,00	Fundamentplatte lt. Statik
	- Schutzfolie (PE, Papier, Geotextil)
24,00	Schaumglasplatten kaschiert
1,00	Polymerbitumenabdichtung 2-lagig
5,00	Magerbeton Sauberkeitsschicht
	- Baupapier
15,00	Rollierung
	- PP-Filtervlies
79,00	Gesamt
13,00	Bodenaufbau

DE1.7b Fußboden zu Erdreich, unterseitig gedämmt

[cm]	Alternativer Aufbau
1,00	Textiler Bodenbelag, vollflächig verklebt

3,00	Trockenestrichelement, 2-lagig
4,00	Trittschalldämmung Holzfaser
-	PE-Dampfbremse
5,00	Perlite
25,00	Fundamentplatte lt. Statik
-	Schutzfolie (PE, Papier, Geotextil)
40,00	Schaumglasschotter
-	Schutzfolie (PE, Papier, Geotextil)
1,00	Polymerbitumenabdichtung 2-lagig
5,00	Magerbeton
-	Rohbauplanum
<hr/>	
80,00	<i>Gesamt</i>
13,00	<i>Bodenaufbau</i>

9.6.4. Dach

Auch bei den Dachaufbauten gelten die gleichen Prinzipien: mechanische Verbindungen erleichtern die Demontage, eine geringe Materialvielfalt begünstigt die Verwertung.

Einzelne Komponenten wie die Dachziegel sind einfach wiederverwendbar, während Blechdeckungen, die verlötet bzw. verschweißt werden, nicht zerstörungsfrei lösbar sind. Kies kann wieder eingesetzt werden, auch für den Begrünungsaufbau ist eine Wiederverwendung möglich.

Flachdach/Duodach bekiest, optional	
DA1.1	Terrassenflächen
<hr/>	
[cm]	<i>Alternativer Aufbau</i>
<hr/>	
4,00	Betonplatten/ optional
10,00	Kies 16/32
-	Filtervlies
5,00	XPS
0,20	PE-Abdichtung
36,00	Schaumglasplatten i. G.
20,00	STB- Decke
0,50	mineralische Spachtelung
<hr/>	
75,70	<i>Gesamt</i>

DA1.2 Flachdach / Warmdach/ extensive Begrünung	
<hr/>	
[cm]	<i>Alternativer Aufbau</i>
<hr/>	
10,00	Vegetationsschicht
-	PP-Filtervlies
5,00	Dränschicht
1,00	Gummigranulat-Schutzmatte

0,20	EPDM Abdichtung
36,00	EPS i. G. 1,8%
	- PE-Dampfsperre
20,00	STB Decke
0,50	mineralische Spachtelung
<hr/>	
72,70	<i>Gesamt</i>

DA1.3 Flachdach / Warmdach/ intensive Begrünung

[cm] Alternativer Aufbau	
25,00	Vegetationstragschicht PP-Filtervlies
1,00	Drainageelement Schutzmatte
0,05	Bitumen Wurzelschutzbahn, Trennlage
0,20	PE-Folie lose verlegt, auf PP-Schutzvlies
42,00	Korkdämmplatten PE-Dampfsperre
20,00	STB Decke
0,50	mineralische Spachtelmasse
<hr/>	
88,75	<i>Gesamt</i>

DA1.4 Flachdach / Warmdach/ Foliendach mit Bekiesung

[cm] Alternativer Aufbau	
6,00	Kies 16/32
0,05	PE- lose verlegt, auf Schutzvlies
42,00	Schaumglasplatten i. G. 1,5%, lose verlegt - PE-Dampfsperre (z.B. Sarnavap 2000)
20,00	STB Decke
0,50	mineralische Spachtelmasse
<hr/>	
68,55	<i>Gesamt</i>

DA1.5 Steildach Massivdach

[cm] Alternativer Aufbau	
	Indach PV Elemente
3,00	Lattung 3/5cm

4,00	Hinterlüftung zw. Konterlattung
-	Diffusionsoffene Dachbahn
2,50	Schalung
52,00	Stroh zw. Sparren
20,00	STB- Decke
0,50	mineralische Spachtelmasse
82,00	<i>Gesamt</i>

DA1.6 Steildach Sparrendach

[cm] Alternativer Aufbau	
0,10	Metalleindeckung (Zink)
3,00	Lattung 3/5cm
4,00	Hinterlüftung zw. Konterlattung
-	Diffusionsoffene Dachbahn
44,00	Flachs zw. Sparren
-	PE-Dampfbremse
3,00	Lattung 3/5cm, Schafwolle
2,50	Lehmbauplatten
56,60	<i>Gesamt</i>

9.6.5. Innenwände

Konventionelle Gipskartonständerwände, die im Innenausbau, vor allem im Wohnbau, sehr häufig eingesetzt werden, sind leicht zu trennen, weil sie nur mechanisch verbunden sind. Theoretisch sind die einzelnen Komponenten wieder einsetzbar, praktisch werden die Gipskartonplatten beim Abbau zerstört, ein Recycling von Gipskartonplatten findet in Österreich derzeit noch nicht statt.

Eine Verbesserung des Systems in Bezug auf die Kreislauffähigkeit liegt einzig im Einsatz von ökologischen Materialien.

Ein weiterer Schritt in Richtung Kreislauffähigkeit ist die Wiederverwendung von Platten. Um dies zu ermöglichen, müssten neue Systeme mit trennbaren Fugen entwickelt werden, die eine zerstörungsfreie Demontage gewährleisten. Voraussetzung für eine Umsetzung sind entsprechend kleinteilige Elemente- zum einen, um den Abbau und den Transport zu vereinfachen, zum anderen, um sie wieder wirtschaftlich einsetzen zu können.

IW1.1 Innenwand nichttragend

[cm] Alternativer Aufbau	
1,50	Lehmbauplatte (Claytec)
7,50	Hanf/ Schafwolle/etc. zw. Metallstehern
1,50	Lehmbauplatte (Claytec)
10,50	<i>Gesamt</i>

IW1.1 Innenwand nichttragend

[cm] *Alternativer Aufbau Ziegelsplittbeton*

0,02 mineralische Spachtelmasse

18,00 Ziegelsplittbeton-Fertigwand

0,02 mineralische Spachtelmasse

18,03 *Gesamt*

IW1.3 Innenwand tragend

[cm] *Alternativer Aufbau Kalksandstein*

1,00 Kalkputz

15,00 Kalksandstein

1,00 Kalkputz

17,00 *Gesamt*

IW1.4a Innenwand nichttragend

[cm] *Alternativer Aufbau*

1,50 Kalkputz

12,00 Kalksandstein

1,50 Kalkputz

15,00 *Gesamt*

IW1.4b Innenwand nichttragend

[cm] *Alternativer Aufbau*

1,50 Lehmputz

12,00 Düwa

1,50 Lehmputz

15,00 *Gesamt*

IW1.4c Innenwand nichttragend

[cm] *Alternativer Aufbau*

1,50	Lehmputz
12,00	Lehmziegel
1,50	Lehmputz
15,00	<i>Gesamt</i>

IW1.4d Innenwand nichttragend

[cm]	<i>Alternativer Aufbau</i>
1,50	Gipsputz
10,00	Ytong
1,50	Gipsputz
13,00	<i>Gesamt</i>

IW1.4e Innenwand nichttragend

[cm]	<i>Alternativer Aufbau</i>
	Gipsspachtel
10,00	Gipsdielen
	Gipsspachtel
10,00	<i>Gesamt</i>

9.7. Übersicht über die Ergebnisse der ökologischen Bewertung

Beschreibung	Aufbau-Nr.	GWP	AP	PEI ne	Trennbarkeit	Materialvielfalt	Recycl.-fähigkeit	Anteil re-cycl.bar
Keller Stahlbeton	EAW1.1	162	0,82	3796	5	4	8,5	17%
	EAW1.1 Var	179	0,59	2644	1	2	1,5	100%
Stahlbeton mit Wärmedämmverbundsystem	AW1.1	112	0,49	1912	4	3	7,6	26%
	AW1.1 Var	110	0,35	1252	4	2	6,0	25%
Ziegelmauerwerk mit Putzfassade	AW1.2	90	0,41	1740	4	3	6,6	34%
	AW1.2 Var a	94	0,42	1640	3	2	5,7	35%
	AW1.2 Var b	73	0,26	1073	1	1	1,4	92%
Ziegelmauerwerk mit hinterlüfteter Fassade	AW1.3	78	0,55	1443	2	3	6,0	47%
	AW1.3	43	0,31	1017	2	3	3,6	30%
Holzständerwand mit hinterlüfteter Fassade	AW1.4	20	0,65	1477	2	4	7,0	28%
	AW1.4	-28	0,38	1091	2	3	3,8	6%
Holzmassivwand	AW1.5	8	0,89	2342	2	3	5,6	38%
	AW1.5 Var a	n.b.	n.b.	n.b.	2	3	n.b.	n.b.
	AW1.5 Var b	n.b.	n.b.	n.b.	3	3	n.b.	n.b.
	AW1.5 Var c	-330	0,70	1211	1	2	0,8	100%
	AW1.5 Var d	n.b.	n.b.	n.b.	2	2	n.b.	n.b.
Sandwichelement	AW1.6	130	0,84	3070	5	3	6,4	1%
	AW1.6 Var a	46	0,37	993	5	2	3,9	0%
	AW1.6 Var b	46	0,37	993	2	3	4,4	21%
Flachdach/ Duodach bekiest, optional Terrassenflächen	DA1.1	162	0,80	3640	5	5	6,0	25%
	DA1.1a	168	0,52	2445	2	4	5,4	37%
Flachdach/ Warmdach/ extensive Begrünung	DA1.2	142	0,75	3484	5	5	6,5	10%
	DA1.2a	150	0,75	3124	2	4	4,9	29%
Flachdach/ Warmdach/ intensive Begrünung	DA1.3	n.b.	n.b.	n.b.	5	5	n.b.	n.b.
	DA1.3 Var	n.b.	n.b.	n.b.	3	5	n.b.	n.b.
Flachdach/ Warmdach/ Foliendach mit Bekiesung	DA1.4	n.b.	n.b.	n.b.	5	4	n.b.	n.b.
	DA1.4 Var	n.b.	n.b.	n.b.	4	3	n.b.	n.b.
Steildach Massivdach	DA1.5	82	0,82	2074	2	4	10,1	31%
	DA1.5 Var	-70	0,41	943	2	3	6,0	20%
Steildach Sparrendach	DA1.6	28	0,48	1371	2	4	10,9	9%
	DA1.6 Var	-36	0,73	1157	2	3	10,1	14%

Beschreibung	Aufbau-Nr.	GWP	AP	PEI ne	Trennbarkeit	Materialvielfalt	Recycl.-fähigkeit	Anteil re-cycl.bar
Geschoßdecke Massivbau	DE1.1	142	0,54	1718	3/3	4	2,5	41%
	DE1.1 Var a	130	0,54	1812	3/2	4	2,4	45%
	DE1.1 Var b	103	0,60	2107	3/2	3	1,0	70%
	DE1.1 Var c	n.b.	n.b.	n.b.	3/2	3	n.b.	n.b.
	DE1.1 Var d	106	0,69	2169	3/2	3	1,5	84%
Geschoßdecke Massivholzbau	DE1.2	n.b.	n.b.	n.b.	3	4	n.b.	n.b.
	DE1.2 Var a	n.b.	n.b.	n.b.	3	4	n.b.	n.b.
	DE1.2 Var b	n.b.	n.b.	n.b.	3	4	n.b.	n.b.
	DE1.2 Var c	n.b.	n.b.	n.b.	3	3	n.b.	n.b.
Geschoßdecke Holzrahmenbau	DE1.3	89	0,40	1358	3	4	4,4	4%
	DE1.3 Var	4	0,34	968	2	4	2,8	4%
Fußboden zu unbeheizt/ Keller	DE1.4	133	0,50	1669	5	4	9,1	0%
	DE1.4 Var	108	0,50	1856	2	4	6,6	34%
Fußboden zu unbeheizt/ Keller	DE1.5	n.b.	n.b.	n.b.	5	4	n.b.	n.b.
	DE1.5 Var	n.b.	n.b.	n.b.	2	4	n.b.	n.b.
Fußboden zu Erdreich, oberseitig gedämmt	DE1.6	165	0,72	2977	5	4	6,2	16%
	DE1.6 Var	141	0,56	2191	2	4	1,5	93%
Fußboden zu Erdreich, unterseitig gedämmt	DE1.7	208	0,88	3636	5	5	7,5	16%
	DE1.7 Var a	n.b.	n.b.	n.b.	3	5	4,6	50%
	DE1.7 Var b	187	0,75	3135	3	5	2,8	84%
GK- Ständerwand 10 cm	IW1.1	19	0,09	337	2	2	2,1	0%
	IW1.1 Var a	8	0,07	315	2	2	1,0	0%
Stahlbetonwand	IW1.2	65	0,20	650	2	2	0,5	93%
	IW1.2 Var	n.b.	n.b.	n.b.	1	1	0,4	100%
Tragende Innenwand	IW1.3	30	0,10	312	5	3	2,4	0%
	IW1.3 Var a	16	0,07	147	2	1	0,5	88%
Nichttragende Innenwand	IW1.4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Die Tabelle gibt eine Übersicht über die Ergebnisse aus der ökologischen Bewertung. Die detaillierten Ergebnisse und Grafiken sind im Anhang 3: Sammlung von Bauteilaufbauten mit Bewertung aus ökologischer und bauphysikalischer Sicht“, die dahinter stehenden Annahmen im Anhang 2: Annahmen zur Berechnung der Recyclierbarkeit und der ökologischen Indikatorwerte abgebildet.

9.8. Übersicht über die Ergebnisse der bauphysikalischen Bewertung

Konventionell	Recycros	Konvent.	Recycros	Konvent.	Recycros	Konvent.	Recycros	Konvent.	Recycros
---------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Bauteile	GUG SP3	U-Wert		Rw-Wert		Wirksame Speichermasse		Lntw	Lntw
		W/m ² K	W/m ² K	dB	dB	innen kg/m ²	außen kg/m ²		
EAW1.1		0,19		64		285			
	EAW1.1		0,19		64	285			
AW1.1		0,15		60		325			
	AW1.1		0,15		62	229			
AW1.2		0,15		49		74			
	AW1.2a		0,15		53	76			
	AW1.2b		0,15		43	76			
AW1.3		0,15		57		70			
	AW1.3a		0,15		57	57			
AW1.4		0,15			51	30			
	AW1.4		0,15		48	18			
AW1.5		0,15		51		45			
	AW1.5a		0,15		48	45			
AW1.5b		0,15		48		45			
	AW1.5c		0,18		48	40			
AW1.6		0,15		33		18			
IW1.1		0,44		45		11	11		
	IW1.1		0,29		33	9	9		
IW1.2		2,75		59		224	224		
	IW1.2		2,15		55	133	133		
IW1.3		1,34		54		61	61		
	IW1.3a		2,41		52	117	117		
IW1.3b		2,13		44		62	62		
	IW1.3c		2,39		53	124	124		
IW1.4		0,93		40		48	48		
	IW1.4		1,96		43	56	56		
DE1.1		0,70		65		102	308	38	
	DE1.1a		0,85		63	52	307		44
	DE1.1b		0,33		64	39	315		43
	DE1.1c		0,34		61	43	315		43
	DE1.1d		0,32		59	43	137		48
DE1.2		0,31			60	28	88	45	
	DE1.2a		0,31		60	25	103		45
	DE1.2b		0,41		70	37	104		38
	DE1.2c		0,36		60	37	39		42
DE1.3		0,17		71		22	111	41	
	DE1.3		0,15		69	27	60		43
DE1/4		0,15		66		102	3		

DE1.4	0,15	62	53	13	
DE1.5	0,15	65	122	6	
DE1.5	0,15	61	52	15	
DE1.6	0,15	69	114	316	
DE1.6	0,14	66	5	315	
DE1.7	0,15	68	102	106	
DE1.7a	0,14	67	52	107	
DE1.7b	0,14	68	59	182	
DA1.1	0,10	67	272		
DA1.1	0,10	65	254		
DA1.2	0,10	65	273		
DA1.2	0,10	65	288		
DA1.3	0,10	65	288		
DA1.3	0,10	61	288		
DA1.4	0,10	65	288		
DA1.4					
DA1.5	0,10	65	280		
DA1.5	0,10	65	296		
DA1.6	0,10	51	55		
DA1.6	0,10	49	32		

10. DEL Synthese der Kataloge aus SP2 und SP3

Ausgehend von dem Bauteilkatalog, den wir aus der Summe der Erkenntnisse aus SP3 erarbeitet haben, wurden in der Synthese mit den Ergebnissen aus der Recherche in SP2 einzelne Baustoffe durch Recyclingmaterialien ersetzt.

10.1. Gegenüberstellung und Kombination der Ergebnisse aus Subpro 2, AP3 und AP4 mit Ergebnissen SP3-AP4

AW Außenwände

EAW1.1 Keller Stahlbeton

[cm]	Alternativer Aufbau
-	Erdreich
-	PP Filtervlies
40,00	Schaumglasschotter
25,00	WU-Beton
0,50	Mineralische Spachtelung
65,50	Gesamt

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
-	Erdreich
-	PP Filtervlies
40,00	Schaumglasschotter
25,00	WU-Beton Slagstar
0,50	Mineralische Spachtelung
65,50	Gesamt

EAW1.2 Keller Betonhohlblockstein

[cm]	Konventioneller Aufbau
	Erdreich
	PP Filtervlies
15,00	Drainagekies 8/32
20,00	XPS, flächig geklebt
1,00	Polymerbitumen- Dichtungsbahn 2-lagig
30,00	Betonhohlblockstein
1,00	Kalkzementputz
67,00	Gesamt

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
-	Erdreich
-	PP Filtervlies
15,00	RC Drainagekies
24,00	Schaumglas Perimeterdämmung
1,00	Polymerbitumen- Dichtungsbahn 2-lagig
30,00	Betonhohlblockstein mit Ziegelsplittzuschlag
0,50	Gipsspachtel
70,50	Gesamt

AW1.1 Stahlbeton mit Wärmedämmverbundsystem (mineralisch)

[cm]	Alternativer Aufbau
1,00	Silikatputz
28,00	Mineralschaumplatte
20,00	STB-Wand (Ortbeton)
0,50	mineralische Spachtelmasse
49,50	Gesamt

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
1,00	Silikatputz
30,00	Holzfaserdämmplatte
20,00	Ziegelsplittbeton
0,50	mineralische Spachtelmasse
51,50	Gesamt

AW1.2a Ziegelmauerwerk mit Putzfassade

[cm]	Alternativer Aufbau
1,00	Silikatputz
1,20	Blähglasplatte
4,00	Hinterlüftung, Tragprofil Wärmedämm-Konsole Phoenix
0,02	PE-Windsperre
18,00	Glaswolle Dämmplatten (mit Glasvlies)
25,00	Ziegel, Hochlochziegel porosiert
1,50	Lehmputz
50,72	Gesamt

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
1,00	Silikatputz
1,20	Blähglasplatte
4,00	Hinterlüftung, Tragprofil Wärmedämm-Konsole Phoenix
0,02	PE-Windsperre
18,00	Glaswolle Dämmplatten (mit Glasvlies)
25,00	Hohlblockstein mit RC Zuschlag
1,50	Lehmputz
50,72	Gesamt

AW1.3a Ziegelmauerwerk mit hinterlüfteter Fassade

[cm]	Alternativer Aufbau
2,00	Holzschalung Lärche
4,00	Hinterlüftung, Lattung
0,02	PE-Winddichtung, diffusionsoffen
2,00	Holzschalung (Streuschalung, 1mm Abstand)
22,00	Schafwolle zw. Doppel-T-Träger
25,00	Ziegel, Hochlochziegel porosiert
1,50	Lehmputz
56,52	Gesamt

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
2,00	Fassadenschindeln aus Holz-Kunststoff-Verbundmaterial
4,00	Hinterlüftung, Lattung/Alu-Unterkonstruktion (Mat. von Baustoffbörse)
0,02	PE-Winddichtung, diffusionsoffen
2,00	Holzschalung (Streuschalung, 1mm Abstand) (Mat. von Baustoffbörse)
22,00	Schafwolle zw. Doppel-T-Träger
25,00	Ziegelsplitt- Recyclingziegel
1,50	Lehmputz
56,52	Gesamt

AW1.3b Ziegelmauerwerk mit hinterlüfteter Fassade

[cm]	Alternativer Aufbau
2,00	Holzschalung / PV-Module
4,00	Hinterlüftung, Tragprofil Wärmedämm-Konsole Phoenix
0,02	PE-Winddichtung, diff. offen
18,00	Glaswolle- Dämmplatten (mit Glasvlies)
25,00	Ziegel, Hochlochziegel porosiert
1,50	Lehmputz
50,52	Gesamt

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
2,00	Holzschalung / PV-Module
4,00	Hinterlüftung, Tragprofil Wärmedämm-Konsole Phoenix
0,02	PE-Winddichtung, diffusionsoffen
18,00	Glaswolle-Dämmplatten (mit Glasvlies)
25,00	Ziegelsplitt- Recyclingziegel
1,50	Lehmputz
50,52	Gesamt

AW1.4 Holzständerwand mit hinterlüfteter Fassade

[cm]	Alternativer Aufbau
2,00	Holzschalung Lärche
3,00	Lattung 3/5cm
-	PE-Winddichtung, diffusionsoffen
2,50	Diagonalholzschalung
24,00	Holzrahmenkonstruktion mit Flachsdämmung*
2,50	Diagonalholzschalung
-	PE-Dampfbremse
5,00	Lattung, dazw. Flachsdämmung
3,00	Lehmbauplatten
42,00	Gesamt

*Alternative: 40 cm Strohballen zwischen Holzunterkonstruktion

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
2,00	Holzschalung Lärche
3,00	Lattung 3/5cm (Material von Baustoffbörse)
-	PE-Winddichtung, diffusionsoffen
2,50	Diagonalholzschalung
28,00	Holzrahmenkonstruktion mit Flachsdämmung*
2,50	Diagonalholzschalung (Material von Baustoffbörse)
-	PE-Dampfbremse
5,00	Flachsdämmung zw. Holzlatten (Material von Baustoffbörse)
3,00	Lehmbauplatten
46,00	Gesamt

*Alternative: 40 cm Strohballen zwischen Holzunterkonstruktion

AW1.5a Holzmassivwand

[cm]	Alternativer Aufbau
2,00	Holzschalung
3,00	Lattung 3/5cm
0,02	PE-Winddichtung, diff. offen
26,00	Flachs zw. Holzkonstruktion
-	Baupapier-Dampfbremse
10,00	Brettspertholz wand
1,50	Gipskartonplatten
42,52	Gesamt

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
2,00	Holzschalung
3,00	Lattung 3/5cm (Material von Baustoffbörse)
-	PE-Winddichtung, diffusionsoffen
26,00	Flachs zw. Holzkonstruktion
-	Baupapier Dampfbremse
10,00	Brettspertholz wand
1,50	Gipsfaserplatten aus REA Gips
42,50	Gesamt

DA Dachaufbauten

DA1.1 Flachdach/Duodach bekiest, optional Terrassenflächen

[cm]	Alternativer Aufbau
4,00	Betonplatten/ optional
10,00	Kies 16/32
-	Filtervlies
5,00	XPS
0,20	PE-Abdichtung
36,00	Schaumglasplatten i. G.
20,00	STB- Decke
0,50	mineralische Spachtelung
75,70	Gesamt

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
4,00	Betonplatten/ optional
10,00	RC-Kies 16/32
-	Filtervlies
5,00	XPS
0,20	PE-Abdichtung
36,00	Schaumglasplatten i. G.
20,00	STB- Decke Slagstar
0,50	mineralische Spachtelung
75,70	Gesamt

DA1.2 Flachdach / Warmdach/ extensive Begrünung

[cm]	Alternativer Aufbau
10,00	Vegetationsschicht
-	PP-Filtervlies
5,00	Dränschicht
1,00	Gummigranulat-Schutzmatte
0,20	EPDM Abdichtung
36,00	EPS i. G. 1,8%
-	PE-Dampfsperre
20,00	STB Decke
0,50	mineralische Spachtelung
72,70	Gesamt

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
10,00	Substrat mit Ziegelsplitt
-	PP-Filtervlies
5,00	Dränschicht, RC Material
1,00	RC Gummigranulat-Schutzmatte
0,20	EPDM Abdichtung
42,00	Schaumglasplatten i.G., in Bitumen verlegt
-	PE-Dampfsperre
20,00	STB- Decke Slagstar
0,50	mineralische Spachtelung
78,70	Gesamt

DA1.3 Flachdach / Warmdach/ intensive Begrünung

[cm]	Alternativer Aufbau
25,00	Vegetationstragschicht
-	PP-Filtervlies
1,00	Drainageelement
-	Schutzmatte
0,05	Bitumen Wurzelschutzbahn, Trennlage
0,20	PE-Folie lose verlegt, auf PP-Schutzvlies
42,00	Korkdämmplatten
-	PE-Dampfsperre
20,00	STB Decke
0,50	mineralische Spachtelmasse
88,75	Gesamt

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
25,00	Substrat mit Ziegelsplitt
-	Filtervlies
1,00	Drainageelement
-	Schutzmatte
0,20	EPDM Abdichtung
42,00	Schaumglasplatten i. G. 1,5%, lose verlegt
-	PE-Dampfsperre
20,00	STB- Decke Slagstar
0,50	mineralische Spachtelmasse
88,70	Gesamt

DA1.4 Flachdach / Warmdach/ Foliendach mit Bekiesung

[cm]	Alternativer Aufbau
6,00	Kies 16/32
0,05	PE- lose verlegt, auf Schutzvlies
42,00	Schaumglasplatten i. G. 1,5%, lose verlegt
-	PE-Dampfsperre (z.B. Sarnavap 2000)
20,00	STB Decke
0,50	mineralische Spachtelmasse
68,55	Gesamt

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
5,00	RC Kies 16/32
0,05	PE- lose verlegt, auf Schutzvlies
42,00	Schaumglasplatten i. G. 1,5%, lose verlegt
-	PE-Dampfsperre (z.B. Sarnavap 2000)
20,00	STB- Decke Slagstar
0,50	mineralische Spachtelmasse
67,55	Gesamt

DA1.5 Steildach Massivdach

[cm]	Alternativer Aufbau
	Indach PV Elemente
3,00	Lattung 3/5cm
4,00	Hinterlüftung zw. Konterlattung
-	Diffusionsoffene Dachbahn
2,50	Schalung
52,00	Stroh zw. Sparren
20,00	STB- Decke
0,50	mineralische Spachtelmasse
82,00	Gesamt

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
-	Indach PV Elemente/ Dachziegel aus Reststoffbörse
3,00	Lattung 3/5cm (Material von Baustoffbörse)
4,00	Hinterlüftung zw. Konterlattung (Mat. von Baustoffbörse)
-	Diffusionsoffene Dachbahn
2,50	Schalung (Material von Baustoffbörse)
52,00	Stroh zw. Sparren
20,00	STB-Decke
0,50	mineralische Spachtelmasse
82,00	Gesamt

DA1.6 Steildach Sparrendach

[cm]	Alternativer Aufbau
0,10	Metalleindeckung (Zink)
3,00	Lattung 3/5cm
4,00	Hinterlüftung zw. Konterlattung
-	Diffusionsoffene Dachbahn
44,00	Flachs zw. Sparren
-	PE-Dampfbremse
3,00	Lattung 3/5cm, Schafwolle
2,50	Lehmbauplatten
56,60	Gesamt

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
0,10	Dachplatten Alu
3,00	Lattung 3/5cm (Material von Baustoffbörse)
4,00	Hinterlüftung zw. Konterlattung (Mat. von Baustoffbörse)
-	Diffusionsoffene Dachbahn
44,00	Flachs zw. Sparren
-	PE-Dampfbremse
3,00	Lattung 3/5cm (Mat. von Baustoffbörse), Schafwolle
2,50	Lehmbauplatten
56,60	Gesamt

IW Innenwände**IW1.3 Innenwand tragend**

[cm]	Alternativer Aufbau Kalksandstein
1,00	Kalkputz
15,00	Kalksandstein
1,00	Kalkputz
17,00	Gesamt

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
1,00	Kalkputz
15,00	Ziegelsplittstein
1,00	Kalkputz
17,00	Gesamt

IW1.4a Innenwand nichttragend

[cm]	Alternativer Aufbau
1,50	Kalkputz
12,00	Kalksandstein
1,50	Kalkputz
15,00	Gesamt

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
1,00	Kalkputz
15,00	Ziegelsplittstein
1,00	Kalkputz
17,00	Gesamt

DE Deckenaufbauten**DE1.1a Geschoßdecke Massivbau**

[cm]	Alternativer Aufbau
-	Bodenbelag (Parkett, Teppich) schwimmend
2,50	Trockenstrichelement, 2-lagig
4,00	Holzfaser Trittschalldämmung
-	PE-Dampfbremse
4,00	Kiesschüttung gebunden
18,00	STB-Decke lt. Statik
-	mineralische Spachtelung
28,50	Gesamt
10,50	Bodenaufbau

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
-	Bodenbelag (Parkett, RC Teppich) schwimmend
2,50	Trockenstrichelement, 2-lagig, aus REA Gips
4,00	Glaswolle Trittschalldämmung
-	PE-Dampfbremse
4,00	Kiesschüttung (RC Kies) gebunden
18,00	STB-Decke lt. Statik
-	mineralische Spachtelung
28,50	Gesamt
10,50	Bodenaufbau

DE1.1b Geschoßdecke Massivbau	
[cm]	Alternativer Aufbau
-	Parkett
3,20	Spanplatten
5,00	Mineralwolle zw. höhenverstell., trittschalldämm. Distanzfüßen (Catstep, Dibo)
18,00	STB-Decke lt. Statik
-	mineralische Spachtelung
<hr/>	
26,20	<i>Gesamt</i>
8,20	<i>Bodenaufbau</i>

DE1.1b Geschoßdecke Massivbau	
[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
-	Parkett
3,20	Spanplatten
3,00	Glaswolle zw. höhenverstell., trittschalldämm. Distanzfüßen (Catstep, Dibo)
18,00	STB-Decke lt. Statik
-	mineralische Spachtelung
<hr/>	
24,20	<i>Gesamt</i>
6,20	<i>Bodenaufbau</i>

DE1.1c Geschoßdecke Massivbau	
[cm]	Alternativer Aufbau
-	Bodenbelag (Parkett, Teppich) verklebt
3,20	Spanplatten
5,00	Luftraum zw. Distanzfüßen
3,00	Mineralwolle zw. höhenverstell., trittschalldämm. Distanzfüßen (Catstep, Dibo)
22,00	STB-Decke lt. Statik
-	mineralische Spachtelung
<hr/>	
33,20	<i>Gesamt</i>
11,20	<i>Bodenaufbau</i>

DE1.1c Geschoßdecke Massivbau	
[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
-	Bodenbelag (Parkett, Teppich) verklebt
3,20	Spanplatten
5,00	Luftraum zw. Distanzfüßen
3,00	Schafwolle zw. höhenverstell., trittschalldämm. Distanzfüßen (Catstep, Dibo)
22,00	STB-Decke lt. Statik
-	mineralische Spachtelung
<hr/>	
33,20	<i>Gesamt</i>
11,20	<i>Bodenaufbau</i>

