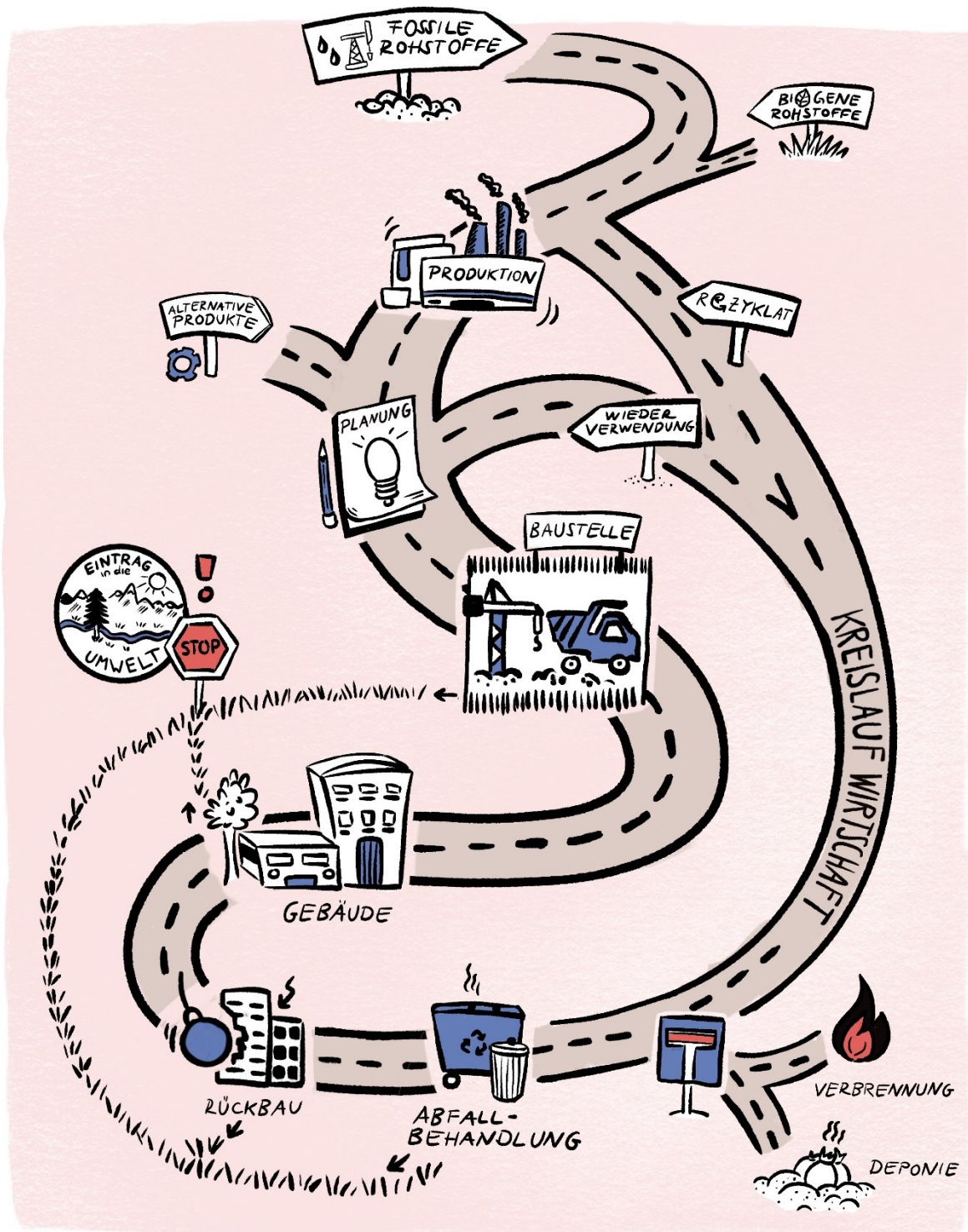


Wegweiser für kunststofffreies Bauen



Wegweiser für kunststofffreies Bauen

Analyse der Gefahren und Risiken von Kunststoffen über den gesamten Lebenszyklus
von Bauprodukten

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wohnen, Stadtentwicklung
und Bauwesen

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-22.24

Projektlaufzeit: 03.2023 bis 08.2025

IMPRESSUM

Herausgeber

Hochschule München, Lothstraße 34, 80335 München

Projektleitung

Hochschule München

Fakultät für Architektur

Fachgebiet Bauklimatik und Baukonstruktion

Prof. Dr.-Ing. Natalie Essig

Franziska Pichlmeier

Autorinnen und Autoren



Franziska Pichlmeier

Natalie Essig



Hildegund Figl

Andreas Krenauer



Astrid Scharnhorst

Barbara Bauer

Projektpartner

HeiQ RAS AG

Leipfinger-Bader GmbH,

Schlagmann Poroton GmbH & Co.KG

Wöhrl Ziegelwerk-Deckensysteme GmbH

Fachbetreuer

Daniel Wöffen

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung

Referat WB 3 „Forschung und Innovation im Bauwesen“

Lektorat

Lektorat Kirsten Rachowiak, München

Bildnachweis

Titelbild: Juliane Schlumberger, München

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Stand

Juli 2025

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

DOI: 10.60948/OPUS-741

München 2025

DANK

Wir sprechen unseren herzlichen Dank an die kooperierenden Unternehmen HeiQ RAS AG, Leipfinger-Bader GmbH, Schlagmann Poroton GmbH & Co.KG und Wöhl Ziegelwerk-Deckensysteme GmbH aus, die unser Projekt mit ihrer wertvollen Unterstützung während der gesamten Laufzeit begleitet haben.

Unser besonderer Dank gilt auch den zahlreichen Fachleuten, die sich die Zeit genommen haben, unser Forschungsvorhaben mit Praxisbeispielen, Vorträgen und fachlichen Impulsen zu bereichern – insbesondere Andreas Fröhlich (Bauherr), Gabriele Götz (Ziegelei Götz), Peter Kummermehr (kummermehrarchitektur), Georg Pfefferle (Bauherr), Michael Sedlmeier (architecturi) und Petra Wurmer-Weiß (Ökologisches Baustoffinformationssystem WECOBIS).

Ein weiterer herzlicher Dank gilt den Teilnehmerinnen und Teilnehmern unserer Workshops. Ihr praxisnaher Austausch und ihre konstruktiven Rückmeldungen haben maßgeblich zum Erfolg unserer Arbeit beigetragen.

Wir danken auch den Studierenden, die im Rahmen von Projektarbeiten aktiv zum Gelingen dieses Forschungsvorhabens beigetragen haben.

Nicht zuletzt danken wir dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) und dem Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB), die das Projekt aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau gefördert haben. Besonderer Dank geht dabei an Daniel Wöffen (BBSR) als Fachbetreuer des Projekts.

KURZFASSUNG

Die Herausforderungen, die Kunststoffe mit sich bringen, werden sowohl in der Wissenschaft als auch in der Gesellschaft anerkannt und es gibt erste Maßnahmen gegen die „Plastikflut“. Das Bauwesen ist nach dem Verpackungssektor der zweitgrößte Kunststoffverbraucher in Deutschland. Aufgrund der besonderen Anforderungen, u. a. Form- und Verarbeitbarkeit, Brandschutz, lange Nutzungszeiten, werden in Bauprodukten viele verschiedene Additive eingesetzt. Sie haben Auswirkungen auf die Recyclingfähigkeit und führen zu zusätzlichen Umweltbelastungen durch Kunststoffeinträge in die Umwelt. Besonders beim Eintrag von Mikroplastik spielt der Baubereich – insbesondere während der Bauphase – eine große Rolle. Dennoch fehlten bisher umfassende Untersuchungen zu Kunststoffen im Bauwesen sowie fundierte Informationsgrundlagen für Planungsbeteiligte und Entscheidungsträger:innen im Bausektor.

Im Zuge der Grundlagenforschung dieses Projekts entstand ein Wissenspool über Arten, Mengen und Eigenschaften von Kunststoffen in Bauprodukten, deren Umweltrelevanz, deren Einfluss auf die Recyclingfähigkeit und deren Potenzial, in den verschiedenen Lebenszyklusphasen des Produkts in die Umwelt freigesetzt zu werden. Es wurden Informationen erarbeitet, welche Ersatzprodukte bereitstehen und welche Bauweisen den Einsatz von Kunststoffen verringern. Außerdem wurde für Planungsbeteiligte und Entscheidungsträger:innen ein Bewertungstool für Bauteilaufbauten und ein Leitfaden zum kunststofffreien Bauen entwickelt.

Neben reinen Kunststoffprodukten wie synthetischen Dämmstoffen, elastischen Bodenbelägen, Dichtungsbahnen oder Dampfbremsen sind Kunststoffe auch in vielen anderen Bauprodukten als funktionsgebende Komponenten oder Zusatzmittel enthalten. Diese „versteckten“ Kunststoffe finden sich als Bindemittel in Farben, Putzen oder Holzwerkstoffen, als Zusatzmittel in Betonen, Estrichen und Bauplatten oder als Stützfaser in biogenen Dämmstoffen. Die Kunststoffanteile variieren je nach Produktgruppe erheblich, von unter 1 Masseprozent (M.-%) in Estrichen bis zu 30 M.-% in Dispersionsfarben. Häufig werden die exakten Mengen unter Berufung auf das Betriebsgeheimnis nicht offengelegt, was eine vollständige Transparenz erschwert.

Im Baubereich wurde der Großteil des Kunststoffabfalls 2023 energetisch verwertet (82,6 M.-%), während nur 16 M.-% mechanisch recycelt wurden und 1,3 M.-% auf Deponien landeten. Knapp ein Drittel der 2023 in der Baubranche verarbeiteten Kunststoffe bestand aus Rezyklaten oder Nebenprodukten, wobei diese größtenteils aus dem Verpackungssektor oder Produktionsabfällen stammten. Altmaterial aus dem Gebäuderückbau wird bisher kaum wiederverwendet, da u. a. noch keine effektiven Rücknahmesysteme etabliert sind. Diese Situation verdeutlicht den dringenden Handlungsbedarf, um eine bessere Kreislaufführung von Baukunststoffen zu erreichen.

Kunststoffe können in jeder Lebensphase eines Bauprodukts – von der Herstellung über den Einbau bis zum Rückbau und Recycling – in die Umwelt gelangen. Eine genaue Quantifizierung dieser Einträge ist aufgrund fehlender Datengrundlagen derzeit (Stand: 2025) kaum möglich. Die fehlenden Daten erschweren die Entwicklung wirksamer Maßnahmen zur Reduktion von Einträgen in die Umwelt, sodass neben verbesserten Recycling- und Rücknahmesystemen insbesondere ein bewussterer Umgang mit Kunststoffen sowie der gezielte Verzicht auf kunststoffhaltige Bauprodukte zentrale Ansätze zur Minimierung des Umwelteintrags sind.

Mikroplastik entsteht im Bauwesen im gesamten Lebenszyklus von Bauprodukten unbeabsichtigt vor allem durch Abrieb, Zersetzung und Verschnitt. Dabei können nicht nur die Kunststoffpartikel potenzielle Risiken für die Umwelt nach sich ziehen, sondern diese Kunststoffpartikel beinhalten oftmals Schadstoffe, die damit in die Umwelt gelangen. Die genauen Mengen und Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit sind noch nicht

abschließend erforscht. Doch Studien zeigen, dass sich Mikroplastikpartikel über Luft, Wasser und Boden verbreiten und durch Inhalation oder Nahrungsaufnahme in den menschlichen Körper gelangen können.

Die Untersuchung des Kunststoffeinsatzes in Baukonstruktionen zeigt, dass Kunststoffe in vielen Bauteilen verbreitet sind, insbesondere in Dächern, Außenwänden und erdberührten Außenwänden. Während Steildächer durch einen diffusionsoffenen Aufbau weitgehend kunststofffrei gestaltet werden können, weisen Flachdächer aufgrund der notwendigen Abdichtung und Dämmung meistens einen höheren Kunststoffanteil auf. Auch bei Außenwänden zeigt sich, dass Holzrahmenkonstruktionen mit Zellulosedämmung weniger Kunststoffe enthalten als konventionelle Wärmedämmverbundsysteme, während erdberührte Bauteile aufgrund technischer Anforderungen häufig nicht ohne Kunststoffe auskommen. Die Analyse der Treibhausgasemissionen zeigt, dass der Kunststoffanteil nicht immer direkt mit der Höhe der CO₂-Emissionen korreliert.

Auf Grundlage der Analysen auf Baustoffebene und Baukonstruktionsebene wurden Indikatoren zum Kunststoffeinsatz, dem Vorhandensein kritischer Inhaltsstoffe, der Kreislauffähigkeit sowie die Freisetzung von Mikro- und Makroplastik entwickelt. Diese Indikatoren wurden in ein Bewertungstool integriert. Sie sollen gleichzeitig verdeutlichen, dass eine differenzierte Bewertung aller entwickelten Indikatoren notwendig ist, um fundierte Entscheidungen zur Reduktion des Kunststoffeinsatzes im Bauwesen zu ermöglichen.

ABSTRACT

The challenges posed by plastics are recognised by both science and society, and initial measures are being taken to combat the 'plastic flood'. The construction industry is the second largest consumer of plastics in Germany after the packaging sector. Due to the special requirements, such as mouldability and processability, fire protection and long service life, many different additives are used in construction products. This has an impact on recyclability and leads to additional environmental pollution due to plastic discharges into the environment. The construction sector plays a particularly important role in the input of microplastics, especially during the construction phase. Nevertheless, there has been a lack of comprehensive studies on plastics in the construction industry and a lack of well-founded information for planners, architects and decision-makers in the construction sector.

During this project's basic research, a pool of knowledge was created about the content, properties and additives of plastics in construction products, their environmental relevance, their influence on recyclability and the potential to be released into the environment in the various life cycle phases of the product. Information was compiled on which substitute products are available and which construction methods reduce the use of plastics. In addition, an evaluation aid for component structures and a guide to plastic-free construction were developed for planners, architects and building owners.

In addition to pure plastic products such as synthetic insulation materials, elastic floor coverings, sealing membranes or vapour barriers, plastics are also present in many other building products as functional components or additives. These 'hidden' plastics can be found as binders in paints, plasters or wood-based materials, as additives in concretes, screeds and building boards or as supporting fibres in biogenic insulating materials. The proportion of plastics varies considerably depending on the product group, from less than 1 wt.-% in screeds to 30 wt.-% in emulsion paints. The exact quantities are often not disclosed on the grounds of industrial secrecy, which makes complete transparency difficult.

In the construction sector, the majority of plastic waste is currently recycled for energy recovery (82.6%), while only 16 % is mechanically recycled and 1.3 % ends up in landfills. Just under a third of the plastics processed in the construction industry in 2023 consisted of recyclates or by-products, most of which came from the packaging sector or production waste. Used material from building demolition has hardly been reused to date, as no effective take-back systems have yet been established. This illustrates the great need for action to achieve better recycling of construction plastics.

Plastics can enter the environment at every stage of a construction product's life cycle - from manufacture and installation to dismantling and recycling. It is currently almost impossible to quantify these inputs precisely due to a lack of data. This makes it difficult to develop effective reduction measures for plastics. Therefore, in addition to improved recycling and take-back systems, a more conscious use of plastics and the targeted avoidance of plastic-containing construction products are key approaches to minimising environmental impact.

In the construction sector, microplastics are unintentionally generated throughout the entire life cycle of building products, primarily through abrasion, degradation, and cutting waste. These plastic particles often carry pollutants with them, which are released into the environment with the plastic particles. The exact quantities and effects on the environment and health have not yet been conclusively researched, but studies show that microplastic particles are widely distributed via air, water and soil and can enter the human body through inhalation or ingestion.

Research into the use of plastics in building structures shows that plastics are widespread in many building components, particularly in roofs, exterior walls and floor slabs. While pitched roofs can be designed to be largely plastic-free using a diffusion-open structure, flat roofs usually have a higher plastic content due to the necessary sealing and insulation. External walls also show that timber frame constructions with cellulose insulation contain fewer plastics than conventional external thermal insulation composite systems, while components in contact with the ground often cannot do without plastics due to technical requirements. The analysis of global warming potential shows that the proportion of plastics does not always correlate directly with CO₂ emissions.

Based on the results, indicators were developed for the use of plastics, the presence of critical ingredients, recyclability and the release of micro- and macroplastics. These indicators were integrated into an evaluation aid for planners and building owners. They are also intended to illustrate that a differentiated evaluation of all developed indicators is necessary to make well-founded decisions on reducing the use of plastics in the construction industry possible.

INHALT

Impressum	3
Dank	4
Kurzfassung	5
Abstract	7
Inhalt	9
1 Einleitung	12
1.1 Motivation	12
1.2 Stand der Forschung	14
1.3 Forschungslücken	17
1.4 Benennung des öffentlichen Interesses	17
1.5 Zielsetzung des Projekts	17
1.6 Betrachtungsrahmen	18
2 Forschungsdesign	20
2.1 Projektteam und Organisation	20
2.2 Arbeitshypothesen und methodischer Ansatz	21
2.3 Arbeitspakete	21
3 Kunststoffe – Mengen, Arten und Anwendung im Bauwesen	23
3.1 Kunststoffmengen	23
3.2 Kunststoffarten	25
3.3 Kunststoffadditive	31
4 Kunststoffe – Lebensende und Recycling	32
4.1 Kunststoffabfälle und ihre Verwertungswege	32
4.2 Kunststoffrecycling	34
4.3 Rücknahme, Rückbau und Verwertungsmöglichkeiten	37
5 Politischer und regulatorischer Rahmen	40
5.1 European Green Deal, Kunststoffstrategie und Chemikalienstrategie	40
5.2 EU-Chemikalienverordnung REACH	40
5.3 EU-Bauprodukteverordnung (BauPVO)	41
5.4 Normung	41
6 Kunststoffe – Produkt- und Materialanforderungen in Umweltzeichen und Zertifizierungssystemen	43
6.1 Umweltzeichen	43
6.2 Umweltproduktdeklaration (EPD)	44
6.3 Gebäudebewertungssysteme	45
7 Chancen und Risiken von Kunststoffen im Bauwesen	47
7.1 Charakteristika von Kunststoffen	47
7.2 Rohstoffbasis	47
7.3 Störfallrisiko	49
7.4 Eintrag in die Umwelt	50

7.5	Einfluss auf die Umwelt	54
7.6	Brandverhalten	68
8	Bauprodukte mit Kunststoffen	69
8.1	Einleitung	69
8.2	Dämmstoffe	69
8.3	Dichtungsbahnen, Dampfsperren und Folien	77
8.4	Fensterrahmen	83
8.5	Putze	87
8.6	Bodenbeläge	88
8.7	Farben und Lacke	89
8.8	Kunststoffeinsatz in Bauprodukten	91
9	Kunststoffeinsatz in Konstruktionen	94
9.1	Einleitung	94
9.2	Ziel der Untersuchung	94
9.3	Gebäude und Baukonstruktionen	94
9.4	Auswahl der Baukonstruktion	95
9.5	Steildach	97
9.6	Flachdach	110
9.7	Außenwand	124
9.8	Außenwand erdberührt	137
9.9	Vergleich Steildach und Flachdach	148
9.10	Vergleich Wärmedämmverbundsystem und hinterlüftete Fassade	148
9.11	Vergleich der erdberührten Außenwand mit der Außenwand zur Außenluft	149
9.12	Zusammenfassung und Fazit	150
10	Entwicklung von Indikatoren	151
10.1	Einleitung	151
10.2	Indikatoren und Kriterien zur Beschreibung des Rohstoffeinsatzes und der Ressourceneffizienz	151
10.3	Indikatoren zur Beschreibung des Lebenszyklus und der Kreislauffähigkeit	154
10.4	Indikatoren bzw. Kriterien zur Beschreibung von Risikofaktoren	159
11	Umsetzung einer BewertungsTools	162
11.1	Einleitung	162
11.2	Zusammenfassende Darstellung der inhaltlichen Grundlagen für das Bewertungstool	163
11.3	Prozessschema	168
11.4	Überprüfung des Tools – Fallstudien	173
11.5	Ausblick auf die Anwendung	173
12	Strategien	174
12.1	Kunststoffvermeidung und Materialalternativen	174
12.2	Kreislaufwirtschaft	175
12.3	Kompetenzaufbau und Wissenstransfer	176

12.4	Standardisieren von Entscheidungsprozessen	178
13	Schlussfolgerung und Ausblick	179
	Literatur	180
	Abkürzungen	204
	Abbildungsverzeichnis	208
	Tabellenverzeichnis	211
	Anhang	213
	Anhang 1: Interviews und Herstellerumfrage	213
	Anhang 2: Workshops	215
	Anhang 3: Bewertungsmatrix für Kunststoffprodukte	219
	Anhang 4: Fallstudien	233

1 EINLEITUNG

1.1 Motivation

In den letzten Jahrzehnten hat die weltweite Kunststoffproduktion exponentiell zugenommen und lag 2023 bei 413,8 Mio. t/a. Die insgesamt produzierte Kunststoffmenge über die Jahre 1950–2023 liegt damit bei mehr als 6,1 Mrd. t (Plastics Europe 2024 a). In Europa hingegen stagnierte die Kunststoffproduktion und ist 2023 sogar um 8,3 % auf 54 Mio. t gesunken (Plastics Europe 2024 b). Schätzungen zufolge wird sich die weltweite Kunststoffproduktion bis 2060 verdreifachen, sofern keine neuen politischen Regelungen in Kraft treten (OECD 2022 a). Auch die Menge des Abfalls wird sich damit vermehren. 2019 wurden in den europäischen OECD-Ländern aber nur 12,6 % recycelt, 39 % kamen in die Müllverbrennung und 43 % auf Deponien (OECD 2022 a). Wertvolle Ressourcen, die als sekundäre Rohstoffquelle genutzt werden könnten, gehen damit verloren. Ein Teil des Kunststoffs landet in der Umwelt: ca. 22 Mio. t/a weltweit (OECD 2022 b), ca. 0,9 Mio. t/a in der EU (OECD 2022 c) im Jahr 2019. Kunststoffteile (Makro- und Mikroplastik) sind überall zu finden: an Küstenregionen, im Erdreich, in den Bergen, im Süß- und Salzwasser von Seen und Meeren, sogar im polaren Meereis (Landrigan et al. 2023: 3; Dhamija et al. 2024: 350).

In Deutschland werden etwa 3,1 % des Kunststoffverbrauchs in Form von Mikro- und Makroplastik in die Umwelt freigesetzt (Bertling/Bertling/Hamann 2018: 15). Davon entfallen rund 26 % auf größere Kunststoffteile (Makroplastik) und 74 % auf kleinste Partikel (Mikroplastik). Hinzu kommen jährlich etwa 20.070 t Additive, die zusammen mit den Kunststoffen in die Umwelt gelangen. Viele dieser Zusatzstoffe (Chemikalien), die beispielsweise zur Verbesserung von Materialeigenschaften verwendet werden, sind als gefährliche Stoffe eingestuft (Bertling/Bertling/Hamann 2018: 17). Deswegen und aufgrund ihrer extremen Langlebigkeit (Dong et al. 2024; Niu et al. 2024) können Kunststoffe und die damit verbundenen Chemikalien erhebliche ökologische (Villarrubia-Gómez et al. 2024) und gesundheitliche Risiken (Landrigan et al. 2023: 3; Gautam et al. 2024: S. 8 f.) verursachen. Diese Herausforderungen machen es notwendig, die Verwendung und den Umgang mit Kunststoffen grundlegend zu überdenken und neue Lösungen zu entwickeln, die sowohl deren Freisetzung minimieren als auch deren Wiederverwendung und hochwertige Verwertung ermöglichen.

Die potenziellen Schwierigkeiten, die mit dem Lebenszyklus von Kunststoffen verbunden sind, wurden bereits auf politischer Ebene identifiziert. Für die europäische Union bildet die „European Plastics Strategy“ einen zentralen Rahmen, um das Design und das Recycling von Kunststoffen zu verbessern, die Abfallmengen zu reduzieren sowie eine nachhaltigere Produktion und Nutzung zu fördern (Europäische Kommission 2018). Der „Circular Economy Action Plan“ im Rahmen des „European Green Deal“ ergänzt diese Strategie, indem er den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft beschleunigt und dabei auch auf Kunststoffe als problematische Materialgruppe abzielt (Europäische Kommission 2020 a). In Deutschland setzt das Verpackungsgesetz auf die Reduzierung von Einwegkunststoffen und fördert den Einsatz von Recyclingmaterialien (VerpackG; BGBl. 2023 I Nr. 294). Die nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie widmet sich ebenfalls explizit dem Thema Kunststoffe, indem sie den Fokus auf eine konsequente Wiederverwertung und die Minimierung von Kunststoffabfällen legt (BMUV 2024). Auch auf internationaler Ebene wird an einem Plastikabkommen zur Verringerung des Kunststoffabfalls im Rahmen der UN gearbeitet. Selbst wenn die Verhandlungen nicht wie geplant 2024 zu einem Abkommen geführt haben, sieht eine Mehrzahl der Staaten die Relevanz und Dringlichkeit (Norddeutscher Rundfunk 2024). Diese politischen Maßnahmen zeigen, dass das Thema „Einsatz von Kunststoffen in Bauprodukten“ nicht nur wissenschaftlich, sondern auch gesellschaftlich und politisch höchste Relevanz besitzt.

Der Baubereich übernimmt dabei eine Schlüsselfunktion: Hier finden Kunststoffe vielfältige Anwendungen – von offensichtlichen wie Dämmstoffen, Folien und Bodenbelägen bis hin zu weniger sichtbaren Formen wie Klebstoffen, Dichtmassen und Additiven in Putzen oder Spachtelmassen (siehe Abbildung 1 und Abbildung 3). Außerdem ist das Bauwesen nach dem Verpackungssektor der zweitgrößte Kunststoffverbraucher in Deutschland.