DE1.1f Geschoßdecke Massivbau	
[cm]	Alternativer Aufbau
-	Bodenbelag (Parkett, Teppich) verklebt
4,00	Calciumsulfat-Platten
4,00	Luftraum zw. Distanzfüßen
3,00	Mineralwolle zw. höhenverstell., trittschalldämm.
22,00	STB-Decke lt. Statik
-	mineralische Spachtelung
<hr/>	
33,00	<i>Gesamt</i>
8,00	<i>Bodenaufbau</i>

DE1.1f Geschoßdecke Massivbau	
[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
-	Bodenbelag (Parkett, Teppich) verklebt
4,00	Calciumsulfat-Platten
4,00	Luftraum zw. Distanzfüßen
3,00	Mineralwolle zw. höhenverstell., trittschalldämm. Distanzfüßen (Catstep,
22,00	STB-Decke lt. Statik
-	mineralische Spachtelung
<hr/>	
33,00	<i>Gesamt</i>
8,00	<i>Bodenaufbau</i>

DE1.2a Geschoßdecke Massivholzbau	
[cm]	Alternativer Aufbau
2,00	Parkett schwimmend
5,00	Estrich
-	PE-Folie
3,00	Trittschalldämmung Glaswolle
5,00	Betonplatten/ Ziegel
12,00	Brettsperholzplatte lt. Statik
1,00	Luftraum
4,00	Schafwolle
3,00	Gipsfaserplatten 2-lagig
<hr/>	
35,00	<i>Gesamt</i>
15,00	<i>Bodenaufbau</i>

DE1.2a Geschoßdecke Massivholzbau	
[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
2,00	Parkett schwimmend
5,00	Fließestrich aus REA Gips/ Calciumsulfat Fließestrich
-	Estrichpappe
3,00	Trittschalldämmung Glaswolle
5,00	Betonplatten/ Ziegel (Mat. von Recyclingbörse)
12,00	Brettsperholzplatte lt. Statik
1,00	Luftraum
4,00	Schafwolle
3,00	Gipsfaserplatten 2-lagig, aus REA Gips
<hr/>	
35,00	<i>Gesamt</i>
15,00	<i>Bodenaufbau</i>

DE1.2b Geschoßdecke Massivholzbau

[cm]	Alternativer Aufbau
1,00	Keram. Belag, verklebt
5,00	Estrich
-	PE-Folie
3,50	Trittschalldämmung Mineralfaser
1,50	Holzfasерplatte zur Druckverteilung
19,60	Brettsperholz-Element LIGNO Q3, mit Kalksplitt befüllt
30,60	<i>Gesamt</i>
11,00	<i>Bodenaufbau</i>

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
1,00	Keram. Belag mit RC Anteil, verklebt
5,00	Fließestrich aus REA Gips/ Calciumsulfat Fließestrich
-	Estrichpappe
3,50	Glaswolle Trittschalldämmung 40/35
1,50	Holzfasерplatte zur Druckverteilung
19,60	Brettsperholz-Element LIGNO Q3, mit Kalksplitt, RC Material, befüllt
30,60	<i>Gesamt</i>
11,00	<i>Bodenaufbau</i>

DE1.2c Geschoßdecke Massivholzbau

[cm]	Alternativer Aufbau
2,00	Parkett verklebt oder schwimmend
3,20	Spanplatten
3,50	Glaswolle Trittschalldämmung 40/35
1,50	Holzfasерplatte zur Druckverteilung
19,60	Brettsperholz-Element LIGNO Q3, mit Kalksplitt befüllt
29,80	<i>Gesamt</i>
10,20	<i>Bodenaufbau</i>

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
2,00	Parkett verklebt oder schwimmend
3,20	Spanplatten
3,50	Glaswolle Trittschalldämmung 40/35
1,50	Holzfasерplatte zur Druckverteilung
19,60	Brettsperholz-Element LIGNO Q3, mit Kalksplitt, RC Material, befüllt
27,80	<i>Gesamt</i>
8,20	<i>Bodenaufbau</i>

DE1.3 Geschoßdecke Holzrahmenbau

[cm]	Alternativer Aufbau
1,00	Bodenbelag, schwimmend
2,50	Trockenestrichelement
3,00	Mineralwolle Trittschalldämmplatte MW-S 35/30
4,00	Schwere Splittschüttung, ungebunden, verdichtet
2,00	Schalung Holz
16,00	Holzkonstruktion, dazw. Schafwolle (5 cm) eingelegt
3,00	Lattung 3/5cm
2,50	Holzverschalung
34,00	<i>Gesamt</i>
12,50	<i>Bodenaufbau</i>

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
1,00	Bodenbelag, schwimmend
2,50	Trockenestrichelement, 2-lagig, aus REA Gips
3,00	Glaswolle Trittschalldämmplatte
4,00	Schwere Splittschüttung, RC Material, ungebunden, verdichtet
2,00	Schalung (Material von Baustoffbörse)
16,00	Holzkonstruktion, dazw. Schafwolle (5 cm) eingelegt
3,00	Lattung 3/5cm (Material von Baustoffbörse)
2,50	Holzverschalung
34,00	<i>Gesamt</i>
12,50	<i>Bodenaufbau</i>

DE1.4 Fußboden zu unbeheizt / Keller

[cm]	Alternativer Aufbau
0,50	Feinsteinzeug
0,50	Dünnbettmörtel
2,50	Trockenestrichelement, 2-lagig
4,00	Trittschalldämmung Holzfasер
-	PE-Dampfbremse
4,00	Kiesschüttung gebunden
20,00	STB-Decke lt. Statik
20,00	Glaswolle-Dämmung
1,50	GK-Platte
53,00	<i>Gesamt</i>
7,50	<i>Bodenaufbau</i>

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
0,50	Feinsteinzeug mit RC Anteil
0,50	Dünnbettmörtel
2,50	Trockenestrichelement, 2-lagig, aus REA Gips
4,00	Glaswolle Trittschalldämmung
-	PE-Dampfbremse
4,00	Kiesschüttung (RC Kies) gebunden
20,00	STB-Decke Slagstar lt. Statik
20,00	Glaswolle-Dämmung
1,50	Gipsfasерplatte aus REA Gips
51,50	<i>Gesamt</i>
7,50	<i>Bodenaufbau</i>

DE1.5 Fußboden zu unbeheizt / Keller

[cm]	Alternativer Aufbau
1,00	Textiler Bodenbelag, mit Haftklebstreifen verlegt
2,50	Trockenestrichelement, 2-lagig
-	PE-Dampfsperre
4,00	Holzfaser-Dämmplatte
22,00	Perlite
20,00	STB-Decke lt. Statik
8,00	Glaswolle-Dämmung
1,50	GK-Platte
59,00	Gesamt
29,50	Bodenaufbau

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
1,00	Teppichfliesen mit Recyclinganteil, mit Haftklebstoff verlegt
2,50	Trockenestrichelement, 2-lagig, aus REA Gips
-	PE-Dampfsperre
4,00	Glaswolle Trittschalldämmplatte
22,00	Perlite
20,00	STB-Decke Slagstar lt. Statik
8,00	Glaswolle-Dämmung
1,50	Gipsfaserplatte aus REA Gips
59,00	Gesamt
29,50	Bodenaufbau

DE1.6 Fußboden zu Erdreich, oberseitig gedämmt

[cm]	Alternativer Aufbau
0,50	Keramischer Belag
0,50	Kleber
3,30	Faserzement-Trockenestrich
-	PE-Dampfbremse
4,00	Holzfaser-Dämmplatte
26,00	Perlite verdichtet
25,00	WU-Beton
-	Baupapier
15,00	Rollierung
-	PP-Filtervlies
74,30	Gesamt
34,30	Bodenaufbau

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
0,50	Feinsteinzeug mit RC Anteil, Mosaikfliesen aus Altglas
0,50	Kleber
3,30	Faserzement-Trockenestrich
-	PE-Dampfbremse
4,00	Glaswolle Trittschalldämmplatte
26,00	Perlite verdichtet
25,00	WU Beton Slagstar
-	Baupapier
15,00	Rollierung aus RC Material
-	PP-Filtervlies
74,30	Gesamt
34,30	Bodenaufbau

DE1.7a Fußboden zu Erdreich, unterseitig gedämmt

[cm]	Alternativer Aufbau
1,00	Textiler Belag, vollflächig verklebt
3,00	Trockenestrichelement, 2-lagig
4,00	Trittschalldämmung Holzfaser
5,00	Splitt zementgebunden
25,00	Fundamentplatte lt. Statik
-	Schutzfolie (PE, Papier, Geotextil)
24,00	Schaumglasplatten kaschiert
1,00	Polymerbitumenabdichtung 2-lagig
5,00	Magerbeton Sauberkeitsschicht
-	Baupapier
15,00	Rollierung
-	PP-Filtervlies
79,00	Gesamt
13,00	Bodenaufbau

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
1,00	Textiler Belag mit RC Anteil, m. Haftklebstreifen verlegt
3,00	Trockenestrichelement, 2-lagig, aus REA Gips
4,00	Glaswolle Trittschalldämmplatte
5,00	RC Splitt zementgebunden
25,00	Fundamentplatte Slagstar lt. Statik
-	Schutzfolie (PE, Papier, Geotextil)
24,00	Schaumglasplatten kaschiert
1,00	Polymerbitumenabdichtung 2-lagig
5,00	RC Magerbeton Sauberkeitsschicht
-	Baupapier
15,00	Rollierung aus RC Material
-	PP-Filtervlies
79,00	Gesamt
13,00	Bodenaufbau

DE1.7b Fußboden zu Erdreich, unterseitig gedämmt

[cm]	Alternativer Aufbau
1,00	Textiler Belag, vollflächig verklebt
3,00	Trockenestrichelement, 2-lagig
4,00	Trittschalldämmung Holzfaser
-	PE-Dampfbremse
5,00	Perlite
25,00	Fundamentplatte lt. Statik
-	Schutzfolie (PE, Papier, Geotextil)
40,00	Schaumglasschotter
-	Schutzfolie (PE, Papier, Geotextil)
1,00	Polymerbitumenabdichtung 2-lagig
5,00	Magerbeton
-	Rohbauplanum
80,00	Gesamt
13,00	Bodenaufbau

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
1,00	Textiler Belag mit RC Anteil, m.Haftklebestreifen verlegt
3,00	Trockenestrichelement, 2-lagig, aus REA Gips
4,00	Glaswolle Trittschalldämmplatte
-	PE-Dampfbremse
5,00	RC Splitt zementgebunden
25,00	Fundamentplatte Slagstar lt. Statik
-	Schutzfolie (PE, Papier, Geotextil)
40,00	Schaumglasschotter
-	Schutzfolie (PE, Papier, Geotextil)
1,00	Polymerbitumenabdichtung 2-lagig
5,00	RC Magerbeton
-	Rohbauplanum
80,00	Gesamt
13,00	Bodenaufbau

10.2. Bewertung und Empfehlung

Der Ersatz von einzelnen Baustoffen der Aufbauten durch Recyclingmaterialien lässt sich im Bereich von konstruktiven Bauteilen, Dämmungen, Schüttungen, aber auch bei Ausbauelementen wie Bodenbelägen durchführen.

Die Untersuchungen in SP2 haben bereits gezeigt, dass die Verwendung von Beton mit Sulfathüttenzement („Slagstar“) deutlich geringere Belastungen aufweist als ein mit Zement gebundener Beton. Der Einsatz ist zu erwägen, auch wenn der Recyclinganteil dieser Fundamentplatte nur in der Größenordnung von 10 % liegt, und den geforderten Mindestgehalt von 30 Massen- bzw. Volumsprozent an Recyclingmaterialien nicht erreicht.

Sulfathüttenzement kann bei Fundamentplatten, aber auch bei Stahlbetonwänden und -decken angewendet werden.

Andere Möglichkeiten, konventionelle Konstruktionen zu ersetzen liegen im Einsatz von Ziegelsplittbeton, Ziegelsplitt-Recyclingziegeln oder Betonhohlblocksteinen mit Recyclingzuschlag.

Zur Dämmung der Fundamentplatte an der Unterseite bzw. als Perimeterdämmung können Recyclingmaterialien wie Schaumglasgranulat und auch Schaumglasplatten eingesetzt werden. Der Vorteil von beiden Baustoffen liegt sowohl in hohem Recyclinganteil an Altglas als auch in der guten Recyclierbarkeit nach dem Abbruch.

Die Dämmung von Flachdächern kann ebenfalls mit Schaumglasplatten ausgeführt werden, wesentlicher Faktor für die Rückbaubarkeit ist die Verbindung der Abdichtung und der Dämmschichten untereinander.

Werden Schaumglasplatten in Heißbitumen verlegt, oder vollflächig mit Kaltkleber angebracht, ist ein zerstörungsfreier Ausbau nicht möglich und erschwert die sortenreine Trennung vor Ort erschwert. Mit Bitumen versehene Schaumglasabfälle können als Grabenfüllmaterial im Tiefbau oder z.B. für Lärmschutzwände eingesetzt werden, ansonsten erfolgt eine Deponierung erfolgt auf Baurestmassendeponie.

Bitumenabdichtungen schränken auch die Recyclierbarkeit von Beton, z.B. Fundamentplatten ein. Laut Auskunft von Recyclingunternehmen werden mit Bitumen beschichtete Platten deponiert.

Weiters können beim Flachdach die Kiesschicht und die Vegetationsschicht Substrat mit Ziegelsplitt (als Ersatz für die Vegetationsschicht). Der Einsatz von Recyclingbaustoffen aus mineralischen Baurestmassen wie RC Schotter, RC Kies und RC Splitt finden Anwendung bei Drainageschichten, Schüttungen unterm Estrich, die nicht zur Wärmedämmung beitragen, auf Flachdächern, etc. Die Schichten aus RC-Material können nach Ablauf ihrer Lebensdauer in der gleichen Qualität wie Kies oder Splitt recycelt werden.

In Sandbett verlegte Platten oder Steine können bei gutem Zustand wieder- bzw. als Schüttmaterial weiterverwendet werden. Bei sortenreiner Trennung können die Platten wieder in die Produktion zurückgeführt werden.

Andere Materialien könnten im direkten Einsatz wiederverwendet werden, wie zum Beispiel Lattungen, Konterlattungen, Schalungen bei vorgehängten Fassadensystemen oder Dachkonstruktionen, Ziegel oder Betonplatten als Gewicht zur Erreichung des erforderlichen Schallschutzes bei Geschoßdecken in Holz.

Für Bodenbeläge stehen mittlerweile verschiedene Recyclingmaterialien zur Verfügung, wie zum Beispiel Feinsteinzeug mit RC Anteil, Mosaikfliesen aus Altglas, Teppiche mit RC Anteile, etc.

Die in SP2 wegen ihres Anteils an Recyclingmaterialien favorisierten Calciumsulfat-Fließestriche bringen aus Sicht der Recyclierbarkeit keine Vorteile, eher Nachteile, da sie (in der heutigen Praxis) nicht recycelt werden und sich bei der Deponierung nicht so unproblematisch wie Zementestriche verhalten.

Glaswolle enthält einen relativ hohen Anteil an Altglas und ist daher unter dem Aspekt der Forcierung von Recyclingmaterialien (SP2) interessant. Baustellen- und Abbruchabfälle aus Glaswolle landen derzeit aber durchwegs auf der Deponie oder auf Abfallverbrennungsanlagen. In Abfallverbrennungsanlagen tragen sie nichts zur Energiegewinnung bei und können durch Faserflug einen Filterkurzschluss verursachen, auf der Deponie ist die schlechte Komprimierbarkeit nachteilig. Ungebundene Dämmschüttungen z.B. aus Perlite oder Schaumglasgranulat sind sehr gut recycelbar (wieder- oder weiterverwendbar). Die Recyclierbarkeit wird durch eine Zementbindung eingeschränkt, ist aber immer noch gegeben. Dass zementgebundene EPS-Schüttungen recycelt werden, ist nicht abzusehen. Auf Deponien dürfen sie wegen des hohen Gehalts an organischen Bestandteilen nur nach Vorbehandlung abgelagert werden.

11. DEL mögl. Konstruktionspalette für Leuchtturm Gugler

Die Ergebnisse aus der ökologisch- bauphysikalischen Bewertung und die Kombination mit den Ergebnissen aus SP2 bilden die Grundlage für die Auswahl von möglichen Bauteilen für das konkrete Projekt „Leuchtturm Gugler“.

11.1. Fussboden zum Erdreich

Um unnötige Mengen an Bodenaushubmaterial zu vermeiden wird im Projekt Gugler auf die Errichtung eines Kellers verzichtet.

Für die Herstellung des Bodenaufbaus zum Erdreich gibt es grundsätzlich 2 Möglichkeiten: Ausführung der Dämmung unter der Bodenplatte oder über der Bodenplatte. Die angeführten Bodenbeläge sind Beispiele, die später in Abhängigkeit von den Anforderungen aus der Nutzung noch festgelegt werden.

DE1.6 Fußboden zu Erdreich, oberseitig gedämmt

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
0,50	Feinsteinzeug mit RC Anteil, Mosaikfliesen aus Altglas
0,50	Kleber
3,30	Faserzement-Trockenestrich
	- PE-Dampfbremse
4,00	Glaswolle Trittschalldämmplatte
26,00	Perlite verdichtet
25,00	WU Beton Slagstar
	- Baupapier
15,00	Rollierung aus RC Material
	- PP-Filtervlies
74,30	Gesamt
34,30	Bodenaufbau

Bei der Ausführung mit oberseitiger Dämmung muss der Aufbau abgedichtet oder mit WU- Beton ausgeführt werden; wobei bei der Ausführung von WU Beton alle Schichten voneinander trennbar sind, wohingegen die Trennung der Polymerbitumenabdichtung vom Stahlbeton ist zu aufwändig wäre und die beiden Schichten daher gemeinsam entsorgt werden müssten.

Die Rückgewinnung von Perliten ist problemlos möglich. Das Material kann nach Reinigung und Trocknung als Schüttmaterial oder Zuschlagstoff wiederverwendet werden.

DE1.7a Fußboden zu Erdreich, unterseitig gedämmt

[cm]	Alternativer Aufbau mit recycros
1,00	Textiler Belag mit RC Anteil, m. Haftklebestreifen verklebt
3,00	Trockenestrichelement, 2-lagig, aus REA Gips
3,00	Glaswolle Trittschalldämmplatte
5,00	RC Splitt zementgebunden
25,00	Fundamentplatte Slagstar lt. Statik
	- Schutzfolie (PE, Papier, Geotextil)
24,00	Schaumglasplatten kaschiert
1,00	Polymerbitumenabdichtung 2-lagig

5,00	RC Magerbeton Sauberkeitsschicht
	- Baupapier
15,00	Rollierung aus RC Material
	- PP-Filtervlies
78,00	<i>Gesamt</i>
12,00	<i>Bodenaufbau</i>

DE1.7b Fußboden zu Erdreich, unterseitig gedämmt

[cm]	<i>Alternativer Aufbau mit recycros</i>
1,00	Textiler Belag mit RC Anteil, m. Haftklebestreifen verklebt
3,00	Trockenestrichelement, 2-lagig, aus REA Gips
4,00	Glaswolle Trittschalldämmplatte
	- PE-Dampfbremse
5,00	RC Splitt zementgebunden
25,00	Fundamentplatte Slagstar lt. Statik
	- Schutzfolie (PE, Papier, Geotextil)
40,00	Schaumglasschotter
	- Schutzfolie (PE, Papier, Geotextil)
1,00	Polymerbitumenabdichtung 2-lagig
5,00	RC Magerbeton
	- Rohbauplanum
80,00	<i>Gesamt</i>
13,00	<i>Bodenaufbau</i>

Bei der Variante mit oberseitiger Dämmung wird durch den Einsatz von WU-Beton eine Abdichtung der Fundamentplatte vermieden. Bei den beiden Varianten mit unterseitiger Dämmung befindet sich die Abdichtung unter der Fundamentplatte. Durch diese Maßnahmen kann die Platte sauber ins Recycling gehen.

"Geopfert" wird dafür bei den Varianten mit unterseitiger Dämmung die Magerbetonschicht, die gemeinsam mit der Abdichtung auf Baurestmassendeponien beseitigt wird.

Die Dämmung an der Unterseite kann mit Schaumglasplatten oder Schaumglasschotter ausgeführt werden. Die Dämmschüttungen (Perlite, Schaumglasschotter) können gut recyclet (wiederverwendet oder -verwertet) werden.

11.2. Außenwände

Die Entscheidung für Holz als nachwachsenden und hervorragend recycelbaren Rohstoff als Konstruktionsmaterial für die Außenwände lässt verschiedene Möglichkeiten offen, die Ausführung einer Ständerwandkonstruktion oder einer Holz-Massivbauweise.

AW1.4 Holzständerwand mit hinterlüfteter Fassade

[cm]	<i>Alternativer Aufbau mit recycros</i>
2,00	Holzschalung Lärche

3,00	Lattung 3/5cm (Material von Baustoffbörse)
-	PE-Winddichtung, diffusionsoffen
2,50	Diagonalholzschalung
28,00	Holzrahmenkonstruktion mit Flachsdämmung
2,50	Diagonalholzschalung (Material von Baustoffbörse)
-	PE-Dampfbremse
5,00	Flachsdämmung zw. Holzlatten (Material von Baustoffbörse)
3,00	Lehmbauplatten
46,00	<i>Gesamt</i>

* Alternative: 40 cm Strohballen zwischen Holzunterkonstruktion

AW1.5a Holzmassivwand

[cm]	<i>Alternativer Aufbau mit recycros</i>
2,00	Holzschalung
3,00	Lattung 3/5cm (Material von Baustoffbörse)
-	PE-Winddichtung, diffusionsoffen
26,00	Flachs zw. Holz
-	Baupapier Dampfbremse
10,00	Brettspertholz wand
1,50	Gipsfaserplatten aus REA Gips
42,50	<i>Gesamt</i>

Hinterlüftete Fassaden lassen sich problemlos in ihre Einzelbestandteile zerlegen, die Brettspertholzplatte kann ohne Verunreinigung ins Recycling gehen.

Die Lattungen könnten Recyclingmaterialien von einer Baustoffbörse sein. Die Holzschalungen und -lattungen werden nicht behandelt und können daher auch stofflich verwertet werden.

Durch den Ersatz der Mineralwolle mit Flachs- oder Stroh-Dämmstoff steigt der Anteil thermisch verwertbarer Materialien und sinkt der Anteil zu beseitigender Materialien. Es verbleiben nur die problemlos recycelbaren Lehmbauplatten für die Deponierung. Von engagierten Bauherren bzw. Recyclingunternehmen könnten auch diese verwertet werden. Wenn die Lehmbauplatten nicht mit Kunststoffen beschichtet oder mit Metallen verunreinigt sind, könnten sie auch wieder verwertet werden.

Insgesamt können auch andere Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen eingesetzt werden, die zwar nicht als klassische Recyclingmaterialien gelten, aber als Abfall- oder Nebenprodukte der Landwirtschaft anfallen und daher ohne energetischen Herstellungsaufwand zur Verfügung stehen. Ein Recycling dieser Dämmstoffe ist zwar theoretisch möglich, in der Praxis ist jedoch von einer thermischen Verwertung auszugehen.

Die Hallenkonstruktion der Printhalle wird ebenfalls in Holzbauweise konzipiert. Unterspannte Leimbinder überspannen sehr wirtschaftlich die Haupthalle mit einer Spannweite von ca. 22.50 m. Als Besonderheit wird die Unterspannung ebenfalls in Holzbauweise ausgeführt.

Für Wand- und Deckenelemente werden wärmegeämmte, vorgefertigte Holzrahmenelementen vorgesehen.

AW1.6c Fassadenelement

[cm] Alternativer Aufbau Holzrahmenelement	
	Außenverkleidung
3,00	Lattung 3/5cm
0,02	PE-Windsperre
1,50	Holzfaserplatte
24,00	Wandriegel verleimt, dazw. Steinwolle- Dämmung
0,02	Dampfbremse
1,50	OSB Platte
3,00	Gipsfaserplatten, 2-lagig
33,04	<i>Gesamt</i>

Die Bestandteile der Holzkonstruktion sind ausschließlich kraftschlüssig miteinander verbunden und deshalb einfach voneinander trennbar.

11.3. Dach

Die Dachflächen sollen im Projekt Gugler teils zur Energiegewinnung durch Photovoltaik-Module, teils als Terrassen oder als Grünflächen genutzt werden.

Dabei werden Substrat mit Ziegelsplitt für begrünte Dächer zw. Betonplatten mit Recyclinganteil und Schüttung aus RC-Material für Terrassenflächen eingesetzt. Bei diesen Materialien (Kies, Substratschicht und Betonplatten) ist auch bei der Entsorgung eine direkte Wiederverwendung möglich.

	[cm] Dachaufbau Terrasse	[cm] Dachaufbau Gründach
1	4,00 Betonplatten mit RC Anteil	10,00 Substrat mit Ziegelsplitt
2	10,00 RC-Kies 16/32	PP-Filtervlies
3	1,00 PP-Filtervlies	5,00 Dränschicht
4	- Gummigranulatmatte	- Gummigranulatmatte

Im Folgenden werden einige Möglichkeiten zur Ausführung eines Dachaufbaus gezeigt:

Im konkreten Projekt Gugler soll im Gegensatz zu diesen Aufbauten die tragende Konstruktion in Holz ausgeführt werden.

DA1.1 Flachdach/Duodach bekiest, optional Terrassenflächen

[cm] Alternativer Aufbau mit recycros	
4,00	Betonplatten/ optional
10,00	RC-Kies 16/32
-	Filtervlies
5,00	XPS
0,20	PE-Abdichtung
36,00	Dämmplatten i. G. (Schaumglas, Kork, Holzfaser)
20,00	STB- Decke Slagstar
0,50	mineralische Spachtelung
75,70	<i>Gesamt</i>

DA1.2 Flachdach / Warmdach/ extensive Begrünung

[cm] *Alternativer Aufbau mit recycros*

10,00 Substrat mit Ziegelsplitt

- PP-Filtervlies

5,00 Dränschicht, RC Material

1,00 RC Gummigranulat-Schutzmatte

0,20 EPDM Abdichtung

42,00 Dämmplatten i.G. %, lose verlegt(Schaumglas, Kork, Holzfaser)

- PE-Dampfsperre

20,00 STB- Decke Slagstar

0,50 mineralische Spachtelung

78,70 *Gesamt*

DA1.3 Flachdach / Warmdach/ intensive Begrünung

[cm] *Alternativer Aufbau mit recycros*

25,00 Substrat mit Ziegelsplitt

- Filtervlies

1,00 Drainageelement

- Schutzmatte

0,20 EPDM Abdichtung

42,00 Dämmplatten i. G. 1,5%, lose verlegt (Schaumglas, Kork, Holzfaser)

- PE-Dampfsperre

20,00 STB- Decke Slagstar

0,50 mineralische Spachtelmasse

88,75 *Gesamt*

DA1.4 Flachdach / Warmdach/ Foliendach mit Bekiesung

[cm] *Alternativer Aufbau mit recycros*

5,00 RC Kies 16/32

0,05 PE- lose verlegt, auf Schutzvlies

42,00 Dämmplatten i. G. 1,5%, lose verlegt (Schaumglas, Kork, Holzfaser)

- PE-Dampfsperre (z.B. Sarnavap 2000)

20,00 STB- Decke Slagstar

0,50 mineralische Spachtelmasse

67,55 *Gesamt*

Der Nachteil bei der konventionellen Ausführung von Flachdächern liegt sowohl beim Warmdach oder auch beim Duodach in der schlechten Trennbarkeit der Bitumenabdichtung vom Dämmstoff und der Stahlbetondecke. Mit Bitumen verklebte Baustoffe werden nicht verwertet und auf der Baurestmassendeponie (bzw. gemeinsam mit brennbaren Dämmstoffen in der Abfallverbrennungsanlage) entsorgt. Bei den gewählten Aufbauten kann durch die Abdichtung mit lose verlegten Kunststoff-Abdichtungsbahnen

Der Dämmstoff sollte ebenfalls nach Möglichkeit lose verlegt werden, damit der Rückbau nicht erschwert wird.

Bei der Variante DA 1.4 Foliendach mit Bekiesung muss die PE-Dampfsperre auf die Decke geklebt werden, Dämmstoff, Schutzvlies und PE-Abdichtung können lose verlegt werden.

11.4. Fassaden

Den Empfehlungen aus Kapitel 7.2.1: Fassaden folgend sollen die Gebäudehüllen die Ansprüche an die Energieeffizienz, Nachhaltigkeit und Kreislauffähigkeit widerspiegeln.

Im konkreten Projekt sollen deshalb 100% der Fassaden eine Funktion erhalten.



Abbildung 181: Fassaden mit Funktion

Sie dienen entweder der Belichtung, der Energiegewinnung, als natürlicher Lebensraum oder als Kommunikations- und Werbefläche. Teile der Fassadenflächen sollen dabei auch von der Fa. Gugler selbst bespielt und verändert werden. Derzeit wurde bereits versucht, auch das Thema des Wiederverwertens von Stoffen an der Fassade aufzugreifen. In die Lattung können weiße Latten aus dem Rückbau von bestehenden gugler Fassadenteilen eingewebt werden, alte Autoreifen können als Anfahrerschutz im Bereich der Anlieferung als neuer Fassadenteil komponiert werden, auch das Endlosmuster mit dem „gugler“ Stern könnte aus Recyclingziegellatten erzeugt werden. Die Gabionen, die auch im Außenbereich als Wärmespeicher (z.B. für empfindliche Pflanzen, Spalierobst o.ä.) dienen, können mit Betonbruch gefüllt werden. Ziel könnte sein, das anfallende eigene Abbruchmaterial direkt vor Ort wieder zu verwenden.

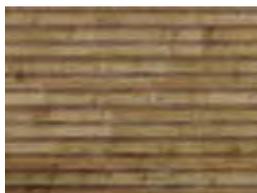


Abbildung 182: Holzfassade



Abbildung 183: "Gugler Stern" Fassade



Abbildung 184: Gabionen



Abbildung 185: Nützlingshotel



Abbildung 186: Spalierobst



Abbildung 187: Recycelte Autoreifen

12. Literatur

ABC-Disposal siehe MÖTZL Hildegund et al (2009)

Bastian&Schreiber, 1999. Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akadem.Verl.

BAUNETZWISSEN: abgerufen im August 2010, URL:
http://www.baunetzwissen.de/index/Flachdach_34075.html

BAWP: Österreichischer Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2006. Lebensministerium (Hrsg.)

BAY-LFU (2003):

www.lfu.bayern.de/boden/fachinformationen/schadstoffratgeber/arbeitshilfe/index.htm, abgerufen am 16.04.2010

BROCKMANN Walter: Klebtechnik, Weinheim, Wiley-VCH, 2005

DDDach: abgerufen im August 2010, URL: <http://www.dddach.org/knowhow/dicht.htm>

DIN 52460 Fugen- und Glasabdichtungen – Begriffe. 2000-02

DIN EN 923 Klebstoffe - Benennungen und Definitionen; Deutsche Fassung EN 923:2005+A1:2008

e.l.b.w Umwelttechnik 4/2010: Hochwertige Kunststoffe aus alten Elektrogeräten (Seite 50) und Elektroschrott-Verwertung ohne Umweltbelastungen (S 54)

EPD-BMT-2009111-D: Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025, Mineralische Werkmörtel, Mauermörtel, Normalmauermörtel, BAUMIT GmbH

Greiff Rainer. Kröning Wolfgang (Hrsg): Bodenschutz beim Bauen. Grundlagen und Handlungsempfehlungen für den Hochbau. C.F. Müller Karlsruhe, 1. Auflage 1993

GFÖB 2004: Rudolphi et al: "Projektteil Lebensdauer und Instandhaltungszyklen". 2004

HEBENICHT Gerd: Kleben, Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, 2009

HEYDE Michael: Werkstoffliches Recycling von Kunststoff. Fachtagung zu Nachhaltigkeit in der Kunststoffindustrie, Würzburg 2010

IBO (Hrsg): Passivhaus-Bauteilkatalog (2.Aufl.) Wien: Springer 2008

Kalusche: Technische Lebensdauer von Bauteilen und wirtschaftliche Nutzungsdauer eines Gebäudes. 2008

Leithner Claudia: Der Boden – Wichtige Ressource und Lebensraum. URL: Bund-05-2007.071005.qxd. Download vom 16.10.2007

MÖTZL Hildegund 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

„Ökokauf Wien“ AG11 Tiefbau: Aushub. Bericht, Dezember 2008

Passivhaus-Bauteilkatalog, siehe IBO (2008)

Rentz Otto et al.: Exemplarische Untersuchung zum Stand der praktischen Umsetzung des integrierten Umweltschutzes in der Metallindustrie und Entwicklung von generellen Anforderungen. Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Forschungsprojekt 296 94 006. Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung, Universität Karlsruhe (TH) im Auftrag des Umweltbundesamts, Dezember 1999

RENTZ Otto et al: Bericht über Beste Verfügbare Techniken (BVT) im Bereich der Lack- und Klebstoffverarbeitung in Deutschland -Teilband II Klebstoffverarbeitung. O. Rentz, N. Peters, S. Nunge, J. Geldermann. Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung (DFIU), Universität Karlsruhe (TH). Karlsruhe, August 2002. URL: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3220.pdf>

ROHRSCHEIDER Michael: Untersuchungen zur Verwendung von Klebstoffen als Spannmittel in der Mikrobearbeitung. Versuchs- und Praxisberichte aus dem Laboratorium Fertigungstechnik Band 3 . Laboratorium Fertigungstechnik, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jens P. Wulfsberg, Helmut-Schmidt-Universität. Hamburg 2008

RUMBA - Richtlinien für umweltfreundliche Baustellenabwicklung. Projekt im Rahmen des EU-Life-Umwelt-Rahmenprogramms. 2004. Downloads der Ergebnisse unter: <http://www.rumba-info.at/download.htm>

Schachermayer Elisabeth, Lahner Theresia, Brunner Paul H.: Stoffflussanalyse und Vergleich zweier Aufbereitungstechniken für Baurestmassen. TU Wien (Inst. für Wassergüte und Abfallwirtschaft), Umweltbundesamt (Hrsg.), Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, unterstützt durch Österreichischer Baustoffrecyclingverband und Amt der Salzburger Landesregierung. Monographien Band 99. Wien, 1998

Scheibengraf Martin; Reisinger Hubert: Abfallvermeidung und -verwertung von Baurestmassen. Detailstudie zur Entwicklung einer Abfallvermeidungs- und -verwertungsstrategie für den Bundesabfallwirtschaftsplan 2006. Wien, 2005

Sindt V, Ruch M., Schultmann F.; Rentz O.: Möglichkeiten zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit aufbereiteter Hochbaurestmassen. Müll und Abfall, 4, p 192-200 (zitiert nach Schachermayer et al, 1998)

SPUR Günter (Hrsg.), Band 5 von Handbuch der Fertigungstechnik: Fügen, handhaben und montieren. – München, Wien Hanser, 1986

STATUSBERICHT 2007: Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich. Umweltbundesamt im Auftrag von Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Klagenfurt, Feb 2009

STATUSBERICHT 2008: Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich. Umweltbundesamt im Auftrag von Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Klagenfurt, Feb. 2010 (abgerufen am 1.4.2010 von <http://www.bundesabfallwirtschaftsplan.at/>)

TKB 1: TKB-Merkblatt 1, Kleben von Parkett, Technische Kommission Bauklebstoffe (TKB) im Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf, März 2007

TKB 2: TKB-Merkblatt 2, Kleben von Laminatböden, Technische Kommission Bauklebstoffe (TKB) im Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf, Dezember 1997

TKB 3: TKB-Merkblatt 3, Kleben von Elastomer-Bodenbelägen, Technische Kommission Bauklebstoffe (TKB) im Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf, Juli 2009

TKB 4: TKB-Merkblatt 4, Kleben von Linoleum-Bodenbelägen, Technische Kommission Bauklebstoffe (TKB) im Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf, Januar 2010

TKB 5: TKB-Merkblatt 5, Kleben von Kork-Bodenbelägen, Technische Kommission Bauklebstoffe (TKB) im Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf, September 2009

TKB 7: TKB-Merkblatt 7, Kleben von PVC-Bodenbelägen, Technische Kommission Bauklebstoffe (TKB) im Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf, Februar 2010

WECOBIS: abgerufen im August 2010, URL: <http://wecobis.iai.fzk.de/cms/content/site/wecobis/Home/Bauproduktgruppen/Klebstoffe>

ZWIENER Gerd, MÖTZL Hildegund: Ökologisches Baustoff-Lexikon. Heidelberg: C. F. Müller, 2006

13. Tabellen und Abbildungsverzeichnis

13.1. Tabellen

Tabelle 1: Einteilung der Kleb- und Dichtstoffe nach dem Verfestigungsmechanismus	153
Tabelle 2: Referenzrezeptur für Dispersionsklebstoff nach WECOBIS.....	153
Tabelle 3: Referenzrezeptur für Kleister nach WECOBIS	154
Tabelle 4: Referenzrezeptur für Lösemittelklebstoff nach WECOBIS	154
Tabelle 5: Referenzrezeptur für 1-K-PU-Klebstoff nach WECOBIS	154
Tabelle 6: Referenzrezeptur für 2-K-PU-Klebstoff nach WECOBIS	155
Tabelle 7: Referenzrezeptur für 2-K-PU-Klebstoff nach WECOBIS	155
Tabelle 8: Für elastische Bodenbeläge geeignete Klebstoffe (WECOBIS, 2010).....	159
Tabelle 9: Referenzrezeptur für Leichtmauermörtel LM 21 (EPD-BMT-2009111-D)	161
Tabelle 10: Referenzrezeptur für Leichtmauermörtel LM 36 nach WECOBIS	161
Tabelle 11: Referenzrezeptur für Dünnbettmörtel nach WECOBIS	161
Tabelle 12: Gängige Lösemittel für Polymere (aus: ROHRSCHEIDER 2008)	164
Tabelle 13: Physikalische, chemische und biologische Einflussfaktoren auf die Lebensdauer von Materialien nach GFÖB (2004)	185
Tabelle 14: Einstufung der Entsorgungseigenschaften und Verwertungspotentiale von Baustoffen	235
Tabelle 15: Beurteilungskriterien für die qualitative Einstufung beim Rückbau eines Gebäudes anfallenden Fraktionen nach ABC-DISPOSAL (2009).....	236
Tabelle 16: Beispiel für die Einstufung der beim Rückbau eines Gebäudes anfallenden Fraktionen	236
Tabelle 17: Beurteilungskriterien für die qualitative Einstufung der Entsorgungseigenschaften von Baukonstruktionen im vorliegenden Projekt.	245
Tabelle 18: Beispiel für die Einstufung der anfallenden Fraktionen	246
Tabelle 19: Einstufung der Bauteilschichten in der Entsorgungsmatrix am Beispiel einer erdberührten Außenwand. B = Beseitigung, R = Recycling, V = Verbrennung (thermische Verwertung).....	246
Tabelle 20: Zusammenführung der Einstufung der Bauteilschichten aus Tabelle 19 wie oben beschrieben. Unter „Variante“ werden außerdem noch die Ergebnisse für die ökologisch orientierte Variante gezeigt.	247

13.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projekt XX, Delft	12
Abbildung 2: Smart/ Steel, Den Haag	13
Abbildung 3: Slimdek Building, Zoeterwoude	14
Abbildung 4: Run Shopping Center Noorderveld, Wormermeer	15
Abbildung 5: Flexline Wohnkonzept, Hegelo.....	16
Abbildung 6: Smarthouse, Zoetermeer	17
Abbildung 7: Casco Facade, Oegstgeest.....	18
Abbildung 8: Genesis Center, Taunton, UK	20
Abbildung 9: Icus- Fabrik, Köln	20
Abbildung 10: Icus- Fabrik, Köln	22
Abbildung 11: (Un)Modular Design for Deconstruction	23
Abbildung 12: School M.O.D.	24
Abbildung 13: Multi Family Housing	25
Abbildung 14: Pavilion in the Park, Seattle	26
Abbildung 15: Loblolly House, Maryland	27
Abbildung 16: Cellophane House.....	28
Abbildung 17: Cellophane House.....	29
Abbildung 18: Cellophane House.....	29
Abbildung 19: Brückenhaus aus Fertigteilen.....	31
Abbildung 20: Das mitwachsende Haus.....	31
Abbildung 21: Modcell- von der Flying Factory zur Baustelle	32
Abbildung 22: Lopas Passivhaus- Modulbauweise	33

Abbildung 23: Versetzen der Wandelemente, Bürohaus Tattendorf	33
Abbildung 24: Einfamilienhaus, Hohe Wand, Arch. Reinberg ZT GmbH	34
Abbildung 25: system/haus/bau Modulbauweise	34
Abbildung 26: system/haus/bau	35
Abbildung 27: Holzbausystem Cross- House	36
Abbildung 28: Holzbausystem Cross- House	36
Abbildung 29: Holz100 leim- und metallfreie Verbindung	37
Abbildung 30: Wohnhaus, System Holz100	37
Abbildung 31: HIB Bausystem.....	38
Abbildung 32: HIB Bausystem Wärmedämmung	38
Abbildung 33: Holzbaukonzept Lukas Lang Technologies.....	40
Abbildung 34: Induo Systemholztechnik	41
Abbildung 35: Lignotrend Wand	41
Abbildung 37: Redblock Ziegelfertigteilsystem.....	42
Abbildung 36: Lignotrend Decke	42
Abbildung 38: Nomad Home	43
Abbildung 39: RO&Ad Architekten: Einrichtung uas Karton-Waben- Platten.....	44
Abbildung 40: RO&Ad Architekten: Schulungszentrum der Fluglinie Qatar Airways	45
Abbildung 41: WellpappWelle	45
Abbildung 42: Cardboard House	47
Abbildung 43: Edouard Francois: SoDD	48
Abbildung 44: Haus Längle- Ess, Architekt Walter Unterrainer.....	48
Abbildung 45: S-House, Böheimkirchen.....	50
Abbildung 46: Wohnhaus aus Lehm, Martin Rauch	50
Abbildung 47: Das Deutsch- Chinesische Haus, Expo 2010	52
Abbildung 48: R128, Werner Sobek.....	53
Abbildung 49: R128, Werner Sobek.....	54
Abbildung 50: Das globalrecyclingfähige Haus, Hans Löfflad	56
Abbildung 51: Rückbaustufen	65
Abbildung 52: Demontagestufen	65
Abbildung 53: Rückbaustufen	66
Abbildung 54: Abbruch in der Praxis	68
Abbildung 55: Abbruch in der Praxis	68
Abbildung 56: Abbruch in der Praxis	68
Abbildung 57: Abbruch in der Praxis	68
Abbildung 58: Abbruch in der landläufigen Praxis.....	68
Abbildung 59: Schadstoffe	72
Abbildung 60: Baurestmassen	82
Abbildung 61: Trennfraktionen auf der Baustelle	83
Abbildung 62: Verteilung des Bodenmaterials	88
Abbildung 63: LKW Fahrten je Wohnung	89
Abbildung 64: Massen- und Transportströme	89
Abbildung 65: Massen- und Transportaufkommen für unterschiedliche Wohnbauleistung	90
Abbildung 66: Verwertung Bodenaushub.....	91
Abbildung 67: unsortierter und sortierter Bauabfall	96
Abbildung 68: Recyclinganlage Firma Prajo	103
Abbildung 69: mineralischer Bauschutt	103
Abbildung 71: abgesiebter Putz und Mörtel	104
Abbildung 70: reinster mineralischer Bauschutt in bester Qualität.....	104
Abbildung 72: organische Reste, die in einer Neuentwicklung der Fa. Prajo in einem speziellen Verfahren zu Kompost weiterverarbeitet werden können.	105
Abbildung 73: Förderband, das den vorbereiteten Bauschutt zur händischen Sortierung transportiert	105
Abbildung 74: Abfälle aus der händischen Sortierung: links Metalle, rechts organische Abfälle ..	106
Abbildung 75: Förderband von der händischen Sortierung zur Brecheranlage.	106
Abbildung 76: Recyclingziegelsplitt hoher Qualität mit definierter Korngröße.....	107
Abbildung 77: Recyclingziegelsplitt mit unterschiedlichen Korngrößen	107

Abbildung 78: Ziegel/ Betongemisch für die Zementherstellung	107
Abbildung 79: Tennissand	107
Abbildung 80: Kunststoffrecycling	111
Abbildung 81: Energieverbrauch verschiedener Transportmittel (http://ecologic-architecture.org)	119
Abbildung 82: Tätigkeitsliste mit Zuordnung zu Expositions-kategorien – Hochbau	123
Abbildung 83: Tätigkeitsliste mit Zuordnung zu Expositions-kategorien – Technische Isolierung .	124
Abbildung 84: Formschluss, Kraftschluss, Stoffschluss	129
Abbildung 85: Demontagearten.....	130
Abbildung 86: Stoffschlussverbindungen	130
Abbildung 87: Holzverbindungen	131
Abbildung 88: Fügetechniken.....	132
Abbildung 89: Auflegen von Dachziegeln unter Ausnutzung der Schwerkraft	133
Abbildung 90: Einlegen einer Dämmplatte in den Balkenzwischenraum	133
Abbildung 91: Einschieben eines Bolzens in eine Gelenkbolzenverbindung	134
Abbildung 92: Einhängen einer Feder.....	134
Abbildung 93: Einrenken	134
Abbildung 94: Einschnappen der Deckleiste einer Pfosten- Riegel- Fassade mit Federkraft F ...	135
Abbildung 95: Zyklopenmauerwerk.....	135
Abbildung 96: zimmermannsmäßige Holzverbindung.....	136
Abbildung 97: Zapfenverbindung	136
Abbildung 98: Seilklemme.....	137
Abbildung 99: Klammern	138
Abbildung 100: Verstiften: Fügen durch Einpressen von Hilfsfügeteilen.....	138
Abbildung 101: Schrumpfen	138
Abbildung 102: Nageln	139
Abbildung 103: Nagelplatten	139
Abbildung 104: Holz Verbindungstechnik.....	140
Abbildung 105: Holzverbinder	140
Abbildung 106: Verkeilen	141
Abbildung 107: Verspannen	141
Abbildung 108: Kitten	142
Abbildung 109: Drahtflechten	143
Abbildung 110: Verzwirbeln der Litzen zweier Seilenden	143
Abbildung 111: Heften.....	144
Abbildung 112: Verbinden zweier Rohre durch Körnen oder Kerben	144
Abbildung 113: Verbindung zweier Rohr durch Pressen durch einen Ziehring.....	144
Abbildung 114: Verbinden eines Rohrs mit einer Platte mithilfe einer Druckflüssigkeit	145
Abbildung 115: Sicken.....	146
Abbildung 116: Bördeln zweier Aluminium- Klemmrippenprofilbleche	146
Abbildung 117: Falzen dünner Bleche für Stehfalzblechdeckungen	146
Abbildung 118: Wickeln.....	147
Abbildung 119: Biegeverlappen dünner Bleche	147
Abbildung 120: umformendes Einspreizen.....	147
Abbildung 121: Durchsetzfügen	148
Abbildung 122: Fügen zweier Rohre mit Hilfe eines Pressfittings.....	148
Abbildung 123: Fügen eines Seils mit einer Crimphülse.....	148
Abbildung 124: Hohl-nieten	149
Abbildung 125: Zwischenzapfen-nieten.....	149
Abbildung 126: Verbrauch an Klebstoffen in den Marktsegmenten (RENTZ et al, 2002)	151
Abbildung 127: a) Springspinne b) Rasterelektronen-mikroskopische Aufnahmen die Detailstrukturen der Füße, die erkennbar in eine Vielzahl dünner "Härchen" auslaufen.	157
Abbildung 128: Eignung unterschiedlicher Klebstoffen für unterschiedliche Bodenbeläge. Quelle: www.wecobis.iai.fzk.de	158
Abbildung 129: Trennbare Befestigung von Bodenbelägen auf dem Untergrund.....	166
Abbildung 130: Entfernen von Boden- und Wandbelägen. Quellen im Uhrzeigersinn:.....	166
Abbildung 131: Dichtungsmanschetten.....	168

Abbildung 132: Unicon Schnellverbinder- System	171
Abbildung 133: Sherpa- Verbinder, Harrer GmbH	172
Abbildung 134: S- House: Lattung und Dämmebene sind mit der Schraube fest verbunden und ermöglichen einen wärmebrückenfreien Wandaufbau.	172
Abbildung 135: BeamClamp Klemmverbindung für Stahlträger	173
Abbildung 136: BeamClamp Bodenklemmen.....	173
Abbildung 137: BeamClamp Gitterrost- Klemmen	173
Abbildung 138: Phoenix Fassade.....	174
Abbildung 139: Terrassenholzbefestigung, Firma Theil	174
Abbildung 140: Nachhaltigkeitsmatrix für Leicht- und Massivbauten	177
Abbildung 141: Positiv/ Negativlisten zur Baustoffoptimierung	178
Abbildung 142: Lehmhaus in Schlins, Martin Rauch.....	179
Abbildung 143: Energy base, pos-architekten.....	180
Abbildung 144: Energy Base, pos-architekten	180
Abbildung 145: abfallreiche Sonderlösungen.....	181
Abbildung 146: Iigus- Fabrik, Köln, Nicholas Grimshaw & Partners	184
Abbildung 147: Wohnhaus Mitterweg, Architekten Baumschlager- Eberle	185
Abbildung 148: Austauschzyklen von baulichen und technischen Gebäudekonstruktionen basierend auf ihrer Lebensdauer	189
Abbildung 149: Einflussfaktoren auf die Technische Lebensdauer nach KALUSCHE (2008)	189
Abbildung 150: demontagegerechte Verbindungstechnik.....	191
Abbildung 151: Vergleich von recyclinggerechten und konventionellen Konstruktionen	192
Abbildung 152: Baumassenerlegung nach R. Hermann	193
Abbildung 153: system/haus/bau	195
Abbildung 154: Konzept Struktur für einen Gebäudepass	197
Abbildung 155: home+, Solardecathlon 2010 Abbildung 156: Solarzellen, Sunways	210
Abbildung 157: Capricorn Haus Medienhafen Düsseldorf	211
Abbildung 158: Grüne Fassade von Patric Blanc.....	212
Abbildung 159: HF Vegetationswand	212
Abbildung 160: Wonderwall, Quelle: www.copijn.nl/sportplaza-mercator-amsterdam	213
Abbildung 161: Konzerthaus für den Dänischen Rundfunk, Kopenhagen, Ateliers Jean Nouvel, 2009	213
Abbildung 162: Haus für Musik und Musiktheater (MUMUTH) in Graz, UN-Studio (Ben van Berkel und Caroline Bros)	214
Abbildung 163: DMG Headquarters Klaus, Oskar Leo Kaufmann, Albert Rüt	214
Abbildung 164: Privathaus, Affoltern am Albis, CH, Arch. Deon AG, Luzern.....	215
Abbildung 165: BTV Bank, Innsbruck, Arch. Hanno Vogl- Fernheim, Innsbruck	215
Abbildung 166: Museumsneubau Sammlung Brandhorst, München, Sauerbruch & Hutton, Berlin	216
Abbildung 167: Moeding Ziegelfassaden, www.moeding.de	216
Abbildung 168: City Stadion, Johannesburg, Südafrika	217
Abbildung 169: Rheinzink Fassade.....	217
Abbildung 170: Slim- Floor	218
Abbildung 171: Stegdecke mit integrierter Haustechnik.....	218
Abbildung 172: Stegdecke mit integrierter Haustechnik.....	219
Abbildung 173: Flexibilität beim Einsatz der Stegdecke.....	219
Abbildung 174: Deckenaufbau Lignotrend- Decke	220
Abbildung 175: Hybrid House.....	220
Abbildung 176: vorgefertigtes Deckenelement, Kaden Klingbeil Architekten.....	221
Abbildung 177: Hohlkastendecke	221
Abbildung 178: Distanzbodensystem „Catstep“	222
Abbildung 179: Grafische Darstellung der Ergebnisse aus der qualitativen Bewertung des IBO-Einfamilienhauses in unterschiedlichen Varianten.	237
Abbildung 180: Big- Bags.....	251
Abbildung 181: Fassaden mit Funktion	284
Abbildung 182: Holzfassade Abbildung 183: "Gugler Stern" Fassade	284
Abbildung 184: Gabionen.....	285

Abbildung 185: Nützlingshotel.....	285
Abbildung 186: Spalierobst	285
Abbildung 187: Recycelte Autoreifen	286

14. Anhang 1: Kostenbewertung der Bauteilaufbauten

Legende:

eigene Annahmen auf Basis von Listenpreisen und geschätzten Lohnkosten

keine Angaben

AW Außenwände

EAW1.1 Keller Stahlbeton

[cm]	Konventioneller Aufbau	EHP
-	Erdreich	
	PP Filtervlies	2,04
15,00	Drainschicht	6,00
20,00	XPS, flächig geklebt	45,42
1,00	Polymerbitumen-Dichtungsbahn 2-lagig	39,89
25,00	STB-Wand	100,80
0,50	Gipsspachtel	9,97
61,50	Gesamt	204,12 100%

[cm]	Alternativer Aufbau	EHP
-	Erdreich	
	PP Filtervlies	2,04
40,00	Schaumglasschotter	80,00
25,00	WU-Beton	104,16
0,50	Mineralische Spachtelung	15,34
65,50	Gesamt	201,54 99%

AW1.1 Stahlbeton mit Wärmedämmverbundsystem (mineralisch)

[cm]	Konventioneller Aufbau	EHP
1,00	Silikatputz	14,67
26,00	EPS	49,39
20,00	STB-Wand	80,64
0,50	Gipsspachtel	9,97
47,50	Gesamt	154,67 100%

[cm]	Alternativer Aufbau	EHP
1,00	mineralischer Außenputz, z.B. Kalkputz	14,67
28,00	Mineralschaumplatte	120,00
20,00	STB-Wand (Ortbeton)	80,64
0,50	mineralische Spachtelmasse	15,34
49,50	Gesamt	230,65 149%

AW1.2a Ziegelmauerwerk mit Putzfassade

[cm]	Konventioneller Aufbau	EHP
1,00	Silikatputz	14,67
22,00	EPS	44,69
25,00	Ziegel, Hochlochziegel porosiert	56,00
1,50	Kalkzementputz	11,20
49,50	Gesamt	126,56 100%

[cm]	Alternativer Aufbau	EHP
1,00	Silikatputz	14,67
1,20	Blähglasplatte	
4,00	Hinterlüftung, Tragprofil Wärmedämm-Konsole Phoenix	
0,02	PE-Windsperr	
18,00	Glaswolle Dämmplatten (mit Glasvlies)	
25,00	Ziegel, Hochlochziegel porosiert	56,00
1,50	Lehmputz	28,00
50,72	Gesamt	98,67 78%

AW1.2b Ziegelmauerwerk mit Putzfassade

[cm]	Konventioneller Aufbau	EHP
1,00	Silikatputz	14,67
22,00	EPS	44,69
25,00	Ziegel, Hochlochziegel porosiert	56,00
1,50	Kalkzementputz	11,20
49,50	Gesamt	126,56 100%

[cm]	Alternativer Aufbau	EHP
1,00	Kalkzementputz	16,80
50,00	Hochwärmedämmender Ziegel	110,00
1,50	Lehmputz	28,00
52,50	Gesamt	154,80 122%

AW1.3a Ziegelmauerwerk mit hinterlüfteter Fassade

[cm]	Konventioneller Aufbau	EHP
2,00	Holzschalung Lärche	66,16
4,00	Hinterlüftung, Lattung	10,55
-	Winddichtung, diffusionsoffen	5,96
2,00	Holzschalung (Streuschalung, 1 mm Abstand)	16,28
22,00	Steinwolle zw. Doppel-T-Träger	46,50
25,00	Ziegel, Hochlochziegel porosiert	56,00
1,00	Kalkzementputz	10,64
56,00	Gesamt	212,09 100%

[cm]	Alternativer Aufbau	EHP
2,00	Holzschalung Lärche	66,16
4,00	Hinterlüftung, Lattung	11,01
-	PE-Winddichtung, diffusionsoffen	5,96
2,00	Holzschalung (Streuschalung, 1mm Abstand)	16,28
22,00	Schafwolle zw. Doppel-T-Träger	109,16
25,00	Ziegel, Hochlochziegel porosiert	56,00
1,50	Lehmputz	28,00
56,50	Gesamt	292,57 138%

AW1.4 Holzständerwand mit hinterlüfteter Fassade

[cm]	Konventioneller Aufbau	EHP	
2,00	Holzschalung Lärche	66,16	
3,00	Lattung 3/5cm	10,55	
-	PE-Winddichtung, diffusionsoffen	5,96	
2,00	Sparschalung	12,53	
24,00	Steinwolleplatten zw. Holzunterkonstruktion	49,01	
1,80	OSB Platte	18,84	
-	PE- Dampfbremse	5,33	
5,00	Lattung, dazw. Glaswolle	19,22	
3,00	GKF Brandschutzplatten, 2-lagig	37,56	
40,80	Gesamt	225,16	100%

[cm]	Alternativer Aufbau	EHP	
2,00	Holzschalung Lärche	66,16	
3,00	Lattung 3/5cm	10,55	
-	PE-Winddichtung, diffusionsoffen	5,96	
2,50	Diagonalholzschalung	19,45	
28,00	Holzrahmenkonstruktion mit Flachsdämmung	93,97	
2,50	Diagonalholzschalung	19,48	
-	PE-Dampfbremse	5,33	
5,00	Lattung, dazw. Flachsdämmung	31,73	
3,00	Lehmplatten	82,87	
46,00	Gesamt	335,50	149%

AW1.5c Holzmassivwand

[cm]	Konventioneller Aufbau	EHP	
2,00	Holzschalung Lärche	66,16	
3,00	Lattung 3/5cm	10,55	
-	PE-Winddichtung, diffusionsoffen	5,96	
2,00	Holzweichfaserplatte	21,86	
24,00	Glaswolle zw. Holzkonstruktion	80,65	
-	Baupapier Dampfbremse	5,33	
10,00	Brettspertholzwand	80,65	
1,50	Gipskartonplatten	24,12	
42,50	Gesamt	295,28	100%

[cm]	Alternativer Aufbau	EHP	
2,00	Holzschalung Lärche	66,16	
3,00	Lattung 3/5cm	10,55	
2,00	Holzweichfaserplatte	21,86	
-	Windpapier, werkseitig integriert	5,96	
50,00	Massivholz wand (z.B. Holz100)	345,28	
57,00	Gesamt	449,81	152%

AW1.6a Fassadenelement

[cm]	Konventioneller Aufbau	EHP	
0,05	Stahlblech, polyesterbeschichtet		
16,00	Dämmkern aus PU-Hartschaum	75,96	
0,05	Stahlblech, polyesterbeschichtet		
16,10	Gesamt	75,96	100%

[cm]	Alternativer Aufbau	EHP	
1,80	OSB-Platte	18,84	
16,00	EPS-Platte	40,00	
1,80	OSB-Platte	18,84	
19,60	Gesamt	77,68	102%

AW1.6b Fassadenelement

[cm]	Konventioneller Aufbau	EHP	
0,05	Stahlblech, polyesterbeschichtet		
16,00	Dämmkern aus PU-Hartschaum	75,96	
0,05	Stahlblech, polyesterbeschichtet		
16,10	Gesamt	75,96	100%

[cm]	Alternativer Aufbau	EHP	
2,00	Holzschalung	66,16	
3,00	Lattung 3/5cm	10,55	
-	PE-Windsperr	5,96	
16,00	Doppel-T-Träger dazw. Steinwolle- Dämmung	41,51	
-	Dampfbremse	5,33	
1,50	Faserzementplatte	27,01	
22,50	Gesamt	156,52	206%

DA Dachaufbauten

DA1.1 Flachdach/Duodach bekies, optional Terrassenflächen

[cm]	Konventioneller Aufbau	EHP	
4,00	Betonplatten/ optional	44,41	
10,00	Kies 16/32	11,20	
-	Filtervlies	2,04	
5,00	XPS	10,85	
1,00	Polymerbitumenabdichtung 2lagig	25,13	
26,00	EPS Plus i. G. 1,5% (0,18cm bis 0,26cm)	41,05	
-	Alu- Bitudampfsperre	10,08	
-	bituminöser Voranstrich	1,62	
20,00	STB Decke	75,04	
-	Gipsspachtel	9,97	
66,00	Gesamt	231,39	100%

[cm]	Alternativer Aufbau	EHP	
4,00	Betonplatten/ optional	44,41	
10,00	RC-Kies 16/32	11,20	
-	Filtervlies	2,04	
5,00	XPS	10,85	
0,20	PE-Abdichtung		
36,00	Schaumglasplatten i. G.	138,00	
20,00	STB- Decke	75,04	
-	mineralische Spachtelung	15,34	
75,20	Gesamt	296,88	128%

DA1.2 Flachdach / Warmdach extensive Begrünung

[cm]	Konventioneller Aufbau	EHP	
10,00	Vegetationsschicht	15,00	
-	PP-Filtervlies	2,04	
5,00	Dränschicht	5,10	
-	Bitumen Wurzelschutzbahn, Trennlage	13,51	
1,00	Polymerbitumenabdichtung 2lagig	21,18	
-	Dampfdruckausgleichsschicht		
36,00	EPS i. G. 1,5%	43,15	
-	Alu- Bitumdampfsperre	10,08	
-	bituminöser Voranstrich	1,62	
25,00	STB Decke	75,04	
-	Gipsspachtel	9,97	
77,00	Gesamt	196,69	100%

[cm]	Alternativer Aufbau	EHP	
10,00	Vegetationsschicht	15,00	
-	PP-Filtervlies	2,04	
5,00	Dränschicht	5,10	
1,00	Gummigranulat-Schutzmatte	13,61	
0,20	EPDM Abdichtung	21,28	
35,00	EPS i. G. 1,8%	33,61	
-	PE-Dampfsperre		
20,00	STB Decke	75,04	
-	mineralische Spachtelung	15,34	
71,20	Gesamt	181,02	92%

DA1.6 Steildach Sparrendach

[cm]	Konventioneller Aufbau	EHP	
0,10	Faserzementplatten	31,36	
3,00	Lattung 3/5cm	10,85	
4,00	Hinterlüftung zw. Konterlattung	14,08	
-	Diffusionsoffene Dachbahn	16,24	
44,00	Steinwolle zw. Sparren	60,98	
-	PE-Dampfbremse	5,33	
3,00	Lattung 3/5cm, Steinwolle	16,11	
2,50	GKB 2x1,25cm	35,68	
56,60	Gesamt	190,63	100%