Abbildung 1: Fassadenaufbau mit hohem Kunststoffanteil: u.a. XPS-Dämmung im Sockelbereich, PU-Schaum, Mineralwolle mit kunststoffhaltigem Bindemittel als Fassadendämmung, Kunststoffhalter zur Befestigung von der Dämmung (Bild: IBO GmbH)



Abbildung 2: Dacheindeckung mit Kunststoffanteilen: u.a. Kunststofffolien, EPDM-Abdichtung und Kunststoffverpackungen für Tonziegel, (Bild: Hochschule München)

Im Jahr 2023 wurden in Deutschland etwa 3,05 Mio. t Kunststoffe in Bauwerken eingesetzt, die rund 24 % des gesamten Kunststoffverbrauchs ausmachen (nicht eingerechnet: Farben, Lacke, Kleber, Fasern, Bauschäume etc.). Auch bei der Menge der Post-Consumer-Abfälle belegt der Baubereich mit 0,754 Mio. t (13,5 %) den zweiten Platz nach den Verpackungen (3,072 Mio. t; 55 %). Diese Zahlen lassen zugleich die noch nicht genutzten Potenziale der Kreislaufwirtschaft für die Kunststoffe im Baubereich erkennen, denn der Großteil der Post-Consumer-Abfälle wird energetisch verwertet (82,6 %). (Conversio Market & Strategy, 2024: 21)

Außerdem werden in Baustoffen aufgrund der langen Nutzungsdauer und der besonderen Anforderungen die meisten Additive eingesetzt (Bertling/Bertling/Hamann 2018: 17). Somit sind in bestehenden Gebäuden oft Kunststoffe mit Additiven verbaut, z. B. bestimmte Flammschutzmittel und Weichmacher, die nach aktuell geltenden Bestimmungen nicht mehr eingesetzt werden dürfen (Bendix et al. 2021: 78). Die in Kunststoffen gebundenen Additive beeinflussen zum einen die Recyclingfähigkeit (Wagner/Schlummer 2020) und zum anderen die Gefahren durch den Umwelteintrag aus Kunststoffen für den Baubereich. Viele der Kunststoffe sind nicht nur schwer recycelbar, sondern tragen auch zur Freisetzung von Mikroplastik bei. Vor allem während der Bauphase (Platz 6 bei den Quellen für Mikroplastik) ist der Eintrag von Kunststoffen in die Umwelt hoch (Bertling/Bertling/Hamann 2018: 10 f.)

Das Forschungsprojekt „Wegweiser kunststofffreies Bauen“ setzt genau an diesen Punkten an. Es zielt darauf ab, eine durch wissenschaftliche Analysen fundierte Bewertungsstruktur für die Nachhaltigkeit von Kunststoffen in Bauprodukten zu entwickeln. Dabei soll zunächst der Kunststoffgehalt in Bauprodukten aufgezeigt werden – in Kunststoffprodukten ebenso wie in Bauprodukten aus Rohstoffen anderer Herkunft („versteckte“ Kunststoffe). Der hier vorliegende Forschungsbericht möchte zunächst ein Bewusstsein für den vielfältigen Einsatz von Kunststoffen im Baubereich schaffen. Im nächsten Schritt sollen die ökologischen Eigenschaften (z. B. die Kreislauffähigkeit) und die ökologischen Risiken (z. B. Freisetzung von Schadstoffen in die lokale Umwelt) der Produkte beurteilt werden. Der Fokus liegt darauf, Empfehlungen für nachhaltige Bauteilkonstruktionen zu geben,

die zum einen den Kunststoffeinsatz reduzieren und zum anderen ihn in ökologischer Hinsicht optimieren, falls ein kunststofffreier Ersatz nicht realisierbar ist. Durch die Entwicklung eines Bewertungstools, das die Bauprodukte analysiert, werden Planungsbeteiligte und Entscheidungsträger:innen bei der Auswahl geeigneter Materialien unterstützt.

Das Projekt „Wegweiser kunststofffreies Bauen“ leistet einen Beitrag zur Sensibilisierung für die Problematik und stellt praxisorientierte Arbeitshilfen bereit, um die Transformation des Bauwesens hin zu einer nachhaltigen Zukunft zu beschleunigen.

1.2 Stand der Forschung

Das Forschungsgebiet zu einem „Wegweiser kunststofffreies Bauen“ ist breit gefächert: von der Kunststoffvermeidung über den Einsatz von Kunststoffabfällen und die Herausforderungen in Bezug auf die Schwierigkeit bei der Entsorgung bis hin zum Eintrag in die Umwelt (Additive, Mikroplastik etc.).

Im Rahmen des vom Struktur- und Investitionsprogramm „Europäische territoriale Zusammenarbeit“ (Interreg) geförderten Projekts „CHARM – Circular Housing Asset Renovation & Management“ wurde die Nutzung und vor allem die mögliche Wiederverwendung von Bauprodukten optimiert (NWE Secretariat „Les Arcuriales“ 2025). Für das Projekt wurden 12 nahezu kunststofffreie Wohnungen geplant und realisiert. Es wurden u. a. Glasschaumdämmungen, Aluminiumfenster, kunststofffreie Farben (z. B. Kalkfarbe), zementgebundene Spanplatten und Lehm eingesetzt (The Alliance for Sustainable Building Products 2022). In der Gebäudetechnik wurden Kupferrohre, Lüftungsschächte aus verzinktem Stahl und mineralisierte Stromkabel eingesetzt (Cuffe 2022). Mineralwollendämmungen (mit „versteckten“ Kunststoffen) wurden eingebaut. Das Projekt bietet erste Ansätze zum kunststofffreien Bauen in der Praxis, es fehlen jedoch detaillierte Informationen zu Kunststoffgehalten und eine Übersicht über die eingesetzten Bauprodukte.

2019 hat sich die „Reducing Plastics in Construction Group“ mit dem Ziel gebildet, gemeinsame nachhaltige Lösungen für den Einsatz von Kunststoffen im Bauwesen (Bauprodukte und Verpackungen) zu entwickeln. Es finden sich Informationen

- über Mitgliedsunternehmen, die mit Produkten ohne Kunststoffe oder mit einem reduzierten Einsatz von Kunststoffen,
- in einer Übersicht über Kunststoffe im Bauwesen,
- über Strategien zum Vermeiden von Verpackungskunststoffen im Bausektor (ZAP – Zero Avoidable Packaging waste in construction)

(The Alliance for Sustainable Building Products 2021).

Hier fehlen zwar detaillierte Informationen zu einzelnen Baustoffen, doch es werden erste Alternativen genannt. Diese verweisen jedoch meistens nur auf Mitgliedsunternehmen.

Das von Interreg Alpenrhein-Bodensee-Hochrhein geförderte Projekt „wohngesund – Integratives und gemeinsames Projekt zur Analyse, Harmonisierung und Weiterentwicklung der Standards für die Planung und Bewertung von gesunden und ökologischen Wohnbauten in der Bodenseeregion“ hat Fragestellungen aufgedeckt, die in Zukunft für das nachhaltige Bauen berücksichtigt werden sollten. Die Forschungsgruppe stellte unter anderem fest, dass es noch erheblichen Forschungs- und Regulierungsbedarf zu den Umweltwirkungen der hohen Mengen an Kunststoffen und den damit verbundenen Additiven im Baubereich gibt. Das betrifft im

Besonderen die Freisetzung von Mikroplastik aus dem Baubereich (Figl et al. 2022). Es fehlen jedoch weitere Ausarbeitungen dazu.

Im Verbundprojekt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) „KUBA – Nachhaltige Kunststoffwertschöpfungskette: Pilotfall Kunststoffe in Bauwirtschaft und Gebäuden“ (2018–2020) wurde ein Konzept zur nachhaltigen Nutzung von Kunststoffen in der Bauwirtschaft entwickelt. In diesem Rahmen wurden die Kunststoffmengen im Bauwesen untersucht hinsichtlich der Kunststoffart, des Einsatzorts (Wohngebäude, Nichtwohngebäude, Tiefbau) und des Einsatzes in Bauprodukten. Außerdem wurde beschrieben, wie die Erfassung der Kunststoffabfallmenge sowohl beim Neubau (z. B. Verschnitt auf der Baustelle) als auch bei Sanierung und Rückbau erfolgt. Es wurde gezeigt, dass beim Rückbau meistens keine separate Erfassung der Kunststoffabfallfraktionen erfolgt (Gründe: hoher Aufwand, ungenügende Qualität durch z. B. Verschmutzungen oder Additive, hoher technischer Aufwand, fehlende kostengünstige Logistikkonzepte). Separat erfasst wurden Kunststoffe hingegen, wenn sie in ausreichenden Mengen und mit der benötigten Qualität gesammelt oder über Rücknahmesysteme entsorgt werden können. Außerdem wurde eine Potenzialanalyse zu den Logistiksystemen anhand verschiedener Kriterien durchgeführt, die u. a. zeigte, dass die Logistik für die untersuchten Kunststofffraktionen „nicht dem logistischen Standard“ (Bergs et al. 2020: 25) entsprechen. Für das Wärmedämmverbundsystem (WDVS) wurden Prozesse zur Aufbereitung und zum chemischen Recycling untersucht. Im Weiteren erfolgte eine ökologische und ökonomische Bewertung bezüglich der Verwertungswege, die im Projekt weiterentwickelt wurden. Zum Abschluss wurden Empfehlungen zur Verbesserung der nachhaltigen Kunststoffwertschöpfungskette und weiterer Forschungsbedarf formuliert (Bergs et al. 2020). Das Verbundprojekt fokussierte sich auf das Lebensende von Bauprodukten, die aus Kunststoffen bestehen, und auf die in den größten Mengenanteilen eingesetzten Kunststoffe Polyethylen (PE), Polyvinylchlorid (PVC), Expandiertes und Extrudiertes Polystyrol (EPS/XPS). Nicht erwähnt wurden Bauprodukte mit „versteckten“ Kunststoffanteilen.

Das österreichische Forschungsprojekt „DPP4PLASTICS“ untersucht derzeit (Stand: 2025) die Auswirkungen eines Digitalen Produktpasses (DPP) für Unternehmen in der Kunststoffproduktion und -verarbeitung. Ziel ist es, den Forschungs- und Entwicklungsbedarf zu erkennen, um die zukünftigen Ökodesignvorgaben zu erfüllen und mögliche Herausforderungen, Risiken und Chancen für den Übergang zu einer zirkulären Kunststoffindustrie zu verstehen (FFG 2025).

Ein weiterer Forschungsbereich ist die Nutzung von Kunststoffabfällen im Bauwesen. Tul Muntaha/Keitsch (2024) untersuchten das Lebensende von Kunststoffen und die Bauproduktentwicklung, die Kunststoffabfälle nutzt. Ziel ihrer Untersuchung war es, eine Grundlage für ihre weitere Forschung zu Kunststoffen als Zementersatz zu schaffen. Sie sehen die Vorteile, Kunststoffabfall zu reduzieren und gleichzeitig den hohen Bedarf an Rohstoffen im Baubereich zu stillen. Außerdem zeigen sie eine Übersicht über verschiedene Veröffentlichungen, die sich mit dem Einsatz von Kunststoffabfällen in Bauprodukten beschäftigen. Für u. a. folgende Einsatzbereiche im Gebäude wurde der Einsatz von Kunststoffabfällen untersucht: Fliesen (Owen et al. 2023; Safiki et al. 2021), Gips (Salim et al. 2019), Ziegel (Aneke/Shabangu 2021; Edike/Ameh/Dada 2023), Mörtel (Thiam/Fall/Diarra 2021; Thiam/Fall 2021), Beton (Belmokaddem et al. 2020; Sau/Shiuly/Hazra 2023). Dabei fällt jedoch auf, dass diese Untersuchungen nicht auf das Lebensende der entwickelten Bauprodukte mit Kunststoffanteilen eingehen. Cirino et al. (2023) merken außerdem an, dass die von ihnen untersuchten, neu entwickelten Bauprodukte mit Kunststoffabfällen die Freisetzung von Mikroplastik bei der Aufbereitung der Kunststoffabfälle nicht berücksichtigen. Außerdem sei die Problematik der oft toxischen Additive, die weiter im Umlauf bleiben, noch nicht gelöst. Abschließend stellen sie fest, dass das Einbringen von Kunststoffabfall in Bauprodukte nicht im

Sinne der Kreislaufwirtschaft ist und das Problem der Bewältigung von Kunststoffabfällen nicht löst (Cirino et al. 2023).

Zudem wird hinsichtlich der Entwicklung von biobasierten und umweltfreundlichen Bauprodukten geforscht.

Folgende Projekte werden u. a. im Rahmen der „Zukunft Bau“-Forschungsförderung unterstützt:

- „Nachhaltig und zuverlässig bauen mit Lehm“ (Projektende: 2023, Projektnummer: 10.08.18.7-21.44),
- „Biohanfkalkstein“ (Projektende: 2025, Projektnummer: 10.08.18.7-23.08),
- „Biobasierte Bindemittel für umweltfreundliche, flammhemmende Dämmmaterialien“ (Projektende: 2027, Projektnummer: 10.08.18.7-24.21),
- „Nachhaltige Bindemittel für kreislaufgerechte Faser- und Spanplatten“ (Projektende: 2026, Projektnummer: 10.08.18.7-24.20),
- „Tailored Clay“ (Projektende: 2027, Projektnummer: 10.08.18.7-24.62),
- „Einfach mauern mit Hanfkalk“ (Projektende: 2026, Projektnummer 10.08.18.7-24.59).

Diese Projekte können Alternativen zu Bauprodukten aus Kunststoffen oder solchen mit Kunststoffanteilen aufzeigen, aber sie forschen nicht explizit zum kunststofffreien Bauen.

Neben diesen Projekten gibt es vermehrte Forschungsaktivität zum Ersatz von fossilen Kunststoffen durch biobasierte und/oder bioabbaubare Kunststoffe oder natürliche Ersatzstoffe. Chen et al. (2024) haben in ihrem Reviewartikel die Forschungsansätze zu den Themen myzelhaltige Materialien, Biobetone, Naturfasern und faserverstärkte Verbundwerkstoffe zusammengefasst. Sie sehen in ihnen ein großes Potenzial auf den Weg zu Klimaneutralität und Minderung der Abfallmengen. Aber sie betonen auch, dass bei der Entwicklung und Untersuchung der gesamte Lebensweg der innovativen Werkstoffe untersucht werden muss und im Besonderen das Lebensende und die Ressourcen, die zur Wiederaufbereitung dieser Produkte benötigt werden.

Oberti/Paciello (2022) untersuchten den Einsatz von biobasierten und/oder bioabbaubaren Kunststoffen in verschiedenen Bauprodukten, z. B. Mörtel. Sie ziehen den Schluss, dass der reine Ersatz von Kunststoffen mit biobasierten und/oder bioabbaubaren Kunststoffen nicht genügt, um eine nachhaltige Entwicklung einzubringen. Ein Kernthema bleibt auch hier die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft mit neu entwickelten Produkten.

Das Thema Mikroplastik im Baubereich wurde bislang nur vereinzelt betrachtet. Die Freisetzung von Kunststoffen auf Baustellen ist aber der sechstgrößte Eintragungspfad von Mikroplastik in die Umwelt (Bertling/Bertling/Hamann 2018: 10). Yuk et al. (2022) haben die Auswirkungen von Alterungserscheinungen von kunststoffhaltigen Materialien auf die Innenraumluft untersucht. Dabei stellten sie die Art und Konzentration von Mikroplastik in der Innenraumluft fest. Sie fordern eine weiterführende Forschung zum Eintrag von Mikroplastik durch Abnutzung von Baumaterialien in die Innenraumluft (Yuk et al. 2022).

Prasittisopin/Ferdous/Kamchoom (2023) haben einen Reviewartikel über Mikroplastik im Gebäudebereich geschrieben und dafür 211 Veröffentlichungen, die meisten von ihnen sind zwischen 2020 und 2022 erschienen, ausgewertet. Schwerpunkte waren Gewebe oder Textilien, Faserverstärkungen in Beton, Farben, Kunststoffperlen und Dämmplatten. Sie merkten an, dass mehr Informationen und Aufklärung hinsichtlich Mikroplastik im Baubereich und weitere Forschung bezüglich des Eintrags von Mikroplastik aus dem Baubereich notwendig sind.

Eine weitere Veröffentlichung behandelt den Mikroplastikeintrag von Farben in die Umwelt. Paruta/Pucino/Boucher (2022) stellten fest, dass Farben einen wesentlichen und bisher unterschätzten Beitrag zum Eintrag von Kunststoffen in die Umwelt leisten. Sie schätzen, dass im Mittel 7,4 Mio. t pro Jahr in die Umwelt gelangen und mehr als die Hälfte davon aus dem Gebäudesektor stammt.

1.3 Forschungslücken

Obwohl zahlreiche Studien verschiedene Aspekte des Kunststoffeinsatzes im Bauwesen untersuchen, gibt es bislang keine umfassende Analyse, die den gesamten Lebenszyklus von Baukunststoffen aus und mit Kunststoffen systematisch betrachtet – von der Materialzusammensetzung über den Umwelteintrag bis hin zur Kreislauffähigkeit. Es fehlen insbesondere detaillierte Daten zu „versteckten“ Kunststoffen in Bauprodukten, zur Recyclingfähigkeit von Kunststoffen aus dem Gebäuderückbau und zu Makro-, Mikro- und Nanoplastik aus dem Bauwesen, die in die Umwelt gelangen. Zudem wurden die Potenziale einer gezielten kunststofffreien Materialsubstitution oder kunststoffarmer Baukonstruktionen noch nicht systematisch untersucht.

Das hier dargestellte Forschungsprojekt schließt diese Lücken, indem es eine umfassende Bestandsaufnahme des Kunststoffeinsatzes in Bauprodukten vornimmt, Vermeidungsstrategien analysiert und Bewertungsmethoden für Planungsbeteiligte und Entscheidungsträger:innen entwickelt. Ziel ist es, fundierte Entscheidungsgrundlagen für eine Vermeidung bzw. Reduktion des Kunststoffeinsatzes zu schaffen, dafür geeignete Alternativen aufzuzeigen und die Auswirkungen des Kunststoffeinsatzes auf die Umwelt transparenter zu machen.

1.4 Benennung des öffentlichen Interesses

„Der schlechten Prognose den Vorrang zu geben gegenüber der guten, ist verantwortungsbewusstes Handeln im Hinblick auf zukünftige Generationen.“ So definierte Hans Jonas das Prinzip der Vorsorge (Jonas 1993). Aufgrund des massiven Einsatzes von Kunststoffen – im Jahr 2023 waren es weltweit 413,8 Millionen Tonnen – und der damit verbundenen Umweltverschmutzung hat die Umweltversammlung der Vereinten Nationen (UNEP) festgestellt, dass Kunststoffverschmutzung ein ernstes globales Umweltproblem darstellt (Plastics Europe 2024a; United Nations Environment Assembly 2022: 1). Heute sind Kunststoffe nicht nur in allen Umweltkompartimenten zu finden, sondern z. B. auch in Lymphknoten von Feldhasen (Hornek-Gausterer 2021) oder in der Plazenta von Menschenbabys (Ragusa 2021). Einmal produziert, können Kunststoffe nicht mehr vollständig entfernt werden. Selbst nach der Verbrennung in Müllverbrennungsanlagen verbleibt ein Teil als Mikroplastik in der Schlacke (Yang 2021).

Die Freisetzung von Kunststoffen auf Baustellen ist der sechstgrößte Eintragungspfad von Mikroplastik in die Umwelt (Bertling/Bertling/Hamann 2018: 10). Die Entwicklung von Indikatoren für Bauprodukte, welche die realen Gefahren und Risiken von Kunststoffen während ihres gesamten Lebenszyklus aufgrund aktueller wissenschaftlicher Daten widerspiegelt, ist nicht zuletzt wegen des Vorsorgeprinzips das Gebot der Stunde.

1.5 Zielsetzung des Projekts

Das Ziel dieses Forschungsprojekts ist es, den Einsatz von Kunststoffen in Bauprodukten zu identifizieren, je nach Umweltrelevanz zu gewichten und Alternativen zu kunststoffhaltigen Bauprodukten aufzuzeigen. Im Zuge der Grundlagenforschung in diesem Projekt entsteht ein Wissenspool über den Gehalt und die Eigenschaften von Kunststoffen in Bauprodukten, deren Einfluss auf die Recyclingfähigkeit und deren Potenzial, in den verschiedenen Lebenszyklusphasen des Produkts in die Umwelt freigesetzt zu werden. Es werden Informationen erarbeitet, welche Ersatzprodukte bereitstehen bzw. welche Bauweise den Einsatz von Kunststoffen minimiert. Die Verknüpfung von baustoffspezifischen Informationen mit aus der Wissenschaft abgeleiteten Gefahren und Risiken der enthaltenen Materialien ermöglicht die Eingliederung in Bewertungstools für Bauprodukte und ergänzt diese um bisher fehlende Indikatoren hinsichtlich des potenziellen Eintrags von Kunststoffen in die Umwelt. Die Öffentlichkeit, vor allem aber Planungsbeteiligte und Entscheidungsträger:innen, erhalten ein Tool, welches in die

Richtung des nachhaltigen Bauens weist. Die öffentliche Hand kann mithilfe dieser Bewertungsmethode dem Prinzip der Vorsorge gerecht werden.

In diesem Projekt sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- Welche Bauprodukte bestehen aus Kunststoffen und wie hoch ist der Anteil „versteckter“ Kunststoffe?
- Können Kunststoffe am Nutzungsende sortenrein getrennt und auf derselben Produktebene recycelt werden?
- In welchen Phasen des Lebenszyklus können Kunststoffe in die Umwelt gelangen? Welche Kunststoffe und ihre Additive sind besonders problematisch?
- Gibt es Alternativprodukte, und wenn ja: welche? Welche Baukonstruktionen begünstigen kunststofffreies Bauen?

1.6 Betrachtungsrahmen

1.6.1 Bauprodukte und Baustoffe der Baukonstruktion

Dieses Forschungsprojekt untersucht in seiner Grundlagenforschung die Relevanz von Kunststoffen im Bauwesen. Um den Umfang des Vorhabens überschaubar zu halten, liegt der Fokus auf Bauprodukten und Baustoffen der Kostengruppe 300 (Bauwerk – Baukonstruktion; DIN 276). Dabei werden nicht nur die mengenmäßig relevantesten Baustoffgruppen Dämmstoffe und Fensterrahmen, sondern auch die für aktuelle Bauweisen kaum vermeidbaren Abdichtungsbahnen, Dampfsperren, Folien und „versteckten“ Kunststoffe in Putzen, Spachtelmassen, Farben und Lacken thematisiert. Produkte mit speziellen Brandschutzanforderungen werden dabei ausgenommen.

1.6.2 Nicht betrachtete Kunststoffanwendungen

Weitere Bereiche im Bauwesen mit beträchtlichem Kunststoffaufkommen werden identifiziert. Für diese fehlen Untersuchungen und es ist weiterer Forschungsbedarf vorhanden. Sie sind für dieses Projekt ebenfalls außerhalb des Betrachtungsrahmens, werden jedoch im Folgenden skizziert.

Kunststoffe in der Inneneinrichtung

In der Inneneinrichtung kommen Kunststoffe in vielfältigen Anwendungen vor – etwa in Möbeln, Teppichen, Vorhängen und Beleuchtungen. Diese Materialien können schädliche Chemikalien freisetzen und im Brandfall zusätzliche Gefahren bergen. Zudem besteht das Risiko der Freisetzung von Mikroplastik, insbesondere aus synthetischen Fasern wie Acryl, Nylon und Polyester. Weitere kunststoffhaltige Produkte umfassen Hochdruck-Schichtpressstoffplatten (z. B. für Möbelfronten und Arbeitsplatten), Metallbeschichtungen (z. B. Polyesterpulverbeschichtungen, Korrosionsschutzlacke), Beschichtungen auf Stein und Glas sowie Möbelbeschläge und Mineralwerkstoffe für Küchen- und Sanitärbereiche.

Kunststoffe in der Haustechnik

Auch in der Haustechnik (Kosten Gruppe 400; DIN 276) werden Kunststoffe breit eingesetzt. Beispiele hierfür sind Rohre in Heizungssystemen, Trink- und Abwasserleitungen, Sanitärarmaturen sowie Kanäle und Ventilatoren in Kühl- und Lüftungsanlagen. Darüber hinaus dienen Kunststoffprodukte als Kabelisolierungen sowie zur Wärme- und Schalldämmung – wobei PVC die am häufigsten verwendete Kunststoffart darstellt.

Hilfsmittel und Kleinteile

Kleinteile wie Dübel, Armierungsgitter, Betonierzubehör (z. B. Dreiecksleisten, Stopfen), Keile und Abstandshalter (beim Verlegen von Fliesen), Unterlegplättchen (bei der Fenstermontage), Kunststoffleisten für Fugenabdeckungen sowie Montageschäume und Klebstoffe werden aufgrund ihrer geringen Mengen oft als unbedeutend erachtet. Dennoch können sie den sortenreinen Rückbau und das Recycling mineralischer Baustoffe erschweren.

Verpackungskunststoffe

Der Verpackungssektor ist der größte Kunststoffverbraucher (3 840 kt/a) vor dem Baubereich (3 050 kt/a) in Deutschland (Conversio Market & Strategy, 2024: 13). Bei den Kunststoffen für den Verpackungssektor sind jedoch auch die Verpackungen für Bauprodukte einbezogen. Der jährliche Einsatz von Kunststoffverpackungen für Bauprodukte liegt laut Bendix et al. (2021: 23) bei etwa 170 kt in Deutschland. Gleichzeitig wird die Produktion der Verpackungen auf rund 368 kt pro Jahr geschätzt. Der Unterschied zwischen diesen Werten ergibt sich einerseits aus einem Exportüberschuss, andererseits ist aufgrund der begrenzten Datenlage zu beachten, dass es sich hierbei um grobe Schätzungen handelt (Bendix et al. 2021: 23). Die Datenlage, welche Mengen an Kunststoffverpackungen dem Baubereich zuzuordnen sind, ist spärlich. Weiterer Forschungsbedarf wird hier erkennbar.

Baustelleneinrichtung und -betrieb

Gerüstnetze auf Baustellen sind oft aus Kunststoffen minderer Qualität und/oder recycelten Materialien hergestellt und werden im Freien eingesetzt. Daher besteht das Risiko, dass Kunststoff freigesetzt und zu einer Mikroplastikquelle wird. Durch die Be- und Verarbeitung kunststoffhaltiger Produkte (z. B. EPS-Granulat) kann es ebenfalls zu unerwünschter Freisetzung von Kunststoffpartikeln kommen. Schutzausrüstungen auf der Baustelle (u. a. Atemmasken) bestehen aus Kunststoffen oder beinhalten sie häufig. Problematisch ist dabei, dass diese meistens Einwegprodukte sind und ihr Abrieb zu Mikroplastik führen kann.

Kunststoffe im Außenbereich (Zäune, Gartenbau)

Der Einsatz von Kunststoffen im Außenbereich von Gebäuden ist weitverbreitet (u. a. Markisen, Geotextilien, Teichfolien, Bewässerungssysteme, Rasengittersteine, Bewässerungsrohre). Die Anwendung im Außenbereich birgt dabei ein besonders hohes Risiko wie z. B. Freisetzung von Mikroplastik oder die unsachgemäße Entsorgung.

2 FORSCHUNGSDESIGN

2.1 Projektteam und Organisation

An diesem Forschungsprojekt sind drei Forschungsinstitutionen beteiligt. Prof. Dr. Natalie Essig und Franziska Pichlmeier des Fachgebiets Bauklimatik (Fakultät Architektur) der Hochschule München haben die Leitung des Projekts. Barbara Bauer und Astrid Scharnhorst arbeiten vonseiten des IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie. Eine weitere Partnerin ist die baubook GmbH, Hildegund Figl und Andreas Krenauer sind dort beteiligt.

Die vorliegende Forschung wurde gemeinsam nach Abschluss des Vorgängerprojekts „wohngesund – Integratives und gemeinsames Projekt zur Analyse, Harmonisierung und Weiterentwicklung der Standards für die Planung und Bewertung von gesunden und ökologischen Wohnbauten in der Bodenseeregion“ (gefördert von Interreg Alpenrhein-Bodensee-Hochrhein) beantragt. Dieses hatte Mikroplastik als ein Thema, das in Zukunft für das nachhaltige Bauen berücksichtigt werden sollte, aufgedeckt.

Gleichzeitig entstand das ZIM (Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand)-Netzwerk „Gebäude O. K. – kunststofffreies Bauen mit nachhaltigen Produkten“, welches vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert wurde. Mitglieder des Netzwerks sind zahlreiche Unternehmen, Institute und Verbände, die am Aufbau einer Innovationsplattform für kunststofffreies Bauen arbeiteten. Aus diesem Netzwerk entstand der Kontakt zu den am Projekt beteiligten Unternehmen.

Die Arbeitsschwerpunkte innerhalb der Gruppe der beteiligten Forschungsinstitutionen wurde für das vorliegende Projekt folgendermaßen zugeteilt:

- Hochschule München, Fachgebiet Bauklimatik: Neben der Leitung des Projekts war der Arbeitsschwerpunkt die Analyse der Bauteile hinsichtlich der Verwendung von Kunststoff- bzw. kunststoffhaltigen Bauprodukten. Des Weiteren wurden die Fallstudien untersucht. Außerdem war das Team zuständig für die Organisation von 3 Workshops.
- IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie: Die Schwerpunkte lagen auf Untersuchungen, welche Gefahren und Risiken von Kunststoffen auf Umwelt und Menschen ausgehen. Zudem wurde analysiert, welche dieser Gefahren und Risiken durch die gängigen Regulative und Bewertungsindikatoren noch nicht ausreichend abgedeckt sind.
- Baubook GmbH: Das Unternehmen untersuchte vorrangig die Umsetzung der Projekterkenntnisse in Form von Indikatoren und Parameter für den Einsatz in Datenbanken. Am Beispiel baubook-Datenbank und eco2soft-Ökobilanzrechner wurde das Prozess-Schema zur Einbindung bestehender Datenbanken und Tools entwickelt, wobei auf Übertragbarkeit auf andere Datenbanken und Tools geachtet wurde.

Der Austausch zwischen den Institutionen fand in 16 Onlinetreffen und einem internen Workshop an der Hochschule München statt.

Außerdem wurde das Projekt von folgenden Unternehmen aus der freien Wirtschaft unterstützt:

- HeiQ RAS AG, Netzwerk „Gebäude OK“,
- Leipfinger-Bader GmbH, Ziegelwerk,
- Schlagmann Poroton GmbH, Ziegelwerk,
- Wöhr, Ziegelwerk-Deckensysteme GmbH.

Diese Unternehmen waren nicht nur in Workshops und Besprechungen vertreten, sondern in das ganze Forschungsprojekt eingebunden.

2.2 Arbeitshypothesen und methodischer Ansatz

In diesem Forschungsprojekt wurde davon ausgegangen, dass keine ausreichenden Bewertungen kunststoffhaltiger Bauprodukte hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit existieren. Insbesondere fehlt es an wirkungsvollen Indikatoren, welche die realen Gefahren und Risiken von Kunststoffen entlang ihres gesamten Lebenszyklus abbilden. Für ein nachhaltiges und zukunftssicheres Bauen ist eine kritische Auseinandersetzung mit Kunststoffen im Bauwesen unerlässlich.

Zu Beginn erfolgte eine umfassende Literaturrecherche, um wissenschaftliche Veröffentlichungen, technische Dokumentationen und Regulative zu analysieren. Dabei wurden insbesondere Studien zu Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen von Kunststoffen sowie der Stand der Kreislaufführung von Kunststoffen betrachtet. Parallel dazu ergab die Auswertung von Herstellerangaben und Datenbanken (neben baubook sind das schwerpunktmäßig WECOBIS und ÖKOBAUDAT) Informationen über Kunststoffgehalte, Produktzusammensetzungen und Recyclingmöglichkeiten.

Im Rahmen einer Umfrage wurden bei Herstellern von Bauprodukten Informationen zu Kunststoffgehalten abgefragt, um so Wissen direkt aus der Praxis generieren zu können. Zudem konnte bei den 3 Workshops mit Planungsbeteiligten und Vertreter:innen der Wirtschaft und der öffentlichen Hand sowohl ein Feedback als auch Wissen aus der Praxis eingeholt werden.

Neben der Analyse auf der Bauproduktebene erfolgte außerdem eine Analyse auf Bauteilebene. Dabei wurden Standardaufbauten auf ihre Schichten und deren Funktionen untersucht. In einem weiteren Schritt wurden die gebräuchlichsten Bauprodukte für die Funktionsschichten gesammelt und auf ihren Kunststoffgehalt und das Kreislaufwirtschaftspotenzial hin untersucht. Außerdem wurde analysiert, ob ein Kunststoffeinsatz erforderlich ist und welche Alternativen bestehen.

Auf Grundlage der Literaturrecherche, der Datenbankauswertungen und der Rückmeldungen aus der Praxis wurden spezifische Indikatoren und Kriterien entwickelt, welche die Umweltrelevanz von Kunststoffen, ihre Recyclingfähigkeit und das Risiko des Eintrags in die Umwelt bewerten. Für diese Indikatoren und Kriterien wurde eine Bewertungssystematik entwickelt. Dafür konnte auch auf die Erfahrungen vorheriger Forschungsprojekte zurückgegriffen werden.

Die entwickelte Bewertungsmethodik wurde auf Basis vorhandener Planunterlagen an drei Bestandsgebäuden getestet. Dabei wurde geprüft, ob kunststoffhaltige Bauteile alternativ „kunststoffärmer“ oder „kunststofffrei“ hätten ausgeführt werden können. Neue Erkenntnisse aus der Nutzung der Bewertungsmethodik werden genutzt, um die Methodik und die Umsetzung als Tool stetig zu verbessern.

2.3 Arbeitspakete

Folgende Arbeitspakete wurden im Rahmen des Forschungsprojekts bearbeitet:

2.3.1 AP1: Analyse von Baustoffen

Im ersten Schritt werden Baustoffe aus Kunststoffen bzw. mit einem Kunststoffanteil erfasst und deren ökologische Eigenschaften untersucht. Es soll geklärt werden, zu welchen Zeitpunkten im Lebenszyklus Einträge in die Umwelt möglich sind. Diese Parameter werden produktspezifisch und generisch erfasst. Es wird untersucht, welche Bauprodukte Kunststoffe enthalten, und wenn ja, welche und wie viele. Zudem wird analysiert, in welchen Phasen des Lebenszyklus eines Bauprodukts die Gefahr besteht, dass Kunststoffe in die Umwelt entweichen können.

2.3.2 AP2: Analyse von Bauteilen

Im zweiten Schritt soll erfasst werden, an welche Stellen Baustoffe aus Kunststoff bzw. mit einem Kunststoffanteil in Baukonstruktionen eingesetzt werden und welche Funktionen sie dort erfüllen. Außerdem sollen Baukonstruktionen vorgestellt werden, die mithilfe ihres Aufbaus den Einsatz von Kunststoffen vermeiden.

2.3.3 AP3: Entwicklung des Bewertungssystems

Im dritten Schritt soll durch die Erhebung des Gefahrenpotenzials von Kunststoffen ein Bewertungssystem für Bauprodukte entwickelt werden. Es wird beantwortet, welche Gefahren und Risiken von Kunststoffen auf die Umwelt und den Menschen ausgehen. Zudem wird analysiert, welche Gefahren durch die gängigen Regulative und Bewertungsindikatoren noch nicht abgedeckt sind.

2.3.4 AP4: Darstellung der Ergebnisse

Die Informationen über Kunststoffgehalt, Recyclingpotenzial und Gefahrenpotenzial von Baustoffen aus oder mit Kunststoff sollen in einer Datenbank zusammengeführt und kostenlos zugänglich gemacht werden.

2.3.5 AP5: Fallstudien

Anhand von 3 realen Bauprojekten in klassischer Bauweise (Fallstudien) soll die Anwendbarkeit von der Datenbank und der Software getestet werden. Die Ersatzmöglichkeiten sollen in Bezug auf kunststofffreie Varianten bzw. Bauteile untersucht, Einsparpotenziale quantifiziert und die Ergebnisse in die Datenbank zurückgeführt werden.

2.3.6 AP6: Verbreitung und praxisnahe Aufbereitung der Forschungserkenntnisse

Abschließend soll die Verbreitung, die praxisnahe Aufbereitung und die anwendungsgerechte Kommunikation der Forschungserkenntnisse in wissenschaftlichen Publikationen und in Vorträgen auf Fachtagungen erfolgen. Zudem sollen Inhalte und Erkenntnisse für das ökologische Baustoffinformationssystem WECOBIS (Baustoffdatenblätter, Ausschreibungs- und Planungshilfen) und die Datenbank ÖKOBAUDAT aufbereitet werden. Die erarbeiteten Indikatoren sollen über die baubook-Datenbank mit dem Ziel verbreitet werden, spezifische Produktinformationen zu sammeln.

3 KUNSTSTOFFE – MENGEN, ARTEN UND ANWENDUNG IM BAUWESEN

3.1 Kunststoffmengen

3.1.1 Kunststoffproduktion und -verbrauch in Deutschland

In Deutschland betrug die gesamte Kunststoffproduktion im Jahr 2023 ca. 14,9 Mio. t (Statistisches Bundesamt Destatis, zitiert in Conversio Market & Strategy 2024: 9). Diese Angabe umfasst Kunststoffwerkstoffe als Neuware und Rezyklat sowie sonstige Kunststoffe, z. B. für Kleber, Farben, Lacke, Fasern etc. Dafür wurden mit insgesamt 10,42 Mio. t überwiegend Kunststoffe aus fossilen Rohstoffen verwendet. Zusätzlich wurden ca. 1,93 Mio. t Rezyklat, nämlich 1,54 Mio. t Post-Consumer-Abfälle und 0,39 Mio. t Post-Industrial-Abfälle, verarbeitet sowie 0,5 Mio. t Nebenprodukte (das sind Stoffe oder Materialien, die im Herstellungsprozess eines anderen Produkts anfallen) wiederverwendet. Der Kunststoffverbrauch in Deutschland lag 2023 nach Bereinigung um Im- und Exporte bei 11,25 Mio. t. Im selben Zeitraum wurden 5,58 Mio. t Post-Consumer-Abfälle gesammelt, davon wurden ca. 1,95 Mio. t mechanisch aufbereitet, ca. 0,03 Mio. t gingen in das chemische Recycling, ca. 3,57 Mio. t wurden energetisch verwertet und ca. 0,03 Mio. t deponiert.

12,85 Mio. t Kunststoffe wurden 2023 in Deutschland zu werkstofflichen Anwendungen in den Branchen Verpackungen, Bau, Fahrzeuge, Elektro, Haushalt, Möbel, Landwirtschaft, Gartenbau und Forstwirtschaft u. a. verarbeitet. Der Anteil der Baubranche an der 2023 verarbeiteten Menge an Kunststoffen betrug ca. 24 %, also gut 3 Mio. t (Conversio Market & Strategy 2024: 13). Somit ist Bausektor nach der Verpackungsbranche der zweitgrößte Abnehmer von Kunststoffen. Eine Übersicht über die Verteilung über die Branchen in Deutschland in den Jahren 2017, 2021 und 2023 sowie für Österreich im Jahr 2019 zeigt Abbildung 3.

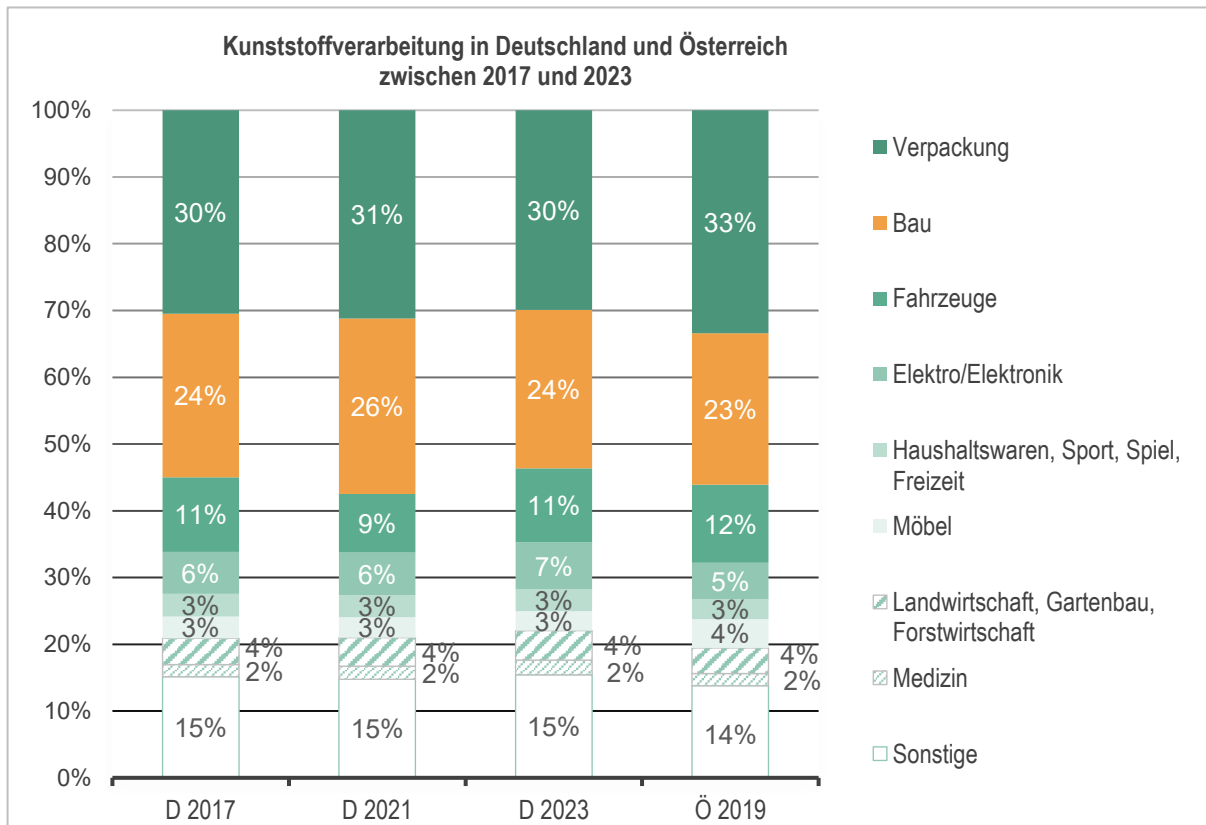


Abbildung 3: Branchenanteile an der Kunststoffverarbeitung in Deutschland nach Conversio Market & Strategy (2018: 15), Conversio Market & Strategy (2022 a: 25), Conversio Market & Strategy (2024: 13) und Österreich nach Facts Matter (2019: 32)

Die Verteilung des Kunststoffverbrauchs über die Branchen und auf die Produktgruppen im Bauwesen sieht in Österreich ähnlich wie in Deutschland aus (Facts Matter 2019: 28, 32). Wie stark Kunststoffe am Bau tatsächlich verbreitet sind, ist schwer zu beziffern, denn Verbrauchs- und Verarbeitungsdaten für den Bau beziehen sich auf nahezu reine Kunststoffprodukte. „Versteckte“ Kunststoffe, also Kunststoffbestandteile von Produkten anderer Rohstoffbasis wie Kleber oder Beschichtungen in Bodenbelägen aus Holz, Stützfasern in Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen, Bindemittel und Zusätze in Farben, Putzen und Spachtelmassen, sind nicht im Detail dokumentiert.

Im deutschen Bauwesen verbreitete Kunststoffprodukte sind laut Bendix et al. (2021: 38) Rohre (30 %), Dämmstoffe (18 %) und Profile (22 %). Unter den übrigen 30 % befinden sich vor allem Folien, Abdichtungen und Bodenbeläge, aber auch Kabel, Produkte der Sanitärausstattung, Behälter etc.

Darüber hinaus gibt es zahlreiche „Nebenschauplätze“ mit Relevanz am Bau, z. B. zur Montage erforderliche Produkte wie Schalungszubehör und andere Kleinteile, Produktverpackungsmaterial wie Eimer, Dosen, Säcke, Folien, Schutz- und Abdeckfolien zum Schutz vor Witterung oder Verschmutzung, die im Rahmen des Projekts jedoch nicht näher betrachtet werden konnten (siehe Kapitel 1.6 Betrachtungsrahmen).

3.1.2 Verarbeitete und verbaute Kunststoffarten in Deutschland

Zu den in Deutschland am meisten verarbeiteten Kunststoffen zählen Polyvinylchlorid (PVC), Polyethylen hoher und mittlerer Dichte (PE-HD, PE-MD), Polyurethan (PUR), Polypropylen (PP) und expandiertes Polystyrol (EPS). Ihre Verteilung auf die Kunststoffarten zeigt Abbildung 4. Die Gruppe der Polyolefine macht hierbei mit 44 % den größten Anteil aus, wobei 27 % auf PE (ca. 3,5 Mio. t) und 17 % auf PP (2,2 Mio. t) entfallen. Weitere mengenmäßig relevante Kunststoffarten sind PVC (1,8 Mio. t, 12 %), Polystyrol (PS) inklusive EPS (0,63 Mio. t, 4,9 %) und PUR (0,86 Mio. t, 7 %) (Conversio Market & Strategy 2024: 14).

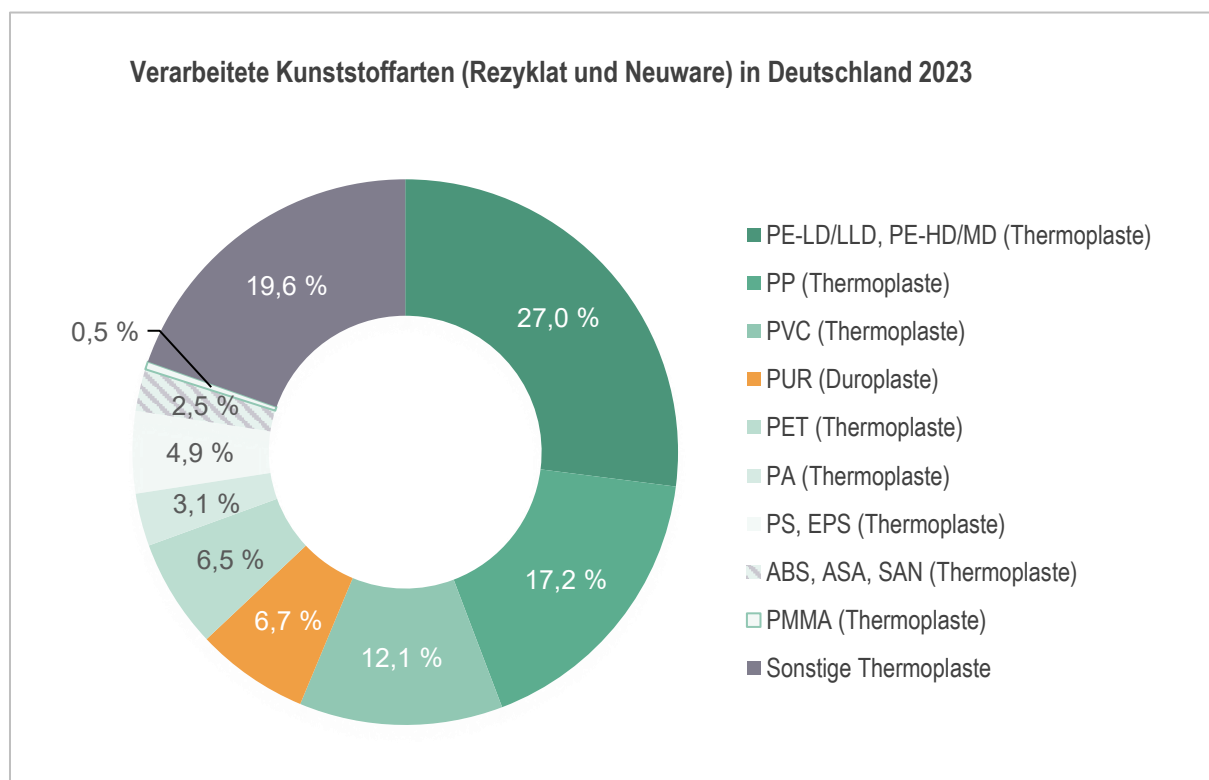


Abbildung 4: Verarbeitete Kunststoffarten (Rezyklat und Neuware) in Deutschland 2023 nach Conversio Market & Strategy (2024: 14)

Im Jahr 2017 wurden laut Bendix et al. (2021: 42) im Bauwesen 2,64 Mio. t Kunststoffe verbaut, davon ein Drittel PVC (785 000 t). Weitere mengenmäßig relevante Kunststoffe sind PE mit einem Anteil von 18 % und EPS und XPS mit zusammen 14 %. In geringeren Anteilen wurden PUR (7 %), PP (5 %), Polyamid (PA, 3 %) und Polymethylmethacrylat (PMMA, 2 %) verbaut. Ein großer Teil konnte keiner spezifischen Kunststoffart zugeordnet werden und findet sich unter sonstige Kunststoffe mit ca. 0,09 Mio. t wieder (siehe Abbildung 5). Mengenmäßig relevant, aber außerhalb des Betrachtungsrahmens des Projekts sind auch Bitumenprodukte (287 000 t).

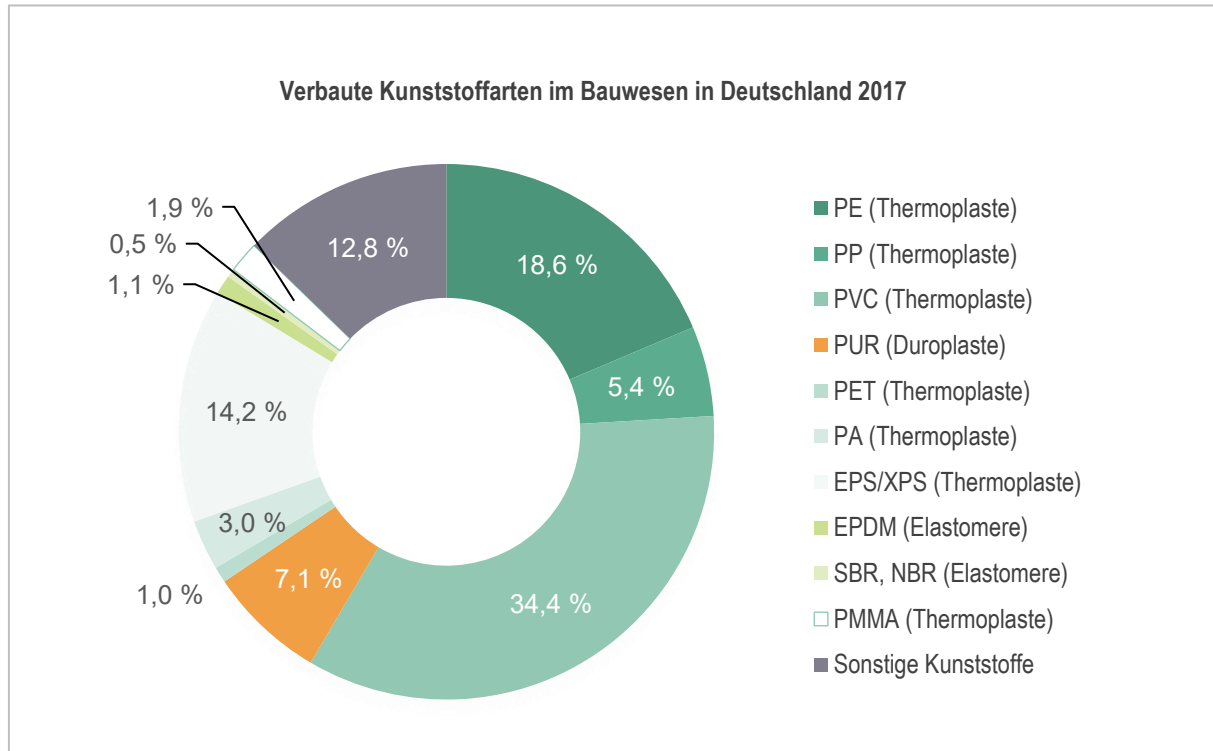


Abbildung 5: Verbaute Kunststoffarten im Bauwesen in Deutschland ohne Bitumen nach Bendix et al. (2021: 42)

3.2 Kunststoffarten

3.2.1 Chemische Struktur und mechanische Eigenschaften

Kunststoffe sind vielseitig nutzbare Werkstoffe, die in nahezu allen Bereichen des Bauwesens Anwendung finden. Sie lassen sich in 3 Hauptgruppen unterteilen: Thermoplaste, Elastomere und Duroplaste. Diese unterscheiden sich wesentlich in ihrer chemischen Struktur, ihren mechanischen Eigenschaften und ihrem Verhalten bei Temperaturveränderungen. Diese Eigenschaften üben großen Einfluss auf ihre Verarbeitung, Nutzung und Entsorgung aus.

Thermoplaste sind Kunststoffe, die aus linearen oder verzweigten Polymerketten bestehen. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie sich bei Erwärmung plastisch verformen lassen und wiederholt geschmolzen und erstarrt werden können, ohne ihre grundlegenden Eigenschaften zu verlieren. Daher ermöglichen sie ein vergleichsweise einfaches Recycling. (Bonnet 2016: 60; Abts 2020: 223) Beispiele für Thermoplaste sind Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP).

Im Gegensatz dazu weisen **Elastomere** eine weitmaschige Vernetzung zwischen den Polymerketten auf, wodurch sie elastisch verformbar sind. Nach einer Deformation kehren sie in ihre ursprüngliche Form zurück, solange die Belastungsgrenzen nicht überschritten werden. Diese Eigenschaft wird durch die chemischen

Bindungen zwischen den Ketten ermöglicht. Typische Beispiele sind Naturkautschuk und Silikone. (Abts 2020: 90f.; Bonnet 2014: 60)

Duroplaste hingegen besitzen eine dichte, dreidimensionale Vernetzung der Polymerketten. Diese Beschaffenheit macht sie hart und formstabil, jedoch auch spröde. Einmal ausgehärtet, lassen sie sich weder schmelzen noch verformen. Diese Eigenschaft prädestiniert sie für Anwendungen, die eine hohe mechanische oder thermische Beständigkeit erfordern, z. B. Epoxidharze und Phenolharze (Bonnet 2016). Eine Sonderform bilden thermoplastische Elastomere, die unter Wärmezufuhr plastisch verformbar sind.

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über im Bauwesen relevante Thermoplaste, Elastomere und Duroplaste und ihre typischen Anwendungsbereiche.