[cm]	Alternativer Aufbau	EHP	
0,10	Metalleindeckung (Zink)	52,64	
3,00	Lattung 3/5cm	10,66	
4,00	Hinterlüftung zw. Konterlattung	14,08	
-	Diffusionsoffene Dachbahn	16,24	
44,00	Flachs zw. Sparren	179,50	
-	PE-Dampfbremse	5,33	
3,00	Lattung 3/5cm, Schafwolle	30,00	
2,50	Lehmplatten	59,23	
56,60	Gesamt	367,68	193%

IW Innenwände

IW1.1 Innenwand nichttragend

[cm]	Konventioneller Aufbau	EHP	
1,25	GKB 1,25		
7,50	Steinwolle zw. Metallstehern	36,96	
1,25	GKB 1,25		
10,00	Gesamt	36,96	100%

[cm]	Alternativer Aufbau	EHP	
1,50	Lehmbauplatte (Claytec)	50,40	
7,50	Hanf/ Schafwolle/etc. zw. Metallstehern		
1,50	Lehmbauplatte (Claytec)	50,40	
10,50	Gesamt	100,80	273%

DE Deckenaufbauten

DE1.1a Geschoßdecke Massivbau

[cm]	Konventioneller Aufbau	EHP	
-	Bodenbelag (Parkett, Teppich) verklebt	46,48	
5,00	Estrich	12,32	
-	PE-Dampfsperre	2,35	
3,00	Steinwolle Trittschalldämmplatte	7,84	
4,00	Kiesschüttung gebunden	4,48	
18,00	STB-Decke lt. Statik	67,54	
-	Gipsspachtel	9,97	
30,00	Gesamt	150,98	100%
12,00	Bodenaufbau	73,47	100%

[cm]	Alternativer Aufbau	EHP	
-	Bodenbelag (Parkett, Teppich) schwimmend	39,20	
2,50	Trockenestrichelement, 2-lagig	42,56	
4,00	Holzfaser Trittschalldämmung	12,50	
-	PE-Dampfbremse	2,35	
4,00	Kiesschüttung gebunden	4,48	
18,00	STB-Decke lt. Statik	67,54	
-	mineralische Spachtelung	15,34	
28,50	Gesamt	183,97	122%
10,50	Bodenaufbau	101,09	138%

DE1.1b Geschoßdecke Massivbau

[cm]	Konventioneller Aufbau	EHP	
-	Bodenbelag (Parkett, Teppich) verklebt	46,48	
5,00	Estrich	12,32	
-	PE-Dampfsperre	2,35	
3,00	Steinwolle Trittschalldämmplatte	7,84	
4,00	Kiesschüttung gebunden	4,48	
18,00	STB-Decke lt. Statik	67,54	
-	Gipsspachtel	9,97	
30,00	Gesamt	150,98	100%
12,00	Bodenaufbau	73,47	100%

[cm]	Alternativer Aufbau	EHP	
-	Bodenbelag (Parkett, Teppich) verklebt		
3,20	Spanplatten	33,00	
3,00	Mineralwolle zw. höhenverstell., trittschalldämm. Distanzfüßen		
18,00	STB-Decke lt. Statik	67,54	
-	mineralische Spachtelung	15,34	
24,20	Gesamt	115,88	77%
6,20	Bodenaufbau	33,00	45%

DE1.1d Geschoßdecke Massivbau

[cm]	Konventioneller Aufbau	EHP	
-	Bodenbelag (Parkett, Teppich) verklebt		
5,00	Estrich	12,32	
-	PE-Dampfsperre	2,35	
3,00	Steinwolle Trittschalldämmplatte	6,50	
4,00	Kiesschüttung gebunden	4,48	
18,00	STB-Decke lt. Statik	67,54	
-	Gipsspachtel	9,97	
30,00	Gesamt	103,16	100%
12,00	Bodenaufbau	25,65	100%

[cm]	Alternativer Aufbau	EHP	
-	Bodenbelag (Parkett, Teppich) verklebt		
2,50	Blindboden		50,00
5,00	Polsterholz, dazw. Schafwolle		
6,00	Holzfaser- Trittschalldämmstreifen		
18,00	STB-Decke lt. Statik	67,54	
-	mineralische Spachtelung	15,34	
31,50	Gesamt	132,88	129%
7,50	Bodenaufbau	50,00	195%

DE1.2a Geschoßdecke Massivholzbau

[cm]	Konventioneller Aufbau	EHP	
2,00	Parkett verklebt (€46,48, nicht mitgerechnet)		
5,00	Estrich	12,32	
-	PE-Folie	0,45	
3,00	Steinwolle TSP MW-S 35/30	6,50	
4,00	Schwere Splittschüttung, ungebunden, verdichtet	5,38	
-	Rieselschutz	16,24	
12,00	Brettsperholzplatte lt. Statik	101,10	
1,00	Luftraum		
4,00	Mineralwolle	10,47	
3,00	GKF 2 x 1,25	63,67	
34,00	Gesamt	216,13	100%
14,00	Bodenaufbau	40,89	100%

[cm]	Alternativer Aufbau	EHP	
1,00	Parkett schwimmend		
5,00	Estrich	12,32	
-	PE-Folie	0,45	
3,00	Trittschalldämmung Glaswolle	16,51	
5,00	Betonplatten/ Ziegel	6,00	
12,00	Brettsperholzplatte lt. Statik	101,10	
1,00	Luftraum		
4,00	Schafwolle	23,00	
3,00	Gipsfaserplatten 2-lagig	63,67	
		63,67	
34,00	Gesamt	210,28	97%
14,00	Bodenaufbau	35,28	86%

DE1.2b Geschoßdecke Massivholzbau

[cm]	Konventioneller Aufbau	EHP	
2,00	Parkett verklebt		
5,00	Estrich	12,32	
-	PE-Folie	0,45	
3,00	Steinwolle TSP MW-S 35/30	22,48	
4,00	Schwere Splittschüttung, ungebunden, verdichtet	5,38	
-	Rieselschutz	16,24	
12,00	Brettsperholzplatte lt. Statik	101,10	
1,00	Luftraum		
4,00	Mineralwolle	10,47	
3,00	GKF 2 x 1,25	63,67	
34,00	Gesamt	232,11	100%
14,00	Bodenaufbau	56,87	100%

[cm]	Alternativer Aufbau	EHP	
0,50	Keramischer Belag, verklebt		
5,00	Estrich	12,32	
-	PE-Folie	0,45	
3,50	Trittschalldämmung Mineralfaser	6,50	
1,50	Holzfaserplatte zur Druckverteilung	21,86	
19,60	Brettsperholz-Element LIGNO Q3, mit Kalksplitt befüllt	150,00	
30,10	Gesamt	191,13	82%
10,50	Bodenaufbau	41,13	72%

DE1.2c Geschoßdecke Massivholzbau

[cm]	Konventioneller Aufbau	EHP	
2,00	Parkett verklebt		
5,00	Estrich	12,32	
-	PE-Folie	0,45	
3,00	Steinwolle TSP MW-S 35/30	22,48	
4,00	Schwere Splittschüttung, ungebunden, verdichtet	5,38	
-	Rieselschutz	16,24	
12,00	Brettsperholzplatte lt. Statik	101,10	
1,00	Luftraum		
4,00	Mineralwolle	10,47	
3,00	GKF 2 x 1,25	63,67	
34,00	Gesamt	232,11	100%
14,00	Bodenaufbau	56,87	100%

[cm]	Alternativer Aufbau	EHP	
0,50	Parkett verklebt oder schwimmend		
3,20	Spanplatten	33,00	
3,50	Glaswolle Trittschalldämmung 40/35	23,25	
1,50	Holzfaserplatte zur Druckverteilung	21,86	
19,60	Brettsperholz-Element LIGNO Q3, mit Kalksplitt befüllt	150,00	
28,30	Gesamt	228,11	98%
8,70	Bodenaufbau	78,11	137%

DE1.3 Geschoßdecke Holzrahmenbau

[cm]	Konventioneller Aufbau	EHP	
1,00	Bodenbelag, geklebt		
6,00	Estrich	12,99	
-	PE-Folie	0,22	
3,00	Mineralwolle Trittschalldämmplatte MW-S 35/30	22,48	
4,00	Schwere Splittschüttung, ungebunden, verdichtet	5,38	
2,00	Zementgebundene Spanplatte	59,06	
16,00	Holzkonstruktion, dazw. Steinwolle (5cm) eingelegt	32,87	
3,00	Lattung 3/5cm	13,07	
2,50	GKF Brandschutzplatten, 2-lagig	37,56	
37,50	Gesamt	183,63	100%
16,00	Bodenaufbau	100,13	100%

[cm]	Alternativer Aufbau	EHP	
1,00	Bodenbelag, schwimmend		
2,50	Trockenestrichelement	42,56	
3,00	Mineralwolle Trittschalldämmplatte MW-S 35/30	6,50	
4,00	Schwere Splittschüttung, ungebunden, verdichtet	5,38	
2,00	Schalung Holz	19,61	
16,00	Holzkonstruktion, dazw. Schafwolle (5 cm) eingelegt	49,94	
3,00	Lattung 3/5cm	13,07	
2,50	Holzschalung	33,73	
34,00	Gesamt	170,79	93%
12,50	Bodenaufbau	74,05	74%

DE1.4 Fußboden zu unbeheizt / Keller

[cm]	Konventioneller Aufbau	EHP		
0,50	Keramischer Belag	36,96		
0,50	Kleber			
5,00	Estrich	12,32		
-	PE-Folie	0,45		
3,00	Steinwolle Trittschalldämmplatte MW-S 35/30	22,48		
4,00	Kiesschüttung gebunden	4,48		
20,00	STB- Decke lt. Statik	75,04		
22,00	Tektalan SD (in Schalung eingelegt)			
55,00	Gesamt	151,73	100%	
13,00	Bodenaufbau	76,69	100%	

[cm]	Alternativer Aufbau	EHP		
0,50	Feinsteinzeug	39,20		
0,50	Dünnbettmörtel			
2,50	Trockenestrichelement, 2-lagig	42,56		
4,00	Trittschalldämmung Holzfaser	12,50		
-	PE-Dampfbremse	2,35		
4,00	Kiesschüttung gebunden	4,48		
20,00	STB-Decke lt. Statik	75,04		
20,00	Glaswolle-Dämmung			
1,50	GK-Platte			
53,00	Gesamt	176,13	116%	
11,50	Bodenaufbau	101,09	132%	

DE1.5 Fußboden zu unbeheizt / Keller

[cm]	Konventioneller Aufbau	EHP		
1,00	Teppich			
6,00	Estrich	12,32		
-	PE-Dampfsperre	2,35		
3,00	EPS T 32/30	8,03		
20,00	EPS W20	19,94		
20,00	STB- Decke lt. Statik	75,04		
10,00	Holzwohle Mehrschichtplatte			
60,00	Gesamt	117,68	100%	
30,00	Bodenaufbau	42,64	100%	

[cm]	Alternativer Aufbau	EHP		
1,00	Teppich			
2,50	Trockenestrichelement, 2-lagig	42,56		
-	PE-Dampfbremse	2,35		
4,00	Holzfaser-Dämmplatte	12,50		
22,00	Perlite	86,25		
20,00	STB-Decke lt. Statik	75,04		
8,00	Glaswolle-Dämmung			
1,50	GK-Platte			
59,00	Gesamt	218,70	186%	
29,50	Bodenaufbau	143,66	337%	

DE1.6 Fußboden zu Erdreich, oberseitig gedämmt

[cm]	Konventioneller Aufbau	EHP		
0,50	Keramischer Belag	36,96		
0,50	Kleber			
5,00	Estrich	12,32		
-	PE-Dampfbremse	2,35		
3,00	Mineralwolle Trittschalldämmplatte	22,48		
22,00	EPS W20	19,94		
1,00	Polymerbitumenabdichtung 2lagig	21,55		
25,00	Fundamentplatte lt. Statik	70,56		
-	Baupapier			
15,00	Rollierung	5,88		
-	PP-Filtervlies			
72,00	Gesamt	192,04	100%	
32,00	Bodenaufbau	115,60	100%	

[cm]	Alternativer Aufbau	EHP		
0,50	Keramischer Belag	36,96		
0,50	Kleber			
3,30	Faserzement-Trockenestrich	51,32		
-	PE-Dampfbremse	2,35		
4,00	Holzfaser-Dämmplatte	12,50		
26,00	Perlite verdichtet	86,25		
25,00	WU-Beton	78,40		
-	Baupapier			
15,00	Rollierung	5,88		
-	PP-Filtervlies			
74,30	Gesamt	273,66	143%	
34,30	Bodenaufbau	189,38	164%	

DE1.7b Fußboden zu Erdreich, unterseitig gedämmt

[cm]	Konventioneller Aufbau	EHP		
1,00	textiler Belag, vollflächig verklebt	34,92		
5,00	Estrich	12,32		
-	PE-Folie	0,45		
3,00	Mineralwolle Trittschalldämmplatte	22,48		
5,00	EPS zementgebunden	4,48		
1,00	Polymerbitumenabdichtung 2-lagig	21,55		
25,00	Fundamentplatte lt. Statik	70,56		
-	PE-Folie, 2-lagig	0,90		
18,00	XPS	33,60		
5,00	Magerbeton Sauberkeitsschicht	5,04		
-	Baupapier			
15,00	Rollierung	5,88		
-	PP-Filtervlies			
72,00	Gesamt	212,18	100%	
14,00	Bodenaufbau	96,20	100%	

[cm]	Alternativer Aufbau	EHP		
1,00	textiler Belag, vollflächig verklebt	34,92		
3,00	Trockenestrichelement, 2-lagig	51,32		
4,00	Trittschalldämmung Holzfaser	12,50		
-	PE-Dampfbremse	2,35		
5,00	Perlite	17,25		
25,00	Fundamentplatte lt. Statik	70,56		
-	Schutzfolie (PE, Papier, Geotextil)	0,45		
40,00	Schaumglasschotter	80,00		
-	Schutzfolie (PE, Papier, Geotextil)	0,45		
1,00	Polymerbitumenabdichtung 2-lagig	21,55		
5,00	Magerbeton	5,04		
-	Rohbauplanum			
80,00	Gesamt	296,39	140%	
13,00	Bodenaufbau	118,34	123%	

15. Anhang 2: Annahmen zur Berechnung der Recyclierbarkeit und der ökologischen Indikatorwerte

Abkürzungen

V ... Verbrennung

R ... Recycling

B ... Beseitigung

EAW1.1 Keller Stahlbeton

Annahmen zur Nutzungsdauer

Schicht	Jahre
Splitt	100
Dämmung, Isolierung	40
STB-Wand	100

Bewertung der einzelnen Schichten hinsichtlich ihrer Recyclierbarkeit

EAW1.1	Weg	Note
Vlies (PP)	V	3
Splitt	R	1
Polystyrol extrudiert (XPS)	B	4
Polymerbitumen-Dichtungsbahn	B	3
Bitumenanstrich	B	3
Normalbeton	B	3
Armierungsstahl	R	1
Gipsspachtel	B	4

EAW1.1 Variante	Weg	Note
Vlies (PP)	V	3
Schaumglasschotter	R	1
WU-Beton	R	1
Armierungsstahl	R	1
Zementspachtel	R	3

AW1.1 Stahlbeton mit Wärmedämmverbundsystem

Annahmen zur Nutzungsdauer

Schicht	Jahre
Putz	25
WDVS	50
Betonsteinwand, Verputz	100

Bewertung der einzelnen Schichten hinsichtlich ihrer Recyclierbarkeit

AW1.1	Weg	Note
Putzschicht	B	4
Polystyrol-Platte (EPS)	B	4
Klebspachtel	B	4
STB-Wand	R	3
Armierungsstahl	R	1
Gipsspachtel	B	4

AW1.1 Variante	Weg	Note
Putzschicht	B	3
Mineralschaumplatte	B	3
Klebspachtel	B	3

STB-Wand	R	2
Armierungsstahl	R	1
Zementspachtel	R	3

AW1.2 Ziegelmauerwerk mit Putzfassade

Annahmen zur Nutzungsdauer

Schicht	Jahre
Putz	25
WDVS	50
Hochlochziegel	100

Bewertung der einzelnen Schichten hinsichtlich ihrer Recyclierbarkeit

AW1.2	Weg	Note
Putzschicht	B	4
EPS	B	4
Klebstoff	B	4
Mörtel	B	3
Hochlochziegel	R	3
Kalkzementputz	B	3

AW1.2 Variante a	Weg	Note
Putzschicht	B	3
Putzträger	B	3
Stahlanker	R	1
Mörtel	B	3
Hochlochziegel	R	2
Lehmputz	B	3

AW1.2 Variante b	Weg	Note
Putzschicht	B	3
Mörtel	B	3
Hochlochziegel	R	2
Lehmputz	B	3

AW1.3 Ziegelmauerwerk mit hinterlüfteter Fassade

Annahmen zur Nutzungsdauer

Schicht	Jahre
Fassadenverkleidung	25
Unterkonstruktion	50
Dämmstoff	50
Ziegel	100

Bewertung der einzelnen Schichten hinsichtlich ihrer Recyclierbarkeit

AW1.3	Weg	Note
Lärchenverschalung	V	1
Lattung	V	1
Polyethylenbahn	V	3
Schalung	V	1
Doppel-T-Träger	V	3
Steinwolle	B	4
Mörtel	R	2
Hochlochziegel	B	3
Kalkzementputz	B	3

AW1.3 Variante	Weg	Note
Lärchenverschalung	V	1
Lattung	V	1
Polyethylenbahn	V	3
Schalung	V	1
Doppel-T-Träger	V	3
Schafwolle	V	3
Mörtel	R	2
Hochlochziegel	B	3
Lehmputz	B	3

AW1.4 Holzständerwand mit hinterlüfteter Fassade

Annahmen zur Nutzungsdauer

Schicht	Jahre
Fassadenverkleidung	25
Holzsteher	75
Sonstige	50

Bewertung der einzelnen Schichten hinsichtlich ihrer Recyclierbarkeit

AW1.4	Weg	Note
Holzverschalung	V	1
Lattung	V	1
PE-Winddichtung	V	3
Schalung	V	1
Sparren	R	1
Steinwolle	B	4
OSB-Platte	V	3
PE-Dampfbremse	V	3
Lattung	V	1
Glaswolle	B	4
Gipskartonplatte	B	4

AW1.4 Variante	Weg	Note
Holzverschalung	V	1
Lattung	V	1
PE-Winddichtung	V	3
Schalung	V	1
Sparren	R	1
Flachs	V	3
Schalung	V	1
PE-Dampfbremse	V	3
Lattung	V	1
Flachs	V	3
Lehmbauplatte	B	2

AW1.5 Holzmassivwand

Annahmen zur Nutzungsdauer

Schicht	Jahre
Fassadenverkleidung	25
Holzmassiv, Holzträger	75
Sonstige	50

Bewertung der einzelnen Schichten hinsichtlich ihrer Recyclierbarkeit

AW1.5	Weg	Note
Holzverschalung	V	1
Lattung	V	1
PE-Winddichtung	V	3
Holzfaserplatte	V	1
Holzträger	R	1
Glaswolle	B	4
Papier-Dampfbremse	V	3
KLH	R	1
Gipskartonplatte	B	4

AW1.5 Variante c	Weg	Note
Holzverschalung	V	1
Lattung	V	1
Holzfaserplatte	V	1
PE-Winddichtung	V	3
KLH	R	1

AW1.6 Sandwichelement

Annahmen zur Nutzungsdauer

Schicht	Jahre
Sandwichelement	30
Holzkonstruktion	50
Holzschalung	25

Bewertung der einzelnen Schichten hinsichtlich ihrer Recyclierbarkeit

AW1.6	Weg	Note
Stahlblech	R	2
PU-Hartschaum	B	4
Stahlblech	R	2

AW1.6 Variante a	Weg	Note
OSB-Platte	V	3
EPS-Dämmstoff	V	3
OSB-Platte	V	3

AW1.6 Variante b	Weg	Note
Holzlattung	V	1
PE-Winddichtung	V	3
Mineralwolle	B	4
Doppel-T-Träger	V	3
Dampfbremse	V	3
Faserzementplatte	B	3

DA1.1 Flachdach/ Duodach bekiest, optional Terrassenflächen

Annahmen zur Nutzungsdauer

Schicht	Jahre
Stahlbetondecke	100
alle anderen Schichten	50

Bewertung der einzelnen Schichten hinsichtlich ihrer Recyclierbarkeit

DA1.1	Weg	Note
Betonplatten	R	1
Kies	R	1

Filtervlies	V	3
XPS	V	3
Polymerbitumen	V	3
EPS	V	3
Alu-Bitu-Dampfsperre	B	3
Bitumenanstrich	B	3
STB-Decke	B	3
Armierungsstahl	R	1
Gipsspachtel	B	4

DA1.1 Variante	Weg	Note
Betonplatten	R	1
Kies	R	1
Filtervlies	V	3
XPS	V	3
PE Dichtungsbahn	V	3
Schaumglas	B	2
STB-Decke	R	1
Armierungsstahl	R	1
Zementputz	R	3

DA1.2 Flachdach/ Warm-dach/ extensive Begrünung

Annahmen zur Nutzungsdauer

Schicht	Jahre
Stahlbetondecke	100
alle anderen Schichten	50

Bewertung der einzelnen Schichten hinsichtlich ihrer Recyclierbarkeit

DA1.2	Weg	Note
Pflanzensubstrat	-	-
PP-Filtervlies	B	4
Dränschicht	R	1
Wurzelschutzbahn	B	5
Polymerbitumen	V	3
Dampfdruck-Ausgleich	V	3
EPS	V	3
Alu-Bitudampfsperre	B	3
STB-Decke	B	3
Armierungsstahl	R	1
Gipsspachtel	B	4

DA1.2 Variante	Weg	Note
Pflanzensubstrat	-	-
PP-Filtervlies	B	4
Dränschicht	R	1
Gummigranulatmatte	B	4
EPDM-Abdichtung	V	3
EPS	V	3
PE-Dampfsperre	V	3
STB-Decke	R	1
Armierungsstahl	R	1
Zementspachtel	R	3

DA1.5 Steildach Massivdach

Annahmen zur Nutzungsdauer

Schicht	Jahre
Stahlbetondecke	100
Sparren	100
alle anderen Schichten	50

Bewertung der einzelnen Schichten hinsichtlich ihrer Recyclierbarkeit

DA1.5	Weg	Note
Bitumenschindeln	B	3
Schalung	V	3
Lattung	V	1
Polyethylenbahn	V	3
Schalung	V	1
Sparren	R	1
Steinwolle	B	4
STB-Decke	R	1
Armierungsstahl	R	1
Gipsspachtel	B	4

DA1.5 Variante	Weg	Note
PV-Anlage	-	-
Lattung	V	1
Konterlattung	V	1
Polyethylenbahn	V	3
Schalung	V	1
Sparren	R	1
Stroh	V	3
STB-Decke	R	1
Armierungsstahl	R	1
Gipsspachtel	R	3

DA1.6 Steildach Sparrendach

Annahmen zur Nutzungsdauer

Schicht	Jahre
Sparren	100
Dämmung	50
Außenaufbau	50
Innenaufbau	60

Bewertung der einzelnen Schichten hinsichtlich ihrer Recyclierbarkeit

DA1.6	Weg	Note
Faserzementplatten	B	3
Lattung	V	1
Konterlattung	V	1
Polyethylenbahn	V	3
Holzschalung	V	1
Sparren	R	1
Steinwolle	B	4
PE-Dampfbremse	V	3
Lattung	V	1
Steinwolle	B	4
Gipskartonplatte	B	4

DA1.6 Variante	Weg	Note
Titanzinklech	R	1

Lattung	V	1
Konterlattung	V	1
Polyethylenbahn	V	3
Holzschalung	V	1
Sparren	R	1
Zellulosefaserflocken	B	4
PE-Dampfbremse	V	3
Lattung	V	1
Lehmbauplatte	B	3

DE1.1 Geschoßdecke Massivbau

Annahmen zur Nutzungsdauer

Schicht	Jahre
Parkett	40
Estrich	60
STB-Decke	100

Bewertung der einzelnen Schichten hinsichtlich ihrer Recyclierbarkeit

	Parkett verklebt		Parkett schwimmend	
DE1.1	Weg	Note	Weg	Note
Parkett	B	4	V	3
Estrich	B	3	B	3
PE-Dampfbremse	B	5		
Steinwolle	B	4		
Kiesschüttung geb.	B	3		
STB-Decke	R	1		
Armierungsstahl	R	1		
Gipsspachtel	B	4		

DE1.1 Variante a	Parkett verklebt		Parkett schwimmend	
Trennbarkeit Variante	Weg	Note	Weg	Note
Parkett	B	4	V	3
Gipskartonplatte	B	4	B	4
Steinwolle	B	4		
PE-Dampfbremse	V	3		
Splittschüttung	B	3		
STB-Decke	R	1		
Armierungsstahl	R	1		
Zementspachtel	R	3		

DE1.1 Variante b	Weg	Note
Parkett	V	3
Spanplatte	V	3
Distanzbodenhalter	B	4
Steinwolle	B	4
STB-Decke	R	1
Armierungsstahl	R	1
Zementspachtel	R	3

DE1.1 Variante d	Weg	Note
Parkett	V	3
Spanplatte	V	3
Steinwolle	B	4

Polsterholz	V	1
Holzfaserplatte	V	1
STB-Decke	R	1
Armierungsstahl	R	1
Zementspachtel	R	3

DE1.3 Geschoßdecke Holzrahmenbau

Annahmen zur Nutzungsdauer

Schicht	Jahre
Parkett	40
Bodenaufbau	60
Holzkonstruktion	100
Dämmung, Innenverkleidung	50

Bewertung der einzelnen Schichten hinsichtlich ihrer Recyclierbarkeit

DE1.3	Weg	Note
Parkett, verklebt	V	3
Estrichbeton	B	3
PE-Folie	B	5
Mineralwolle	B	4
Splittschüttung geb.	B	3
Zementgeb. Spanplatte	B	4
Steinwolle	B	4
Holzkonstruktion	R	1
Lattung	V	1
Gipskartonplatte	B	4

DE1.3 Variante	Weg	Note
Parkett, schwimmend	V	3
Trockenestrich (Gipsfaser)	B	4
Mineralwolle	B	4
Splittschüttung geb.	B	3
Holzschalung	V	1
Schafwolle	V	3
Holzkonstruktion	R	1
Lattung	V	1
Holzverschalung	V	3

DE1.4 Fußboden zu unbeheizt/ Keller

Annahmen zur Nutzungsdauer

Schicht	Jahre
Fliesen	60
Estrich	60
STB-Decke	100
Deckenuntersicht	50

Bewertung der einzelnen Schichten hinsichtlich ihrer Recyclierbarkeit

DE1.4	Weg	Note
Fliesen	B	3
Estrich	B	3
Polyethylenbahn	B	3
Steinwolle	B	4
Kiesschüttung geb.	B	3
STB-Decke	B	3

Armierungsstahl	R	1
Tektalan	B	4

DE1.4 Variante	Weg	Note
Fliesen	B	3
Gipskartonplatte	B	4
Holzfaserverplatte	V	1
PE-Dampfbremse	V	3
Kiesschüttung geb.	B	3
STB-Decke	R	1
Armierungsstahl	R	1
Aufhängung	R	2
Glaswolle	B	4
Gipskartonplatte	B	4

DE1.5 Fußboden zu unbeheizt/ Keller

Annahmen zur Nutzungsdauer

Schicht	Jahre
---------	-------

Bewertung der einzelnen Schichten hinsichtlich ihrer Recyclierbarkeit

DE1.6 Fußboden zu Erdreich, oberseitig gedämmt

Annahmen zur Nutzungsdauer

Schicht	Jahre
Schichten über FUN	60
Fundamentplatte (FUN)	100
Schichten unter FUN	100

Bewertung der einzelnen Schichten hinsichtlich ihrer Recyclierbarkeit

DE1.6	Weg	Note
Fliesen	B	3
Estrich	B	3
PE-Dampfbremse	B	5
Mineralwolle	B	4
EPS	V	3
Polymerbitumebabdichtung	B	3
STB-Platte	B	3
Armierungsstahl	R	1
Baupapier	B	5
Rollierung	R	1
PP-Filtervlies	B	5

DE1.6 Variante	Weg	Note
Fliesen	B	3
Faserzement-Trockenestrich	B	3
PE-Dampfbremse	V	3
Holzfaserverplatte	V	1
Perlite	R	1
WU-Beton	R	1
Armierungsstahl	R	1
Baupapier	B	5
Rollierung	R	1
PP-Filtervlies	B	5

DE1.7 Fußboden zu Erdreich, unterseitig gedämmt

Annahmen zur Nutzungsdauer

Schicht	Jahre
Teppichbelag	25
Estrich	60
Unterkonstruktion	100

Bewertung der einzelnen Schichten hinsichtlich ihrer Recyclierbarkeit

DE1.7	Weg	Note
Teppich	B	5
Estrich	B	3
PE-Folie	B	5
Mineralwolle	B	4
EPS zementgebunden	B	5
Polymerbitumenabdichtung	B	3
STB-Platte	B	3
Armierungsstahl	R	1
PE-Folie	V	3
XPS	V	3
Magerbeton	B	2
Baupapier	B	5
Rollierung	R	1
PP-Filtervlies	B	5

DE1.7 Variante a	Weg	Note
Teppich	B	5
Trockenestrich (Gipsfaser)	B	4
Holzfaserverplatte	V	1
Splitt zementgeb.	B	3
STB-Platte	R	2
Armierungsstahl	R	1
PE-Folie	B	5
Schaumglasplatte	B	2
Polymerbitumenabdichtung	B	3
Magerbeton	B	3
Baupapier	B	5
Kies	R	1
PP-Filtervlies	B	5

DE1.7 Variante b	Weg	Note
Teppich	B	5
Trockenestrich (Gipsfaser)	B	4
Holzfaserverplatte	V	1
Perlite	R	1
STB-Platte	R	2
Armierungsstahl	R	1
PE-Folie	B	5
Schaumglasschotter	R	1
Polymerbitumenabdichtung	B	3
Magerbeton	B	3

IW1.1 GK- Ständerwand 10 cm

Annahmen zur Nutzungsdauer

Schicht	Jahre
---------	-------

Verkleidung	60
Tragkonstruktion	60
Dämmstoff	60

Bewertung der einzelnen Schichten hinsichtlich ihrer Recyclierbarkeit

IW1.1	Weg	Note
Gipskartonplatte	B	4
Metallständer	R	1
Steinwolle	B	4
Gipskartonplatte	B	4

IW1.1 Variante	Weg	Note
Lehmbauplatte	B	2
Metallständer	R	1
Hanfdämmstoff	V	3
Lehmbauplatte	B	2

IW1.2 Stahlbetonwand

Annahmen zur Nutzungsdauer

Schicht	Jahre
Konstruktion	100
Tapete	10

Bewertung der einzelnen Schichten hinsichtlich ihrer Recyclierbarkeit

IW1.2	Weg	Note
Tapete	B	5
Gipsspachtel	B	4
STB-Wand	R	2
Armierungsstahl	R	1
Gipsspachtel	B	4
Tapete	B	5

IW1.2	Weg	Note
Zementspachtel	R	3
STB-Wand	R	2
Armierungsstahl	R	1
Zementspachtel	R	3

IW1.3 Tragende Innenwand

Annahmen zur Nutzungsdauer

Schicht	Jahre
Wand	100

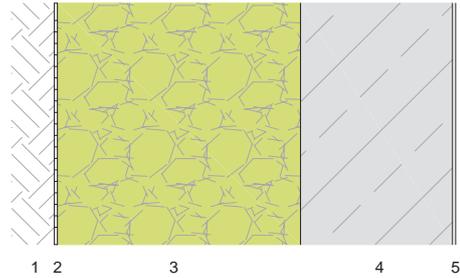
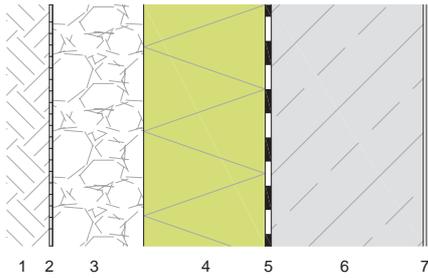
Bewertung der einzelnen Schichten hinsichtlich ihrer Recyclierbarkeit

IW3	Weg	Note
Kalkgipsputz	B	4
Holzspan-Mantelsteine	B	4
Normalbeton	B	4
Kalkgipsputz	B	4

IW3 Variante	Weg	Note
Kalkputz	B	3
Kalksandstein	R	2
Kalkputz	B	3

**16. Anhang 3: Sammlung von Bauteilaufbauten mit
Bewertung aus ökologischer und bauphysikalischer
Sicht**

EAW1.1 Keller Stahlbeton

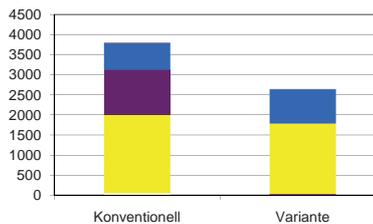


AW Keller Stahlbeton		
[cm]	Konventioneller Aufbau (von außen nach innen)	
1	-	Erreich
2	-	PP Filtervlies
3	15,00	Drainschicht
4	20,00	XPS, flächig geklebt
5	1,00	Polymerbitumen- Dichtungsbahn 2-lagig
6	25,00	STB-Wand
7	0,50	Gipsspachtel
61,50		Gesamt

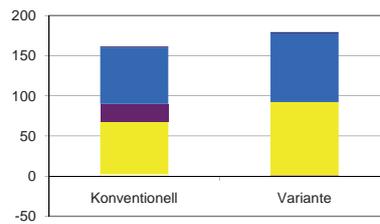
AW Keller Stahlbeton		
[cm]	Alternativer Aufbau (von außen nach innen)	
1	-	Erreich
2	-	PP Filtervlies
3	40,00	Schaumglasschotter
4	25,00	WU-Beton
5	0,50	Mineralische Spachtelung
65,50		Gesamt

Ökologisches Profil

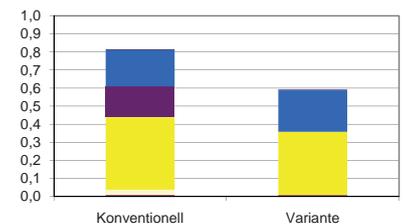
Primärenergieinhalt (MJ/m²)



Treibhauspotenzial CO₂-eq/m²



Versauerungspotenzial (SO₂-eq/m²)



Eigenschaft	EAW1.1		Variante	
	Menge	Note	Menge	Note
Trennbarkeit	-	5	-	1
Materialvielfalt	-	4	-	2
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kubikmeter im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	17%	1,0	100%	1,0
Thermisch verwertet	0%	3,0	0%	3,0
Beseitigt	83%	3,7	0%	-
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kilogramm im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	29%	1,0	100%	1,0
Thermisch verwertet	0%	3,0	0%	3,0
Beseitigt	71%	3,0	0%	-



Anmerkungen:

Die Abdichtungen und Dämmschichten bestimmen die ökologischen Aufwände für die Herstellung wesentlich.