Kunststoffart	Kunststoff	Anwendungsbeispiel
Thermoplaste	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymere (ABS)	Dichtprofile, Kantenbeschichtungen
	Polyamid (PA)	Dampfbremsen, Teppiche
	Polylactid (PLA)	Stützfasern in Dämmstoffen
	Polymethylmethacrylat (PMMA)	Flüssige Abdichtungen, Fensteranschlüsse
	Polycarbonat (PC)	Transparente Fassaden
	Polyethylenterephthalat (PET)	Textilien, Akustikdämmelemente
	Polyethylen (PE)	Folien, Rohre, Platten, Schäume
	Polypropylen (PP)	Folien, Rohre, Platten, Schäume
	Polystyrol (PS)	Dämmstoffe (EPS, XPS)
	Polyvinylchlorid (PVC)	Profile, Rohre, Bodenbeläge, Kabel, Folien, Tapeten
Elastomere	Chloropren-Kautschuk (CR)	Dichtungsprofil, Bindemittel, Kleber
	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM)	Bodenbeläge, Dichtungsbahnen, Schallentkopplung, Rohrleitungsdämmung für kalte Leitungen, Dichtprofile
	Ethylenvinylacetat (EVA)	Dichtungsmassen, Folien, Kleber
	Naturkautschuk (NR), Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR)	Bodenbeläge, Dichtungsbahnen, Unterlage zur Schallentkopplung von Geräten, Treppen oder Balken, Rohrleitungsdämmung für kalte Leitungen, Dichtprofile
	Polyester	Textilien, Pulverlackbeschichtungen
	Silikon-Kautschuk (SIR)	Dehnfugen, Dichtungsprofile, Kabel- und Rohrisolierung
	Styrol-Butadien-Styrol (SBS)	Dichtungsmittel, Klebstoffe
Duroplaste	Epoxidharz (EP)	Kleber, Anstrich, Bindemittel, Glasfaserverstärkter Kunststoff
	Harnstoff-Formaldehydharz (UF)	Kleber in Holzwerkstoffen, Schaumstoff
	Melamin-Formaldehydharz (MF)	Beschichtung von Holzwerkstoffen, Laminaten, Deckfurnieren, Kleber in Holzwerkstoffen
	Melamin-Harnstoff-Formaldehydharz (MUF)	
	Phenol-Formaldehyd-Harz (PF)	Kleber in Holzwerkstoffen, Bindemittel in Mineralwolle
	Polyurethan (PUR)	Dämmstoffe, Montageschäume, Lacke, Kleber, Lager, Bodenbeläge, Dichtungsmassen

Tabelle 1: Im Bauwesen verwendete typische Kunststoffe nach Kunststoffart mit Kunststoffkürzel gemäß International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) und Anwendungsbeispiele

Im folgenden Abschnitt sind die wichtigsten im Bauwesen eingesetzten Kunststoffarten beschrieben (siehe Kapitel 7.2.2 Biobasierte und/oder biologisch abbaubare Kunststoffe).

3.2.2 Acrylate und Alkyde

Acrylate werden aus (Meth-)Acrylsäureestern hergestellt. Eingesetzt werden die verschiedenen Acrylate oder ihre (Co-)Polymere, die Acrylharze (z. B. n-Butylacrylat oder 2-Ethylhexylacrylat), in Farben, Lacken oder Klebstoffen. Auch als Zusatz für kunststoffmodifizierte Mörtelmischungen oder in Zementen kommen Acrylate zum Einsatz (Neroth/Vollenschaar 2011: 993, 997, 1116; WECOBIS o. J. b). Kleb- und Dichtstoffe auf Acrylbasis können zusätzlich Konservierungsmittel und/oder fungizide Wirkstoffe, Weichmacher, Lösemittel, Flammschutzmittel, Füllstoffe und Pigmente enthalten (WECOBIS o. J. b). Als Additive mit problematischen Eigenschaften sind besonders Phthalat-Weichmacher und Flammschutzmittel identifiziert (Polcher et al. 2020; ECHA o. J. h). In Europa übliche Emissionsprüfungen dokumentieren die Ergebnisse nach dem 3. und dem 28. Tag, jedoch können flüchtige organische Verbindungen (VOC, engl. Volatile Organic Compounds)/ mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen (SVOC, engl. Semi Volatile Organic Compounds) aus Acryldichtstoffen bei einzelnen Produkten auch über einen längeren Zeitraum emittieren, wie Dürkop et al. (2007: 53–56) nachgewiesen haben.

Polymethylmethacrylat (PMMA) gehört zu den Standardkunststoffen (Bonnet 2016: 74) und liegt bei Raumtemperatur als Flüssigkeit vor. Zur Polymerisation des Monomers Methylmethacrylat (MMA) werden katalytische Beschleuniger zugesetzt. Im polymeren Zustand ist PMMA beständig gegen verschiedene Umwelt- und Chemikalieneinflüsse. Es wird vor allem als Acrylglas, aber auch in Kunstharzestrichen, flüssigen Dachabdichtungen, Beschichtungen und Klebstoffen verwendet (Neroth/Vollenschaar 2011: 427, 920, 995; Abts 2020: 126 f.; AIR 2021: 126). Verschiedene Studien zur Innenraumluftbelastung haben Belastungen der Innenraumluft in geringem Ausmaß durch das Monomers MMA festgestellt. Allerdings konnten in Räumen, in denen MMA als Arbeitsmittel (Nagelstudios) eingesetzt wird, erhöhte Konzentrationen nachgewiesen werden (AIR 2021: 126 f.). MMA ist gemäß ECHA als reizend für die Atemwege (H335) und als mögliches Hautallergen (H317) zu kennzeichnen. Additive für PMMA sind u. a. verschiedene (Licht-)Stabilisatoren, Antioxidantien und Pigmente. Der Herstellungsprozess von MMA basiert hauptsächlich auf der Verwendung von Aceton und Blausäure, wobei toxische Zwischenprodukte entstehen (Mahboub et al. 2018: 7703). Daher kam es immer wieder zu tödlichen Unfällen (Cao/Guan/Wu 2021). Es sind aber auch cyanidfreie Herstellungsverfahren verfügbar (Koyama et al. 2019; Evonik 2017). Im Hinblick auf die europäische Kreislaufwirtschaft werden Recyclingverfahren für PMMA entwickelt (Moens 2020).

PMMA werden im Bauwesen in Polymerbetonen, als flüssige Abdichtung von Flachdächern, Balkonen, Terrassen oder Fensteranschlüssen, Industriefußböden und zur Betonsanierung sowie als Verglasung eingesetzt.

Alkydharze entstehen durch die Umsetzung von Polyolen (mehrwertige Alkohole) mit Fettsäuren (Briehl 2014: 203). Sie finden im Baubereich als Lacke auf Stahl und maßhaltigem Holz Anwendung (Neroth/Vollenschaar 2011: 992). Alkydharze können mit anderen Bindemitteln kombiniert werden, um die gewünschten Produkteigenschaften (z.B. Verarbeitungseigenschaften) zu erzielen. Neben Lösemitteln, Pigmenten und Füllstoffen kommen in Alkydharzen auch Trocknungsstoffe (Sikkative) zum Einsatz. Besonders kritisch ist der Einsatz von Oximen wie 2-Butanonoxim, das als möglicherweise krebserregend und akut toxisch eingestuft ist (WECOBIS o. J. b).

3.2.3 Epoxidharze

Epoxidharze werden hauptsächlich aus Epichlorhydrin und Bisphenol mittels Polyadditionsreaktionen hergestellt. Unterschiedliche Anteilsverhältnisse der Ausgangsstoffe führen von flüssigen bis zu festen Produkten (Briehl

2014: 163). Die Vielfalt der möglichen Formulierungen, sowie ihre gute Wärme- und Chemikalienbeständigkeit (Abts 2020: 103 f.) ergeben für Epoxidharze im Bauwesen viele Anwendungsmöglichkeiten, z. B. für Industrieböden, Flüssigkunststoffe, Gießharze, Lacke oder als Bindemittel in Polymerbeton (Neroth/Vollenschaar 2011: 1035–1041). Viele Inhaltsstoffe von Epoxiden wie die Harze selbst, aber auch die Härterkomponenten und Reaktivverdünner haben sensibilisierende Eigenschaften (WECOBIS o. J. c; Heine et al. 2012: 3). Epoxid-Systeme, bei denen vorab ein Teil des Harzes dem Härter zugesetzt wird, sogenannte Präpolymere, können unter bestimmten Voraussetzungen geringere sensibilisierende Eigenschaften aufweisen (Heine 2021: 5). Aufgrund ihrer vorteilhaften Eigenschaften sind Epoxidharzanwendungen schwer zu substituieren. Eine Substitution kann entweder planungstechnisch erfolgen oder aber produktgruppenintern durch Produkte mit geringerer sensibilisierender Wirkung (DGUV 2022: 16).

3.2.4 Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymere (ABS)

ABS werden durch Copolymerisation von Acrylnitril, Butadien und Styrol hergestellt. Die Mengenverhältnisse werden im Herstellungsprozess auf den jeweiligen Anwendungszweck angepasst. Ein gesundheitliches Gefahrenpotenzial besteht durch Emissionen der Ausgangsstoffe Acrylnitril und Butadien, die krebserzeugend sein können, und Styrol, welches das zentrale Nervensystem beeinträchtigen kann und im Verdacht steht, krebserzeugend zu sein (Europäische Union 2008).

Kunststoffe mit ähnlicher Zusammensetzung sind Styrol-Butadien-Styrol (SBS, aus Styrol und Butadien), Nitrilkautschuk (aus Acrylnitril und Butadien) und Styrol-Acrylnitril-Copolymer (SAN, aus Styrol und Acrylnitril). Aus dem leicht formbaren Material ABS wird durch Spritzgießen, Extrudieren oder Thermoformen eine Vielzahl von Endprodukten gefertigt. Es hat gute mechanische Eigenschaften und weist eine hohe Schlagzähigkeit, Festigkeit und Härte auf. ABS im Bauwesen wird für Fassadenprofile, Fensterkomponenten und Dachrinnen, Kabelkanäle und Leerrohre, Rohrleitungen und Fittings, aber auch in Beschichtungssystemen verwendet. (Briehl 2014: 198, 201; Neroth/Vollenschaar 2011: 932; epsotech Holding GmbH o. J.)

3.2.5 Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM)

EPDM ist ein synthetischer Kautschuk, der durch Copolymerisation von Ethylen und Propylen hergestellt und anschließend durch Schwefel- oder Peroxid-Vulkanisation zu seiner endgültigen Form findet. Der Dien-Gehalt liegt zwischen 2 und 12 M.-%. Ethylen-Gehalte liegen zwischen 50 und 75 M.-% (Briehl 2014: 188). Füllstoffe wie Ruß oder Zinkoxid dienen zur Stabilisierung gegen Licht und Luft (Abts 2019: 138–175). EPDM zeichnet sich besonders durch eine gute Kälte-, Wetter- und Alterungsbeständigkeit aus. Daher wird er im Bauwesen für die Abdichtung von Flach- und Gründächern, als Bodenbelag (vor allem in Sportstätten), in Fugenabdichtungen und Dichtstoffen oder zur Isolierung von Rohrleitungen und Kabeln in Bereichen mit Feuchtebelastung, starker Temperaturschwankung oder im Außenbereich eingesetzt. EPDM-Bahnen lassen sich optimal auf Maß vorfertigen, wodurch Nahtverbindungen und damit das Risiko für Undichtigkeiten vermieden werden können (Neroth/Vollenschaar 2011: 916).

3.2.6 Phenol-Formaldehyd-Harz (PF)

PFs werden durch stufenweise Polykondensation von Phenol und Formaldehyd in einem sauren oder alkalischen Medium hergestellt. Dadurch entstehen selbsthärtende Resole bzw. nicht selbsthärtende Novolaken (Briehl 2014: 159). Die synthetischen Duroplaste zeichnen sich durch eine relativ hohe Temperatur- und Chemikalienbeständigkeit aus und sind schwer entflammbar (Abts 2020: 103 f.). Sie besitzen zudem eine hohe Festigkeit und sind resistent gegen Verformung durch Belastung (Bonnet 2016: 93).

Vor allem aufgrund ihrer Beständigkeit gegen Witterung und Luftfeuchtigkeit und der geringen Formaldehyd-Abgabe finden sie Anwendung als Phenolharz-Klebstoffe sowie als Bindemittel zur Herstellung von Holzwerkstoffen (Neroth/Vollenschaar 2011: 886–887; Briehl 2014: 202). Aus PFs werden auch Hartschaumdämmplatten hergestellt.

3.2.7 Polyamid (PA)

PAs werden durch Polykondensation von Carbon- und Aminosäure erzeugt, verfügen über eine hohe Festigkeit und Steifigkeit; sie sind gegenüber organischen Lösungsmitteln sehr gut beständig, jedoch nicht gegenüber Säure. Polyamide werden zu Fasern, Folien oder Formteilen verarbeitet. Im Bauwesen werden sie vor allem als Dampfsperre eingesetzt: Durch ihre Neigung zum Quellen können PAs in ihrer sonst dichten Struktur unter Feuchteinfluss Wassermoleküle einlagern. Ihre Dampfdurchlässigkeit passt sich also optimal an die Umgebungsfeuchte an, was förderlich für das Austrocknen von Konstruktionen ist (Linden/Witten 2024: 516 f.; WECOBIS o. J. a).

3.2.8 Polyethylenterephthalat (PET)

PET zählt zur Gruppe der Polyester und entsteht durch Polykondensation aus Terephthalsäure und Ethylenglykol. Es zeichnet sich durch seine Transparenz, Festigkeit und Widerstandsfähigkeit gegenüber chemischen Einflüssen aus. Im Bauwesen wird PET als Wärme- und Akustikdämmung, in faserverstärktem Beton, Geotextilien und Fensteranschlussprofilen eingesetzt (WECOBIS o. J. d).

3.2.9 Polyolefine

Der Begriff „Polyolefine“ steht für durch Polymerisation hergestellte Polymere aus Olefinen wie Ethylen, Propylen, 1-Buten oder Isobuten. Diese Rohstoffe werden ebenfalls in petrochemischen Prozessen gewonnen. Es können aber auch, beispielsweise zur Gewinnung von Ethanol und anschließender Dehydratisierung, nachwachsende Rohstoffe wie Zuckerrohr zum Einsatz kommen (Chemie-Schule 2 a).

Zu den Polyolefinen zählen Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP). PE mit niedriger Dichte (verzweigte Kettenstruktur) wird im Hochdruckverfahren und PP mit hoher Dichte (lineare Kettenstruktur, geringe Verzweigung) im Niederdruckverfahren hergestellt (Briehl 2014: 173) Produkte aus PP sind härter, temperaturbeständiger und chemikalienbeständiger als solche aus PE. Im Bauwesen wird Polyethylen mit hoher Dichte (PE-HD) z. B. für Dachbahnen, Polyethylen mit niedriger Dichte (PE-LD) u. a. für Dampfbremsen eingesetzt. PP wird ebenfalls für Folien, Profile und in hochvernetzter Form für (Heizungs-)Rohre verwendet.

Legierungen aus den einzelnen Kunststoffen werden aufgrund ihrer höheren Flexibilität auch „flexible Polyolefine“ (FPO) genannt (WECOBIS 2024 o. J. a).

Polyisobutylen (PIB) gehört zur Gruppe der Polyolefine und wird durch kationische Polymerisation von Isobuten bei tiefen Temperaturen in Gegenwart von Friedel-Crafts-Katalysatoren, z. B. Bortrifluorid, erzeugt (Briehl 2014: 152).

3.2.10 Polystyrol (PS)

PS entsteht durch Polymerisation von Styrol, das wiederum aus Ethen und Benzol erzeugt wird. Für die Anwendung im Bauwesen wird PS größtenteils entweder zu expandiertem Polystyrol (EPS) oder zu extrudiertem Polystyrol (XPS) weiterverarbeitet. Styrol kann das zentrale Nervensystem beeinträchtigen und steht im Verdacht, krebserzeugend zu sein (Europäische Union 2008). Emissionen dieser Stoffe stellen daher ein Gesundheitsrisiko für Arbeitnehmer:innen dar. Frische Polystyrolprodukte können geringe Mengen Styrol

emittieren. Im Baubereich wird EPS als Wärmedämmung im Wand-, Decken- und Dachbereich sowie als Trittschalldämmung verwendet. EPS-Granulat wird zudem als zementgebundene Schüttung in Fußbodenaufbauten eingesetzt. Die feuchteunempfindlichen und druckfesten XPS-Dämmplatten werden vor allem in feuchtebelasteten Bereichen, z. B. als Perimeter- und Sockeldämmung, in Umkehrdächern und Terrassenaufbauten, eingesetzt (Linden/Witten 2024: 537).

3.2.11 Polyurethane (PU)

PUs werden durch Polyaddition von Polyisocyanaten und zwei- oder höherwertigen Alkoholen (Diole bzw. Polyole) gefertigt. Bei der Herstellung können Isocyanate emittieren. Sie können Allergene auslösen und stehen im Verdacht, Krebs zu verursachen. Ausreagierte Polyurethane besitzen üblicherweise keine gesundheitsschädlichen Eigenschaften mehr (Europäische Union 2008). Je nach Ausgangsverbindungen entstehen dabei unterschiedliche Polymere mit verschiedensten Eigenschaften, die von schaumartig über fest und spröde bis hin zu weich und elastisch reichen. Im Baubereich werden PU-Hartschäume für Dämmstoffe, Montageschäume, Rohrzubehör (Fittings, Schellen, Kappen) und PU-Reaktionsharze als Klebstoffe, Bindemittel in Holzwerkstoffen, Lacke oder Dichtungsmassen eingesetzt. Polyurethane können aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden (siehe Kapitel 7.2.2 Biobasierte und/oder biologisch abbaubare Kunststoffe). (Linden/Witten 2024: 538 ff.)

3.2.12 Polyvinylchlorid (PVC)

PVC basiert auf dem Monomer Vinylchlorid, das aus 57 M.-% Chlor besteht. Daraus gefertigte Kunststoffe werden in Hart- und Weich-PVC unterschieden. Ihre charakteristischen physikalischen oder chemischen Eigenschaften erhalten die Produkte durch die Zugabe von Additiven, vor allem Stabilisatoren, Weichmacher, Flammschutzmittel. Vinylchlorid ist als möglicherweise krebserzeugend eingestuft (Europäische Union 2008). Gesundheitliches Gefahrenpotenzial besteht in der Nutzungsphase durch die Freisetzung von Weichmachern und anderen Stoffen aus dem Produkt. Im Baubereich werden beispielsweise Fensterprofile und Rohre aus Hart-PVC, Dachbahnen und -abdichtungen, Bodenbeläge, Tapeten und Kabelummantelungen aus Weich-PVC eingesetzt (Linden/Witten 2024: 546 ff.; WECOBIS o. J. e).

3.2.13 Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR) und Styrol-Butadien-Styrol (SBS)

SBR ist ein Synthesekautschuk, der durch die Polymerisation von Styrol und Butadien hergestellt und anschließend durch Vulkanisation mit Schwefel, Vulkanisationsbeschleunigern (z. B. Amine, Schwefelverbindungen) und anderen Zusatzmitteln in seine endgültige Form findet. Gesundheitliches Gefahrenpotenzial besteht u. a. durch die Emission von Butadien, das möglicherweise krebserzeugend ist, und Styrol, welches das zentrale Nervensystem beeinträchtigen kann und im Verdacht steht, krebserzeugend zu sein (Europäische Union 2008). Durch die Vulkanisation entstehende Nitrosamine können in die Raumluft emittieren und ein Gesundheitsrisiko für Arbeitnehmer:innen und Nutzer:innen darstellen. Restmonomere können während der Nutzungsphase in die Raumluft emittieren. SBR weist eine gute Abriebfestigkeit, eine hohe Elastizität und eine Wetterbeständigkeit auf. Typische Anwendungen von SBR im Bauwesen sind Bodenbeläge für Sportstätten, Schulen, Kindergärten und öffentliche Einrichtungen, Dichtungsmaterialien und Fugenabdichtungen oder Auflager zur Reduktion von Vibrationen und Stößen. SBR wird auch in Mörtel und Fliesenklebern, Fugenmörtel und Dichtungsmassen und -bändern beispielsweise in Feuchträumen eingesetzt (Linden/Witten 2024: 640).

SBS wird durch Blockpolymerisation aus Styrol und Butadien hergestellt und durch Schmelzextrusion oder Spritzgussverfahren zu einer Vielzahl von Produkten weiterverarbeitet, die über eine hohe Elastizität und

Flexibilität, eine Widerstandsfähigkeit gegenüber extremen Temperaturen und eine gute Haftung verfügen. Im Bauwesen wird SBS in (Bitumen-)Dachbahnen, Bodenbelägen für Sportstätten, Schulen, Kindergärten und öffentliche Einrichtungen, als Bestandteil von Schäumen, Fliesenklebern, Dichtstoffen und Fugenmörteln – insbesondere in Bereichen, die starken Bewegungen und Temperaturschwankungen ausgesetzt sind – und für Fugenabdichtungen von Beton eingesetzt. (WECOBIS o. J. f; Abts 2020: 120)

3.3 Kunststoffadditive

Additive werden in Kunststoffen zur Anpassung von Material- und Produkteigenschaften verwendet, um beispielsweise die Widerstandsfähigkeit gegenüber Umwelteinflüssen und in der Nutzung zu erhöhen. Dadurch ist es möglich, die Lebensdauer zu verlängern, die Verarbeitbarkeit zu verbessern und die optischen oder haptischen Eigenschaften auf den Anwendungszweck hin anzupassen. Hinzu kommen Prozesshilfsmittel wie Vulkanisationshilfen, Schmierstoffe oder Gleitmittel, welche die Verarbeitung während des Herstellungsprozesses erleichtern. Zu den am häufigsten verwendeten Additiven in Kunststoffen zählen:

- Stabilisatoren schützen das Material vor der Zersetzung durch (hohe) Temperatur, Sauerstoff, Licht und UV-Strahlung.
- Antioxidantien unterbinden Materialabbau durch den Kontakt mit Sauerstoff und Feuchtigkeit.
- Weichmacher erhöhen die Materialflexibilität und verbessern die Biege- und Dehnfähigkeit.
- Flammschutzmittel reduzieren die Entflammbarkeit, die Entzündlichkeit und die Abbrandgeschwindigkeit.
- (Mineralische) Füllstoffe erhöhen die Steifigkeit und Festigkeit und reduzieren die Schrumpfung.
- Antistatika unterbinden die elektrostatische Aufladung.
- Farbstoffe und Pigmente, die zur Einfärbung der Kunststoffe zugegeben werden.
- Komplexbildner binden Metallionen und vermeiden u. a. Materialverfärbungen.
- Hydrophobe Additive unterdrücken die Feuchtaufnahme von hydrophilen, zum Quellen neigenden Kunststoffen wie Polyamid.
- Blasmittel, auch als „Blähmittel“ oder „Schäumungsmittel“ bezeichnet, erzeugen Hohlräume bzw. eine schaumartige Struktur, die eine Vergrößerung des Volumens und eine Gewichtsreduktion bewirkt.

Im Rahmen der „Plastic Additives Initiative“, einem gemeinsamen Projekt von ECHA und Industrie, wurde 2019 eine Liste von über 400 in Kunststoffen verwendeten Additiven erarbeitet und veröffentlicht (ECHA 2024 o. J. h). Der Schwerpunkt lag auf der Erfassung von Weichmachern, Flammschutzmitteln, Pigmenten, Antioxidantien, Antistatika, Nukleierungsmitteln und Stabilisatoren, die mit mehr als 100 t pro Jahr zur Anwendung in der EU registriert sind. Den Stoffen sind die Polymere, in denen sie am häufigsten enthalten sind, zugeordnet, und es werden typische Konzentrationsbereiche genannt. Eine weitere Aufstellung findet sich in der Studie „Chemicals in Plastics“ des UN Environment Programm. Bisher wurden mehr als 13 000 Monomere, Additive und Prozesshilfen in Kunststoffen identifiziert und davon seien mehr als 3 200 aufgrund ihrer umwelt- und gesundheitsgefährdenden Eigenschaften als kritisch zu betrachten (UNEP 2023: 7).

So ist ein Überblick über die verwendeten Stoffe und Mengen möglich, der aber produktspezifische Informationen beispielsweise aus Nachhaltigkeitsdatenblättern, Umweltproduktdeklarationen (EPD, engl. Environmental Product Declaration) oder anderen Herstellererklärungen nicht ersetzen kann. Zudem scheint die Liste – unabhängig von der Mengenbeschränkung – unvollständig zu sein (Polcher et al. 2020: 29 f.).

4 KUNSTSTOFFE – LEBENSENDE UND RECYCLING

4.1 Kunststoffabfälle und ihre Verwertungswege

Die Mengen und Verwertungswege von in den Jahren 2021 und 2023 in Deutschland gesammelten Kunststoffabfällen zeigt Abbildung 6. Über die Hälfte der Post-Consumer- und der Post-Industrial-Abfälle, nämlich 3,61 Mio. t (ca. 56 %), flossen im Jahr 2023 in die energetische Verwertung und ca. 2,3 Mio. t (ca. 32 %) wurden stofflich, ein geringer Anteil davon (0,027 Mio. t) rohstofflich (chemisch) verwertet. Gegenüber dem Betrachtungszeitraum 2021 nahm die werkstoffliche Verwertung der Post-Consumer- und der Post-Industrial-Abfälle zu. Gleichzeitig stieg der Anteil in Müllverbrennungsanlagen (MVA) energetisch verwerteter Abfälle an und die Verwertung als Ersatzbrennstoff nahm ab. Nur 0,03 Mio. t wurden beseitigt. Im Bauwesen wurden Post-Consumer-Abfälle auch 2023 überwiegend energetisch verwertet (82,6 %). Nur 16 % wurden (mechanisch) recycelt und 1,3 % deponiert (Conversio Market & Strategy 2024: 21).

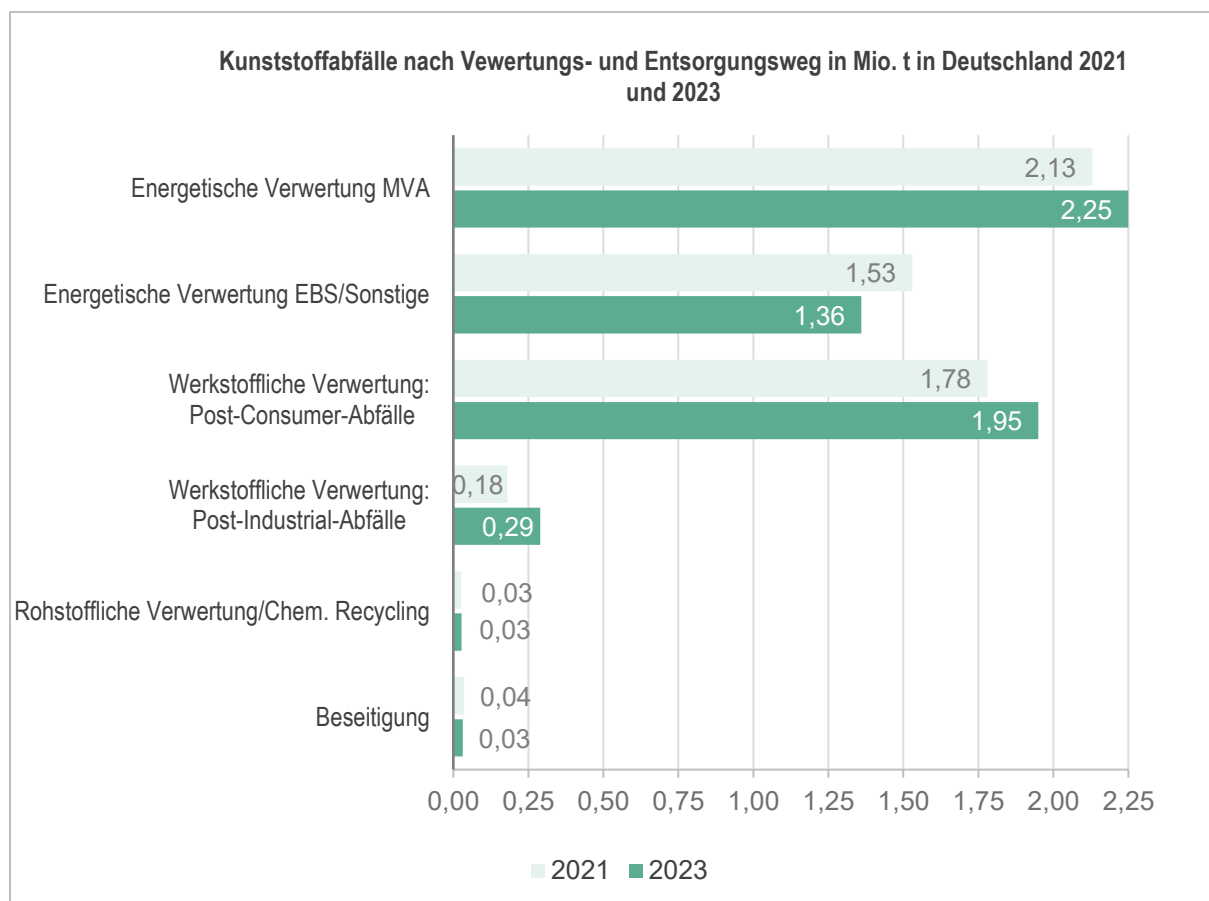


Abbildung 6: Kunststoffabfälle in Mio. t nach Verwertungs- und Entsorgungsweg in Deutschland 2021 und 2023 (Conversio Market & Strategy 2022 a: 32; Conversio Market & Strategy 2024: 17)

Zum Einsatz von Rezyklaten in der Baubranche liegen zwar Zahlen vor, allerdings lassen sich diese nur ungenau auf die Produktgruppen und die verwendeten Kunststoffarten beziehen. Knapp ein Drittel der in der Baubranche 2023 verarbeiteten Kunststoffe waren Rezyklate und Nebenprodukte (29,5 %, 0,9 Mio. t) (siehe Tabelle 2). Bei einer insgesamt verarbeiteten Menge von 3,05 Mio. t stellt sie im Branchenvergleich den zweithöchsten Anteil an Rezyklaten und wiederverwendeten Nebenprodukten dar. In der Garten- und Forstwirtschaft wurden knapp 48 % Rezyklatanteil erreicht, allerdings war die insgesamt verarbeitete Menge mit 0,57 Mio. t dort deutlich geringer.

Auch der Verpackungsbereich erreichte mit 0,72 Mio. t Rezyklat und Nebenprodukten nur einen Anteil von knapp 19 % (Conversio Market & Strategy 2024: 13).

Kunststoffverarbeitung 2023	Verarbeitete Kunststoffe in kt	davon Rezyklat und Nebenprodukte in kt	Anteil Rezyklat und Nebenprodukte in %
Verpackung	3 840	720	18,75 %
Bau	3 050	900	29,51 %
Fahrzeuge	1 420	110	7,75 %
Elektro/Elektronik	905	50	5,52 %
Haushaltswaren, Sport, Spiel, Freizeit	425	30	7,06 %
Möbel	370	35	9,46 %
Landwirtschaft, Gartenbau, Forstwirtschaft	570	270	47,37 %
Medizin	285	5	1,75 %
Sonstiges	1 980	310	15,66 %

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Kunststoffverarbeitung von Neuware und Rezyklat nach Einsatzbereichen nach Conversio Market & Strategy (2024: 13)

Knappe et al. (2021) stellen für Kunststoffe im Baubereich eine Kaskadennutzung (Downcycling) fest, da für einige besonders hohe Anforderungen der Einsatz von Rezyklaten nicht zulässig ist, z. B. bei druckbelasteten Rohren. Für manche Anwendungsbereiche oder Produktkomponenten gelten niedrigere Anforderungen an die Produkt- oder Materialqualität, beispielsweise in Bezug auf Farbe oder Geruch, die Rezyklate leichter erreichen können. So kann ein PVC-Rezyklat im Innenkern von Fensterprofilen verwendet werden, nicht aber für deren Deckschicht (Knappe et al. 2021: 108). Rezyklate werden demnach für folgende Kunststoffe und Produktkategorien eingesetzt:

- Polyethylen (PE) abhängig von der Dichte für Rohre (bis zu 100 M.-% im Innenkern), Behälter oder Folien,
- Polypropylen (PP) für Rohre, Fasern und Folien,
- Polyethylenterephthalat (PET) für Industriefolien (Dampfsperren, Geotextilien oder Trennlagen) und Fasern für Textilien wie Teppiche,
- Hart-PVC für Rohre und (Fenster-)Profile (ca. 80 M.-% im Innenkern),
- Weich-PVC für die Trägerschicht von Bodenbelägen (bis zu M.-50 %),
- Polyamid (PA6) für textile Bodenbeläge.

Die in Kunststoffen für das Bauwesen eingesetzten Rezyklate stammen noch überwiegend aus dem Verpackungssektor, aus Produktionsabfällen oder sind Post-Industrial-Abfälle der jeweiligen Produktgruppe, z. B. Baustellenverschnitt aus der Verarbeitung von EPS-Dämmplatten. Altmaterial aus dem Gebäuderückbau wird bisher kaum eingesetzt, da noch keine Rücknahmesysteme etabliert sind (siehe Kapitel 4.3 Rücknahme, Rückbau und Verwertungsmöglichkeiten). Zudem ist der Anteil des Baubereichs am Abfallaufkommen – anders als bei anderen Einsatzfeldern – deutlich geringer als sein Anteil am Kunststoffverbrauch (siehe Tabelle 3), was darauf zurückzuführen ist, dass viele Produkte im Bau über einen relativ langen Lebenszyklus verfügen. So gehen Bendix et al. (2021: 47) für Kunststofffenster und innenliegende Dämmungen von einer Nutzungsdauer von 50 Jahren und länger aus. Innenliegenden oder im Außenbereich gut geschützten Dichtungsbahnen wird eine Nutzungsdauer von 30 bis 40 Jahren zugeschrieben. Aktuell in Gebäuden verbaute Kunststoffe werden also

erst in mehreren Jahrzehnten dem Kunststoffkreislauf wieder zugeführt werden können. Bendix et al. (2021: 49) erwarten gegenüber 2005 eine Verdopplung des Outputs aus dem anthropogenen Lager auf etwas über 1 Mio. t im Jahr 2030.

Einsatzfelder	Kunststoffverbrauch in M.-%	Abfallaufkommen in M.-%	Post-Consumer- Abfälle in kt
Verpackung	25,9	55,0	3 072
Bau	27,2	13,5	754
Fahrzeuge	6,9	2,5	138
Elektro/Elektronik	7,9	6,3	352
Haushaltswaren, Sport, Spiel, Freizeit	5,3	3,8	212
Landwirtschaft	5,3	5,5	306
Sonstiges (z. B. Möbel, Medizin, technische Anwendung, Maschinenbau)	21,6	13,4	749

Tabelle 3: Gegenüberstellung von Kunststoffverbrauch und Abfallaufkommen nach Conversio Market & Strategy (2024: 20)

Der Einsatz von Rezyklaten wird vor allem durch folgende Faktoren gehemmt: Störstoffe, Farbsortierung, Geruch und Kontamination. Für sie stehen zwar prinzipiell Reinigungs- und Aufbereitungsverfahren zur Verfügung, jedoch werden diese oft aus Kostengründen in der Praxis nicht umgesetzt, der Stand der Anlagentechnik ist veraltet oder die Effizienz bzw. Effektivität ist noch nicht ausreichend für einen wirtschaftlichen Betrieb entwickelt (Knappe et al. 2021: 18).

Darüber hinaus können sich auch die technischen Eigenschaften des Recyclingmaterials gegenüber dem Primärmaterial verändern oder verschlechtern. Das betrifft nicht nur Rezyklate aus Abfällen nach Gebrauch (z. B. Abbruchmaterial, Post-Consumer Recycled Material), sondern auch Produktionsabfälle vor Gebrauch (z. B. Prozessabfälle, Verschnitt, Post-Industrial Recycled Material). Bendix et al. (2021: 57) nennen hier als Beispiel Druckrohre, für welche die Verwendung von Rezyklat nicht zulässig ist. Um den Einsatz von Sekundärrohstoffen allgemein zu forcieren, sollte der Einsatz von Recyclingrohstoffen und -produkten politisch noch mehr unterstützt und auch in Ausschreibungsprogrammen stärker berücksichtigt und somit positiv besetzt werden (Bendix et al. 2021: 57).

4.2 Kunststoffrecycling

4.2.1 Werkstoffliches und rohstoffliches Recycling

Bei den Verwertungsverfahren für Kunststoffabfälle wird zwischen werkstofflichem und rohstofflichem Recycling unterschieden.

Werkstoffliches Recycling ist die Aufbereitung von Kunststoffabfällen zu neuen Werkstoffen wie Mahlgut, Agglomerat oder Regranulat ohne eine wesentliche Veränderung der Molekülstruktur. Dabei werden mechanische Aufbereitungsverfahren (trocken oder nass) und Lösemittelverfahren angewendet. Die mechanische Aufbereitung dient der Trennung von Kunststoffsorten und der Aufbereitung zu sortenreinem Granulat oder Mischkunststoffen (siehe Abbildung 7). Prozessschritte sind die (trockene) Vorzerkleinerung, die Abscheidung von Störstoffen, die Trennung von Kunststoffen unterschiedlicher Dichte (vorwiegend im Nassverfahren) und die anschließende mechanische oder thermische Trocknung. Standardverfahren sehen

keine Farbsortierung vor, weshalb die Rezyklate grau bis schwarz gefärbt sind. Je nach Anforderungsprofil können Zusatzstoffe zur Entfärbung eingesetzt oder die Eigenschaften der Kunststoffe angepasst werden. Mithilfe des Lösemittelverfahrens werden bestimmte Polymere von anderen Kunststoffen und Störstoffen getrennt, sodass reine Polymere für die Kunststoffherzeugung vorliegen (Wilts et al. 2016: 105 f.).

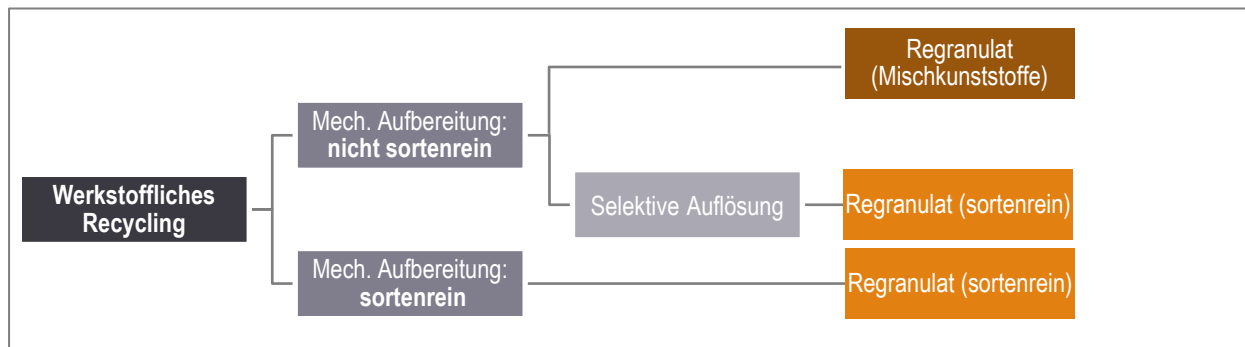


Abbildung 7: Verfahrenswege des werkstofflichen Kunststoffrecyclings nach Martens/Goldmann (2016: 272)

Rohstoffliches Recycling (auch chemisches Recycling) umfasst thermische Prozesse wie Pyrolyse, Vergasung und Hydrierung sowie lösemittelbasierte Verfahren (Solvolyse) wie Hydrolyse, Alkoholyse und Acidolyse (siehe Abbildung 8) (Wilts et al. 2016: 108 ff.). Werkstoffliche Verfahren sind im Vergleich dazu insgesamt weniger energie- und kostenaufwendig und werden daher bevorzugt eingesetzt. Rohstoffliches Recycling wird allgemein als sinnvolle und notwendige Ergänzung gesehen, um beispielsweise vermischte Kunststoffabfälle und Verbundmaterialien, die für eine mechanische Aufbereitung nicht geeignet sind, wiederaufzubereiten. Aber es kann auch Schadstoffe ausschleusen.

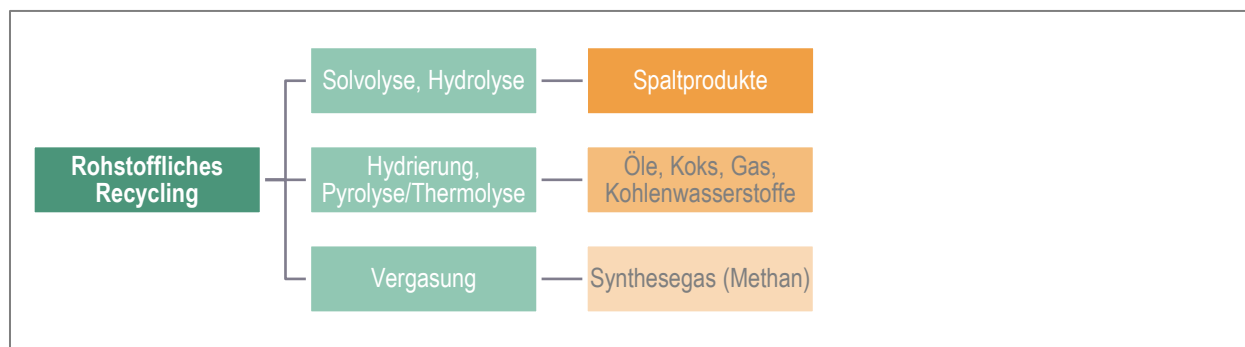


Abbildung 8: Verfahrenswege des rohstofflichen Kunststoffrecyclings nach Martens/Goldmann (2016: 272)

4.2.2 Verwertungsverfahren für im Bauwesen verbreitete Kunststoffe

In Bendix et al. (2021: 85 ff.) sind die wichtigsten Verfahren für werkstoffliches Recycling von Kunststoffen im Baubereich beschrieben. Im folgenden Abschnitt werden die Verfahren für die Kunststoffe Polyvinylchlorid (PVC), Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS) und Polyurethan (PU) anhand von Produktbeispielen aus dem Baubereich beschrieben.

Polyvinylchlorid (PVC)

PVC-Abfälle können werkstofflich oder chemisch aufbereitet werden. Hart-PVC (PVC-U) und Weich-PVC (PVC-P) werden getrennt werkstofflich recycelt, da Weich-PVC schwerer zu vermahlen ist. Die weiteren

Aufbereitungsschritte sind für beide PVC-Arten gleich (Bendix et al. 2021: 85). Die Compounds können zur Herstellung neuer PVC-Produkte verwendet werden. Potenzielle Schadstoffe in PVC-Abfällen sind Thermo- und UV-Stabilisatoren auf Basis organischer Salze der Metalle Calcium, Zink, Zinn, Barium, Blei und Cadmium und Weichmacher.

In der EU dürfen seit 10.01.2012 keine Kunststoffprodukte mehr in Verkehr gebracht werden, die Cadmium in Konzentrationen von mehr als 0,01 Gew.-% des Kunststoffs enthalten. Für Erzeugnisse aus rezykliertem PVC gilt eine Ausnahmeregelung und sie dürfen die zehnfache Konzentration, also 0,1 Gew.-%, an Cadmium enthalten (Europäische Union 2011).

Für Blei gilt seit dem 29.11.2024 ein Grenzwert für PVC-Erzeugnisse von 0,1 Gew.-%, der ab 28.05.2025 auch auf Erzeugnisse, die rückgewonnenes Weich-PVC enthalten, anzuwenden ist. Für bestimmte Erzeugnisse aus Hart-PVC, die rückgewonnenes PVC enthalten, gilt bis 28.05.2033 eine weniger strenge Beschränkung auf maximal 1,5 Gew.-%. Diese Regelungen betreffen kurz gefasst Profile, Platten und Rohre, sofern sie im Außenbereich angewendet werden, oder wenn die bleihaltige Schicht verdeckt im Inneren der Produkte liegt. Je nach Verwendungszweck darf ein Bleigehalt der äußeren Schicht von 0,1 Gew.-% nicht überschritten werden. (Europäische Union 2023).

Weich-PVC-Abfälle können den früher in großem Maßstab eingesetzten Weichmacher Diethylhexylphthalat (DEHP) sowie Dibutylphthalat (DBP), Diisobutylphthalat (DIBP) und Benzylbutylphthalat (BBP) enthalten (Polcher et al. 2020: 106). Seit 07.07.2020 ist der Einsatz dieser Phthalate in Erzeugnissen einzeln oder in Kombination miteinander auf maximal 0,1 Gew.-% beschränkt (ECHA o. J. i).

PVC-Rezyklat wird beispielsweise im Innenkern von Fensterprofilen verwendet. Die äußere, sichtbare Deckschicht besteht aus Neu-PVC. Auf diese Weise sind Rezyklatanteile von 75 M.-% und mehr möglich. Weitere Anwendungsbereiche sind Rohre oder Platten. Weich-PVC aus Bodenbelägen werden aufgrund ihrer spezifischen Zusammensetzung mehrheitlich zur Herstellung neuer Bodenbeläge verwendet (Bendix et al. 2021: 88 ff.).

Für unsortierte Kunststoffgemische und Verbundmaterialien eignen sich chemische Aufbereitungsverfahren besser (VinylPlus 2025), wobei aber beim Verfahren VinylLoop die kritischen Bestandteile wie der Weichmacher DEHP im PVC erhalten bleiben. Daher wird das Verfahren in Europa nicht angewendet (Bendix et al. 2021: 88).

„Circular Flooring“ war ein durch die EU gefördertes Projekt unter der Leitung des Fraunhofer-Instituts für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV und mit Beteiligung von elf europäischen Unternehmens- und Forschungspartnern. Im Fokus des Projekts standen Post-Consumer-Abfälle von Weich-PVC-Produkten, welche aufgrund der enthaltenen Weichmacher nicht mehr REACH-konform sind. Die Forscher:innen adaptierten die CreaSolv®-Technologie und entwickelten ein Aufbereitungsverfahren, das es ermöglicht, das PVC von den Weichmachern zu trennen und diese anschließend durch katalytische Hydrierung inaktivieren zu können (Circular Flooring 2025).

Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP)

PE und PP können gut in etablierten Standardverfahren für thermoplastische Kunststoffe werkstofflich rezykliert werden. Die gereinigten Kunststoffabfälle werden zu Mahlgut, Flakes oder Granulat zerkleinert und recompoundiert, d. h. in einem Extruder aufgeschmolzen und granuliert (Bendix et al. 2021: 86).

Für das chemische Recycling von Polyethylen- und Polypropylenabfällen können verschiedene Verfahren wie Pyrolyse, Hydrolyse, Depolymerisation angewendet werden. Die meisten funktionieren noch nicht im industriellen Maßstab, werden allerdings intensiv erforscht, erprobt und vorangetrieben, z. B. ReOil® der OMV

(Österreichische Mineralölverwaltung) oder ChemCycling®, das vom BASF-Konzern und anderen Unternehmen schon in größerem Maßstab und auch für andere Kunststoffarten betrieben wird.

Polystyrol (PS)

Abfälle aus dem Herstellungsprozess und saubere Baustellenabfälle aus expandiertem PS können vermahlen und die EPS-Perlen anteilig der Neuproduktion zugegeben werden. Außerdem gibt es die Rücknahmeinitiative „EPS Cycle“ der Hartschaumindustrie (EPS Cycle 2025). Für XPS-Abfälle ist die Rückführung von Baustellenabfällen ebenfalls möglich und als Recyclingsystem wurde „XPS Circular“ (XPS-Spezialdämmstoffe 2025) etabliert. Abfälle aus dem Gebäuderückbau werden derzeit (Stand: 2025) nicht im größeren Maßstab verwertet. Die Rückbaumengen sind aufgrund der Nutzungsdauern noch relativ gering. Zudem sind die Dämmplatten häufig als Teil eines Wärmedämmverbundsystems (WDVS) im Materialverbund mit Klebern, Mörtel, Putzen und anderen Hilfsmitteln verarbeitet, die mit einem relativ hohen Rückbau- und Reinigungsaufwand verbunden sind. Erschwerend kommt bei alten Dämmplatten hinzu, dass bei ihrer Herstellung das Flammenschutzmittel Hexabromcyclododecan (HBCD) verwendet wurde, das eine gesonderte Behandlung erfordert. HBCD-haltige EPS-Abfälle aus dem Gebäudeabbruch können werkstofflich recycelt werden: Mithilfe der CreaSolv®-Technologie wird das Polystyrol aufgelöst, Verunreinigungen und HBCD abgetrennt sowie das Polystyrol anschließend zu Pellets extrudiert, die wiederum in der Kunststoffverarbeitung eingesetzt werden können (Van Dijk/Reichenecker 2019: 8).

Polyurethan (PU)

Werkstoffliches Recycling von duroplastischem PU aus Hartschaum-Dämmplatten ist im selben Kreislauf nicht möglich. Das Material kann aber gesäubert, zerkleinert und zu anderen Recyclingprodukten wie Pressplatten oder Einblasdämmstoffen verarbeitet werden, wobei jedoch deren Qualität abnimmt (Bendix et al. 2021: 87 ff.).

Polyurethan kann chemisch durch Alkoholyse in den Ausgangsstoff Polyol umgewandelt werden. Die Verfahren sind kosten- und energieaufwendig, ihre Optimierung wird derzeit (Stand: 2025) in Forschungsprojekten untersucht. Deren Ziel ist es u. a., für Polyurethane aus Hartschaum ein Standardverfahren zu entwickeln, um eine höhere Qualität der Polyole zu erreichen und eine effizientere Kreislaufführung von Polyurethanen zu ermöglichen (Circular Foam 2025).

4.3 Rücknahme, Rückbau und Verwertungsmöglichkeiten

Aufgrund der vergleichsweise langen Nutzungsdauer von Bauprodukten werden im Bauwesen bevorzugt Rücknahmesysteme eingesetzt. Pfandsysteme funktionieren hingegen optimal für Verpackungs- und Transportmaterialien wie Big Bags oder Paletten. Laut Herstelleraussage ist die Rücknahme eigener Produkte zwar prinzipiell von Interesse, allerdings steht der hohe Aufwand zum Aufbau eines solchen werkstofflichen Recyclingsystems schwer kalkulierbaren Rücklaufmengen und -qualitäten gegenüber. Die Materialqualität aktueller Rückläufe kann durch Gefahrstoffanteile oder Verschmutzungen aus der Nutzungsphase der vergangenen Jahrzehnte stark eingeschränkt sein und die zukünftige Verfügbarkeit derzeit (Stand: 2025) eingebauter Produkte ist unklar (Bendix et al. 2021: 50), weshalb die tatsächlich verwertbaren Mengen relativ gering ausfallen können. Zentrale Sammel- und Aufbereitungssysteme sind daher für Bauprodukte mit langer Nutzungsdauer, z. B. Dämmstoffe, die sinnvollere Lösung. Für einige Produktgruppen wurden dennoch branchen- oder herstellereigene Rücknahmesysteme aufgebaut, z. B. für

- PVC-Fenster, -Türen und -Rollläden: Rewindo Fenster-Recycling-Service (Rewindo GmbH 2025),

- Baustellenverschnitt und Post-Consumer-Abfälle von Kunststoffrohren aus PE, PP und PVC: Fachverband der Kunststoffrohr-Industrie Deutschland (KRV 2025) und Österreichischer Arbeitskreis Kunststoffrohr Recycling (OEAKR 2025),
- Baustellenverschnitt und Post-Consumer-Abfälle von Bodenbelägen aus PVC und Polyamid: Gerflor Second Life Programm (Gerflor GmbH 2025) und Tarkett Restart® Recycling-Programm (Tarkett Holding GmbH o. J.),
- Baustellenverschnitt von Hartschaumdämmstoffen aus
 - EPS: Programm EPS-Cycle des Industrieverband Hartschaum e. V. (IVH 2025 a),
 - XPS: Programm XPS Circular der Fachvereinigung Extruderschäum e. V. (FPX 2025),
 - PUR: Initiative des Industrieverband Polyurethan-Hartschaum und des Zentralverbands des Deutschen Dachdeckerhandwerks (Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks e. V. 2025).

Neben den Produktinformationen sind die Konstruktionsausführungen ausschlaggebend für die Steigerung der Recyclingquoten. In der Planungs- und Bauphase, in der die Vorbereitung zum selektiven Rückbau ansetzt, werden Produkte, die für den Rückbau, Re-Use und Recycling geeignet sind, und Konstruktionen für höhere Planungs- und Ausführungskosten mitverantwortlich gemacht. Zudem fehle das entsprechende Know-how (Bendix et al. 2021: 56).

Forschungsprojekte der letzten Jahre wie beispielsweise die Weiterentwicklung des BNB-Kriteriensteckbriefs für Rückbau, Trennung und Verwertung (Figl et al. 2024) und das Projekt „BUILD RE-USE – 100 % Re-Use und Recycling bei Gebäuden mit kurzen Nutzungszyklen: Bauteile rückgewinnen“ (Meissner et al. 2024) setzen hier an. Es stehen inzwischen erste qualitative und quantitative Bewertungssysteme zur Verfügung, welche die Umsetzung kreislauffähiger, gut rückbaubarer Gebäude erleichtern (siehe Abbildung 9).

So sind in der Bauwirtschaft vermehrt Bestrebungen zu erkennen, nicht nur Baustoffe, sondern auch Bauteile wiederzuverwenden, wobei vorerst noch Bauelemente oder Bauteile aus den Grundstoffen Holz, Beton und Stahl im Fokus stehen. Eine Bewertungsmethode, wie sie für das Projekt „BUILD RE-USE“ entwickelt wurde, ließe sich auch auf Kunststoffe anwenden.