Der hohe Primärenergieinhalt der Bitumenabdichtung wird v.a. durch den Energieinhalt des Rohstoffs (Bitumen hat einen oberen Heizwert von ca. 40 MJ) verursacht.

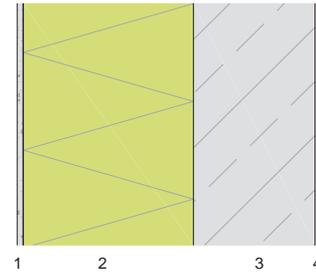
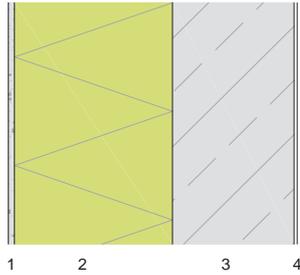
Die ökologischen Aufwände für die Herstellung des WU-Beton sind geringer als die Aufwände für die Herstellung von Stahlbeton und Abdichtung. Zudem wird die Recyclierbarkeit stark erhöht.

Die Trennbarkeit der abgedichteten Stahlbetonwand mit XPS-Wärmedämmverbundsystem ist schlecht. Alle Schichten sind untereinander verklebt. Die XPS-Platten sollten am besten vor Ort von der Tragkonstruktion getrennt werden. Die Bitumenabdichtung wird in der heutigen Praxis nicht vom Beton getrennt, der Beton daher auf Baurestmassedeponien beseitigt. Der Materialmix ist hoch.

Bei der Variante mit WU-Beton sind alle Schichten voneinander trennbar, auch die Wärmedämmung. Mineralische Spachtelmasse und WU-Beton können gemeinsam recycelt werden.

Durch die getroffenen Maßnahmen kann die Recyclierbarkeit auf 100 % (abzüglich Vlies) gesteigert werden.

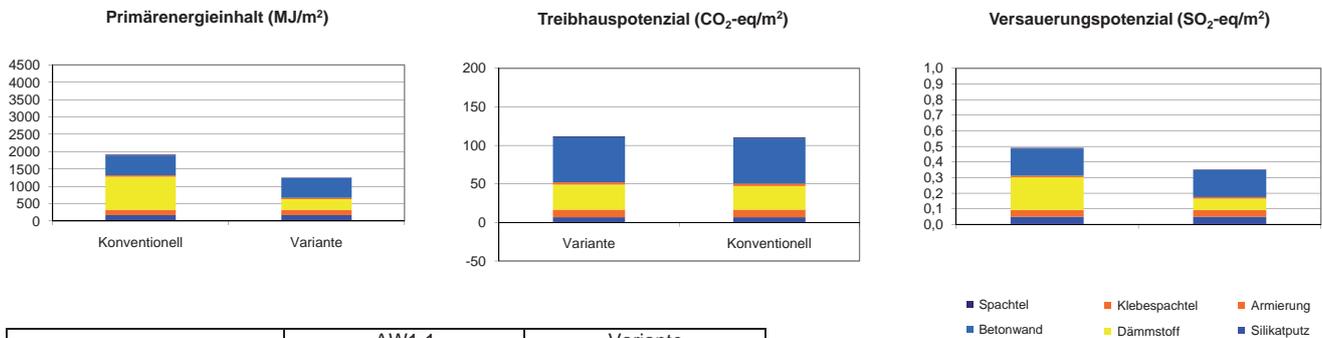
AW1.1 Stahlbeton mit Wärmedämmverbundsystem (mineralisch)



AW Stahlbeton mit WDVS			
[cm]		Konventioneller Aufbau (von außen nach innen)	
1	1,00	Silikatputz	
2	26,00	EPS	
3	20,00	STB- Wand	
4	0,50	Gipsputz	
47,50		Gesamt	

AW Stahlbeton mit WDVS (mineralisch)			
[cm]		Alternativer Aufbau (von außen nach innen)	
1	1,00	Silikatputz	
2	28,00	Mineralschaumplatte	
3	20,00	STB-Wand (Ortbeton)	
4	0,50	mineralische Spachtelmasse	
50,00		Gesamt	

Ökologisches Profil



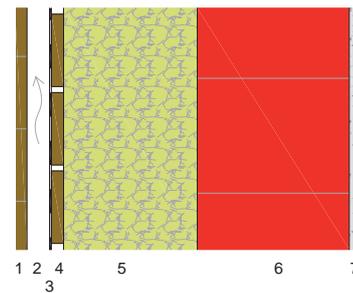
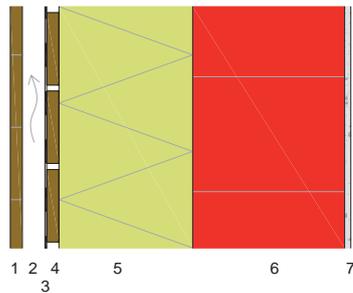
Eigenschaft	AW1.1		Variante	
	Menge	Note	Menge	Note
Trennbarkeit	-	4	-	4
Materialvielfalt	-	3	-	2
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kubikmeter im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	26%	3,0	25%	2,0
Thermisch verwertet	0%	-	0%	-
Beseitigt	74%	4,0	75%	3,0
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kilogramm im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	89%	2,9	82%	2,0
Thermisch verwertet	0%	-	0%	-
Beseitigt	11%	4,0	18%	3,0

Anmerkungen:

Das Wärmedämmverbundsystem und der Beton müssen voneinander getrennt werden, da es keinen hochwertigen gemeinsamen Recyclingweg gibt. Dies geschieht am besten vor Ort, da damit die sauberste Trennung möglich ist. Viel Praxiserfahrung ist noch nicht vorhanden, wie sauber die Trennung daher erfolgen wird, kann aus heutiger Sicht noch nicht gesagt werden. Wir gehen davon aus, dass Verunreinigungen durch Mineralschaumplatten den Recyclingprozess für Beton weniger behindern als die EPS-Verunreinigungen.

Die Mengen an recycelbarem Abbruch ändern sich kaum, jedoch verbessert sich die Qualität des recycelbaren Betons (keine Verunreinigung mit organischen Bestandteilen).

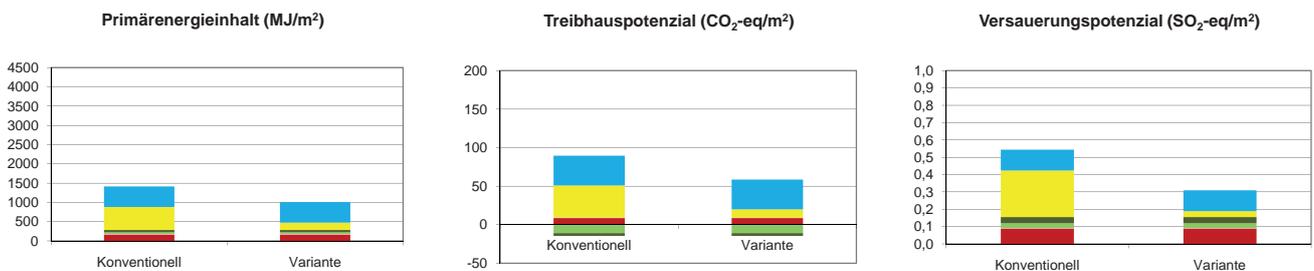
AW1.3a Ziegelmauerwerk mit hinterlüfteter Fassade



AW Ziegelmauerwerk mit hinterl. Fassade		
[cm]	Konventioneller Aufbau (von außen nach innen)	
1	2,00	Holzschalung Lärche
2	4,00	Hinterlüftung, Lattung/ Alu- Unterkonstruktion
3	-	PE-Winddichtung, diffusionsoffen
4	2,00	Holzschalung (Streuschalung, 1 mm Abstand)
5	22,00	Steinwolle zw. Doppel-T-Träger
6	25,00	Ziegel, Hochlochziegel porosiert
7	1,00	Kalkzementputz
56,00		Gesamt

AW Ziegelmauerwerk mit hinterl. Holzfassade		
[cm]	Alternativer Aufbau (von außen nach innen)	
1	2,00	Holzschalung Lärche
2	4,00	Hinterlüftung, Lattung
3	-	PE-Winddichtung, diffusionsoffen
4	2,00	Holzschalung (Streuschalung, 1mm Abstand)
5	22,00	Schafwolle zw. Doppel-T-Träger
6	25,00	Ziegeln, Hochlochziegel porosiert
7	1,50	Lehmputz
56,50		Gesamt

Ökologisches Profil



Eigenschaft	AW1.3		Variante	
	Menge	Note	Menge	Note
Trennbarkeit	-	2	-	2
Materialvielfalt	-	3	-	3
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kubikmeter im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	30%	2,0	30%	2,0
Thermisch verwertet	17%	1,2	67%	2,5
Beseitigt	53%	3,9	3%	3,0
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kilogramm im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	57%	2,0	58%	2,0
Thermisch verwertet	24%	1,2	28%	1,4
Beseitigt	18%	3,4	13%	3,0

Anmerkungen

Hinterlüftete Fassade und Ziegelwand sind nur kraftschlüssig miteinander verbunden und voneinander trennbar.

Der Lehmputz lässt sich mit geringem Kraftaufwand vom Ziegel trennen. Es wird angenommen, dass der Lehmputz beseitigt wird (könnte theoretisch auch recyclet werden). Der Ziegel wird stofflich verwertet.

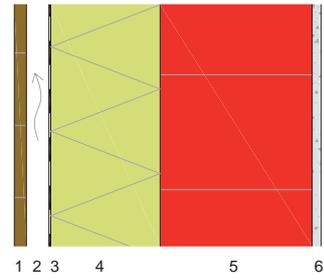
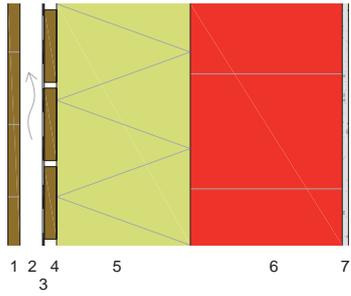
Die hinterlüftete Fassade lässt sich problemlos in ihre Einzelbestandteile zerlegen.

Die Mineralwolle wird beseitigt (Stand heute, in Zukunft ev. auch Recycling üblich).

Die Schafwolle wird thermisch verwertet. Beide Dämmstoffe könnten auch wiederverwendet werden.

Die Holzschalungen und -lattungen sind nicht behandelt und könnten daher auch stofflich verwertet werden.

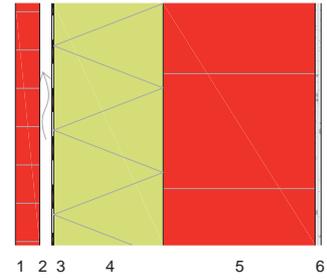
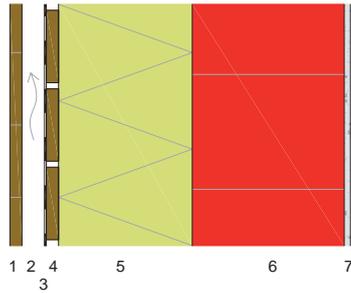
AW1.3b Ziegelmauerwerk mit hinterlüfteter Fassade



AW Ziegelmauerwerk mit hinterl. Fassade		
[cm]		Konventioneller Aufbau (von außen nach innen)
1	2,00	Holzschalung Lärche
2	4,00	Hinterlüftung, Lattung
3	-	PE-Winddichtung, diffusionsoffen
4	2,00	Holzschalung (Streuschalung, 1 mm Abstand)
5	22,00	Steinwolle zw. Doppel-T-Träger
6	25,00	Ziegel, Hochlochziegel porosiert
7	1,00	Kalkzementputz
56,00		Gesamt

AW Ziegelmauerwerk mit hinterl. Fassade		
[cm]		Alternativer Aufbau (von außen nach innen)
1	2,00	Holzschalung / PV-Module
2	4,00	Hinterlüftung, Tragprofil Wärmedämm-Konsole Phoenix
3	-	PE-Winddichtung, diffusionsoffen
4	18,00	Glaswolle-Dämmplatten (mit Glasvlies)
5	25,00	Ziegel, Hochlochziegel porosiert
6	1,50	Lehmputz
50,50		Gesamt

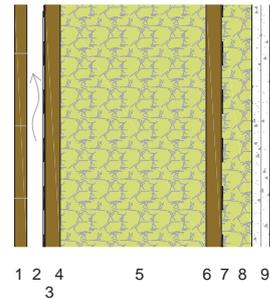
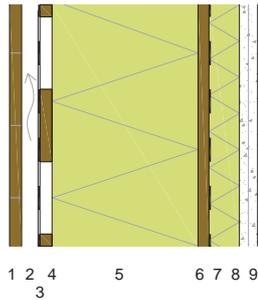
AW1.3c Ziegelmauerwerk mit hinterlüfteter Fassade



AW Ziegelmauerwerk mit hinterl. Fassade		
[cm]		Konventioneller Aufbau (von außen nach innen)
1	2,00	Holzschalung Lärche
2	4,00	Hinterlüftung, Lattung
3	-	PE-Winddichtung, diffusionsoffen
4	2,00	Holzschalung (Streuschalung, 1 mm Abstand)
5	22,00	Steinwolle zw. Doppel-T-Träger
6	25,00	Ziegel, Hochlochziegel porosiert
7	1,00	Kalkzementputz
56,00		Gesamt

AW Ziegelmauerwerk mit hinterl. Fassade		
[cm]		Alternativer Aufbau (von außen nach innen)
1	4,00	Ziegelfassade
2	2,00	Hinterlüftung, Alu-Unterkonstruktion
3	-	PE-Winddichtung, diff. Offen
4	22,00	Steinwolle zw. Doppel-T-Träger
5	25,00	Ziegel, Hochlochziegel porosiert
6	1,50	Lehmputz
54,50		Gesamt

AW1.4 Holzständerwand mit hinterlüfteter Fassade



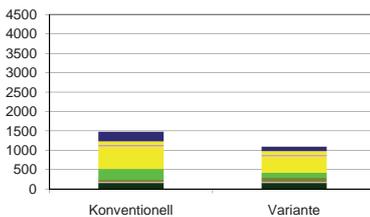
AW Holzständerwand mit hinterl. Fassade		
[cm]	Konventioneller Aufbau (von außen nach innen)	
1	2,00	Holzschalung
2	3,00	Lattung 3/5cm
3	-	PE-Winddichtung, diffusionsoffen
4	2,00	Sparschalung
5	24,00	Steinwolleplatten zw. Holzunterkonstruktion
6	1,80	OSB Platte
7	-	PE- Dampfbremse
8	5,00	Lattung, dazw. Glaswolle
9	3,00	GKF Brandschutzplatten, 2-lagig
40,80		Gesamt

AW Holzständerwand mit hinterl. Fassade		
[cm]	Alternativer Aufbau (von außen nach innen)	
1	2,00	Holzschalung Lärche
2	3,00	Lattung 3/5cm
3	-	PE-Winddichtung, diffusionsoffen
4	2,50	Diagonalholzschalung
5	24,00	Holzrahmenkonstruktion mit Flachsdämmung*
6	2,50	Diagonalholzschalung
7	-	PE-Dampfbremse
8	5,00	Flachsdämmung zw. Holzlatten
9	3,00	Lehmplatten
42,00		Gesamt

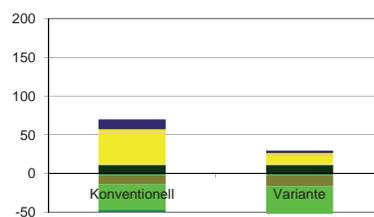
* Alternative: 40cm Strohballen zwischen Holzkonstruktion

Ökologisches Profil

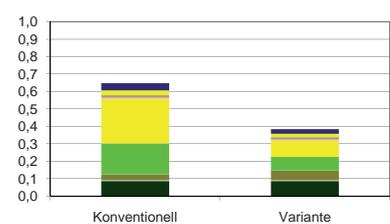
Primärenergieinhalt (MJ/m²)



Treibhauspotenzial (CO₂-eq/m²)



Versauerungspotenzial (SO₂-eq/m²)



Eigenschaft	AW1.4		Variante	
	Menge	Note	Menge	Note
Trennbarkeit	-	2	-	2
Materialvielfalt	-	4	-	3
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kubikmeter im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	6%	1,0	6%	1,0
Thermisch verwertet	22%	1,4	87%	2,4
Beseitigt	72%	4,0	7%	2,0
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kilogramm im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	11%	1,0	13%	1,0
Thermisch verwertet	51%	1,5	70%	1,2
Beseitigt	38%	4,0	17%	2,0

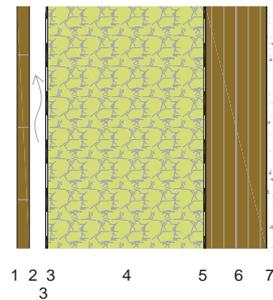
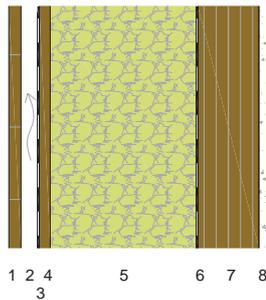
Anmerkungen

Die Bestandteile sind kraftschlüssig miteinander verbunden und lassen sich einfach voneinander trennen.

Die Holzschalungen und -latten sind nicht behandelt und könnten daher auch stofflich verwertet werden.

Durch den Ersatz der Mineralwolle mit Flachsdämmstoffen steigt der Anteil thermisch verwertbarer Materialien und sinkt der Anteil zu beseitigender Materialien. Es verbleiben nur die problemlos auch recycelbaren Lehmbauplatten für die Deponierung.

AW1.5a Holzmassivwand

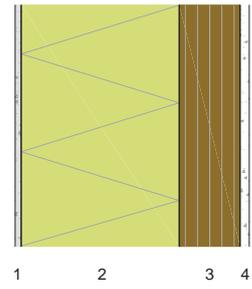
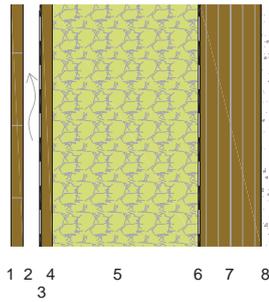


AW Holzmassivwand		
[cm]	Konventioneller Aufbau (von außen nach innen)	
1	2,00	Holzschalung
2	3,00	Lattung 3/5cm
3	-	PE-Winddichtung, diffusionsoffen
4	2,00	Holzweichfaserplatte
5	24,00	Glaswolle zw. Holzkonstruktion
6	-	Baupapier Dampfbremse
7	10,00	Brettsperrholzwand
8	1,50	Gipskartonplatten
42,50		<i>Gesamt</i>

AW Holzmassivwand		
[cm]	Alternativer Aufbau (von außen nach innen)	
1	2,00	Holzschalung
2	3,00	Lattung 3/5cm
3	-	PE-Winddichtung, diffusionsoffen
4	26,00	Flachs zw. Holz
5	-	Baupapier Dampfbremse
6	10,00	Brettsperrholzwand
7	1,50	Gipskartonplatten
42,50		<i>Gesamt</i>

Ökologisches Profil: siehe AW1.5c

AW1.5b Holzmassivwand

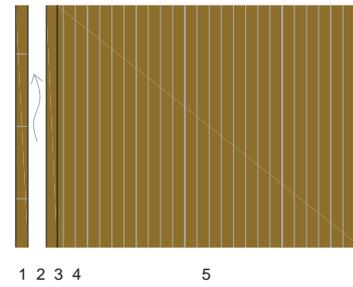
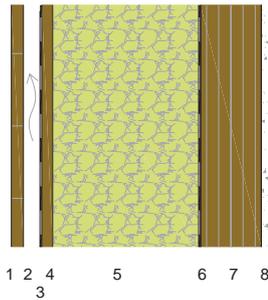


AW Holzmassivwand		
[cm]	Konventioneller Aufbau (von außen nach innen)	
1	2,00	Holzschalung
2	3,00	Lattung 3/5cm
3	-	PE-Winddichtung, diffusionsoffen
4	2,00	Holzweichfaserplatte
5	24,00	Glaswolle zw. Holzkonstruktion
6	-	Baupapier Dampfbremse
7	10,00	Brettsperrholzwand
8	1,50	Gipskartonplatten
	42,50	Gesamt

AW Holzmassivwand		
[cm]	Alternativer Aufbau (von außen nach innen)	
1	1,00	Silikatputz
2	26,00	WDVS mit Holzfaser-Dämmplatte
3	10,00	Brettsperrholzplatte
4	1,50	Gipskartonplatten
	38,50	Gesamt

Ökologisches Profil: siehe AW1.5c

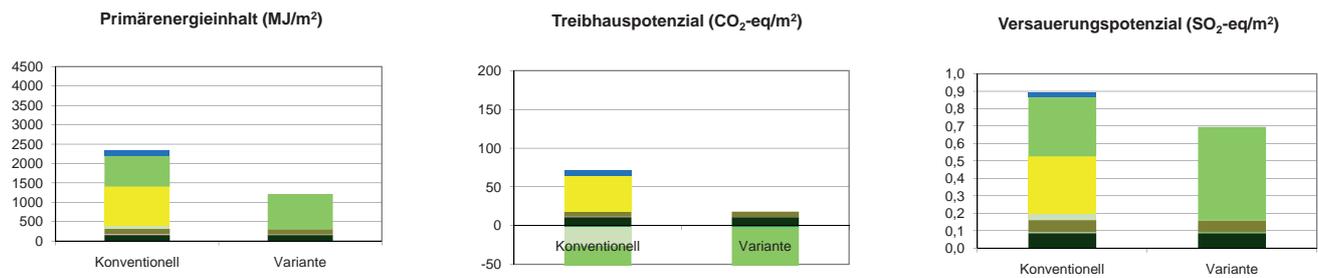
AW1.5c Holzmassivwand



AW Holzmassivwand		
[cm]	Konventioneller Aufbau (von außen nach innen)	
1	2,00	Holzschalung
2	3,00	Lattung 3/5cm
3	-	PE-Winddichtung, diffusionsoffen
4	2,00	Holzweichfaserplatte
5	24,00	Glaswolle zw. Holzkonstruktion
6	-	Baupapier Dampfbremse
7	10,00	Brettsper Holzwand
8	1,50	Gipskartonplatten
42,50		Gesamt

AW Massivholzwand (z.B. Holz 100)		
[cm]	Alternativer Aufbau (von außen nach innen)	
1	2,00	Holzschalung
2	3,00	Lattung 3/5cm
3	2,00	Holzweichfaserplatte
4	-	Windpapier, werkseitig integriert
5	50,00	Massivholzwand (z.B. Holz100)
57,00		Gesamt

Ökologisches Profil



Eigenschaft	AW1.5		Variante c	
	Menge	Note	Menge	Note
Trennbarkeit	-	2	-	1
Materialvielfalt	-	3	-	2
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kubikmeter im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	20%	1,0	84%	1,0
Thermisch verwertet	18%	1,0	16%	1,0
Beseitigt	62%	4,0	0%	-
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kilogramm im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	52%	1,0	84%	1,0
Thermisch verwertet	28%	1,0	16%	1,0
Beseitigt	20%	4,0	0%	-

Trennbarkeit und Materialvielfalt der anderen Varianten

	AW1.5	AW1.5 a	AW1.5 b	AW1.5 d
Trennbarkeit	2	2	3	2
Materialvielfalt	3	3	3	2

Anmerkungen

Dargestellt sind die Holzmassivwände AW1.5 und AW1.5.c (auf eine Darstellung der weiteren Varianten wurde verzichtet).

Durch den Wegfall der Wärmedämmung reduzieren sich die Aufwände zur Herstellung der Konstruktion.

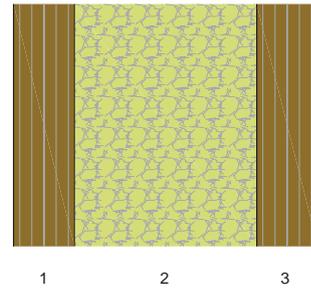
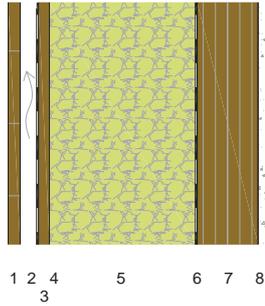
Die Bestandteile aller Aufbauten mit Ausnahme der Konstruktion AW 1.5b sind kraftschlüssig miteinander verbunden und lassen sich einfach voneinander trennen.

Die Konstruktion AW1.5b unterscheidet sich von den anderen Varianten durch die verputzte Fassade. Dadurch ergibt sich eine geringere Trennbarkeit und ein höherer Materialverbund im Vergleich zu den Aufbauten mit Holzschalung. Das Wärmedämmverbundsystem wurde dabei aber durch Verwendung einer Holzfaser-Dämmplatte bereits hinsichtlich Recyclierbarkeit der Konstruktion optimiert.

Beim Baukastensystem (AW1.5d) empfiehlt sich ein Dämmstoff aus nachwachsenden Rohstoffen.

Die Holzschalungen und -lattungen sind nicht behandelt und könnten daher auch stofflich verwertet werden.

AW1.5d Holzmassivwand

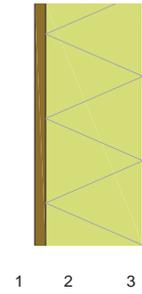


AW Holzmassivwand		
[cm]	Konventioneller Aufbau (von außen nach innen)	
1	2,00	Holzschalung
2	3,00	Lattung 3/5cm
3	-	PE-Winddichtung, diffusionsoffen
4	2,00	Holzweichfaserplatte
5	24,00	Glaswolle
6	-	Baupapier Dampfbremse
7	10,00	Brettsperrholzwand
8	1,50	Gipskartonplatten
42,50		<i>Gesamt</i>

AW Baukastensystem (z.B. HIB)		
[cm]	Alternativer Aufbau (von außen nach innen)	
1	50,00	Holzelemente mit Hohlraumdämmung z.B. aus Hanffasern
50,00		<i>Gesamt</i>

Ökologisches Profil: siehe AW1.5c

AW1.6a Fassadenelement

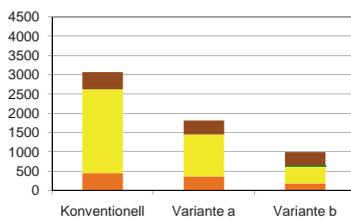


AW Sandwichelement (Nut-Feder-System)	
[cm]	Konventioneller Aufbau (von außen nach innen)
1	0,05 Stahlblech, polyesterbeschichtet
2	16,00 Dämmkern aus PU-Hartschaum
3	0,05 Stahlblech, polyesterbeschichtet
16,10 Gesamt	

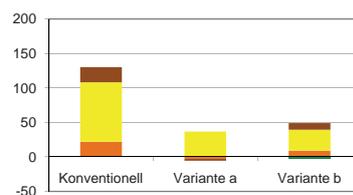
AW Holzrahmenelement	
[cm]	Alternativer Aufbau (von außen nach innen)
1	1,80 OSB-Platte
2	16,00 EPS-Platte
3	1,80 OSB-Platte
19,60 Gesamt	

Ökologisches Profil

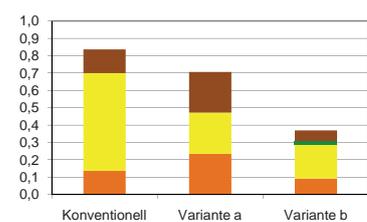
Primärenergieinhalt (MJ/m²)



Treibhauspotenzial (CO₂-eq/m²)



Versauerungspotenzial (SO₂-eq/m²)



■ Innenverkleidung
■ Tragkonstruktion
■ Dämmstoff
■ Außenverkleidung

Eigenschaft	AW1.6		Variante a		Variante b	
	Menge	Note	Menge	Note	Menge	Note
Trennbarkeit	-	5	-	5	-	2
Materialvielfalt	-	3	-	2	-	3
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kubikmeter im Betrachtungszeitraum)						
Stofflich verwertet	1%	2,0	0%	-	0%	-
Thermisch verwertet	0%	-	100%	3,0	21%	1,2
Beseitigt	99%	4,0	0%	-	79%	3,8
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kilogramm im Betrachtungszeitraum)						
Stofflich verwertet	55%	2,0	0%	-	0%	-
Thermisch verwertet	0%	-	100%	3,0	41%	1,2
Beseitigt	45%	4,0	0%	-	59%	3,2

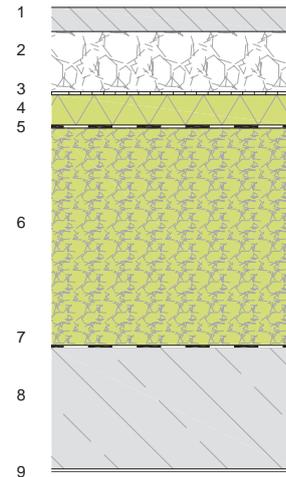
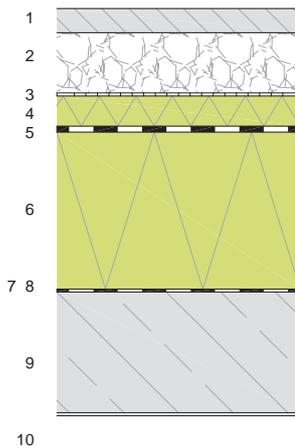
Konventionelle Sandwichelemente bestehen aus Metallblech und einer Kerndämmung, zumeist aus Mineralwolle oder Polyurethan. Die Schichten sind untereinander verklebt. Es wird angenommen, dass die Dämmung als Verunreinigung bei der Metallaufbereitung anfällt und entsorgt wird.