Es besteht die Herausforderung, dass im maschinellen Rückbau derzeit (Stand: 2025) oft übliche Baumaschinen und Werkzeuge wie Bagger eingesetzt werden, obwohl sie nicht unbedingt dafür geeignet sind, die gewünschte Sortenreinheit bereits direkt beim Rückbau zu erreichen (Schwitalla et al. 2023: 75). Sortieranlagen für Bauschutt verwenden derzeit (Stand: 2025) nicht die Technologien der Sensorerkennung, die für andere Abfallströme bereits eingesetzt werden. Metalle, feste Kunststoffteile, Gips, Kalk, Ziegel und Zement können im Labormaßstab deutlich besser getrennt werden, als es heute in der Praxis gängig ist.



Abbildung 9: Im Rahmen des Projekts „Build Re-Use“ entwickeltes Bewertungsprinzip zur Wiederverwendung von Bauprodukten und Bauteilen (Meissner et al. 2024)

5 POLITISCHER UND REGULATORISCHER RAHMEN

5.1 European Green Deal, Kunststoffstrategie und Chemikalienstrategie

Der European Green Deal fasst Strategien aus unterschiedlichen Themenfeldern zusammen. Für Bauprodukte im Allgemeinen und Kunststoffe im Besonderen sind darunter vor allem der Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft (New Circular Economy Action Plan), der Null-Schadstoff-Aktionsplan (Zero Pollution Action Plan) und die Kunststoffstrategie (Plastics Strategy) relevant, insbesondere die darin formulierten Ziele zur Reduzierung von Schadstoff- und Mikroplastikeinträgen in Boden, Luft und Wasser sowie die Optimierung und Maximierung der Ressourcennutzung und Wiederverwendung.

Angesichts der relativ hohen Kunststoffabfallmengen hat die Europäische Kommission eine Strategie für Kunststoffe ausgearbeitet (Europäische Kommission 2018). Sie sieht vor, dass bis 2030 50 M.-% aller anfallenden Kunststoffabfälle recycelt werden sollen. Dafür wird die Kommission verbindliche Anforderungen an den Rezyklatanteil sowie Maßnahmen zur Abfallreduzierung für wichtige Produkte wie Verpackungen, Baustoffe und Fahrzeuge vorschlagen.

Eine zentrale Fragestellung des vorliegenden Projekts betrifft den Umgang mit Inhaltsstoffen in Kunststoffen, von denen Risiken für die Gesundheit und die Umwelt ausgehen. Besonderes Augenmerk muss auch auf problematische Stoffe in Kunststoffabfällen gelegt werden, die möglicherweise über Recycling-Kunststoffe im Kreislauf gehalten werden. Diese und ähnlich Aspekte werden in der 2020 verabschiedeten „Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit“ (Europäische Kommission 2020 b) berücksichtigt. Hier stellt die Kommission fest, dass der Gehalt von bedenklichen Stoffen in Produkten und Rezyklaten auf ein Minimum reduziert werden muss. Für Frischmaterial und für Rezyklate sollten grundsätzlich dieselben Grenzwerte wie für gefährliche Stoffe gelten. Für bestimmte bedenkliche (karzinogene) Polymere soll ein Vorschlag für eine Registrierungspflicht gemäß REACH erstellt werden.

Bis zur Umsetzung der Chemikalienstrategie werden Risiken wie die mögliche Verschleppung problematischer Inhaltsstoffe durch Recycling-Kunststoffe noch für viele Jahre ein Thema bleiben.

5.2 EU-Chemikalienverordnung REACH

Die EU-Chemikalienverordnung REACH regelt seit 2007 die Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien. Der Schutz von Umwelt und Gesundheit vor von Chemikalien ausgehenden Risiken steht hier im Vordergrund und nur registrierte Chemikalien dürfen auf den EU-Markt gebracht werden. Der Fokus richtet sich dabei auf die besonders besorgniserregenden Stoffe (SVHC, eng. Substances of Very High Concern.), die dort, wo es möglich ist, nach und nach durch weniger kritische Alternativen ersetzt werden sollen. Polymere sind von der Registrierungspflicht gemäß REACH ausgenommen, wenn sie die Definition eines Polymers erfüllen. Monomere und andere zur Herstellung des Polymers verwendete Stoffe zählen nicht zu den Polymeren und müssen registriert werden (ECHA 2023).

Die SCIP-Datenbank (Substances of Concern In Products) für Informationen über besorgniserregende Stoffe in Erzeugnissen oder komplexen Gegenständen stellt einen Baustein dar, um über Produkte und ihre Bestandteile Auskunft zu geben (ECHA o. J. e). Unternehmen, die den EU-Markt mit Erzeugnissen beliefern, die SVHC in einer Konzentration von über 0,1 Gew.-% enthalten, sind seit 2021 verpflichtet, Informationen zu den betreffenden Erzeugnissen an die ECHA zu übermitteln. Mithilfe der SCIP-Datenbank sollen Informationen über SVHC-haltige Erzeugnisse über den gesamten Lebenszyklus verfügbar sein und insbesondere in der Abfallphase

für Klarheit über kritische Bestandteile und damit verbundene Risiken für die Aufbereitung oder Beseitigung sorgen (ECHA 2025e).

5.3 EU-Bauprodukteverordnung (BauPVO)

In der Europäischen Bauprodukteverordnung (Europäische Union 2024c) werden Ziele des European Green Deal für Bauprodukte konkretisiert. Auf Basis der grundlegenden Anforderungen an Bauwerke in Anhang I der Verordnung sollen harmonisierte technische Spezifikationen und Umwelt-, Funktions- und Sicherheitsanforderungen an Bauprodukte erarbeitet werden. In den sogenannten Leistungserklärungen sind dann in Zukunft die „Wesentlichen Merkmale“, also die Produkteigenschaften, zu deklarieren. In Bezug auf Bauprodukte aus oder mit Kunststoffen sind vor allem relevant:

- Grundanforderung 3 – „Schutz vor nachteiligen Auswirkungen hinsichtlich Hygiene und Gesundheit in Verbindung mit Bauwerken“ adressiert u. a. die Emission von Gefahrstoffen, VOC oder gefährlichen Partikeln einschließlich Mikroplastik in die Innenluft sowie die Freisetzung von Gefahrstoffen oder anderweitig kritischen Stoffen in das Trinkwasser.
- Grundanforderung 7 – „Emissionen von Bauwerken in die Außenumgebung“ bezieht sich u. a. auf die Freisetzung von Gefahrstoffen, Mikroplastik oder Strahlung in der Luft, ins Grundwasser, ins Meeresgewässer, ins Oberflächengewässer oder in Böden.
- Grundanforderung 8 – „Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen von Bauwerken“ zielt u. a. auf die Maximierung der ressourcenschonenden Nutzung von Rohstoffen und Sekundärrohstoffen und der Wiederverwendbarkeit oder Recyclingfähigkeit eines Bauwerks und der darin verbauten Werkstoffe nach Rückbau oder Abriss sowie auf eine Minimierung der Gesamtmenge der verwendeten Rohstoffe und des Abfallaufkommens ab.

Aus der BauPVO geht nicht hervor, ob und wenn ja, in welchem Umfang auch Kunststoffanteile oder Rezyklatanteile und damit verbundene Qualitätsmerkmale zu deklarieren sind. Allerdings ist die Einführung eines digitalen Produktpasssystems geplant. Mithilfe von digitalen Produktpässen (DPP) sollen Produktinformationen, z. B. Produktbestandteile, kritische Stoffe, Rückbau- und Recyclingeigenschaften, entlang der Wertschöpfungskette und über den gesamten Lebenszyklus zugänglich gemacht werden. Das System soll sich weitestgehend den in der Ökodesign-Verordnung (Europäische Union 2024 a) verankerten Anforderungen anpassen und hat zum Ziel, die Kreislauffähigkeit von Bauprodukten zu verbessern, Ressourceneffizienz zu fördern sowie Abfallvermeidungsmaßnahmen, Wiederverwendung und Recycling zu unterstützen.

5.4 Normung

Es gibt mehrere Normen und Standards, die den Umgang mit Recyclingkunststoffen regeln, sowohl auf nationaler als auch auf europäischer und internationaler Ebene. Diese Normen legen Anforderungen an die Qualität, die Rückverfolgbarkeit, die Kennzeichnung und die Nachhaltigkeit von Recyclingkunststoffen fest. Die wichtigsten, auf die auch u. a. in den Zertifizierungssystemen verwiesen wird, sind:

DIN EN 15343 – Kunststoffrezyklate – Anforderungen an das Recycling und die Kennzeichnung: Anforderungen, Qualität und Kennzeichnung von Kunststoffrezyklaten;

DIN EN ISO 14021 – Umwelterklärungen – Selbstdeklaration von Umweltaspekten regelt u. a. auch die Deklaration des Rezyklatgehalts von Produkten;

DIN EN ISO 15270 – Kunststoffe – Recycling von Kunststoffen – Anforderungen an das Recycling von Kunststoffen behandelt den gesamten Recyclingprozess einschließlich der Sammlung, Sortierung, Verarbeitung und Verwendung von recyceltem Kunststoffmaterial;

DIN EN ISO 14021 Umweltkennzeichnungen und -deklarationen – Umweltbezogene Anbietererklärungen (Umweltkennzeichnung Typ II);

DIN EN 15342 Kunststoffe – Kunststoff-Rezyklate – Charakterisierung von Polystyrol (PS)-Rezyklaten;

DIN EN 15344 Kunststoffe – Kunststoff-Rezyklate – Charakterisierung von Polyethylen (PE)-Rezyklaten;

DIN EN 15345 Kunststoffe – Kunststoff-Rezyklate – Charakterisierung von Polypropylen (PP)-Rezyklaten;

DIN EN 15346 Kunststoffe – Kunststoff-Rezyklate – Charakterisierung von Polyvinylchlorid (PVC)-Rezyklaten;

DIN EN 15347 Kunststoffe – Kunststoff-Rezyklate – Charakterisierung von Kunststoffabfall;

DIN EN 15348 Kunststoffe – Kunststoff-Rezyklate – Charakterisierung von Polyethylenterephthalat (PET)-Rezyklaten.

Darüber hinaus gibt es von Normungsseite her erste Initiativen zur Reglementierung des Informationsflusses in der Lieferkette von Kunststoffen: Die DIN SPEC 91446 ist ein (normähnlicher) Standard für Recyclingkunststoffe (Deutsches Institut für Normung 2021). Er enthält ein Klassifizierungsverfahren für Kunststoffrezyklate auf Basis von Datenqualitätslevels, das die Kreislaufwirtschaft unterstützen und den Einsatz von Recyclingkunststoffen erleichtern soll. Entscheidend hierfür ist vor allem das Kennzeichnungssystem, das (je nach Qualitätsstufe) verpflichtende Informationen und Eigenschaften wie Materialtyp, Recyclinganteil, Angaben zum Aufbereitungsprozess (mechanisch, lösemittelbasiert usw.) und zur Herkunft sowie optionale Merkmale mit Fokus auf Reinheitsgrad, Schadstoffverschleppung und Lieferkettenkommunikation bereitstellt. DIN SPEC 91481 schließt an diesen Standard an und ergänzt die Klassifizierung um stoffspezifische Eigenschaften für Polyamid-Kunststoffe. Die detaillierte Kennzeichnung der Rezyklate ist unerlässlich für die Steigerung der Rezyklatanteile in Bauprodukten einerseits und für die Konstruktions- und Gebäudeoptimierung im Hinblick auf Rückbau-, Re-Use- und Recyclingszenarien andererseits. (Deutsches Institut für Normung 2024)

6 KUNSTSTOFFE – PRODUKT- UND MATERIALANFORDERUNGEN IN UMWELTZEICHEN UND ZERTIFIZIERUNGSSYSTEMEN

6.1 Umweltzeichen

Umweltzeichen nach ISO 14024 sind Umwelterklärungen, die anzeigen, dass ein Produkt die vorgegebenen Kriterien eines Umweltzeichenprogramms erfüllt. Die Kriterien der beiden staatlichen Umweltzeichen („Blauer Engel“ und Österreichisches Umweltzeichen) adressieren die Schadstoffproblematik in der Regel umfassend, d. h. sie schließen den Einsatz von SVHC und Gefahrstoffen weitgehend aus. Die Anforderungen liegen teilweise deutlich über normativen oder gesetzlichen Grenz- oder Zielwerten bzw. werden zum Teil auch in bisher nicht geregelten Bereichen hohe Ansprüche an die Bauprodukte gestellt. Produktgruppenweise wird vermehrt versucht, auch auf Kreislauf- und Recyclinganforderungen einzugehen. Zumindest in einzelnen Fällen werden Kunststoffrezyklate als mögliche Einsatzstoffe berücksichtigt.

Die Vergaberichtlinie DE-UZ 120 des **Blauen Engel** für elastische Bodenbeläge lässt den Einsatz von Rezyklatmaterial in Bodenbelägen und Sockelleisten auf wenige Kunststoffarten beschränkt zu. Für elastische Bodenbeläge sind nur Post-Consumer-Rezyklate von Polypropylen (PP) und Polyethylenterephthalat (PET) zulässig, die aus der Verpackungsabfallsammlung oder der Verpackungsrücknahme entlang der Lieferkette stammen. Die Anforderungen an die Herkunft und die Zusammensetzung der Post-Consumer-Rezyklate sind durch die EuCertPlast-Zertifizierung bzw. durch die RecyClass Zertifizierung, in welche EuCertPlast inzwischen integriert wurde, nachzuweisen. Post-Consumer-Rezyklate (PCR), die SVHC der Kandidatenliste oberhalb einer Schwelle von 0,1 Gew.-%, halogenierte Treibmittel oder halogenierte Flammschutzmittel enthalten, sind nicht zulässig. Der Reinheitsgehalt muss bei PP über 92 M.-% und bei PET über 95 M.-% liegen. Durch Reinigungsprozesse und Laboranalysen ist sicherzustellen, dass von dem Rohmaterial keine Geruchsbelastung ausgeht. Außerdem ist laboranalytisch nachzuweisen, dass die Rezyklate nicht in kritischen Mengen mit Blei, Cadmium, Quecksilber und Chrom belastet sind (kumulierte Konzentration < 100 mg/kg). Der Anteil von Rezyklaten ist für Endverbraucher:innen deutlich zu deklarieren (Blauer Engel 2011).

Die Richtlinie befindet sich derzeit in Überarbeitung (Stand: 2025). Die Richtlinie UZ 42 „Elastische Fußbodenbeläge“ des Österreichischen Umweltzeichens harmonisiert mit den Anforderungen des Blauen Engel.

In der Richtlinie UZ 41 des **Österreichischen Umweltzeichens** sind Anforderungen für „Bauprodukte aus Kunststoff“ festgelegt. Der Anwendungsbereich der Richtlinie konzentriert sich auf Rohre und andere Produkte für Elektroinstallationen. Der Einsatz von Rezyklat wird hier zwar ausdrücklich gefordert, allerdings ist nicht näher definiert, in welchem Umfang. Besondere Vorkehrungsmaßnahmen zur Vermeidung von Altschadstoffen werden in der Richtlinie nicht getroffen. Ausgeschlossen sind wie in anderen Umweltzeichen-Richtlinien auch:

- Stoffe und Zubereitungen mit Gefährlichkeitsmerkmalen (z. B. KMR-Stoffe: karzinogen, mutagen und reproduktionstoxisch),
- halogenierte organische Verbindungen (z. B. Flammschutzmittel),
- Phthalate,
- Blei, Cadmium und Chrom sowie deren Verbindungen (Österreichisches Umweltzeichen 2024 a).

Die Umweltzeichen-Richtlinie UZ 79 für Wärmedämmverbundsysteme nimmt im Kapitel 3.3.2 Geschäumte Dämmstoffe Bezug auf polymerisierte Rezyklate: „Der Einsatz polymerisierter, halogenerter Flammschutzmittel ist bis zu einem Masseanteil von 3 % möglich, wenn der Masseanteil polymerisierter Recyclate mindestens 15 % beträgt [...]“ (Österreichisches Umweltzeichen 2024 b: 13). Der Einsatz von Recyclingmaterial wird positiv

gewertet, obwohl keine Einsatzmengen vorgeschrieben sind. Der Umgang mit potenziellen Altschadstoffen wird auch hier nicht reglementiert.

Das **Qualitätszeichen von natureplus e. V.** fokussiert sich auf Bauprodukte aus mineralischen oder nachwachsenden Rohstoffen und hat aktuell Prüfrichtlinien u. a. für Dämmstoffe und -systeme, Holz und Holzwerkstoffe, Mauersteine, Dacheindeckungen, Bodenbeläge, Putz- und Mauermörtel sowie Farben veröffentlicht (<https://www.natureplus-label.org/vergaberichtlinien>). Ein übergeordnetes, für alle Produktgruppen geltendes Kriterium ist der Mindestanteil von 85 M.-% an nachwachsenden oder mineralischen Bestandteilen im Produkt. Produktgruppenbezogen kann dieser Anteil auch höher sein. Kunststoffbestandteile sind somit zwar zulässig, jedoch produktbezogen beschränkt. Beispielsweise können Stützfasern in Dämmstoffen bis zu 15 M.-% enthalten sein (natureplus 2022 a) und in Massivholzprodukten sind 3 M.-% PU-Kleber zulässig (natureplus 2022 b).

Darüber hinaus gelten für alle Produkte Anforderungen an die Einsatzstoffe. Ausgeschlossen sind als kanzerogen, mutagen oder reproduktionstoxisch eingestufte Stoffe. Substanzen, die als verdächtig einer kanzerogenen, mutagenen oder reproduktionstoxischen Wirkung, als giftig oder sensibilisierend sowie als umweltschädlich eingestuft sind, sind nur in stark begrenzten Mengen zulässig. (natureplus 2022c)

RecyClass ist ein von Plastics Recyclers Europe (PRE), dem europäischen Verband der Kunststoffrecycler, initiiertes, branchenübergreifendes Zertifizierungssystem mit 3 Zertifizierungsschienen:

- Mit der RecyClass Recyclability Certification wird die Recyclingfähigkeit von Verpackungsprodukten evaluiert.
- Die Zertifizierungsschiene RecyClass Recycled Plastic Traceability konzentriert sich auf die Rückverfolgbarkeit rezyklierter Kunststoffe innerhalb eines Prozesses und die Nachweisführung zum Rezyklatgehalt. Sie richtet sich an die Akteure entlang der Wertschöpfungskette von Recyclingkunststoffen oder Produkten, die solche enthalten.
- Das Recyclingmaterial muss den Anforderungen der Zertifizierungsschiene RecyClass Recycling Process entsprechen. Diese zielt auf die Rückverfolgbarkeit der Rezyklate und eine transparente Kommunikation zur Herkunft der Kunststoffabfälle. (RecyClass 2025)

Die Anforderungen des Auditprogramms sind auf die Normen EN 15343 und ISO 22095 abgestimmt.

DIN CERTCO betreibt für Deutschland ein Zertifizierungsprogramm für Produkte aus Recyclingmaterial. Als Bewertungsgrundlage für Kunststoffe dienen die Normen DIN EN ISO 14021 zur Berechnung des Rezyklatgehalts und DIN EN 15343 zur Herkunft, Nachverfolgbarkeit und Qualitätssicherung von Kunststoffrezyklaten. Auch hier sind Audits und Überprüfungen vor Ort vorgesehen. Die Erfüllung der Qualitätsanforderungen ist durch akkreditierte Prüflabore zu belegen. (DIN CERTCO 2024)

6.2 Umweltproduktdeklaration (EPD)

Umweltproduktdeklarationen (EPD, engl. Environmental Product Declaration) nach ISO 14025 sind Umwelterklärungen, die umweltbezogene Daten eines Produkts auf der Grundlage einer Ökobilanz sowie (wenige) ergänzende Umweltinformationen bereitstellen. Sie verstehen sich als B2B-Information für Akteur:innen und Entscheidungsträger:innen in der Politik sowie in der Bau- und Immobilienwirtschaft. Die EPD enthält zu diesem Zweck u. a.

- eine Produktbeschreibung mit bautechnischen Informationen und Angaben zur Zusammensetzung,
- eine Beschreibung des Produktionsprozesses,

- Hinweise zur Verarbeitung, zur Nutzungs- und zur Nachnutzungsphase,
- die Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse.

Die Angaben zu Einsatzstoffen und zum Lebenszyklusverhalten sind allerdings nicht immer produkt-, sondern oft auch branchenbezogen. Additive werden häufiger ohne chemische Charakterisierung deklariert und Aussagen zu Schadstoffemissionen sind zumeist auf deren Auswirkung auf die Innenraumluftqualität beschränkt.

6.3 Gebäudebewertungssysteme

6.3.1 Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG) und Nachhaltigkeitszertifizierungen

Das Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG) des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) etabliert ein gemeinsames Nachhaltigkeitsverständnis im deutschen Bauwesen und schafft gleichzeitig eine verlässliche Basis für Fördermittel. Es zielt darauf ab, die Prinzipien des nachhaltigen Planens, Bauens und Betreibens in der Bau- und Immobilienwirtschaft zu verankern (BMWSB 2023). Mehrere Bewertungssysteme sind als Instrumente zur Qualitätssicherung registriert und erfüllen somit die Anforderungen des QNG. Darunter sind für Wohngebäude das DGNB-System (Deutsche Gesellschaft Nachhaltiges Bauen), das BNK/BNG-System (Bewertungssystem Nachhaltiger Kleinwohnungsbau und Bewertungssystem Nachhaltige Gebäude) und das NaWoh (Qualitätssiegel Nachhaltiger Wohnungsbau).

Das QNG gibt im Anhangdokument 313 Anforderungen bezüglich der Schadstoffvermeidung in Baumaterialien vor. Ein Bereich darin spricht direkt Bauprodukte aus Kunststoffen an (Position 11.1). Zudem wird die Bauproduktgruppe „Kunststoffe (PVC) zur Belegung von Oberflächen in Innenräumen sowie Kunststoff-Bauteile an der Gebäudehülle“ (Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen 2023) behandelt. Die Anforderungen und Grenzwerte betreffen Schwermetalle (Blei, Cadmium, Zinn), Phthalate, Polybromierte Biphenyle (PBB) und Polybromierte Diphenylether (PBDE).

Allgemein fällt auf, dass für Bauprodukte mit Kunststoffanteilen häufig Anforderungen zur Begrenzung von kritischen Inhalts- oder Zusatzstoffen bestehen. Auch bei den haustechnischen Anlagen werden Anforderungen für Bauprodukte aus Kunststoffen (z. B. Kabel) gestellt. Folgende Stoffe werden betrachtet: Phthalate (z. B. bei elastischen Bodenbelägen), HBCD (z. B. bei Kunstschaum-Dämmstoffplatten), Polybromierte Biphenyle (PBB), polybromierte Diphenylether (PBDE), Schwermetallen wie Blei und Cadmium (BMWSB 2023). Es werden zwar keine Anforderungen hinsichtlich der Menge und Art der Kunststoffe formuliert, aber die kritischen Stoffe, die in Bezug zu Kunststoffen stehen können, werden angesprochen. Das NaWoh, DGNB und das BNK/BNG-System müssen im Rahmen der Förderung für den Neubau von Gebäude (Bundesförderung für effiziente Gebäude – Klimafreundlicher Neubau) die Anforderungen des QNG im Anhang 3.1.3 erfüllen.

Andere Anforderungen speziell zum Thema Kunststoffe stellen die drei Nachhaltigkeitszertifizierungen und das QNG nicht. Positiv zu vermerken ist, dass alle drei Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme eine Art Bauteilkatalog bzw. Materialkataster fordern (NaWoh 2024; BiRN 2024; DGNB 2023).

6.3.2 Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)

Die Anwendung des BNB ist für Bundesbaumaßnahmen in Deutschland verpflichtend, es kann aber auf privater, kommunaler oder Länderebene auch freiwillig angewendet werden. Das System betrachtet den gesamten Gebäudelebenszyklus und bewertet die ökologische, ökonomische, soziokulturelle Qualität sowie technische Aspekte und Prozesse. Der BNB-Kriteriensteckbrief 1.1.6 „Risiken für die lokale Umwelt“ zielt auf die Vermeidung von Bauprodukten, die aufgrund ihrer Schadstoffgehalte oder Schadstofffreisetzung ein Risikopotenzial für die

Umwelt oder gesundheitliche Beeinträchtigungen bei der Verarbeitung auf der Baustelle oder in der Nutzungsphase verursachen können. Ähnlich wie beim QNG sind auch hier PVC-Produkte direkt angesprochen. Die Anforderungen und Grenzwerte betreffen Stabilisatoren (Blei, Cadmium) und Weichmacher (Phthalate). Für andere Produktgruppen wie Bodenbeläge, Oberflächenbeschichtungen, Kleb- und Dichtstoffe, Verlegewerkstoffe und Dämmstoffe, in denen Kunststoffprodukte vorkommen oder sie in größeren Mengen eingesetzt werden, gelten abhängig von der Produktgruppe ähnliche Qualitätsanforderungen wie im QNG für die Stoffgruppen Flammenschutzmittel (Chlorparaffine, HBCD, reproduktionstoxische Borverbindungen, polybromierte Diphenylether), Schwermetalle (Blei-, Cadmium- und Chrom-VI-Verbindungen), Weichmacher (Phthalate, Tris(2-chlorethyl)phosphat) und halogenierte Treibmittel. Kunstschaum-Dämmstoffe für Gebäude und Haustechnik dürfen kein Altreifengranulat enthalten (BNB 2015).

7 CHANCEN UND RISIKEN VON KUNSTSTOFFEN IM BAUWESEN

7.1 Charakteristika von Kunststoffen

Kunststoffe sind im Hinblick auf die lange Entstehungsgeschichte der Erde gesehen relativ junge Materialien aus sehr alten Rohstoffen, die sich innerhalb weniger Jahrzehnte aufgrund ihrer vielfältigen Eigenschaften zu beliebten und inzwischen allgegenwärtigen Materialien entwickelt haben. Sie sind für nahezu alle Anwendungszwecke, in unterschiedlichsten Erscheinungsformen und oft überall verfügbar. Kunststoffe gelten im Bauwesen aufgrund der hohen technischen Anforderungen als unverzichtbar, insbesondere im Hinblick auf Feuchteschutz, hohe Baugeschwindigkeit, optische Ansprüche und den Ruf nach niedrigen Kosten.