Die Schichten des alternativen Sandwichelements sind ebenfalls verklebt. Es ist von einer gemeinsamen thermischen Verwertung auszugehen.

Die Bestandteile der Holzkonstruktion sind ausschließlich kraftschlüssig miteinander verbunden und einfach voneinander trennbar.

Alle Bauteile könnten auch wiederverwendet werden.

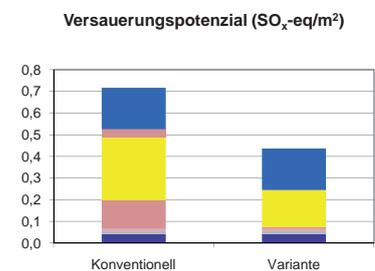
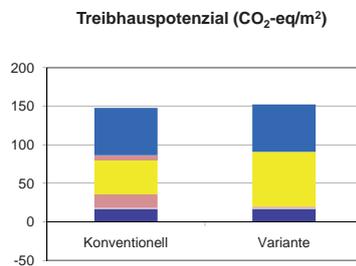
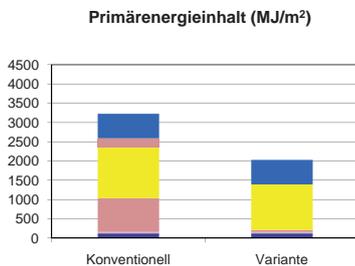
DA1.1 Flachdach/Duodach bekiest, optional Terrassenflächen



Flach-/Duodach bekiest, opt. Terrasse	
[cm]	Konventioneller Aufbau (von oben nach unten)
1	4,00 Betonplatten/ optional
2	10,00 Kies 16/32
3	- Filtervlies
4	5,00 XPS
5	1,00 Polymerbitumenabdichtung 2lagig
6	26,00 EPS Plus i. G. 1,5%
7	- Alu- Bitumdampfsperre
8	- bituminöser Voranstrich
9	20,00 STB-Decke
10	0,50 Gipsspachtel
66,50 Gesamt	

Flach-/Duodach bekiest, opt. Terrasse	
[cm]	Alternativer Aufbau (von oben nach unten)
1	4,00 Betonplatten/ optional
2	10,00 Kies 16/32
3	- Filtervlies
4	5,00 XPS
5	0,20 PE-Abdichtung
6	36,00 Schaumglasplatten i. G.
7	20,00 STB- Decke
8	0,50 mineralische Spachtelung
75,70 Gesamt	

Ökologisches Profil



Eigenschaft	DA1.1		Variante	
	Menge	Note	Menge	Note
Trennbarkeit		5		2
Materialvielfalt		5		4
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kubikmeter im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	25%	1,0	37%	1,0
Thermisch verwertet	57%	3,0	8%	3,0
Beseitigt	18%	3,0	55%	2,0
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kilogramm im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	51%	1,0	93%	1,0
Thermisch verwertet	3%	3,0	0%	3,0
Beseitigt	45%	3,0	7%	2,0



Anmerkungen

Die Abdichtungen und Dämmschichten bestimmen die ökologischen Kennwerte wesentlich.

Der hohe Primärenergieinhalt der Bitumenabdichtungen wird v.a. durch den Energieinhalt des Rohstoffs (Bitumen hat einen oberen Heizwert von ca. 40 MJ) verursacht.

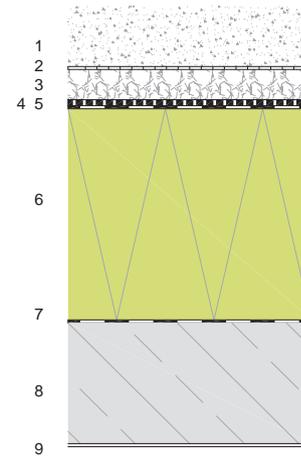
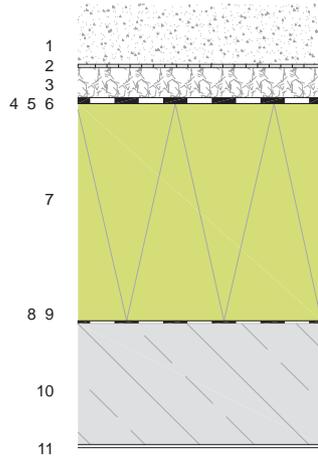
Die Bitumenbahnen werden aufgeklebt und sind daher nicht vom Untergrund trennbar.

Die Schichten des Umkehrdachaufbau sind i.d.R. lose übereinander gelegt und daher einfach rückbaubar.

Bei der Variante wird von einer losen Verlegung der Schaumglasplatten und der PE-Abdichtung ausgegangen. Die sauberen Schaumglasplatte könnten sogar recyclet werden.

Stand derzeit und Annahme hier: Deponierung

DA1.2 Flachdach / Warmdach extensive Begrünung

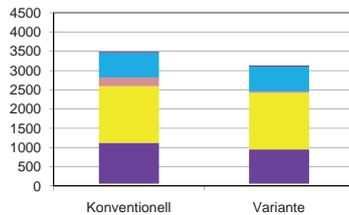


Flach-/Warmdach extensive Begrünung		
[cm]		Konventioneller Aufbau (von oben nach unten)
1	10,00	Vegetationsschicht
2	-	PP-Filtervlies
3	5,00	Dränschicht
4	-	Bitumen Wurzelschutzbahn, Trennlage
5	1,00	Polymerbitumenabdichtung 2lagig
6	-	Dampfdruckausgleichsschicht
7	36,00	EPS i. G. 1,5%
8	-	Alu- Bitumdampfsperre
9	-	bituminöser Voranstrich
10	25,00	STB Decke
11	0,50	Gipsspachtel
77,50		Gesamt

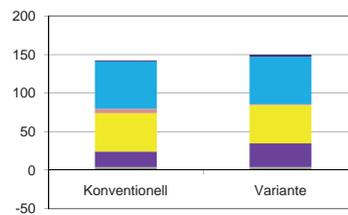
Flach-/Warmdach extensive Begrünung		
[cm]		Alternativer Aufbau (von oben nach unten)
1	10,00	Vegetationsschicht
2	-	PP-Filtervlies
3	5,00	Dränschicht
4	1,00	Gummigranulat-Schutzmatte
5	0,20	EPDM Abdichtung
6	36,00	EPS i. G. 1,8%
7	-	PE-Dampfsperre
8	20,00	STB Decke
9	0,50	mineralische Spachtelung
72,70		Gesamt

Ökologisches Profil

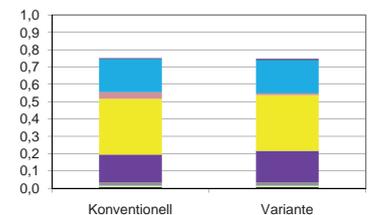
Primärenergieinhalt (MJ/m²)



Treibhauspotenzial (kg CO₂-eq/m²)



Versauerungspotenzial (kg SO₂-eq/m²)



Eigenschaft	DA1.2		Variante	
	Menge	Note	Menge	Note
Trennbarkeit		5		2
Materialvielfalt		5		4
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kubikmeter im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	10%	1,0	29%	1,0
Thermisch verwertet	70%	3,0	69%	3,0
Beseitigt	20%	3,0	2%	4,0
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kilogramm im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	26%	1,0	95%	1,0
Thermisch verwertet	5%	3,0	3%	3,0
Beseitigt	69%	3,0	2%	4,0

Anmerkungen

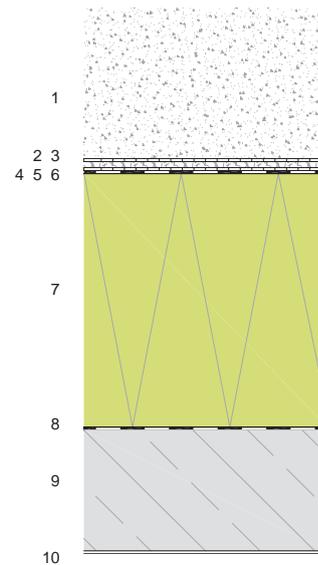
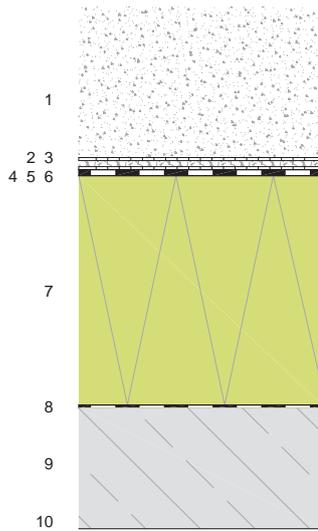
Die Abdichtungen und Dämmschichten bestimmen die ökologischen Kennwerte wesentlich.

Die Schichten des Gründachaufbau sind i.d.R. lose übereinander gelegt und daher einfach rückbaubar.

Die Bitumenbahnen werden aufgeklebt und sind daher nicht vom Untergrund trennbar.

Bei der Variante wird von einer losen Verlegung des Dämmstoffs und der Abdichtungen ausgegangen.

DA1.3 Flachdach/ Warmdach/ intensive Begrünung



Flachdach/ Warmdach/ intensive Begrünung		
[cm]	Alternativer Aufbau (von oben nach unten)	
1	25,00	Vegetationstragschicht
2	-	PP-Filtervlies
3	1,00	Drainageelement
4	-	Schutzmatte
5	-	Bitumen Wurzelschutzbahn, Trennlage
6	1,00	Bitumenschweißbahn
7	38,00	Steinwolle-Dachdämmplatten
8	-	Alu-Bitudampfsperre auf Spannungsschicht
9	20,00	STB Decke
10	0,50	Gipsspachtel
65,00		Gesamt

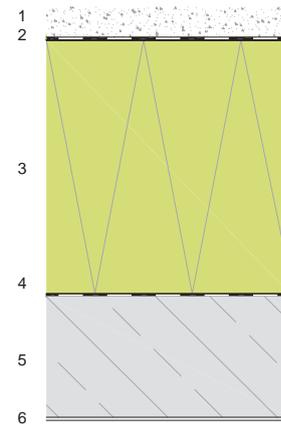
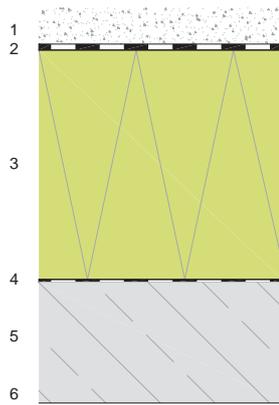
Flachdach/ Warmdach/ intensive Begrünung		
[cm]	Konventioneller Aufbau (von oben nach unten)	
1	25,00	Vegetationstragschicht
2	-	PP-Filtervlies
3	1,00	Drainageelement
4	-	Schutzmatte
5	-	Bitumen Wurzelschutzbahn, Trennlage
6	0,20	PE-Folie lose verlegt, auf PP-Schutzvlies
7	42,00	Korkdämmplatten
8	-	PE-Dampfsperre
9	20,00	STB Decke
10	0,50	mineralische Spachtelung
68,20		Gesamt

Ökologisches Profil

	DA1.3	Variante
Trennbarkeit	5	3
Materialvielfalt	5	5

Für die Flachdächer mit intensiver Dachbegrünung gilt das bei den Dachaufbauten mit extensiver Begrünung Gesagte. Die Korkdämmplatte würde in V1 eingestuft werden.

DA1.4 Flachdach/ Warmdach/ Foliendach mit Bekiesung



Flachdach/ Warmdach/ Foliendach mit Bekiesung		
[cm]	Konventioneller Aufbau (von oben nach unten)	
1	6,00	Kies 16/32
2	1,00	Polymerbitumen-Abdichtung auf Dampfdruckausgleichsschicht
3	38,00	Steinwolle-Dachdämmplatten
4	-	Alu-Bitudampfsperre auf Entspannungsschicht
5	20,00	STB Decke
6	0,50	Gipsspachtel
	65,50	Gesamt

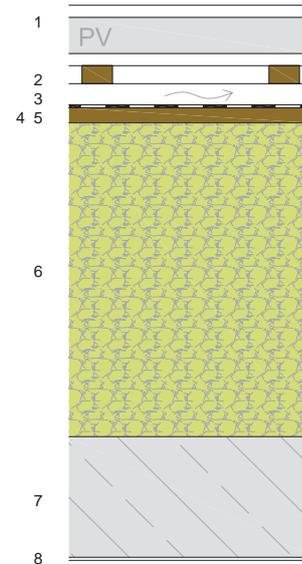
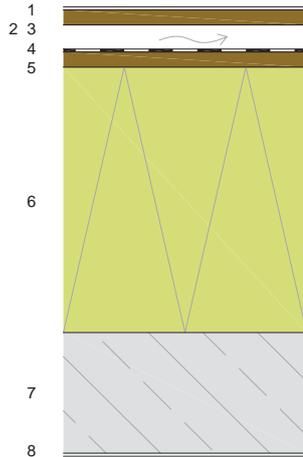
Flachdach/ Warmdach/ Foliendach mit Bekiesung		
[cm]	Alternativer Aufbau (von oben nach unten)	
1	5,00	Kies 16/32
2	-	PE-Folie lose verlegt, auf Schutzvlies
3	42,00	Schaumglasplatten i. G. 1,5%, lose verlegt
4	-	PE-Dampfsperre (z.B. Sarnavap 2000)
5	20,00	STB Decke
6	0,50	mineralische Spachtelung
	67,50	Gesamt

Ökologisches Profil

	DA1.4	Variante
Trennbarkeit	5	4
Materialvielfalt	4	3

Für die Foliendächer gilt prinzipiell das für die Warmdachschichten der vorherigen Konstruktionen Gesagte.
Bei der Variante muss die PE-Dampfsperre auf die Decke geklebt werden. Dämmstoff, Schutzvlies und PE-Abdichtung können lose verlegt werden.

DA1.5 Steildach Massivdach

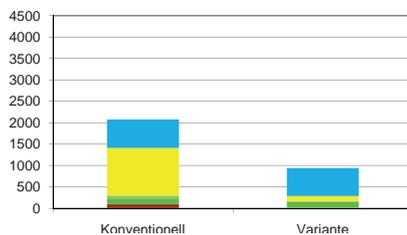


Steildach Massivdach		
[cm]	Konventioneller Aufbau (von oben nach unten)	
1	0,10	Bitumenschindeln
2	2,50	Schalung
3	4,00	Hinterlüftung zw. Konterlattung
4	-	Diffusionsoffene Dachbahn
5	2,50	Schalung
6	44,00	Steinwolle zw. Sparren
7	20,00	STB-Decke
8	0,50	Gipsputz
73,60		Gesamt

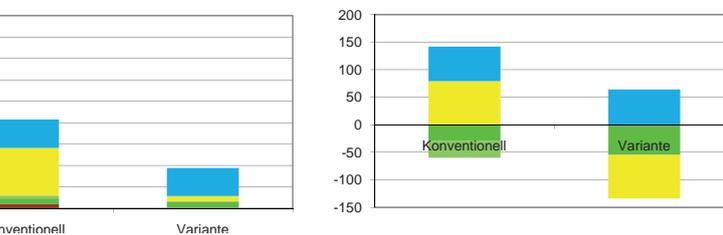
Steildach Massivdach		
[cm]	Alternativer Aufbau (von oben nach unten)	
1	-	Indach PV Elemente
2	3,00	Lattung 3/5cm
3	4,00	Hinterlüftung zw. Konterlattung
4	-	Diffusionsoffene Dachbahn
5	2,50	Schalung
6	52,00	Stroh zw. Sparren
7	20,00	STB-Decke
8	0,50	mineralische Spachtelmasse
82,00		Gesamt

Ökologisches Profil

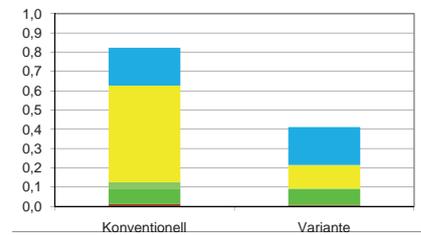
Primärenergieinhalt (MJ)



Treibhauspotenzial (kg CO₂-eq/m²)



Treibhauspotenzial (kg CO₂-eq/m²)



Eigenschaft	DA1.5		Variante	
	Menge	Note	Menge	Note
Trennbarkeit		2		2
Materialvielfalt		4		3
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kubikmeter im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	21%	1,0	20%	1,0
Thermisch verwertet	9%	1,9	80%	2,9
Beseitigt	69%	4,0	0%	5,0
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kilogramm im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	81%	1,0	74%	1,0
Thermisch verwertet	10%	1,9	26%	2,6
Beseitigt	10%	4,0	0%	5,0



Anmerkungen

Die Variante zeigt sehr niedrige Belastungen durch die Herstellung. Dieser Umstand ist dem Einsatz von Stroh als Wärmedämmung zu danken.

Bei der Variante wird die PV-Anlage bei der Berechnung der ökologischen Werte und der Einstufung der Materialvielfalt nicht berücksichtigt.

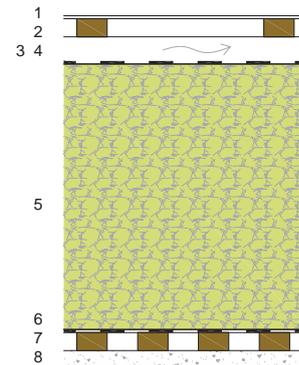
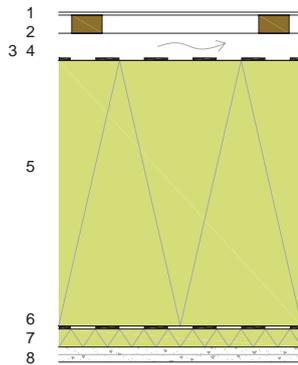
Die Schichten auf der Stahlbetonscheibe sind höchstens kraftschlüssig verbunden und daher einfach voneinander trennbar.

Die Stahlbetonscheibe kann ohne Verunreinigung ins Recycling gehen.

Die Variante unterscheidet sich vom konventionellen Aufbau v.a. durch die höhere Menge an thermisch verwertbaren Materialien bzw. geringe Menge an zu beseitigenden Materialien.

Die Abnahme der Menge an stofflich verwerteten Materialien in der Variante ist nur relativ, absolut erhöht sich die stofflich verwertete Menge sogar geringfügig durch die dickeren Holzträger.

DA1.6 Steildach Sparrendach

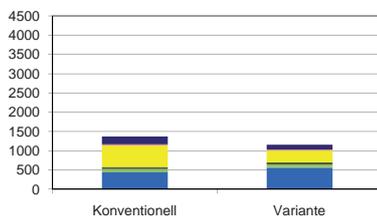


Steildach Sparrendach		
[cm]	Konventioneller Aufbau (von oben nach unten)	
1	0,50	Faserzementplatten
2	3,00	Lattung 3/5cm
3	4,00	Hinterlüftung zw. Konterlattung
4	-	Diffusionsoffene Dachbahn
5	44,00	Steinwolle zw. Sparren
6	-	PE-Dampfbremse
7	3,00	Lattung 3/5cm, Steinwolle
8	2,50	GKB 2x1,25cm
57,00		Gesamt

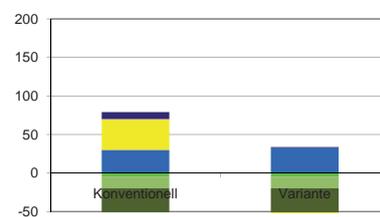
Steildach Sparrendach		
[cm]	Alternativer Aufbau (von oben nach unten)	
1	0,10	Metalleindeckung (Zink)
2	3,00	Lattung 3/5cm
3	4,00	Hinterlüftung zw. Konterlattung
4	-	Diffusionsoffene Dachbahn
5	44,00	Flachs zw. Sparren
6	-	PE-Dampfbremse
7	3,00	Lattung 3/5cm, Schafwolle
8	2,50	Lehmplatten
56,60		Gesamt

Ökologisches Profil

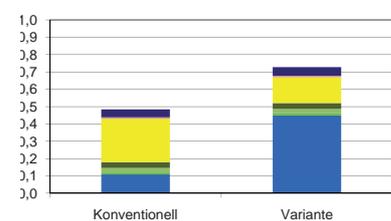
Primärenergieinhalt (MJ/m²)



Treibhauspotenzial (kg CO₂-eq/m²)



Versauerungspotenzial (kg SO₂-eq/m²)



Eigenschaft	DA1.6		Variante	
	Menge	Note	Menge	Note
Trennbarkeit		2		2
Materialvielfalt	4		3	
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kubikmeter im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	4%	1,0	5%	1,0
Thermisch verwertet	5%	1,2	9%	1,0
Beseitigt	91%	4,0	86%	4,0
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kilogramm im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	15%	1,0	5%	1,0
Thermisch verwertet	17%	1,0	9%	1,0
Beseitigt	68%	3,7	86%	4,0

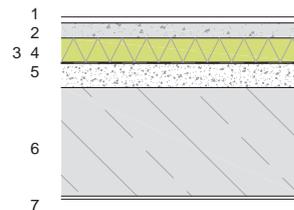
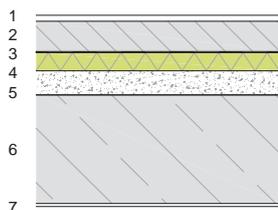


Anmerkungen

Die Schichten sind höchstens kraftschlüssig verbunden und daher einfach voneinander trennbar.

Die Zellulosefasern wurden aufgrund ihres Boratgehalts in B4 (Beseitigung in MVA) eingestuft. Wegen des höheren Flächengewichts verschlechtert sich somit das Ergebnis im Vergleich zum konventionellen Aufbau, wenn die Masse als Funktionseinheit herangezogen wird, obwohl die Steinwolle ebenfalls in B4 eingestuft ist. Theoretisch wäre es möglich, die Borsalze vorher auszuwaschen und die Zellulosefasern erst dann zu recyceln oder zu verbrennen.

DE1.1a Geschoßdecke Massivbau

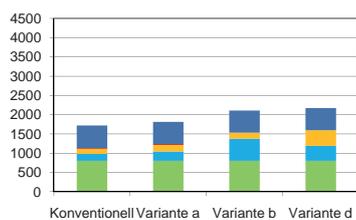


Geschoßdecke Massivbau	
[cm]	Konventioneller Aufbau (von oben nach unten)
1	- Bodenbelag (Parkett, Teppich) verklebt
2	5,00 Estrich
3	- PE-Dampfsperre
4	3,00 Steinwolle Trittschalldämmplatte
5	4,00 Kiesschüttung gebunden
6	18,00 STB-Decke lt. Statik
7	- Gipsspachtel
30,00 Gesamt	
12,00 Bodenaufbau	

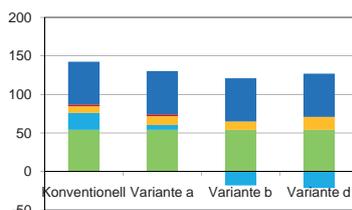
Geschoßdecke Massivbau, Trockenestrich	
[cm]	Alternativer Aufbau (von oben nach unten)
1	- Bodenbelag (Parkett, Teppich) schwimmend
2	2,50 Trockenestrichelement, 2-lagig
3	4,00 Holzfaser Trittschalldämmung
4	- PE-Dampfbremse
5	4,00 Kiesschüttung gebunden
6	18,00 STB-Decke lt. Statik
7	- mineralische Spachtelung
28,50 Gesamt	
10,50 Bodenaufbau	

Ökologisches Profil

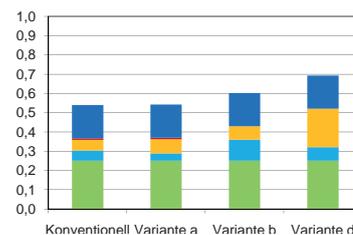
Primärenergieinhalt (MJ/m²)



Treibhauspotenzial (CO₂-eq/m²)



Versauerungspotenzial (SO_x-eq/m²)



Eigenschaft	DE1.1		Variante a		Variante b		Variante d	
	Menge	Note	Menge	Note	Menge	Note	Menge	Note
Trennbarkeit		3 / 3		3 / 2		3 / 2		3 / 2
Materialvielfalt		4		4		3		3
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kubikmeter im Betrachtungszeitraum)								
Stofflich verwertet	41 / 41 %	1,0 / 1,0	45 / 45 %	1,0 / 1,0	52%	1,1	40%	1,1
Thermisch verwertet	0 / 12 %	- / 3,0	0 / 12 %	3,0 / 3,0	29%	3,0	44%	1,9
Beseitigt	59 / 47 %	3,4 / 3,2	55 / 43 %	3,7 / 3,6	19%	4,0	16%	4,0
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kilogramm im Betrachtungszeitraum)								
Stofflich verwertet	57 / 57 %	1,0 / 1,0	69 / 67 %	1,0 / 1,0	84%	1,0	82%	1,0
Thermisch verwertet	0 / 5 %	- / 3,0	0 / 6 %	3,0 / 3,0	14%	3,0	18%	2,4
Beseitigt	43 / 38 %	3,2 / 3,1	31 / 27 %	3,5 / 3,3	2%	20,0	0%	4,0



Anmerkungen

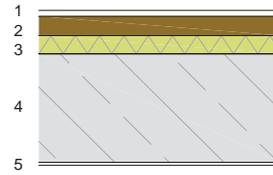
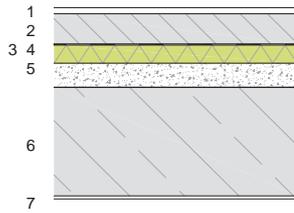
Nicht trennbar sind Nassestrich und PE-Folie, die Trennbarkeit des verklebten Bodenbelags ist von der Klebart abhängig. Bei der Einstufung der Trennbarkeit wird von zwei Varianten ausgegangen. Für den konventionellen Aufbau und Variante a) wird für beide Möglichkeiten: Boden trennbar oder nicht trennbar die Recyclierbarkeit bewertet.

Ist der Bodenbelag trennbar, kann er im Fall von hier angenommenen Massivparkett thermisch verwertet werden. Bei den Estrichen ist in der heutigen Entsorgungspraxis dennoch von einer Deponierung auszugehen.

Variante a: Die Recyclierbarkeit der Konstruktion wird durch den Einsatz von Trockenestrich nicht wesentlich verbessert. Der leichte Vorteil der Variante ergibt sich durch die geringere Menge an zu beseitigendem Material.

Die Stahlbetonscheibe kann ohne Verunreinigung ins Recycling gehen.

DE1.1b Geschoßdecke Massivbau

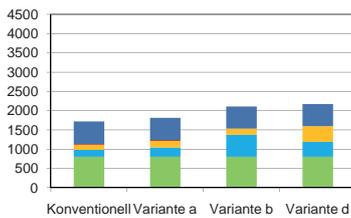


Geschoßdecke Massivbau	
[cm]	Konventioneller Aufbau (von oben nach unten)
1	- Bodenbelag (Parkett, Teppich) verklebt
2	5,00 Estrich
3	- PE-Dampfsperre
4	3,00 Steinwolle Trittschalldämmplatte
5	4,00 Kiesschüttung gebunden
6	18,00 STB-Decke lt. Statik
7	- Gipsspachtel
30,00 Gesamt	
12,00 Bodenaufbau	

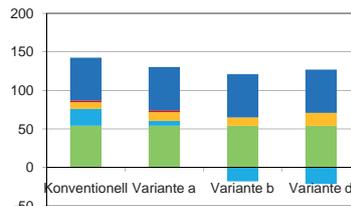
Geschoßdecke Massivbau, Distanzboden	
[cm]	Alternativer Aufbau (von oben nach unten)
1	- Bodenbelag (Parkett, Teppich) verklebt
2	3,20 Spanplatten
3	3,00 Mineralwolle zw. höhenverstell., trittschalldämm. Distanzfüßen
4	18,00 STB-Decke lt. Statik
5	- mineralische Spachtelung
24,20 Gesamt	
6,20 Bodenaufbau	

Ökologisches Profil

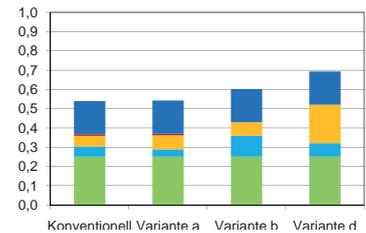
Primärenergieinhalt (MJ/m²)



Treibhauspotenzial (CO₂-eq/m²)



Versauerungspotenzial (SO_x-eq/m²)



Eigenschaft	DE1.1		Variante a		Variante b		Variante d	
	Menge	Note	Menge	Note	Menge	Note	Menge	Note
Trennbarkeit		3 / 3		3 / 2		3 / 2		3 / 2
Materialvielfalt		4		4		3		3
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kubikmeter im Betrachtungszeitraum)								
Stofflich verwertet	41 / 41 %	1,0 / 1,0	45 / 45 %	1,0 / 1,0	52%	1,1	40%	1,1
Thermisch verwertet	0 / 12 %	- / 3,0	0 / 12 %	3,0 / 3,0	29%	3,0	44%	1,9
Beseitigt	59 / 47 %	3,4 / 3,2	55 / 43 %	3,7 / 3,6	19%	4,0	16%	4,0
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kilogramm im Betrachtungszeitraum)								
Stofflich verwertet	57 / 57 %	1,0 / 1,0	69 / 67 %	1,0 / 1,0	84%	1,0	82%	1,0
Thermisch verwertet	0 / 5 %	- / 3,0	0 / 6 %	3,0 / 3,0	14%	3,0	18%	2,4
Beseitigt	43 / 38 %	3,2 / 3,1	31 / 27 %	3,5 / 3,3	2%	20,0	0%	4,0

■ STB-Decke ■ Estrich/Boden
■ Schüttung ■ Parkett
■ TSDämmung

Anmerkungen

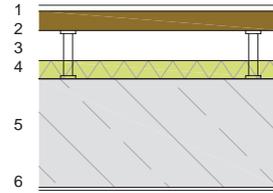
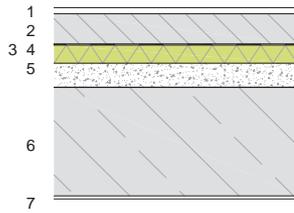
Nicht trennbar sind Nassestrich und PE-Folie, die Trennbarkeit des verklebten Bodenbelags ist von der Klebart abhängig. Bei der Einstufung der Trennbarkeit wird von zwei Varianten ausgegangen. Für den konventionellen Aufbau und Variante a) wird für beide Möglichkeiten: Boden trennbar oder nicht trennbar die Recyclierbarkeit bewertet.

Ist der Bodenbelag trennbar, kann er im Fall von hier angenommenen Massivparkett thermisch verwertet werden. Bei den Estrichen ist in der heutigen Entsorgungspraxis dennoch von einer Deponierung auszugehen.

Variante b: Die Bestandteile der Unterbodenkonstruktion, Distanzfüße, Dämmung und Spanplatte sind nur kraftschlüssig miteinander verbunden und können einfach getrennt werden. Brennbare Bodenbeläge (Parkett, Teppich, Linoleum), die auf die Spanplatte geklebt werden, werden mit der Platte gemeinsam thermisch verwertet. Von einem stofflichen Recycling ist auch in Zukunft nicht auszugehen.

Die Stahlbetonscheibe kann ohne Verunreinigung ins Recycling gehen.

DE1.1c Geschoßdecke Massivbau

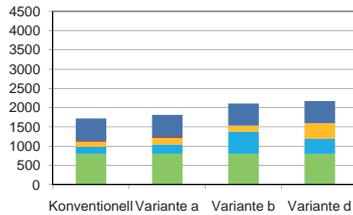


Geschoßdecke Massivbau	
[cm]	Konventioneller Aufbau (von oben nach unten)
1	- Bodenbelag (Parkett, Teppich) verklebt
2	5,00 Estrich
3	- PE-Dampfsperre
4	3,00 Steinwolle Trittschalldämmplatte
5	4,00 Kiesschüttung gebunden
6	18,00 STB-Decke lt. Statik
7	- Gipsspachtel
30,00 Gesamt	
12,00 Bodenaufbau	

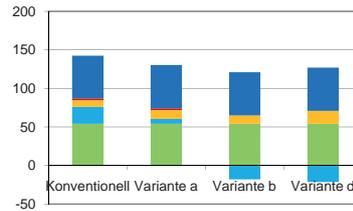
Geschoßdecke Massivbau, Distanzboden	
[cm]	Alternativer Aufbau (von oben nach unten)
1	- Bodenbelag (Parkett, Teppich) verklebt
2	3,20 Spanplatten
3	5,00 Luftraum zw. Distanzfüßen
4	3,00 Mineralw. zw. höhenverstell., trittschalldged. Distanzf. (Catstep, Dibo)
5	22,00 STB-Decke lt. Statik
6	- mineralische Spachtelung
33,20 Gesamt	
11,20 Bodenaufbau	

Ökologisches Profil

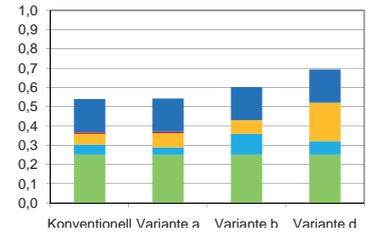
Primärenergieinhalt (MJ/m²)



Treibhauspotenzial (CO₂-eq/m²)



Versauerungspotenzial (SO_x-eq/m²)



Eigenschaft	DE1.1		Variante a		Variante b		Variante d	
	Menge	Note	Menge	Note	Menge	Note	Menge	Note
Trennbarkeit		3 / 3		3 / 2		3 / 2		3 / 2
Materialvielfalt		4		4		3		3
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kubikmeter im Betrachtungszeitraum)								
Stofflich verwertet	41 / 41 %	1,0 / 1,0	45 / 45 %	1,0 / 1,0	52%	1,1	40%	1,1
Thermisch verwertet	0 / 12 %	- / 3,0	0 / 12 %	3,0 / 3,0	29%	3,0	44%	1,9
Beseitigt	59 / 47 %	3,4 / 3,2	55 / 43 %	3,7 / 3,6	19%	4,0	16%	4,0
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kilogramm im Betrachtungszeitraum)								
Stofflich verwertet	57 / 57 %	1,0 / 1,0	69 / 67 %	1,0 / 1,0	84%	1,0	82%	1,0
Thermisch verwertet	0 / 5 %	- / 3,0	0 / 6 %	3,0 / 3,0	14%	3,0	18%	2,4
Beseitigt	43 / 38 %	3,2 / 3,1	31 / 27 %	3,5 / 3,3	2%	20,0	0%	4,0



Anmerkungen

Nicht trennbar sind Nassestrich und PE-Folie, die Trennbarkeit des verklebten Bodenbelags ist von der Klebart abhängig. Bei der Einstufung der Trennbarkeit wird von zwei Varianten ausgegangen. Für den konventionellen Aufbau und Variante a) wird für beide Möglichkeiten: Boden trennbar oder nicht trennbar die Recyclierbarkeit bewertet.

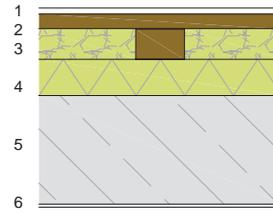
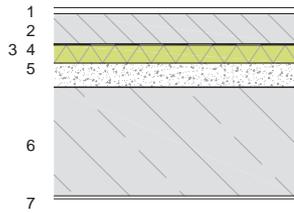
Ist der Bodenbelag trennbar, kann er im Fall von hier angenommenen Massivparkett thermisch verwertet werden. Bei den Estrichen ist in der heutigen Entsorgungspraxis dennoch von einer Deponierung auszugehen.

Variante b: Die Bestandteile der Unterbodenkonstruktion, Distanzfüße, Dämmung und Spanplatte sind nur kraftschlüssig miteinander verbunden und können einfach getrennt werden. Brennbare Bodenbeläge (Parkett, Teppich, Linoleum), die auf die Spanplatte geklebt werden, werden mit der Platte gemeinsam thermisch verwertet. Von einem stofflichen Recycling ist auch in Zukunft nicht auszugehen.

Variante c: siehe Variante b

Die Stahlbetonscheibe kann ohne Verunreinigung ins Recycling gehen.

DE1.1d Geschoßdecke Massivbau

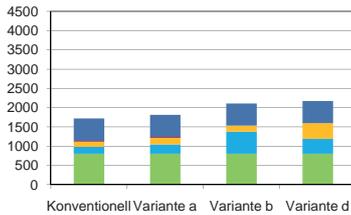


Geschoßdecke Massivbau	
[cm]	Konventioneller Aufbau (von oben nach unten)
1	- Bodenbelag (Parkett, Teppich) verklebt
2	5,00 Estrich
3	- PE-Dampfsperre
4	3,00 Steinwolle Trittschalldämmplatte
5	4,00 Kiesschüttung gebunden
6	18,00 STB-Decke lt. Statik
7	- Gipsspachtel
30,00 Gesamt	
12,00 Bodenaufbau	

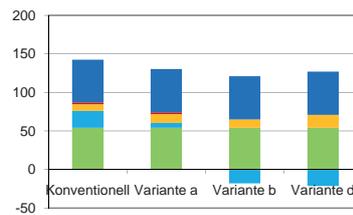
Geschoßdecke Massivbau, Polsterholzkonstruktion	
[cm]	Alternativer Aufbau (von oben nach unten)
1	- Holzboden
2	2,50 Blindboden
3	5,00 Polsterholz dazw. Mineralwolle
4	6,00 Holzfaser-Trittschalldämmstreifen
5	18,00 STB-Decke lt. Statik
6	- mineralische Spachtelmasse
31,50 Gesamt	
13,50 Bodenaufbau	

Ökologisches Profil

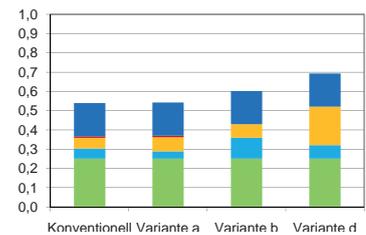
Primärenergieinhalt (MJ/m²)



Treibhauspotenzial (CO₂-eq/m²)



Versauerungspotenzial (SO_x-eq/m²)



Eigenschaft	DE1.1		Variante a		Variante b		Variante d	
	Menge	Note	Menge	Note	Menge	Note	Menge	Note
Trennbarkeit		3 / 3		3 / 2		3 / 2		3 / 2
Materialvielfalt		4		4		3		3
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kubikmeter im Betrachtungszeitraum)								
Stofflich verwertet	41 / 41 %	1,0 / 1,0	45 / 45 %	1,0 / 1,0	52%	1,1	40%	1,1
Thermisch verwertet	0 / 12 %	- / 3,0	0 / 12 %	3,0 / 3,0	29%	3,0	44%	1,9
Beseitigt	59 / 47 %	3,4 / 3,2	55 / 43 %	3,7 / 3,6	19%	4,0	16%	4,0
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kilogramm im Betrachtungszeitraum)								
Stofflich verwertet	57 / 57 %	1,0 / 1,0	69 / 67 %	1,0 / 1,0	84%	1,0	82%	1,0
Thermisch verwertet	0 / 5 %	- / 3,0	0 / 6 %	3,0 / 3,0	14%	3,0	18%	2,4
Beseitigt	43 / 38 %	3,2 / 3,1	31 / 27 %	3,5 / 3,3	2%	20,0	0%	4,0



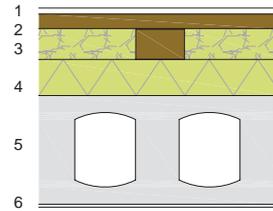
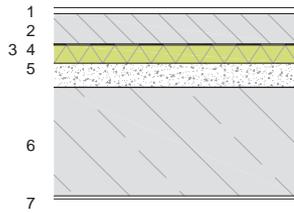
Anmerkungen

Nicht trennbar sind Nassestrich und PE-Folie, die Trennbarkeit des verklebten Bodenbelags ist von der Klebart abhängig. Bei der Einstufung der Trennbarkeit wird von zwei Varianten ausgegangen. Für den konventionellen Aufbau und Variante a) wird für beide Möglichkeiten: Boden trennbar oder nicht trennbar die Recyclierbarkeit bewertet.

Ist der Bodenbelag trennbar, kann er im Fall von hier angenommenen Massivparkett thermisch verwertet werden. Bei den Estrichen ist in der heutigen Entsorgungspraxis dennoch von einer Deponierung auszugehen.

Variante d: Die Bestandteile der Unterbodenkonstruktion, Polsterhölzer, Dämmung und Spanplatte sind nur kraftschlüssig miteinander verbunden und können einfach getrennt werden. Holzboden und Spanplatte werden gemeinsam thermisch verwertet. Die Polsterhölzer können auch stofflich verwertet werden, hier wird von einer thermischen Verwertung ausgegangen. Die Stahlbetonscheibe kann ohne Verunreinigung ins Recycling gehen.

DE1.1e Geschoßdecke Massivbau

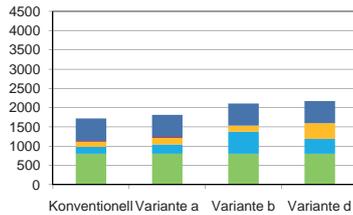


Geschoßdecke Massivbau	
[cm]	Konventioneller Aufbau (von oben nach unten)
1	- Bodenbelag (Parkett, Teppich) verklebt
2	5,00 Estrich
3	- PE-Dampfsperre
4	3,00 Steinwolle Trittschalldämmplatte
5	4,00 Kiesschüttung gebunden
6	18,00 STB-Decke lt. Statik
7	- Gipsmörtel
30,00 Gesamt	
12,00 Bodenaufbau	

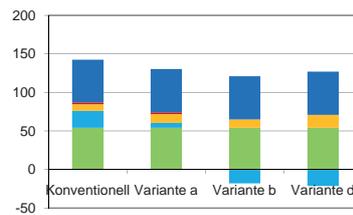
Geschoßdecke Massivbau, Polsterholzkonstruktion	
[cm]	Alternativer Aufbau (von oben nach unten)
1	- Holzboden
2	2,50 Blindboden
3	5,00 Polsterholz dazw. Schafwolle
4	6,00 Holzfaser-Trittschalldämmstreifen
5	18,00 Betonhohldiele für Wohnbau
6	- mineralische Spachtelmasse
31,50 Gesamt	
13,50 Bodenaufbau	

Ökologisches Profil

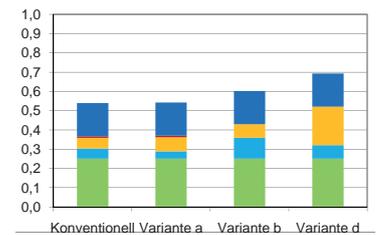
Primärenergieinhalt (MJ/m²)



Treibhauspotenzial (CO₂-eq/m²)



Versauerungspotenzial (SO_x-eq/m²)



Eigenschaft	DE1.1		Variante a		Variante b		Variante d	
	Menge	Note	Menge	Note	Menge	Note	Menge	Note
Trennbarkeit		3 / 3		3 / 2		3 / 2		3 / 2
Materialvielfalt		4		4		3		3
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kubikmeter im Betrachtungszeitraum)								
Stofflich verwertet	41 / 41 %	1,0 / 1,0	45 / 45 %	1,0 / 1,0	52%	1,1	40%	1,1
Thermisch verwertet	0 / 12 %	- / 3,0	0 / 12 %	3,0 / 3,0	29%	3,0	44%	1,9
Beseitigt	59 / 47 %	3,4 / 3,2	55 / 43 %	3,7 / 3,6	19%	4,0	16%	4,0
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kilogramm im Betrachtungszeitraum)								
Stofflich verwertet	57 / 57 %	1,0 / 1,0	69 / 67 %	1,0 / 1,0	84%	1,0	82%	1,0
Thermisch verwertet	0 / 5 %	- / 3,0	0 / 6 %	3,0 / 3,0	14%	3,0	18%	2,4
Beseitigt	43 / 38 %	3,2 / 3,1	31 / 27 %	3,5 / 3,3	2%	20,0	0%	4,0

■ STB-Decke ■ Estrich/Boden
■ Schüttung ■ Parkett
■ TSDämmung

Anmerkungen

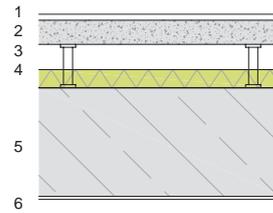
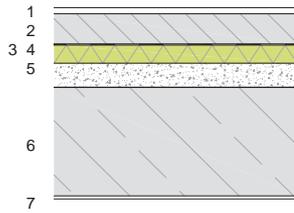
Nicht trennbar sind Nassestrich und PE-Folie, die Trennbarkeit des verklebten Bodenbelags ist von der Klebart abhängig. Bei der Einstufung der Trennbarkeit wird von zwei Varianten ausgegangen. Für den konventionellen Aufbau und Variante a) wird für beide Möglichkeiten: Boden trennbar oder nicht trennbar die Recyclierbarkeit bewertet.

Ist der Bodenbelag trennbar, kann er im Fall von hier angenommenen Massivparkett thermisch verwertet werden. Bei den Estrichen ist in der heutigen Entsorgungspraxis dennoch von einer Deponierung auszugehen.

Variante e: siehe Variante d. Der Ersatz der Mineralwolle durch Steinwolle würde die Menge an beseitigtem Material verringern und die Menge an thermisch verwerteten erhöhen (unerheblich bei Masse als Bezugseinheit).

Die Stahlbetonscheibe kann ohne Verunreinigung ins Recycling gehen.

DE1.1f Geschoßdecke Massivbau

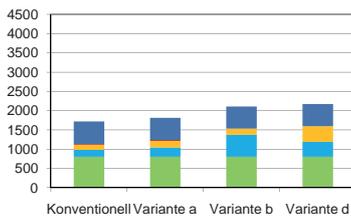


Geschoßdecke Massivbau	
[cm]	Konventioneller Aufbau (von oben nach unten)
1	- Bodenbelag (Parkett, Teppich) verklebt
2	5,00 Estrich
3	- PE-Dampfsperre
4	3,00 Steinwolle Trittschalldämmplatte
5	4,00 Kiesschüttung gebunden
6	18,00 STB-Decke lt. Statik
7	- Gipsmörtel
30,00 Gesamt	
12,00 Bodenaufbau	

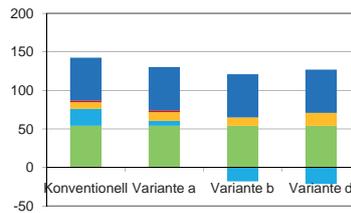
Geschoßdecke Massivbau, Distanzboden	
[cm]	Alternativer Aufbau (von oben nach unten)
1	- Bodenbelag (Parkett, Teppich) verklebt
2	4,00 Calciumsulfat-Platte
3	4,00 Luftraum zw. Distanzfüßen
4	3,00 Mineralw. zw. höhenverstell., trittschalldged. Distanzf. (Catstep, Dibo)
5	22,00 STB-Decke lt. Statik
6	- mineralische Spachtelmasse
33,00 Gesamt	
11,00 Bodenaufbau	

Ökologisches Profil

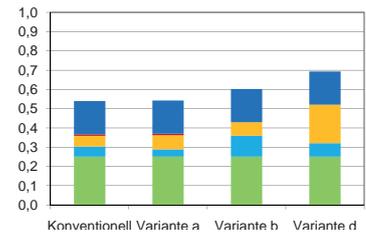
Primärenergieinhalt (MJ/m²)



Treibhauspotenzial (CO₂-eq/m²)



Versauerungspotenzial (SO_x-eq/m²)



Eigenschaft	DE1.1		Variante a		Variante b		Variante d	
	Menge	Note	Menge	Note	Menge	Note	Menge	Note
Trennbarkeit		3 / 3		3 / 2		3 / 2		3 / 2
Materialvielfalt		4		4		3		3
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kubikmeter im Betrachtungszeitraum)								
Stofflich verwertet	41 / 41 %	1,0 / 1,0	45 / 45 %	1,0 / 1,0	52%	1,1	40%	1,1
Thermisch verwertet	0 / 12 %	- / 3,0	0 / 12 %	3,0 / 3,0	29%	3,0	44%	1,9
Beseitigt	59 / 47 %	3,4 / 3,2	55 / 43 %	3,7 / 3,6	19%	4,0	16%	4,0
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kilogramm im Betrachtungszeitraum)								
Stofflich verwertet	57 / 57 %	1,0 / 1,0	69 / 67 %	1,0 / 1,0	84%	1,0	82%	1,0
Thermisch verwertet	0 / 5 %	- / 3,0	0 / 6 %	3,0 / 3,0	14%	3,0	18%	2,4
Beseitigt	43 / 38 %	3,2 / 3,1	31 / 27 %	3,5 / 3,3	2%	20,0	0%	4,0

■ STB-Decke ■ Estrich/Boden
■ Schüttung ■ Parkett
■ TSDämmung

Anmerkungen

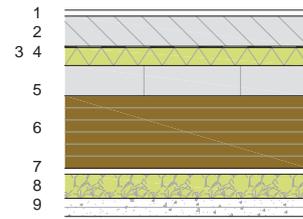
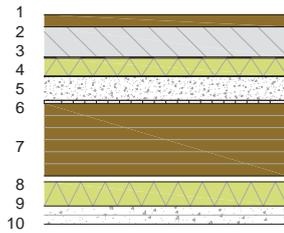
Nicht trennbar sind Nassestrich und PE-Folie, die Trennbarkeit des verklebten Bodenbelags ist von der Klebart abhängig. Bei der Einstufung der Trennbarkeit wird von zwei Varianten ausgegangen. Für den konventionellen Aufbau und Variante a) wird für beide Möglichkeiten: Boden trennbar oder nicht trennbar die Recyclierbarkeit bewertet.

Ist der Bodenbelag trennbar, kann er im Fall von hier angenommenen Massivparkett thermisch verwertet werden. Bei den Estrichen ist in der heutigen Entsorgungspraxis dennoch von einer Deponierung auszugehen.

Variante f: Die Recyclierbarkeit der Estrichs (Calciumsulfat-Platte) mit aufgeklebtem Bodenbelag entspricht Variante b. Die Distanzfüße können recycelt werden, die Mineralwolle wird auf Deponie oder in der Abfallverbrennungsanlage beseitigt.

Die Stahlbetonscheibe kann ohne Verunreinigung ins Recycling gehen.

DE1.2a Geschoßdecke Massivholzbau



Geschoßdecke Massivholzbau		
[cm]	Konventioneller Aufbau (von oben nach unten)	
1	2,00	Parkett verklebt
2	5,00	Estrich
3	-	PAE-Folie
4	3,00	Steinwolle TSP MW-S 35/30
5	4,00	Schwere Splittschüttung, ungebunden, verdichtet
6	-	Rieselschutz
7	12,00	Brettsperrholzplatte lt. Statik
8	1,00	Luftraum
9	4,00	Mineralwolle
10	3,00	GKF 2 x 1,25
	34,00	<i>Gesamt</i>
	14,00	<i>Bodenaufbau</i>

Geschoßdecke Massivholzbau		
[cm]	Alternativer Aufbau (von oben nach unten)	
1	1,00	Parkett schwimmend
2	5,00	Estrich
3	-	PE-Folie
4	3,00	Trittschalldämmung Glaswolle
5	5,00	Betonplatten/ Ziegel
6	12,00	Brettsperrholzplatte lt. Statik
7	1,00	Luftraum
8	4,00	Schafwolle
9	3,00	Gipsfaserplatten 2-lagig
	34,00	<i>Gesamt</i>
	27,00	<i>Bodenaufbau</i>

Ökologisches Profil

Für den Fußbodenaufbau gilt das bei den Geschoßdecken (De1.1) Gesagte.

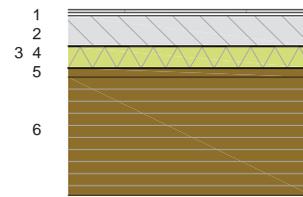
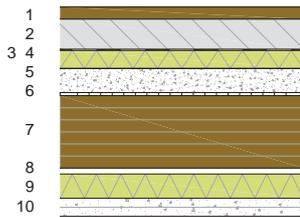
Die Bestandteile der Deckenuntersicht sind kraftschlüssig oder lose miteinander verbunden und können daher einfach voneinander getrennt werden.

Die Brettsperrholzplatte kann ohne Verunreinigung ins Recycling gehen.

Beim Recycling der Brettsperrholz-Elemente mit Kalksplittfüllung muss der Kalksplitt vom Holz getrennt werden. Dies erfordert einen zusätzlichen Arbeitsschritt.

	De1.2	Variante a	Variante b	Variante c
Trennbarkeit	3	3	3	3
Materialvielfalt	4	4	4	3

DE1.2b Geschoßdecke Massivholzbau



Geschoßdecke Massivholzbau		
[cm]	Konventioneller Aufbau (von oben nach unten)	
1	2,00	Parkett verklebt
2	5,00	Estrich
3	-	PAE-Folie
4	3,00	Steinwolle TSP MW-S 35/30
5	4,00	Schwere Splittschüttung, ungebunden, verdichtet
6	-	Rieselschutz
7	12,00	Brettsperrholzplatte lt. Statik
8	1,00	Luftraum
9	4,00	Mineralwolle
10	3,00	GKF 2 x 1,25
	34,00	<i>Gesamt</i>
	14,00	<i>Bodenaufbau</i>

Geschoßdecke Massivholzbau, Estrich		
[cm]	Alternativer Aufbau (von oben nach unten)	
1	1,00	Keramischer Belag, verklebt
2	5,00	Estrich
3	-	PE-Folie
4	3,50	Trittschalldämmung Mineralfaser
5	1,50	Holzfaserplatte zur Druckverteilung
6	19,60	Brettsperrhol-Element LIGNO Q3, mit Kalksplitt befüllt
	30,60	<i>Gesamt</i>
	11,00	<i>Bodenaufbau</i>

Ökologisches Profil

Für den Fußbodenaufbau gilt das bei den Geschoßdecken (De1.1) Gesagte.

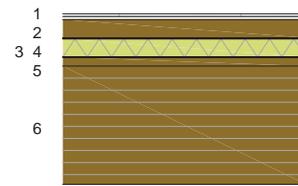
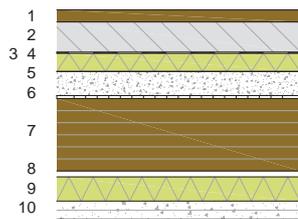
Die Bestandteile der Deckenuntersicht sind kraftschlüssig oder lose miteinander verbunden und können daher einfach voneinander getrennt werden.

Die Brettsperrholzplatte kann ohne Verunreinigung ins Recycling gehen.

Beim Recycling der Brettsperrholz-Elemente mit Kalksplittfüllung muss der Kalksplitt vom Holz getrennt werden. Dies erfordert einen zusätzlichen Arbeitsschritt.

	De1.2	Variante a	Variante b	Variante c
Trennbarkeit	3	3	3	3
Materialvielfalt	4	4	4	3

DE1.2c Geschoßdecke Massivholzbau



Geschoßdecke Massivholzbau		
[cm]	Konventioneller Aufbau (von oben nach unten)	
1	2,00	Parkett verklebt
2	5,00	Estrich
3	-	PAE-Folie
4	3,00	Steinwolle TSP MW-S 35/30
5	4,00	Schwere Splittschüttung, ungebunden, verdichtet
6	-	Rieselschutz
7	12,00	Brettsperrholzplatte lt. Statik
8	1,00	Luftraum
9	4,00	Mineralwolle
10	3,00	GKF 2 x 1,25
	34,00	<i>Gesamt</i>
	14,00	<i>Bodenaufbau</i>

Geschoßdecke Massivholzbau, Trockenestrich		
[cm]	Alternativer Aufbau (von oben nach unten)	
1	0,50	Parkett verklebt oder schwimmend
2	3,20	Spanplatten
3	3,50	Glaswolle Trittschalldämmung 40/35
4	1,50	Holzfaserverplatte zur Druckverteilung
5	19,60	Brettsperrholz-Element LIGNO Q3, mit Kalksplitt befüllt
	28,30	<i>Gesamt</i>
	8,70	<i>Bodenaufbau</i>

Ökologisches Profil

Für den Fußbodenaufbau gilt das bei den Geschoßdecken (De1.1) Gesagte.

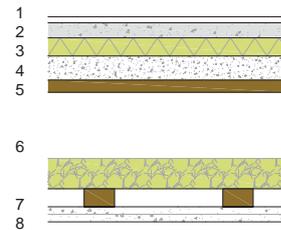
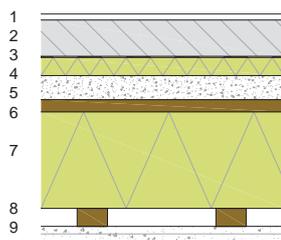
Die Bestandteile der Deckenuntersicht sind kraftschlüssig oder lose miteinander verbunden und können daher einfach voneinander getrennt werden.

Die Brettsperrholzplatte kann ohne Verunreinigung ins Recycling gehen.

Beim Recycling der Brettsperrholz-Elemente mit Kalksplittfüllung muss der Kalksplitt vom Holz getrennt werden. Dies erfordert einen zusätzlichen Arbeitsschritt.

	De1.2	Variante a	Variante b	Variante c
Trennbarkeit	3	3	3	3
Materialvielfalt	4	4	4	3

DE1.3 Geschoßdecke Holzrahmenbau

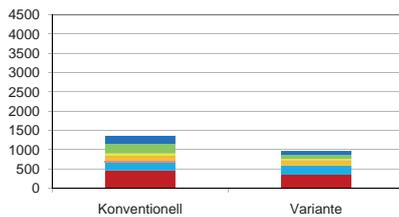


Geschoßdecke Massivholzbau		
[cm]		Konventioneller Aufbau (von oben nach unten)
1	1,00	Bodenbelag, geklebt
2	6,00	Estrich
3	-	PAE-Folie
4	3,00	Mineralwolle Trittschalldämmplatte MW-S 35/30
5	4,00	Schwere Splittschüttung, ungebunden, verdichtet
6	2,00	Zementgebundene Spanplatte
7	16,00	Holzkonstruktion, dazw. Steinwollmatte (5cm) eingelegt
8	3,00	Lattung 3/5cm
9	2,50	GKF Brandschutzplatten, 2-lagig
37,50		<i>Gesamt</i>
16,00		<i>Bodenaufbau</i>

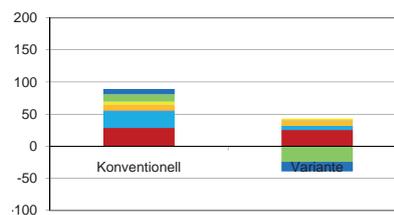
Geschoßdecke Holzrahmenbau		
[cm]		Alternativer Aufbau (von oben nach unten)
1	1,00	Bodenbelag, schwimmend
2	2,50	Trockenestrichelement
3	3,00	Mineralwolle Trittschalldämmplatte MW-S 35/30
4	4,00	Schwere Splittschüttung, ungebunden, verdichtet
5	2,00	Schalung Holz
6	16,00	Holzkonstruktion, dazw. Schafwolle (5cm) eingelegt
7	3,00	Lattung 3/5cm
8	2,50	Holzverschalung
34,00		<i>Gesamt</i>
12,50		<i>Bodenaufbau</i>

Ökologisches Profil

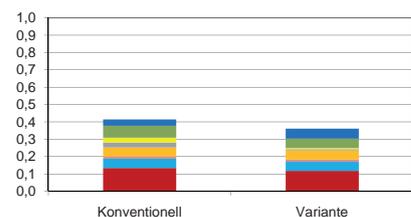
Primärenergieinhalt (MJ/m²)



Treibhauspotenzial (CO₂-eq/m²)



Versauerungspotenzial (SO₂-eq/m²)



Eigenschaft	DE1.3		Variante	
	Menge	Note	Menge	Note
Trennbarkeit		3		2
Materialvielfalt		4		4
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kubikmeter im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	4%	1,0	4%	1,0
Thermisch verwertet	7%	2,6	54%	2,6
Beseitigt	89%	3,6	42%	3,6
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kilogramm im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	2%	1,0	3%	1,0
Thermisch verwertet	5%	2,7	29%	2,4
Beseitigt	93%	3,2	68%	3,3

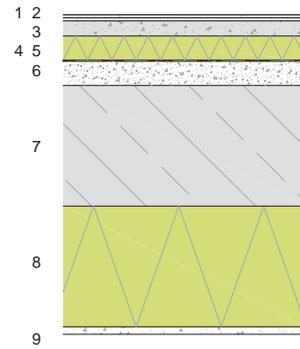
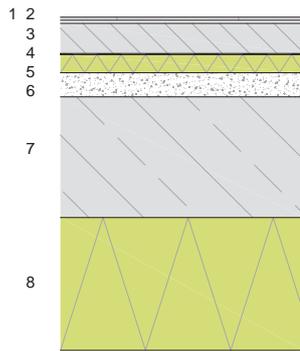
Anmerkungen

Für den Fußbodenaufbau gilt das bei den Geschoßdecken (De1.1) Gesagte.

Alle anderen Schichten sind lose oder kraftschlüssig miteinander verbunden und können einfach getrennt werden.

Der Recyclinganteil (entsprechend der heutigen Praxis) der eingesetzten Materialien ist allerdings sehr gering.