Die Vor- und Nachteile von Bauprodukten aus Kunststoff wurden auch mit den Teilnehmer:innen der Workshops diskutiert (siehe Anhang 2: Workshops). Kunststoffe weisen viele vorteilhafte Eigenschaften auf: Sie sind von hart bis weich modifizierbar und beliebig formbar. Sie lassen sich einfach in die Planung integrieren und beschaffen und sind oft günstig. Anwendung und Pflege sind meistens unkompliziert. Mit den Produkten und ihren Inhaltsstoffen können jedoch auch Nachteile verbunden sein. Mit zunehmender Nutzung werden Oberflächen oft unansehnlich. Die Produkte können meistens nicht repariert werden, weshalb sie schneller ausgetauscht werden müssen als reparierbare Alternativprodukte. Die unüberschaubare Anzahl an Additiven, darunter viele kritische Substanzen, erschwert das Recycling. Zudem besteht das Risiko einer langfristigen Schad- und Störstofffreisetzung. Beides kann zu hohen Entsorgungskosten führen.

7.2 Rohstoffbasis

In den EU-Staaten wurden 2023 54 Mio. t Kunststoffe hergestellt. Davon waren 42,9 Mio. t erdölbasiert (79,4 %), 10,3 Mio. t aus Rezyklaten (19,1 %; mechanisch und chemisch) und 0,8 Mio. t (1,5 %) biobasiert und teilbiobasiert (Plastics Europe 2024 b).

7.2.1 Erdölbasierte Kunststoffe

Kunststoffe werden hauptsächlich aus Rohbenzin (Naphtha), einem Bestandteil des Rohöls, gewonnen. Dieses entsteht durch die Destillation in Raffinerien, wo das Rohöl in verschiedene Fraktionen getrennt wird. Im Crackprozess werden die lange Kohlenwasserstoffketten in kürzere Moleküle gespalten, wodurch Grundchemikalien wie Ethen, Propen und Benzol entstehen. Diese dienen als Monomere zur Herstellung verschiedenster Kunststoffe (Dahlmann et al. 2022: 32 f.).

Abts (2020: 62) nimmt an, dass „aus einem Kilogramm Rohöl ein Kilogramm Kunststoff hergestellt werden kann“. Ausgehend von dieser Annahme berechnet er, dass weltweit ca. 8 M.-% des geförderten Rohöls für die Produktion von Kunststoffen genutzt werden. Dabei ist der Primärenergiebedarf des Herstellungsprozesses noch nicht berücksichtigt, den er auf weitere 1 bis 2 M.-% schätzt und somit annimmt, dass insgesamt 10 M.-% des geförderten Rohöls zur Herstellung von Kunststoffen dienen.

7.2.2 Biobasierte und/oder biologisch abbaubare Kunststoffe

Definition und Standards

Unter dem Sammelbegriff „Biokunststoffe“ fasst European Bioplastics biobasierte und/oder biologisch abbaubare Kunststoffe zusammen: Biobasierte Kunststoffe werden ganz oder teilweise aus erneuerbaren, nicht fossilen Rohstoffen wie Mais, Zuckerrohr, Zellulose oder Pflanzenfetten (European Bioplastics 2022: 1; Lamberti et al.

2020: 2553) hergestellt. Sie können biologisch abbaubar sein, müssen es aber nicht. Einige biobasierte Kunststoffe (Drop-in-Kunststoffe) haben die gleiche chemische Struktur wie herkömmliche, fossilbasierte Kunststoffe. Biobasierte Kunststoffe müssen nur einen Anteil an aus erneuerbaren Rohstoffen hergestellten Kunststoffen beinhalten (z. B. Bio-Polyurethan 50–60 M.-% biobasierter Inhalt) (IfBB 2024). Um die Rohstoffbasis kenntlich zu machen, schlägt der Europäische Wirtschafts- und Sozialausschuss (EWSA) die Einführung des Begriffs „Teilbiobasierte Kunststoffe“ („bio-attributed plastics“) vor (Edelényi/Mostaccio 2023).

Biologisch abbaubare (bioabbaubare) Kunststoffe sind solche, die durch Mikroorganismen in natürliche Bestandteile wie Wasser und CO₂ oder Methan zerlegt werden können (European Bioplastics 2018: 1). Diese Definition gilt unabhängig von der Rohstoffbasis (erneuerbar oder fossil) und hängt von der Dauer des Zersetzungsprozesses ab.

Zu den biologisch abbaubaren Kunststoffen zählen kompostierbare Kunststoffe, die unter kontrollierten Bedingungen in Kompostieranlagen vollständig abgebaut werden. Für die Einstufung als kompostierbarer Kunststoff gelten u. a. die Anforderungen der Norm EN 13432. Demnach müssen kompostierbare Kunststoffe innerhalb von 6 Monaten zu 90 M.-% abgebaut sein. Das Deutsche Institut für Normung e. V. (2000) und Lackner/Murkherjee/Koller (2023: 14) geben eine Übersicht über die Standards zur Beurteilung der Bioabbaubarkeit von biobasierten Kunststoffen.

Das Institut für Bioplastik und Biokomposite (IfBB) der Hochschule Hannover unterscheidet zwischen Biokunststoffen der „alten Wirtschaft“, z. B. Naturkautschuk oder Linoleum, und denen der „neuen Wirtschaft“, darunter biobasierte Polyester, Polyolefine, Polyurethane u. a., die erst in den letzten 30 Jahren neu entwickelt wurden (IfBB 2024: 4).

Die Betrachtungen im Rahmen dieses Projekts beziehen sich, sofern nicht anders vermerkt, auf Kunststoffe der „neuen Wirtschaft“.

Arten und Mengen biobasierter Kunststoffe

Die EU ist laut EWSA (2023) der zweitgrößte Hersteller von Biokunststoffen. 2022 wurden weltweit 2,22 Mio. t biobasierter Kunststoffe hergestellt (European Bioplastics 2022: 6). Den größten Marktanteil hatten laut (European Bioplastics 2022: 4) PLA (20,7 %; Polylactic Acid, Polymilchsäure), gefolgt von Verbindungen auf Stärkebasis (17,9 %) und Bio-PE (14,8 %). Laut Skoczinski et al. (2024) wurden 2023 6 % der Biokunststoffe im Bauwesen eingesetzt. Anwendungsbeispiele sind PLA-Stützfasern für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen und stärkebasierte Bindemittel für Mineralwolle.

Chancen und Herausforderungen für biobasierte und/oder biologisch abbaubare Kunststoffe

Der Europäische Wirtschafts- und Sozialausschuss (EWSA) erwartet, dass Biokunststoffe zur Reduzierung von CO₂-Emissionen beitragen, eine deutliche Steigerung der Einsatzmengen und ein Recycling statt Verbrennen der Abfälle vorausgesetzt. Es bestehe außerdem das Potenzial, durch abbaubare Kunststoffe das Aufkommen von Mikro- und Nanoplastik in der Umwelt zu verringern (EWSA 2023).

Das Abbauverhalten von bioabbaubaren Kunststoffen wird stark von den Umgebungsbedingungen beeinflusst. So werden beispielsweise für PLA in Kompostieranlagen in kürzerer Zeit höhere Abbauraten als in Salzwasser erreicht. Ein unvollständiger Abbau birgt daher weitere Risiken durch die Entstehung von Mikro- und Nanoplastik (Lara-Topete et al. 2024: 9).

Die Auswirkungen von biologisch abbaubarem Mikrobioplastik sind bisher wenig erforscht. Jedoch deuten erste Untersuchungen darauf hin, dass es ähnliche Auswirkungen hat wie Mikroplastik (Lara-Topete et al. 2024).

Für die Herstellung von Biokunststoffen werden meistens pflanzliche Rohstoffe genutzt, deren Anbauflächen in direkter Konkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion stehen können. Berechnungen des IfBB ergaben für 2023 eine weltweite Anbaufläche von ca. 18 Mio. ha für alle Arten von Biokunststoffen („alte“ und „neue Wirtschaft“), was etwa 1,2 % des gesamten Ackerlands entspricht. Davon entfallen ca. 75 % auf die Naturkautschukproduktion. Die für die Herstellung von neuen Biokunststoffen benötigte Fläche macht nur etwa 8,5 % aus (IfBB 2024: 56-57).

Da insbesondere die Fachtermini im Zusammenhang mit Biokunststoffen und die Deklarationsvorgaben, beispielsweise zum tatsächlichen biogenen Anteil oder zum Massebilanzverfahren, noch nicht vollständig harmonisiert festgelegt sind, können Zertifizierungssysteme die Kommunikation mit Verbraucher:innen erleichtern.

So existieren bereits Zertifizierungssysteme für den Gehalt an biobasierten Kunststoffen, wie das „OK biobased“-Zertifikat des TÜV Austria und die DIN CERTCO-Zertifizierung für biobasierte Produkte (European Bioplastics 2023). Es gibt auch spezifische europäische und internationale Normen sowie Ansätze, die auf einer Massenbilanz basieren und von Dritten zertifiziert werden. Einige EU-Mitgliedstaaten haben bereits einen verbindlichen Mindestgehalt für recycelte und biobasierte Inhaltsstoffe eingeführt (EWSA 2023).

Für eine umfassendere, risikominimierte Anwendung von Biokunststoffen sind nach Ansicht des EWSA (2023) folgende Maßnahmen notwendig:

- Eindeutige Definitionen und Klassifizierungen der Biopolymere, ihrer Eigenschaften und optimalen Einsatzbereiche,
- Systematische Überprüfung und Adaption des rechtlichen Rahmens für Design, Herstellung, Nutzung und Wiederverwertung von (Bio-)Kunststoffen,
- Kontinuierlicher Abgleich von Normen und Kennzeichnungen mit Forschungsergebnissen und technologischen Entwicklungen,
- Fortführen der Untersuchungen zu gesundheitlichen und ökologischen Auswirkungen von Biokunststoffen.

Eine zentrale Rolle beim Erreichen von Nachhaltigkeitszielen und bei der Vermeidung von Greenwashing spielt auch die Aufklärung von Verbraucher:innen. Sie müssen insbesondere über die Unterschiede zwischen fossilbasierten und Biokunststoffen und deren optimale Nutzung, über das Massebilanzverfahren sowie über die Unterscheidung von Begriffen zur Rohstoffherkunft (biobasiert) und zu Materialeigenschaften (biologisch abbaubar, recyclingfähig) informiert werden.

Vonseiten der Wissenschaft wird zudem die intensivere Erforschung der Bioabbaubarkeit von Kunststoffen und der mit einem unvollständigen Abbau einhergehenden Risiken auch in realistischen Felduntersuchungen sowie unter dem Einfluss von Kunststoffadditiven gefordert (Lara-Topete et al. 2024: 12; Lackner/Murkherjee/Koller 2023: 21 f.).

7.3 Störfallrisiko

Die Geschichte der Chemieindustrie ist geprägt von Umweltkatastrophen. Nach den besonders schweren Unfällen in Flixborough (England, 1974) und Seveso (Italien, 1976) kam es 1982 zur Einführung der Richtlinie 82/501/EWG über die Gefahren schwerer Unfälle bei bestimmten Industrietätigkeiten (Seveso-I-Richtlinie). Nicht zuletzt nach dem Bhopalunglück in Indien im Jahr 1984 wurde eine Überarbeitung und Ausweitung der Richtlinie gefordert, bis schließlich 1996 die Richtlinie 96/82/EG (Seveso-II-Richtlinie) erlassen wurde. Mit der

aktuell gültigen Richtlinie 2012/18/EU bzw. Seveso-III-Richtlinie (Europäische Union 2012) sollte das bestehende hohe Schutzniveau weiter erhöht werden. Diese europäische Rechtsvorschrift erfasst etwa 12 000 Industriestandorte in der gesamten Europäischen Union (EU), an denen chemische oder petrochemische Stoffe verwendet bzw. gelagert werden oder eine Metallaufbereitung erfolgt.

Seit Einführung der Seveso-II-Richtlinie sind schwere Unfälle wie in den 1970er- und 1980er-Jahren seltener geworden. Dennoch gibt es in Deutschland jährlich zwischen 15 und 30 meldepflichtige Unfälle, die meisten von ihnen in Chemieanlagen (Kleiber/Watorowski 2022). Die am meisten auftretende Ursache ist ein menschlicher Fehler. Die häufigsten Folgen der Ereignisse gehen auf die Freisetzung von Gefahrstoffen und Brände zurück. Beispiele für Störfälle in Chemieanlagen aus dem Jahresbericht 2020 von Kleiber/Watorowski (2022) sind: Brand von Harzlösungen in einer Kunstharzfabrik, Freisetzung von Kohlenwasserstoffen in einen Fluss aus einer Raffinerie, Freisetzung von Schwefelwasserstoff an einem Anlagenverbund einer Raffinerie oder Freisetzung von Chlorwasserstoff (HCl) an einer Entleerungsleitung in einem Chemieunternehmen. Dass auch schwere Industrieunfälle nicht ausgeschlossen werden können, zeigt die Explosion im Chempark Leverkusen im Jahr 2021. Eine chemische Reaktion der flüssigen Produktionsabfälle (u. a. verschiedene chlorierte und nicht chlorierte Lösungsmittel) war vermutlich die Ursache für eine Explosion im Tanklager der Sonderabfall-Verbrennungsanlage, bei der 7 Menschen getötet und über 31 weitere Personen verletzt wurden (Chemie Technik 2021).

7.4 Eintrag in die Umwelt

Unabhängig von der Kunststoffart und der Art des Produkts ist eine Freisetzung in jeder Lebensphase und in jedes Kompartiment (Boden, Wasser, Luft) nicht nur möglich, sondern wahrscheinlich. In mehreren Studien wurden Abschätzungen zu Quellen und Mengen der freigesetzten Kunststoffe untersucht und übereinstimmend festgestellt, dass eine Quantifizierung auf den jüngsten Datengrundlagen kaum möglich ist (Bertling/Bertling/Hamann 2018: 79, 97; Jepsen et al. 2020: 10, 14, 29, 32; Conversio 2023: 59). Bei den Abschätzungsversuchen im Baubereich kommt erschwerend hinzu, dass Kunststoffe in geringen Mengen in Verbundwerkstoffen wie etwa Sicherheitsglas oder in Mischungen wie Dispersionswandfarben und anderen als kunststoffvergütet bezeichneten mineralischen Produkten vorkommen.

Eine Systematik für erste Schätzungen zum Verbleib von Abfällen und anderen Produkten aus Kunststoffen in verschiedenen Umweltmedien wurde in einer Studie des Umweltbundesamts erarbeitet (Jepsen et al. 2020). Die Kunststoffeinträge werden je nach Eintragungspfad unterschieden: Littering, also in der Natur oder im öffentlichen Raum weggeworfene oder liegen gelassene Kunststoffabfälle, einerseits und umweltoffene Kunststoffanwendungen – darunter fallen kunststoffhaltige und Kunststoffprodukte, die bewusst in der Umwelt eingesetzt werden – andererseits. Die mit großer Datenunsicherheit behaftete Abschätzung der Kunststoffeinträge ergab, dass Littering in einem Ausmaß von 650 bis 13 100 t/a in Deutschland anfällt. Der Anteil der umweltoffenen Kunststoffanwendungen ist mit 150 540 t/a bis 253 045 t/a deutlich umfangreicher. Ein Großteil davon wird dem Verkehr mit dem Reifenabrieb zugeschrieben, doch der Baubereich (8 875-60 425 t/a) gefolgt vom Landwirtschafts- und Gartenbaubereich (6 200–21 500 t/a) trägt ebenfalls zur unkontrollierten Anreicherung von Kunststoffen in der Umwelt bei (Jepsen et al. 2020: 25).

7.4.1 Herstellung

Der Grundstoff für Kunststoffe besteht derzeit (Stand: 2025) noch überwiegend aus Erdöl, bei dessen Förderung, Transport und Verarbeitung es durch Unfälle zu dessen Freisetzung mit weitreichenden Folgen für Wasser,

Erdreich sowie Flora und Fauna kommen kann. Aus den raffinierten Grundstoffen werden u. a. Kunststoffpellets, Granulate mit einem Teilchendurchmesser zwischen 0,5 und 5 mm hergestellt, die dann via Schiff, Zug, Lkw oder Pipeline zu den Herstellern transportiert werden. Kunststoffpellets dienen häufig als Ausgangsmaterial bei der Kunststoffverarbeitung. Kunststoffflakes, wie sie teilweise beim Recyclingprozess entstehen, zählen nicht zu den Pellets. Pelletverluste können bei der Erzeugung, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen sowie beim Transport entstehen. Conversio Market & Strategy (2022 b: 64) beziffern die Einträge von Kunststoffpellets in die Umwelt in Deutschland im Jahr 2020 insgesamt auf 624 t, wobei Binnen- und Seehäfen am stärksten zu direkten Einträgen von Kunststoffpellets in die aquatische Umwelt beitrugen (163 t). Ähnlich hohe direkte Einträge in die terrestrische Umwelt wurden für den Straßentransport (127 t) und die Kunststoffverarbeitung (128 t) ermittelt. Die direkten Einträge bei Kunststoff erzeugenden und verarbeitenden Unternehmen und Logistikzentren fallen dagegen geringer aus. Siloabfüllanlagen in geschützten Bereichen und geschlossene Silotanklastzüge, die überwiegend für den Transport eingesetzt werden, bieten wenig Ansatzpunkte für Verluste und die wenigen Abfüllanlagen in Deutschland verfügen über gute technische Rückhaltesysteme (Conversio Market & Strategy 2022 b: 70). Die Datenqualität für den Verbleib von freigesetzten Pellets ist überwiegend schlecht. Bei der Herstellung von Profilen und Hartschäumen entstehende Produktionsabfälle (Verschnitt) werden üblicherweise in der Produktion weiterverwendet.

Brancheninitiativen ergreifen Maßnahmen zur Reduktion von Pellets- bzw. Materialverlusten und zur Vermeidung von Mikroplastik entlang der Prozess- und Lieferkette:

Operation Clean Sweep® ist ein weltweites Programm der Kunststoffindustrie zum Schutz der Meere und gegen Meeresverschmutzung durch Kunststoffeinträge (<https://opcleansweep.org/>). Ziel ist es, zu verhindern, dass Kunststoffpellets, -flocken und -pulver, die die Produktionsstätten passieren, in Gewässer gelangen. Etwa 1 800 Unternehmen, darunter alle Mitglieder des europäischen Verbands der Kunststofferzeuger, Plastics Europe, haben sich der internationalen Initiative zufolge bereits der Kampagne angeschlossen und dazu verpflichtet, Best Practices anzuwenden und Systeme zur Reduktion der Pelletsverluste zu implementieren. Zu den Maßnahmen, die den Verlust von Kunststoffpellets reduzieren sollen, zählen

- Schulungen für Mitarbeiter:innen zur korrekten Handhabung und Entsorgung von Kunststoffen,
- Präventive Maßnahmen gegen Pelletverluste wie die Installation von Barrieren,
- Regelmäßige Inspektionen und Kontrollen von Produktionsstätten und Transportwegen und
- Verpflichtung zur kontinuierlichen Verbesserung und Transparenz im Umgang mit Kunststoffen. (Plastics Industry Association 2021)

Die Initiative „Null Granulatverlust“ des Industrieverbands Hartschaum (IVH) basiert auf der gleichlautenden Aktion der Industrievereinigung Kunststoffverpackungen (IK) und ist speziell angepasst auf Logistik- und Produktionsprozesse der EPS-Dämmstoffhersteller im Verband. Sie umfasst die regelmäßige Selbstüberwachung der Betriebsabläufe in den Produktionsbetrieben, um beispielsweise Optimierungsmöglichkeiten auf Basis spezieller Checklisten zu erkennen und umzusetzen. (IVH 2025 b)

7.4.2 Verarbeitung auf der Baustelle

Deilmann et al. (2017: 44) betrachten die mengenmäßig größten Einsatzbereiche im Jahr 2007, nämlich Profile (34 M.-%), Dämmungen (27 M.-%), Rohre (24 M.-%) und sonstige Anwendungsbereiche, worunter vor allem Dach- und Dichtungsbahnen, Fußbodenbeläge, Kabelummantelungen und Kleinteile wie Dübel, Putzschienen u. Ä. zusammengefasst sind. Bei der Verarbeitung dieser Produktgruppen kommt es auf der Baustelle zur Verbreitung von Kunststoffpartikeln:

- Profile werden auf der Baustelle vorwiegend als Betonierzubehör für die Ausbildung von An- und Abschlüssen in der Fassadengestaltung und als Kantenausbildung im Innenraumbereich eingesetzt. Dafür werden sie abgelängt, wodurch Verschnitt und Schneidstaub entstehen.
- Dämmungen werden in Plattenform oder als Schüttmaterial auf die Baustelle geliefert, wobei es im Außenbereich zu Freisetzungen und Windvertragungen kommen kann.
- Rohre werden auf der Baustelle abgelängt, wodurch Verschnitt und Schneidstaub entstehen.
- Bodenbeläge werden vor Ort in Abstimmung auf die Raumgrößen zugeschnitten. Abhängig von den Liefergrößen entstehen bei der Verlegung 3 bis 10 % Verschnitt.
- Dach- und Dichtungsbahnen werden in relativ großer Menge sowohl in der Perimeter- als auch in der Dachabdichtung eingesetzt. Der Verschnitt ist eher vernachlässigbar bzw. es ist von einer ordnungsgemäßen Entsorgung auszugehen.
- Aus Anstrichen können beispielsweise durch Overspray, unbeabsichtigtes Verschütten und beim Auswaschen von Werkzeugen Kunststoffpartikel in die Umwelt gelangen.
- Kunststoffverpackungsmaterial wird zum Schutz vor Feuchteinwirkung, aber auch als Gebinde für pastöse Produkte oder Flüssigkeiten in Form von Flaschen, Tuben, Kübeln, (Schrumpf-)Folien, Kanistern, Großgebinden, Kunststoffsäcken, Kartuschen u. a. eingesetzt.

Bei der Verarbeitung von Kunststoff- und kunststoffhaltigen Produkten können – abhängig von der Lieferform und Verarbeitungsart – folgende Freisetzungen stattfinden:

- Schneidspäne und Schleifstaub beim Anpassen von Profilen, Platten und Bahnenware (z. B. Rohre, Bau-/Dämmplatten, Bodenbeläge, Sockelleisten oder Dichtbahnen) sowie beim Renovieren und Zwischenschleifen von Beschichtungen und Spachtelungen,
- Verschnittreste durch Zuschnitt von Profilen, Platten und Bahnenware (z. B. Rohre, Bau- oder Dämmplatten, Bodenbeläge, Sockelleisten oder Dichtbahnen),
- Restverluste von flüssigen Produkten, die vor ihrer Aushärtung nicht aufgebraucht wurden (z. B. Klebstoffe, Dichtmassen, Beschichtungen),
- Schüttverluste beim Einbringen von Dämmmaterialien und beim Umkippen von Gebinden,
- Verpackungsabfälle in Abhängigkeit von der Produktgruppe in verschiedensten Formen und Ausmaßen.

Sofern auf die Kunststoffverarbeitung nicht verzichtet wird, sind konsequent Maßnahmen gegen eine Freisetzung von Kunststoffpartikeln anzuwenden. Bereits in der Planungs- und Ausschreibungsphase sollten Produkt- und Konstruktionsalternativen in Erwägung gezogen werden. Kunststoff- und kunststoffhaltige Produkte sollten vermieden werden, wann immer der Anwendungsbereich und die Konstruktionsweise dies erlauben. Eine besondere Bedeutung kommt auch der Verbindungsart von Bauteilen und Bauteilkomponenten zu: Durch den Einsatz kraftschlüssiger Verbindungen können kunststoffhaltige Montagehilfen wie Klebstoffe, Montageschäume und Dichtmassen entfallen. Diese Lösungen sind für gewöhnlich auch rückbaufreundlicher. Werden Produktformate, etwa Bahnenware oder plattenförmigen Baustoffe, bei der Raumplanung berücksichtigt, reduziert sich der Verschnitt. Auf Produkt- und Konstruktionsalternativen wird in den Kapiteln 8 Bauprodukte mit Kunststoffen und 9 Kunststoffeinsatz in Konstruktionen näher eingegangen.

Die Freisetzung von Kunststoffspänen oder -stäuben durch Schüttverluste kann mithilfe von Absaugen und sorgfältiges Kehren verhindert werden. Die bereits genannten Maßnahmenkataloge von Brancheninitiativen unterstützen Anwender:innen dabei und auch in den Verarbeitungsrichtlinien der Hersteller finden sich teilweise entsprechende Empfehlungen.

Es sollte keine Baustellenreinigung mit Wasser erfolgen, da diese Maßnahme die Freisetzung von Kunststoffpartikeln in Gewässer und deren Verschleppung in das Erdreich bedeutet.

Verschnitt kann häufig an den Hersteller retourniert werden. Rücknahmesysteme für sortenreine Baustellenabfälle haben sich vor allem für Hartschaumdämmstoffe, vereinzelt auch für Bodenbelägen etabliert. Sie sollten konsequent genutzt werden.

Wo immer möglich sollte auf Verpackung verzichtet werden. So sind beispielsweise Putze, Spachtelmassen und Wandfarben verarbeitungsfertig angemischt oder in Pulverform erhältlich. Verarbeitungsfertige, pastöse Produkte sind oft in Kunststoffgebinden eingefüllt. Pulverförmige Produkte werden hingegen in Big Bags, kunststoffbeschichteten Papiersäcken oder auch im Silo geliefert.

Generell sollte eine längere, ungeschützte Lagerung von Kunststoffprodukten oder in Kunststoff verpackter Ware im Außenbereich vermieden werden, da durch Einwirkung von UV-Strahlung mit einer Zersetzung des Materials zu rechnen ist. Dies gilt auch für Schutzfolien, Gerüstnetze usw.

7.4.3 Nutzungsphase

Beschädigungen bei Nutzung, Umbau, Renovierung können zur Freisetzung und Verbreitung mehr oder weniger großer Kunststoffteile führen. Das betrifft umweltoffen im Erdreich eingesetzte Kunststoffprodukte wie Abdichtungsfolien, Drainagen, Geotextilien oder Rohre, aber auch Materialien, die der Witterung ausgesetzt sind und durch Abrieb kleinste Partikel in Luft, Boden und Wasser freisetzen. Beispiele hierfür sind lackierte Oberflächen oder mineralisch basierte Beschichtungssysteme, die Kunststoffe in geringeren Mengen enthalten. Auf Stahl und anderen Metallen, Holz und mineralischen Untergründen werden Beschichtungen auf Kunststoffbasis eingesetzt. Bei Renovierungsarbeiten werden diese Oberflächen üblicherweise vor einem Neuanstrich abgeschliffen. Dadurch können Kunststoffe aus Altanstrichen in die Umwelt emittieren.

Kunststofffreisetzung in der Nutzungsphase kann nur durch Vermeidung solcher Produkte wirksam verhindert werden (siehe die Kapitel 8 Bauprodukte mit Kunststoffen und 9 Kunststoffeinsatz in Konstruktionen). Bei Renovierungsmaßnahmen kann es durch den Austausch oder die Überarbeitung von kunststoffhaltigen und Kunststoffprodukten zur Freisetzung kommen. Im Wesentlichen gelten hier die im vorangegangenen Abschnitt Verarbeitung auf der Baustelle genannten Vermeidungsmaßnahmen.