DE1.4 Fußboden zu unbeheizt / Keller

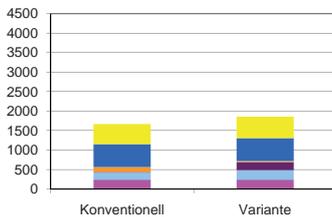


Fußboden zu unbeheizt / Keller		
[cm]	Konventioneller Aufbau (von oben nach unten)	
1	0,50	Keramischer Belag
2	0,50	Kleber
3	5,00	Estrich
4	-	PE-Folie
5	3,00	Steinwolle Trittschalldämmplatte MW-S 35/30
6	4,00	Kiesschüttung gebunden
7	20,00	STB-Decke lt. Statik
8	22,00	Tektalan SD (in Schalung eingelegt)
<hr/>		
55,00		Gesamt
13,00		Bodenaufbau

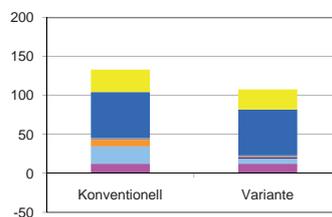
Fußboden zu unbeheizt / Keller		
[cm]	Alternativer Aufbau (von oben nach unten)	
1	0,50	Feinsteinzeug
2	0,50	Dünnbettmörtel
3	2,50	Trockenestrichelement, 2-lagig
4	4,00	Trittschalldämmung Holzfaser
5	-	PE-Dampfbremse
6	4,00	Kiesschüttung gebunden
7	20,00	STB-Decke lt. Statik
8	20,00	Glaswolle-dämmung
9	1,50	GK-Platte
<hr/>		
53,00		Gesamt
11,50		Bodenaufbau

Ökologisches Profil

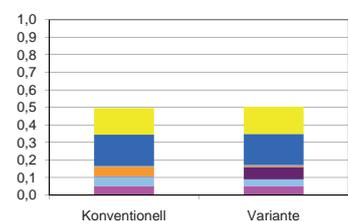
Primärenergieinhalt (MJ/m²)



Treibhauspotenzial (CO₂-eq/m²)



Versauerungspotenzial (SO_x-eq/m²)



Eigenschaft	DE1.4		Variante	
	Menge	Note	Menge	Note
Trennbarkeit		5		2
Materialvielfalt		4		4
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kubikmeter im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	0%	1,0	26%	1,0
Thermisch verwertet	0%	-	8%	1,0
Beseitigt	100%	3,6	66%	3,9
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kilogramm im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	0%	-	68%	1,0
Thermisch verwertet	0%	-	2%	1,0
Beseitigt	100%	3,1	30%	3,4

Anmerkungen:

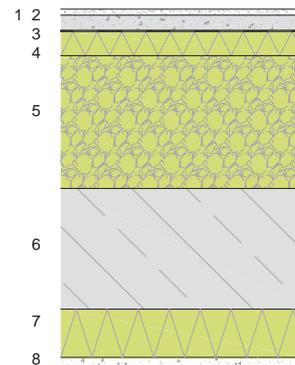
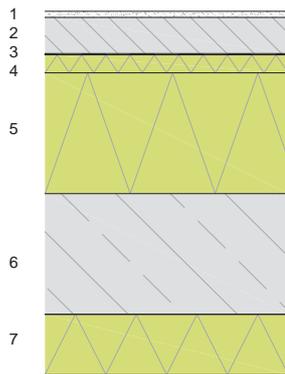
Für den Fußbodenaufbau gilt das bei den Geschoßdecken (De1.1) Gesagte

Tektalan ist ein Materialverbund von Holzwolle und Steinwolle, die Trennung von der Stahlbetondecke ist aufwendig. Es wird daher angenommen, dass diese Schichten gemeinsam auf der Baurestmassendeponie beseitigt werden.

Ebenso wird angenommen, dass Fliesen und Estrich gemeinsam deponiert werden.

Die Verschlechterung der Beseitigungsnote bei der Variante kommt tw. durch die größeren Mengen an zu entsorgender Gipskartonplatten,

DE1.5 Fußboden zu unbeheizt / Keller



Fußboden zu unbeheizt / Keller		
[cm]		Konventioneller Aufbau (von oben nach unten)
1	1,00	Textiler Bodenbelag, verklebt
2	6,00	Estrich
3	-	PE-Dampfsperre
4	3,00	EPS T 32/30
5	20,00	EPS W20
6	20,00	STB- Decke lt. Statik
7	10,00	Holzwohle Mehrschichtplatte
<hr/>		
	60,00	Gesamt
	30,00	Bodenaufbau

Fußboden zu unbeheizt / Keller		
[cm]		Alternativer Aufbau (von oben nach unten)
1	1,00	Textiler Bodenbelag, mit Haftklebestreifen verklebt
2	2,50	Trockenestrichelement, 2-lagig
3	-	PE-Dampfbremse
4	4,00	Holzfaser-Dämmplatte
5	22,00	Perlite
6	20,00	STB-Decke lt. Statik
7	8,00	Glaswolle-Dämmung
8	1,50	GK-Platte
<hr/>		
	59,00	Gesamt
	29,50	Bodenaufbau

Ökologisches Profil

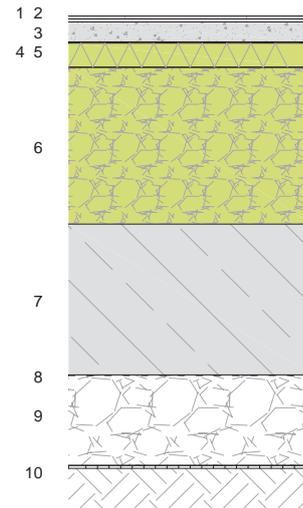
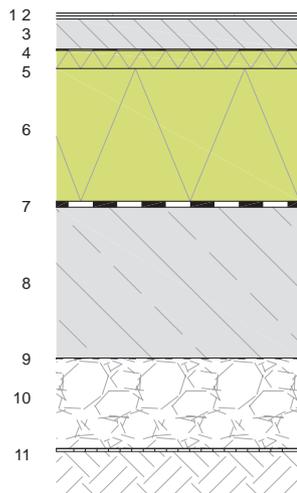
Für den Fußbodenaufbau gilt das bei den Geschoßdecken (De1.1)

Gesagte

Für die Holzwohle Mehrschichtplatte gilt das bei De 1.4 Gesagte

	De1.5	Variante
Trennbarkeit	5	2
Materialvielfalt	4	4

DE1.6 Fußboden zu Erdreich, oberseitig gedämmt

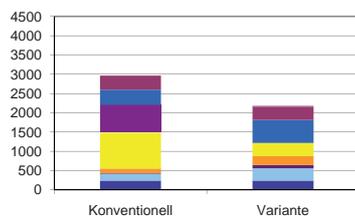


Fußboden zu Erdreich, obers. gedämmt		
Konventioneller Aufbau (von oben nach unten)		
[cm]		
1	0,50	Keramischer Belag
2	0,50	Kleber
3	5,00	Estrich
4	-	PE-Dampfbremse
5	3,00	Mineralwolle Trittschalldämmplatte
6	22,00	EPS W20
7	1,00	Polymerbitumenabdichtung 2lagig
8	25,00	Fundamentplatte lt. Statik
9	-	Baupapier
10	15,00	Rollierung
11	-	PP-Filtervlies
72,00		Gesamt
32,00		Bodenaufbau

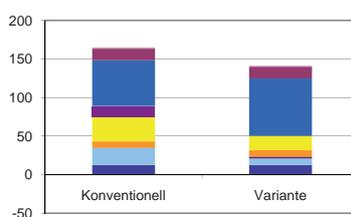
Fußboden zu Erdreich, obers. gedämmt		
Alternativer Aufbau (von oben nach unten)		
[cm]		
1	0,50	Keramischer Belag
2	0,50	Kleber
3	3,30	Faserzement-Trockenestrich
4	-	PE-Dampfbremse
5	4,00	Holzfaser-Dämmplatte
6	26,00	Perlite verdichtet
7	25,00	WU-Beton
8	-	Baupapier
9	15,00	Rollierung
10	-	PP-Filtervlies
74,30		Gesamt
34,30		Bodenaufbau

Ökologisches Profil

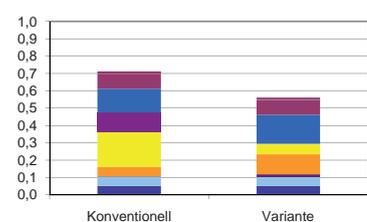
Primärenergieinhalt (MJ/m²)



Treibhauspotenzial (CO₂-eq/m²)



Versauerungspotenzial (SO_x-eq/m²)



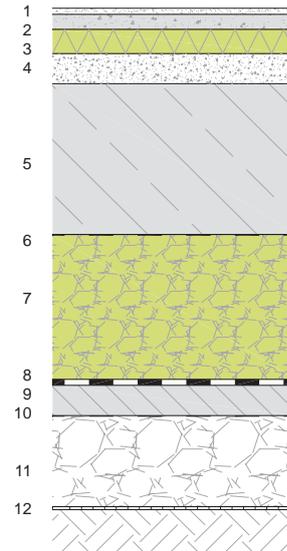
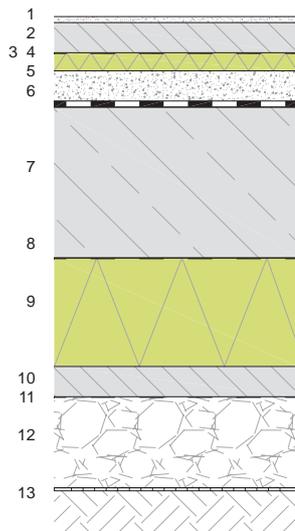
Eigenschaft	DE1.6		Variante	
	Menge	Note	Menge	Note
Trennbarkeit		5		2
Materialvielfalt		4		4
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kubikmeter im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	16%	1,0	86%	1,0
Thermisch verwertet	39%	3,0	7%	1,0
Beseitigt	44%	3,1	7%	3,0
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kilogramm im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	27%	1,0	90%	1,0
Thermisch verwertet	1%	3,0	2%	1,1
Beseitigt	72%	3,0	8%	3,0



Anmerkungen

Für den Fußbodenaufbau gilt das bei den Geschoßdecken (De1.1) Gesagte
 Die Trennung der Polymerbitumenabdichtung vom Stahlbeton ist zu aufwändig, die beiden Schichten werden daher gemeinsam entsorgt.
 Bei der Variante mit WU-Beton sind alle Schichten voneinander trennbar.

DE1.7a Fußboden zu Erdreich, unterseitig gedämmt

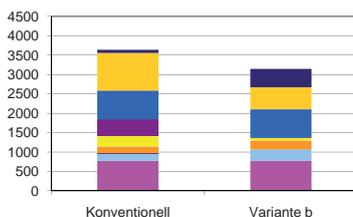


Fußboden zu Erdreich, unters. gedämmt		
[cm]	Konventioneller Aufbau (von oben nach unten)	
1	1,00	Textiler Belag, vollflächig verklebt
2	5,00	Estrich
3	-	PE-Folie
4	3,00	Mineralwolle Trittschalldämmplatte
5	5,00	EPS zementgebunden
6	1,00	Polymerbitumenabdichtung 2-lagig
7	25,00	Fundamentplatte lt. Statik
8	-	PE-Folie, 2-lagig
9	18,00	XPS
10	5,00	Magerbeton Sauberkeitsschicht
11	-	Baupapier
12	15,00	Rollierung
13	-	PP-Filtervlies
<hr/>		
	72,00	Gesamt
	14,00	Bodenaufbau

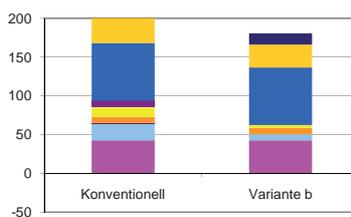
Fußboden zu Erdreich, unters. gedämmt		
[cm]	Alternativer Aufbau (von oben nach unten)	
1	1,00	Textiler Belag, vollflächig verklebt
2	3,00	Trockenestricheslement, 2-lagig
3	4,00	Trittschalldämmung Holzfaser
4	5,00	Split zementgebunden
5	25,00	Fundamentplatte lt. Statik
6	-	Schutzfolie (PE, Papier, Geotextil)
7	24,00	Schaumglasplatten kaschiert
8	1,00	Polymerbitumenabdichtung 2-lagig
9	5,00	Magerbeton Sauberkeitsschicht
10	-	Baupapier
11	15,00	Rollierung
12	-	PP-Filtervlies
<hr/>		
	79,00	Gesamt
	13,00	Bodenaufbau

Ökologisches Profil

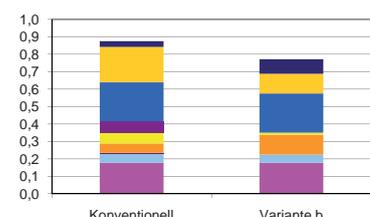
Primärenergieinhalt (MJ/m²)



Treibhauspotenzial (CO₂-eq/m²)



Versauerungspotenzial (SO_x-eq/m²)

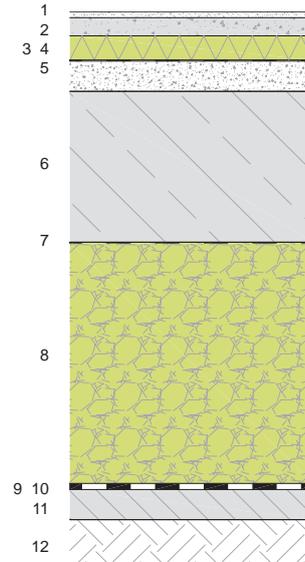
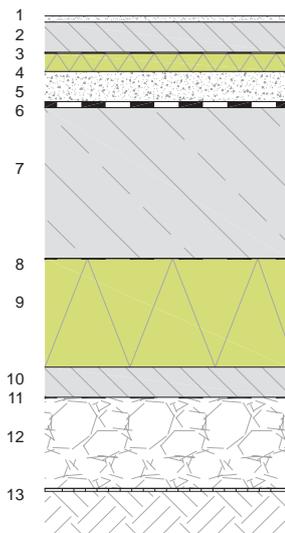


Eigenschaft	DE1.7		Variante a		Variante b	
	Menge	Note	Menge	Note	Menge	Note
Trennbarkeit	5		3		3	
Materialvielfalt	5		5		5	
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kubikmeter im Betrachtungszeitraum)						
Stofflich verwertet	16%	1,0	43%	1,6	77%	1,3
Thermisch verwertet	26%	3,0	7%	1,0	7%	1,0
Beseitigt	59%	3,4	50%	2,8	16%	3,9
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kilogramm im Betrachtungszeitraum)						
Stofflich verwertet	24%	1,0	70%	1,7	77%	1,3
Thermisch verwertet	1%	3,0	1%	1,0	7%	1,0
Beseitigt	75%	2,9	28%	3,1	16%	3,9



Anmerkungen siehe Aufbau DE1.7b

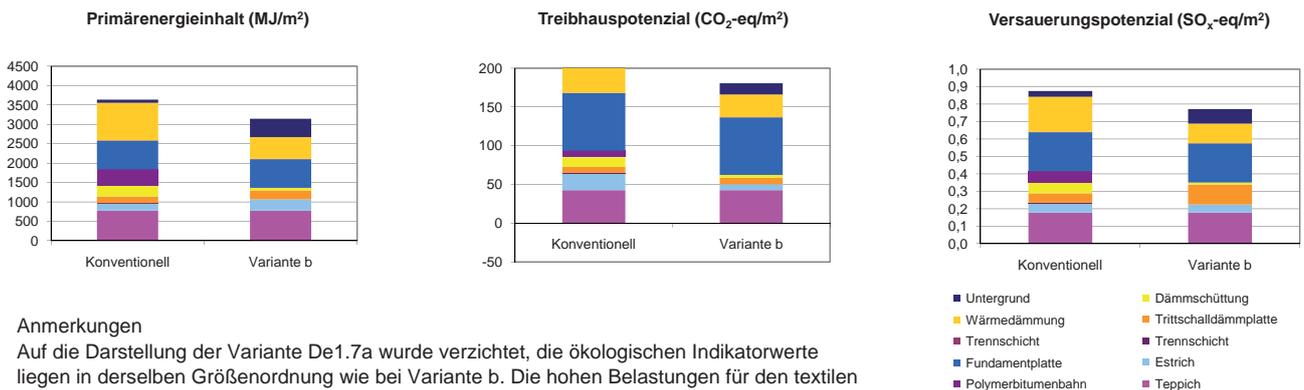
DE1.7b Fußboden zu Erdreich, unterseitig gedämmt



Fußboden zu Erdreich, unters. gedämmt		
[cm]	Konventioneller Aufbau (von oben nach unten)	
1	1,00	Textiler Belag, vollflächig verklebt
2	5,00	Estrich
3	-	PE-Folie
4	3,00	Mineralwolle Trittschalldämmplatte
5	5,00	EPS zementgebunden
6	1,00	Polymerbitumenabdichtung 2-lagig
7	25,00	Fundamentplatte lt. Statik
8	-	PE-Folie, 2-lagig
9	18,00	XPS
10	5,00	Magerbeton Sauberkeitsschicht
11	-	Baupapier
12	15,00	Rollierung
13	-	PP-Filtervlies
<hr/>		
	72,00	Gesamt
	14,00	Bodenaufbau

Fußboden zu Erdreich, unters. gedämmt		
[cm]	Alternativer Aufbau (von oben nach unten)	
1	1,00	Textiler Belag, vollflächig verklebt
2	3,00	Trockenestrichelement, 2-lagig
3	4,00	Trittschalldämmung Holzfaser
4	-	PE-Dampfbremse
5	5,00	Perlite
6	25,00	Fundamentplatte lt. Statik
7	-	Schutzfolie (PE, Papier, Geotextil)
8	40,00	Schaumglasschotter
9	-	Schutzfolie (PE, Papier, Geotextil)
10	1,00	Polymerbitumenabdichtung 2-lagig
11	5,00	RC Magerbeton
12	-	Rohbauplanum
<hr/>		
	80,00	Gesamt
	13,00	Bodenaufbau

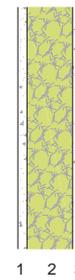
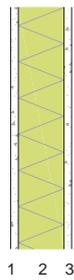
Ökologisches Profil



Anmerkungen

Auf die Darstellung der Variante De1.7a wurde verzichtet, die ökologischen Indikatorwerte liegen in derselben Größenordnung wie bei Variante b. Die hohen Belastungen für den textilen Bodenbelag sind v.a. durch die kurze Nutzungsdauer verursacht.
 Für den Fußbodenaufbau gilt das bei den Geschoßdecken (De1.1) Gesagte
 Die Trennung der Polymerbitumenabdichtung vom Stahlbeton ist zu aufwändig, die beiden Schichten werden daher gemeinsam entsorgt.
 Bei den beiden Varianten befindet sich die Abdichtung unter der Fundamentplatte, dadurch kann die Platte sauber ins Recycling gehen. "Geopfert" wird dafür die Magerbetonschicht, die gemeinsam mit der Abdichtung auf Baurestmassendeponien beseitigt wird.
 Die Verschlechterung der Beseitigungsrate bei Variante b ist durch den Wegfall von Material mit Beseitigungsrate mit max. 3 (z.B. Splitt) bedingt, absolut verringert sich die zu beseitigende Menge.

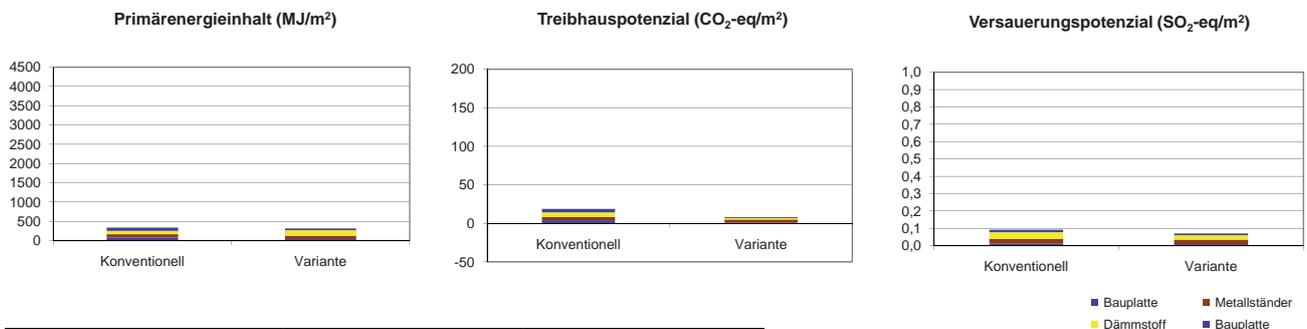
IW1.1 Innenwand nichttragend



GK-Ständerwand 10cm		
[cm]		Konventioneller Aufbau
1	1,25	GKB 1,25
2	7,50	Steinwolle zw. Metallstehern
3	1,25	GKB 1,25
10,00		Gesamt

GK-Ständerwand 10cm		
[cm]		Alternativer Aufbau
1	1,50	Lehmplatte (Claytec)
2	7,50	Hanf/ Schafwolle/etc. zw. Metallstehern
3	1,50	Lehmplatte (Claytec)
10,50		Gesamt

Ökologisches Profil



Eigenschaft	IW1.1		Variante	
	Menge	Note	Menge	Note
Trennbarkeit	-	2	-	2
Materialvielfalt	-	2	-	2
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kubikmeter im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	0%	1,0	0%	1,0
Thermisch verwertet	0%	-	74%	3,0
Beseitigt	100%	4,0	25%	2,0
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kilogramm im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	8%	1,0	6%	1,0
Thermisch verwertet	0%	-	9%	3,0
Beseitigt	92%	4,0	85%	2,0

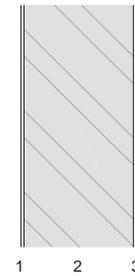
Anmerkungen

Die Konstruktion verursacht insgesamt nur sehr geringe Umweltbelastungen bei der Herstellung.

Eine Trennung aller Teile ist einfach möglich. Metallständer und Dämmstoff können unzerstört rückgewonnen werden

Lehmbauplatten könnten wieder zu Lehmbauplatten verarbeitet werden. Für gebrauchte Gipskartonplatten gibt es derzeit noch keine Verwertungsmöglichkeit, Forschungsprojekte sind im Gange.

IW1.2 Innenwand tragend

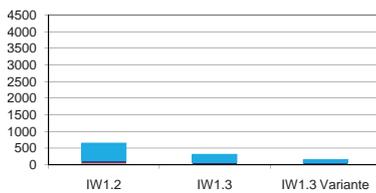


Stahlbetonwand	
[cm]	Konventioneller Aufbau
1	- Raufasertapete
2	- Gipsspachtel
3	18,00 STB
4	- Gipsspachtel
5	- Raufasertapete
18,00 Gesamt	

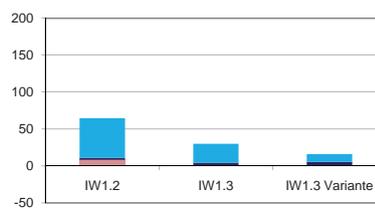
Ziegelsplittbeton	
[cm]	Alternativer Aufbau
1	- mineralische Spachtelmasse
2	18,00 Ziegelsplittbeton-Fertigwand
3	- mineralische Spachtelmasse
18,00 Gesamt	

Ökologisches Profil

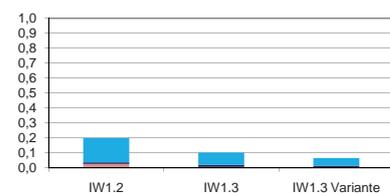
Primärenergieinhalt (MJ/m²)



Treibhauspotenzial (CO₂-eq/m²)



Versauerungspotenzial (SO₂-eq/m²)



Eigenschaft	IW1.2		Variante	
	Menge	Note	Menge	Note
Trennbarkeit		2		1
Materialvielfalt		2		1
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kubikmeter im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	93%	2,0	100%	2,2
Thermisch verwertet	0%	-	0%	-
Beseitigt	7%	4,3	0%	-
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kilogramm im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	96%	2,0	100%	2,1
Thermisch verwertet	0%	-	0%	-
Beseitigt	4%	4,2	0%	-

■ Wand
■ Putz
■ Tapete

Anmerkungen

Bei der Variante IW1.2 (nicht in der Grafik dargestellt) wird die Gipsspachtel durch eine Zementspachtelmasse ersetzt und auf die Tapezierung verzichtet. Dadurch verringern sich die Verunreinigungen beim Betonrecycling. Der Einsatz von Ziegelsplittbeton hat keinen Einfluss auf die Recyclierbarkeit. Eine Trennung der Bestandteile ist nicht erforderlich. Die Materialvielfalt der Konstruktion ist gering.

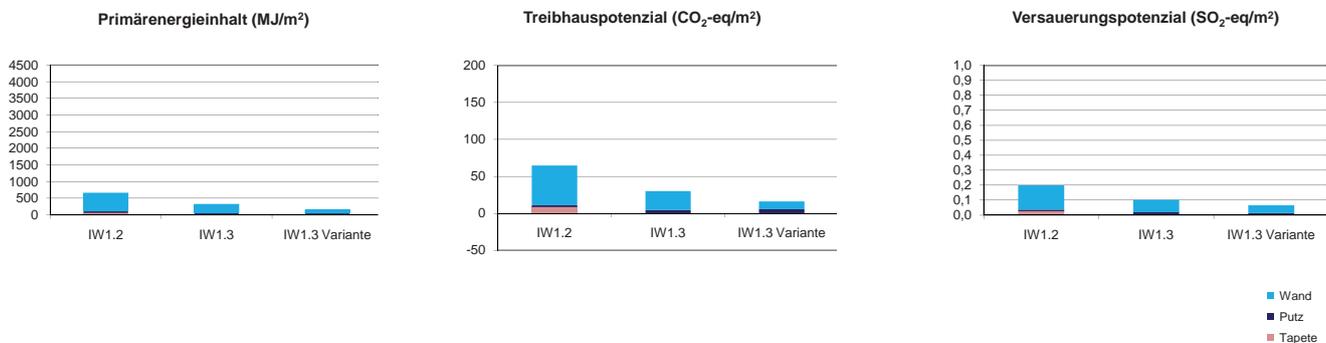
IW1.3 Innenwand tragend



Holzmantelbeton		
[cm]		Konventioneller Aufbau
1	1,00	Kalkgipsputz
2	18,00	Holzmantelbetonstein
3	1,00	Kalkgipsputz
20,00		Gesamt

Kalksandstein		
[cm]		Alternativer Aufbau
1	1,00	Kalkputz
2	15,00	Kalksandstein
3	1,00	Kalkputz
17,00		Gesamt

Ökologisches Profil

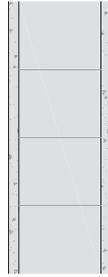


Eigenschaft	IW1.3		Variante	
	Menge	Note	Menge	Note
Trennbarkeit		5		2
Materialvielfalt		3		1
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kubikmeter im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	0%	-	88%	2,0
Thermisch verwertet	0%	-	0%	-
Beseitigt	100%	4,0	12%	3,0
Recyclierbarkeit (Funktionseinheit: Kilogramm im Betrachtungszeitraum)				
Stofflich verwertet	0%	-	74%	2,0
Thermisch verwertet	0%	-	0%	-
Beseitigt	100%	4,0	26%	3,0

Holzmantelbeton (IW1.3) besteht aus einem untrennbaren Materialverbund von Holz und Zement. Die Mantelsteine werden mit Kernbeton verfüllt, die Materialschichten werden bei der Entsorgung nicht mehr voneinander getrennt.

Die Konstruktion mit Kalksandstein zeigt die geringsten Belastungen in der Herstellung. In der Kalksandsteinproduktion werden schon seit langem Produktionsabfälle in der Prozess zurückgeführt. Forschungsprojekte zum weitreichenden Recycling von gebrauchten Kalksandsteinen sind im Laufen und vielversprechend. Eine Rückführung von Kalksandstein in die Produktion ist in Forschungsprojekten bereits gelungen.

IW1.4a Innenwand nicht tragend



1 2 3

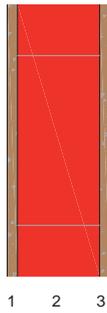
Kalksandstein		
	[cm]	<i>Alternativer Aufbau</i>
1	1,50	Kalkputz
2	12,00	Kalksandstein
3	1,50	Kalkputz
	15,00	<i>Gesamt</i>

Ökologisches Profil

Von einer grafischen Darstellung der ökologischen Kennwerte der einfachen Aufbauten für die nichttragenden Wände wurde abgesehen. Die Aufwendungen für die Herstellung sind gering, am geringsten für den Aufbau mit Lehmziegel.

Anmerkungen zu Kalksandstein siehe IW1.3.

IW1.4b Innenwand nicht tragend



	Düwa	
[cm]	Alternativer Aufbau	
1	1,50	Lehmputz
2	12,00	Düwa
3	1,50	Lehmputz
	15,00	Gesamt

Ökologisches Profil

Von einer grafischen Darstellung der ökologischen Kennwerte der einfachen Aufbauten für die nichttragenden Wände wurde abgesehen. Die Aufwendungen für die Herstellung sind gering, am geringsten für den Aufbau mit Lehmziegel.

Der Lehmputz ist mit geringem Aufwand von der Ziegelwand trennbar. Dies wird am besten vor Ort durchgeführt. Dadurch steigert sich die Qualität des Ziegelmaterials für die Aufbereitung.

IW1.4c Innenwand nicht tragend



Lehmziegel		
[cm]	Alternativer Aufbau	
1	1,50	Lehmputz
2	12,00	Lehmziegel
3	1,50	Lehmputz
15,00		Gesamt

Ökologisches Profil

Von einer grafischen Darstellung der ökologischen Kennwerte der einfachen Aufbauten für die nichttragenden Wände wurde abgesehen. Die Aufwendungen für die Herstellung sind gering, am geringsten für den Aufbau mit Lehmziegel. Mit Lehmörtel verlegte Lehmziegel könnten auch rückgebaut und wiederverwendet werden. Auch ein stoffliches Recycling zu neuen Lehmprodukten ist möglich.

IW1.4d Innenwand nicht tragend



Ytong		
[cm]	Alternativer Aufbau	
1	1,50	Gipsputz
2	10,00	Ytong
3	1,50	Gipsputz
	13,00	Gesamt

Ökologisches Profil

Von einer grafischen Darstellung der ökologischen Kennwerte der einfachen Aufbauten für die nichttragenden Wände wurde abgesehen. Die Aufwendungen für die Herstellung sind gering, am geringsten für den Aufbau mit Lehmziegel.

Bei Porenbeton wäre aus technischer Sicht eine Rückführung in die Produktion möglich. Dies wird derzeit aber nicht praktiziert.

IW1.4e Innenwand nicht tragend



Gipsdielen	
[cm]	Alternativer Aufbau
1	- Gipsspachtel
2	10,00 Gipsdielen
3	- Gipsspachtel
10,00	<i>Gesamt</i>

Ökologisches Profil

Von einer grafischen Darstellung der ökologischen Kennwerte der einfachen Aufbauten für die nichttragenden Wände wurde abgesehen. Die Aufwendungen für die Herstellung sind gering, am geringsten für den Aufbau mit Lehmziegel.

Anmerkungen zu Kalksandstein siehe IW1.3.

Theoretisch könnten die Gipsdielen ohne Qualitätsverlust recycelt werden, in Österreich findet derzeit jedoch kein post-consumer-Gipsrecycling statt. Auf Deponien verhalten sich Gipsprodukte wegen des Sulfataustritts eher ungünstig.