7.4.4 Rückbau, Wiederverwendung, Recycling

Beim Gebäuderückbau kommt es insbesondere bei unkontrollierten Abbruchmaßnahmen zur Verbreitung von Kunststoffen. Durch einen kontrollierten, sortenreinen Rückbau kann die Freisetzung von Kunststoffen und Partikeln reduziert werden. Rückbaukonzepte für Gebäude berücksichtigen vor allem große Massen, nicht jedoch „versteckte“ Kunststoffe in Produkten wie Putzen, mineralischen Kleb- und Spachtelmassen etc. oder in Bauteilen (z. B. Dübel, Abstandhalter, Folien). Laut österreichischer Deponieverordnung (DVO) werden Kunststoffe in Baurestmassen in geringen Mengen als Verunreinigung, beispielsweise durch Kleinteile wie Dübel, Putzleisten u. Ä., toleriert. Demnach dürfen Bauwerksbestandteile aus Metall, Kunststoff oder Holz und anderen organischen Materialien bis maximal 10 Vol.-% enthalten sein (Republik Österreich 2008). In Deutschland gelten laut Deponieverordnung (DepV) je nach Deponieklasse spezifische Grenzwerte für den organischen Anteil (BMUV 2009). Kunststoffe, die fest mit anderen Materialien verbunden sind, wie etwa Harzinjektionen oder Leichtzuschläge in Betonprodukten, in Klebstoffen und in Beschichtungsmaterialien werden langfristig durch Verwitterung freigesetzt. Größere Kompartimente von Fensterprofilen, Bodenbelägen, Dämmplatten u. a. können gesammelt und dem Recycling zugeführt werden. Reines Schüttmaterial kann bei entsprechender Sorgfalt und Technik nahezu verlustfrei abgesaugt werden.

Die Rückgewinnung von Kunststoffen für werkstoffliches oder rohstoffliches Recycling konzentriert sich derzeit (Stand: 2025) auf Verpackungsabfälle, vorwiegend aus dem Siedlungsabfall. Das Sammeln von Kunststoffen verursacht zunächst inhomogene Stoffflüsse, sowohl was die Größen der Einzelteile als auch die Arten von Kunststoffen anbelangt. Dabei kann es in den Abfallsammelzentren zu ungeplanten Freisetzungen durch Windverfrachtung, Brand oder Überschwemmung kommen. Die sortenreine Sammlung bzw. Trennung ist der entscheidende Faktor für einen sinnvollen Einsatz von Rezyklatkunststoffen. Doch angesichts der zunehmenden und sich ständig ändernden Vielfalt an Bau-, Werk- und Verbundstoffen ist zu vermuten, dass das Separieren der Kompartimente für den Recyclingprozess in Zukunft noch komplexer werden wird. Technisch anspruchsvolle Verfahren wie die Nahinfrarottechnik zur Detektion werden aus Kostengründen bislang vor allem im Kunststoff- und Papierrecycling eingesetzt. Bei der Verarbeitung von Kunststoffrezyklaten sind dieselben Prinzipien wie bei der Herstellung von Werkstoffen aus Primärmaterial zu beachten.

7.5 Einfluss auf die Umwelt

7.5.1 Makroplastik, Mikroplastik, Nanoplastik

Definition

Produkte können in allen Lebensphasen Kunststoffartikel in die Umwelt freisetzen. Dies betrifft sowohl Kunststoffprodukte als auch Kunststoffbestandteile von Produkten mit einer mineralischen oder nachwachsenden Rohstoffbasis, die direkte Freisetzung beispielsweise durch Produktreste oder Verschnitt bei der Herstellung oder Verarbeitung, ebenso wie Abrieb oder Zersetzung in der Nutzungs- und Rückbauphase. Kunststoffartikel können als größere, für das Auge gut sichtbare Teile, sogenanntes Makroplastik, emittieren. Aber auch kleinste Teilchen lösen sich durch Abrieb, stammen aus Zerfallsprodukten und sind als Staub kaum oder nur noch mikroskopisch erkennbar. Sie werden als „Mikro- bzw. Nanoplastik“ bezeichnet. Im Folgenden geht es um die unbeabsichtigte Freisetzung von Kunststoffpartikeln im Produktlebenszyklus, das sekundäre Mikroplastik. Primäres Mikroplastik, also Kunststoffartikel, die bewusst zugesetzt werden, um eine bestimmte Produkteigenschaft zu erzielen, werden nicht betrachtet.

Hartmann et al. (2019: 1039 f.) thematisieren den dringenden Bedarf einer möglichst einheitlichen Definition für die Forschung und die wirksame Bekämpfung der Freisetzung von Kunststoffpartikeln. Sie stellen in ihren Betrachtungen die in mehreren Forschungsarbeiten angesetzten Größenordnungen einander gegenüber und schlagen einen Definitions- und Kategorisierungsrahmen vor, der auch physikalische und chemische Eigenschaften (Polymerzusammensetzung, Festigkeitszustand, Löslichkeit) umfasst. In den Studien wurden überwiegend Partikel > 5 mm bzw. auch > 2,5 cm als Makroplastik eingestuft. Mikroplastikpartikel hatten demnach mehrheitlich eine Größe von ≤ 5 mm. Die Abgrenzung zu Nanopartikeln ist uneinheitlich und reicht von 0,001 mm bis zu 0,0001 mm oder ist nicht näher definiert. Hartmann et al. (2019: 1045) schlagen die folgenden Größenkategorien zur Klassifizierung von Kunststoffpartikeln vor:

- Nanokunststoffe 1 nm bis 1 µm,
- Mikroplastik 1 µm bis 1 mm,
- Mesokunststoffe 1 mm bis 1 cm,
- Makroplastik 1 cm bis 100 cm.

Bei Partikeln mit unterschiedlichen Dimensionen sollten die Abmessungen dokumentiert und die größte für die Festlegung der Kategorie herangezogen werden. Abweichend davon definiert die ECHA (2019 a) Mikroplastik als „ein Material, das aus festen polymerhaltigen Partikeln besteht, denen gegebenenfalls Zusatzstoffe oder andere

Substanzen zugesetzt wurden, und in dem ≥ 1 Gew.-% der Partikel (i) alle Abmessungen $1 \text{ nm} \leq x \leq 5 \text{ mm}$ oder (ii) bei Fasern eine Länge von $3 \text{ nm} \leq x \leq 15 \text{ mm}$ und ein Verhältnis von Länge zu Durchmesser von > 3 aufweisen. Polymere, die in der Natur vorkommen und nicht chemisch modifiziert wurden (außer durch Hydrolyse), sind ausgeschlossen, ebenso wie Polymere, die (biologisch) abbaubar sind“ (Übersetzung der Autor:innen).

Eintragsquellen und -mengen von Mikroplastik

Chen et al. (2020: 4) untersuchten Daten zur Verteilung von Verschmutzung durch Mikroplastik in globalen Süßwasservorkommen und zeigten, dass die Mikroplastikbelastung in Asien am höchsten ist, dann folgen Europa und Südamerika. Sie stellten außerdem fest, dass regionale Unterschiede in der Verteilung bestehen, die von der Bevölkerungsdichte, dem Bruttoinlandsprodukt (BIP), den Entwässerungs- und Abwasseraufbereitungssystemen u. a. abhängig sind und wiesen einen proportionalen Bezug des BIP und der Bevölkerungszahl zur Mikroplastikkonzentration nach.

Der Übersichts- und Analyseartikel „Microplastics in construction and built environment“ von Prasittisopin/Ferdous/Kamchoom (2023) fasst das Wissen aus 211 verwandten Publikationen, die in den Jahren von 2014 bis 2022 veröffentlicht wurden, zusammen. Aufgrund des jährlichen Kunststoffoutputs dürfte auch der Bausektor wesentlich zur Verbreitung von Mikroplastik beitragen: Allein im Jahr 2022 entfielen auf den die Baubranche 23 % der in Europa 2022 insgesamt hergestellten 54 Mio. t Kunststoffprodukte und -werkstoffe. Weltweit waren es 18 % bei insgesamt 390 Mio. t verarbeiteter Kunststoffe (Plastics Europe 2024 b). Noch gibt es keine genaueren Studien über die Auswirkungen der Branche auf die Mikroplastikeinträge in die Umwelt. Näher betrachtet wurden in jüngerer Zeit Mikroplastik in Farben (Gaylarde/Neto/Monteiro da Fonseca 2021), Luftverschmutzung mit Mikroplastik durch Zerfall von Baumaterialien (Yu et al. 2022; Kaweck/Nowack 2020) oder auch die Mikroplastikemissionen in die Innenraumluft (Noorimotlagh/Hopke/Abbas 2024).

Das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT untersuchte 2018 die Entstehung und den Verbleib von Mikroplastik in der Umwelt in Deutschland (Bertling/Bertling/Hamann 2018). Einer im Rahmen dieser Studie durchgeführten Umfrage zufolge wird die Bedrohung der Biosphäre durch Mikroplastik inzwischen als gleichwertig mit jener durch den Klimawandel betrachtet, sowohl bei Laien als auch bei Experten (Bertling/Bertling/Hamann 2018: 40). Die Studie schlüsselt auch die Emittenten von Kunststoffen nach den unterschiedlichen Bereichen auf (siehe Abbildung 10). Demnach sind Bautätigkeiten der sechstgrößte Emittent: Pro Einwohner:in und Jahr entstehen in Deutschland 90,0 g Kunststoffemissionen, davon durch die Verarbeitung von Kunststoffprodukten auf der Baustelle 25,4 g und durch Abrieb- und Schnittverluste von Dämmungen 1,7 g. Mit der Abfallbehandlung von Kunststoffen im Bau zusammenhängende Emissionen in die Umwelt entstehen bei Abbrucharbeiten, bei der Zerkleinerung von Bauschutt, bei der Metallzerkleinerung, beim Kunststoffrecycling und bei der Deponierung von Kunststoffen (Bertling/Bertling/Hamann 2018).

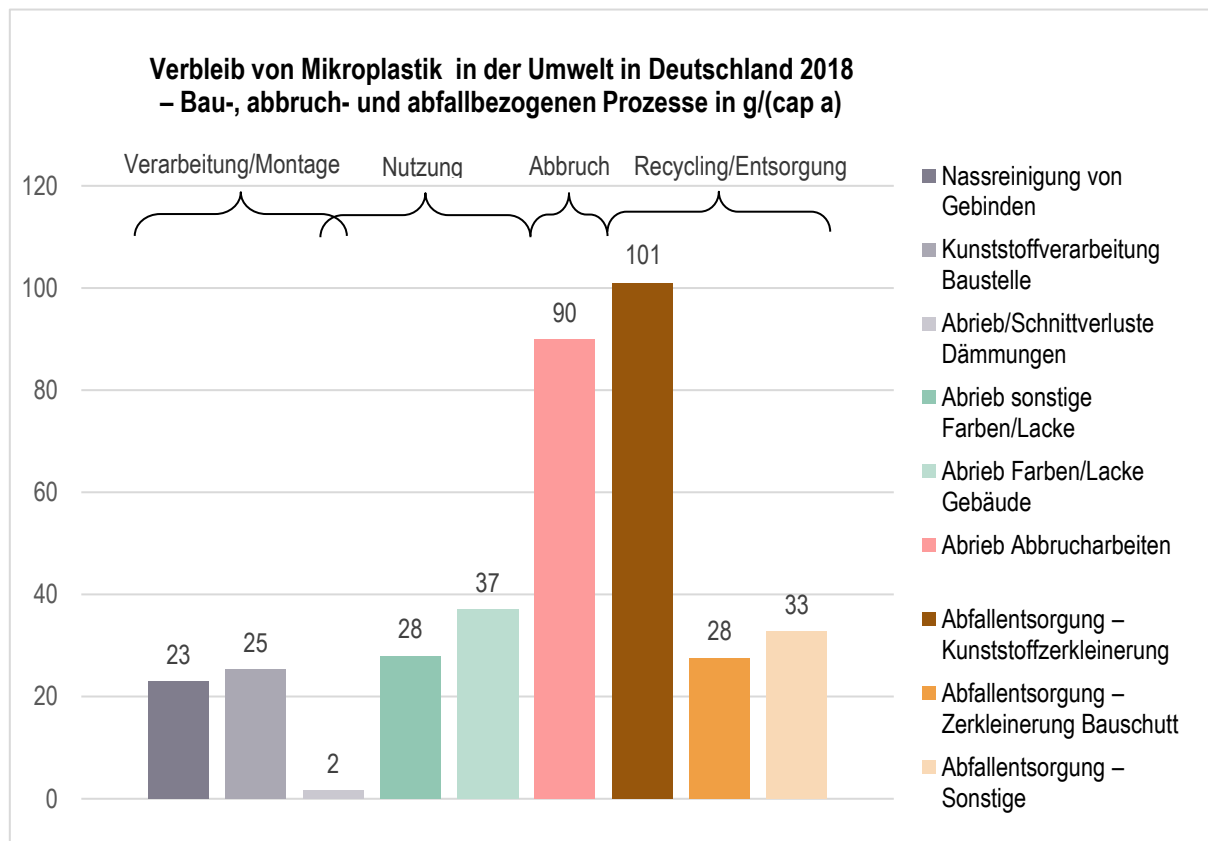


Abbildung 10: Verbleib von Mikroplastik in der Umwelt in Deutschland 2018. Bau-, abbruch- und abfallbezogene Prozesse in g/(cap a) nach Bertling/Bertling/Hamann (2018: 10 f.)

Mikroplastikeinträge durch die Verarbeitung und Nutzung von Bauprodukten

Kawecki/Nowack (2020: 6) befassten sich mit den Makro- und Mikroplastikemissionen in Boden, Wasser und Luft. Die Anteile im Boden gingen überwiegend auf die Industrie und die Landwirtschaft zurück. Einen deutlichen Anteil hatte aber auch der Bausektor mit Emissionen von Polyvinylchlorid (PVC), Hart-Polyethylen (HDPE), Polypropylen (PP) und Weich-Polyethylen (LDPE) aus Neubauten. Mikroplastikemissionen von EPS in die Luft wurden fast ausschließlich dem Neubau zugeschrieben.

Kunststofffasern, vor allem aus Polyvinylacetat (PVA), Polyolefinen und Polyacrylnitril, werden in zementhaltigen Produkten und solchen aus Beton sowie in faserverstärkten Betonen, Putzen und Estrichen verwendet, um Produkteigenschaften zu optimieren und so die Lebensdauer zu verlängern. Obwohl nur geringe Mengen an Fasern erforderlich sind, um die gewünschte Eigenschaft der Produkte zu erhalten, stellen diese eine Quelle für den Eintrag von Mikroplastik in die Umwelt dar. Es besteht das Risiko, dass aus den Produkten durch Bewitterung, Abnutzung oder Rückbau Mikroplastik aus der Matrix gelöst wird und in die Umwelt emittiert (Prasittisopin/Ferdous/Kamchoom 2023: 7).

Inwieweit Produktinnovationen wie Beton mit Recyclingkunststoffen als Bindemittelergänzung ebenso dazu beitragen könnten, ist bisher nicht erforscht (Schaefer et al. 2018).

EPS wird als (wärmedämmender) Leichtzuschlag beispielsweise in Dämmputzen und Ausgleichsschüttungen eingesetzt. Häufig handelt es sich dabei um Recycling-EPS. Damit verbundene Mikroplastikemissionen sind zwar noch nicht umfassend untersucht. Aber bei Putzmörtel, die 2023 im Rahmen einer Studie zur Analyse der

technischen Eigenschaften mit Recycling-EPS gefertigt wurden, konnten erhöhte Mikroplastikemissionen festgestellt werden (Zaragoza-Benzal et al. 2022; zitiert in Prasittisopin/Ferdous/Kamchoom 2023: 7).

Mit Mikroplastik sind häufig auch andere kritische Stoffe verbunden (siehe Kapitel 7.5.1 Makroplastik, Mikroplastik, Nanoplastik, Auswirkungen von Mikroplastik und anhaftenden Stoffen auf die Gesundheit), was im Fall von EPS-Abfällen zu einer unerwünschten Verbreitung des Flammenschutzmittels Hexabromcyclododecan (HBCD) führen kann (Jang et al. 2017; zitiert in Prasittisopin/Ferdous/Kamchoom 2023: 7). Jepsen et al. (2020: 85) schätzten die in Deutschland in der Umwelt verbleibenden Kunststoffmengen ab und hielten fest, dass Rohre mit Abstand die relevanteste Produktgruppe sind, gefolgt von Geotextilien und Bautenfarben.

Conversio Market & Strategy (2023) berücksichtigten erstmals Lacke und Farben in ihrem Bericht. Sie entwickelten ein bestehendes Modell zur Datenerhebung weiter, das die Eintragspfade landbasierter Kunststoffabfälle erfasst. Demnach gelangen 7 210 t/a Mikro- und Makroplastik sowie sonstige Mikropolymere von Deutschland aus in die Nord- und Ostsee sowie ins Schwarze Meer. 55 t Mikroplastik werden dezidiert den Baustellen zugeordnet. Sonstige Mikropolymere in einer Menge von insgesamt 5 186 t werden vom Reifenabrieb dominiert (4 966 t), doch die nächstgrößere Menge stammt mit 139 t aus Farben und Lacken (Conversio Market & Strategy 2023: 66).

Für die EU schätzen Hann et al. (2018: 28) eine jährliche Freisetzung von Mikroplastik durch Bautenfarben von 21 000 bis 34 900 t/a. Paruta/Pucino/Boucher (2021: 11) gehen von weltweit 5,2 bis 9,8 Mio. t/a Kunststofffreisetzung durch Anstriche aus und weisen darauf hin, dass die Freisetzung von Mikroplastik durch Anstriche in die Meere und Flüsse mit 1,9 Mio. t/a diejenige von Reifenabrieb, Textilien und anderen bekannten Quellen zusammen (weniger als 1,5 Mio. t/a) übersteigt. Der weitaus größte Anteil dieser Freisetzung resultiert mit 48 % aus den Bautenfarben (Paruta/Pucino/Boucher 2021: 20). Darüber hinaus wird Anstrichen bewusst Mikroplastik zugesetzt, um einen bestimmten Oberflächeneffekt (z. B. mattes Finish, Glitzereffekt) zu erzielen, das Erscheinungsbild zu verbessern, die Dichte zu verringern, das Auftragen zu erleichtern oder die Farbe härter und kratzfester zu machen.

Auch Stoffe und Textilien wie Teppiche, Möbel, Sonnenschutztextilien, Gerüstnetze etc. sind eine wesentliche Quelle von Mikroplastikemissionen im Baubereich (Prasittisopin/Ferdous/Kamchoom 2023: 5 f.). Noorimotlagh/Hopke/Abbas (2024: 9) führten eine Literaturstudie zu Mikroplastikemissionen in der Außen- und Innenluft durch. Sie stellten fest, dass PET, PP, PE und Polyester (PES) die am häufigsten nachgewiesenen Polymere in der Innen- und Außenluft sind, wobei in der Außenumwelt PES dominieren, die z. B. aus Teppichen, Möbeln, Einrichtungsgegenständen und Kleidung stammen, und in der Innenraumluft PET verstärkt nachweisbar ist, das z. B. aus Stoffen, synthetischen Fasern, Textilien und Verpackungen emittiert.

Mikroplastikeinträge durch Kunststoffrecycling

Mikroplastik ist im Abwasser von Kunststoff-Recyclinganlagen nachweisbar, wobei die Mengen signifikant geringer sind, wenn Filtermechanismen vorgeschaltet sind (Brown et al. 2023: 8). Stapleton et al. (2023) untersuchten die Entstehungswege und Einflussfaktoren beim Kunststoffrecycling im Detail und stellten fest, dass Kunststoffart, Aufbereitungsart und Umweltbedingungen ausschlaggebend für die entstehende Menge an Mikroplastik sind. Demnach fällt Mikroplastik in Recyclinganlagen hauptsächlich bei der Aufbereitung und (mechanischen) Zerkleinerung von Kunststoffen an. Die Mengen stehen in direktem Zusammenhang mit der Materialart und dessen Härte. Im Größenbereich von 0,212 bis 0,5 mm zeigte sich, dass die Oberfläche von Partikeln aus Polycarbonat (PC) durch den Zerkleinerungsprozess deutlich stärker angegriffen war als bei HDPE und daher im Durchschnitt 3,3-mal mehr Mikroplastik erzeugte als HDPE. Bei spröden, harten Materialien entsteht also mehr Mikroplastik als bei verformbaren Kunststoffen (Stapleton et al. 2023: 5 f.).

Als weiterer Einflussfaktor wurde das Verhalten der Kunststoffe unter Umwelteinwirkungen, vor allem UV-Einstrahlung und Temperaturschwankungen, analysiert. Kunststoffe zeigten nach sechsmonatiger Exposition einen deutlichen Anstieg in der Bildung von Mikroplastik (185,05 % bei PC und 121,74 % bei HDPE). Für das Kunststoffrecycling sind diese Werte insofern relevant, da Kunststoffabfälle vor dem Aufbereitungsprozess häufig über einen längeren Zeitraum offen im Außenbereich zwischenlagert werden (Stapleton et al. 2023: 5).

Auch durch die Betriebsabläufe werden also beim Kunststoffrecycling unbeabsichtigt größere Mengen an Mikroplastik freigesetzt. Einige Eintragsquellen wie Lagerung und Abwasser können durch Maßnahmen wie geschützte, abgeschlossene Lagerung oder Filtermechanismen eliminiert oder zumindest stark unterbunden werden. In anderen Bereichen wie der Zerkleinerungsphase sind weitere Forschungen notwendig, um Techniken zu entwickeln, welche die Entstehung von Mikroplastik reduzieren (Stapleton et al. 2023: 8).

Mikroplastikeinträge durch Rückbaumaßnahmen und Abfallbeseitigung

Für Deutschland schätzen Bertling/Bertling/Hamann (2018: 10 f.) die durch Abbruchmaßnahmen freigesetzte Menge an Mikroplastik auf 90 g/(cap a), also knapp 4 % bei einer berechneten Gesamtmenge von 2 880 g/(cap a). Die Mikroplastikemissionen lassen sich durch einen sorgfältigen, möglichst zerstörungsfreien und sortenreinen Rückbau vermutlich stark eingrenzen.

Yang et al. (2021) stellten fest, dass durch die Verbrennung von Kunststoffabfällen diese nicht vollständig und dauerhaft beseitigt werden können, sondern als Mikroplastik in den Verbrennungsrückständen (Schlacke) nachweisbar sind. In den Rückständen aus 15 verschiedenen Anlagen konnten 9 Kunststoffarten, am häufigsten PP und PS, identifiziert werden. Die freigesetzte Menge pro Tonne verbranntem Abfall wurde auf 360 bis 102 000 Mikroplastikpartikel geschätzt. Forscher:innen beobachteten zudem, dass die Häufigkeit von Mikroplastik mit der Art der Abfalltrennung – hier erwies sich eine Vorsortierung als vorteilhaft – der Art der Verbrennungstechnologie und dem BIP pro Kopf zusammenhängt. Verbrennungsrückstände stellen also eine potenzielle Quelle für Mikroplastikemissionen dar.

Auswirkungen von Mikroplastik und anhaftenden Stoffen auf die Gesundheit

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) befasste sich mit den Risiken für die menschliche Gesundheit, die von einer Exposition gegenüber Nano- und Mikroplastikpartikeln (NMP) und den adsorbierten Schadstoffen ausgehen. Boobis et al. (2022) werteten dafür bis Dezember 2021 veröffentlichte Studien aus, die Daten zur Verbreitung von NMP in Luft, Wasser und Lebensmitteln enthalten, und kamen u. a. zu folgenden Ergebnissen:

- Die Exposition des Menschen gegenüber NMP ist allgegenwärtig und erfolgt auf allen Wegen.
- Eigenschaften und Zusammensetzung von NMP ändern sich im Laufe ihres Lebenszyklus in der Umwelt.
- Schädliche Wirkungen werden bei hohen Konzentrationen ausgelöst. Die Polymerzusammensetzung, Additive, Partikelgröße und -form sowie die Oberflächenchemie sind wichtige Einflussfaktoren, jedoch lässt sich nicht eindeutig belegen, welche Merkmale für die Wirksamkeit ausschlaggebend sind.
- Die Exposition durch die Luft bewirkt u. a. bei Menschen oxidativen Stress, Entzündungen, Zell- und DNA-Schäden, wobei Vorerkrankungen wie Asthma und andere chronische Lungenerkrankung die Wirkung verschlimmern können.
- Physiologische Barrieren und Ausscheidungsprozesse minimieren die Gewebeexposition gegenüber Mikroplastik und begrenzen potenzielle toxische Wirkungen. Hierbei ist die Partikelgröße entscheidend, denn je kleiner die Partikel sind, desto wahrscheinlicher ist eine Aufnahme in den menschlichen Körper (Boobis et al. 2022: 95 ff.).

Für ein vollständiges Bild der Auswirkungen von Mikroplastik besteht nach Einschätzung der WHO jedoch noch großer Forschungsbedarf. So fehlen bisher beispielsweise Standardmethoden für die Probenahme, Analyse und Referenzstandards ebenso wie Expositionsszenarien und hochwertige Experimente zur Beurteilung der Toxikologie. Daten zur Absorption, Verteilung und Ausscheidung von inhalierten und aufgenommenen NMP sowie zu deren Quellen und Verbreitungswegen liegen nur begrenzt vor. Auswirkungen von Polymerzusammensetzung, Partikelgröße und -form sowie anderen Faktoren, die für eine umweltrelevante Exposition gegenüber NMP repräsentativ sind, wurden bislang ebenfalls nicht ausreichend erforscht (Boobis et al. 2022: 100).

Insgesamt betrachtet reicht also die Datengrundlage für die Charakterisierung und Quantifizierung der Exposition gegenüber NMP sowie deren Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit bei Weitem noch nicht aus, um eine Risikoabschätzung vornehmen zu können.

Zhu et al. (2023) fassten jüngste Untersuchungen zu Expositionswegen und Wechselwirkungen mit biologischen Barrieren und die damit verbundenen gesundheitsschädlichen Wirkungen in einer Übersicht zusammen. Mikroplastik kann über die Atemwege und den Magen-Darm-Trakt aufgenommen werden und sich aufgrund seiner geringen Größe von dort aus weiter im Körper verteilen. Zhu et al. (2023: 4 ff.) verbinden mit dem Überwinden der biologischen Barrieren im Körper folgende mögliche Wirkungen:

- Darmbarriere: Darmentzündung, Störungen der Darmflora (Dysbiose),
- Blut-Hirn-Schranke: transgenerationale Toxizität, Schädigungen des Nervensystems (Neurotoxizität),
- Blut-Luft-Schranke: transgenerationale Toxizität, Beeinträchtigung der fötalen Entwicklung,
- Blut-Hoden-Schranke: Hodenentzündung, gestörte Spermienbildung,
- Plazentaschranke: Asthma, Atembeschwerden (Dyspnoe), chronische obstruktive Atemwegserkrankung (COPD).

In Anbetracht der Tatsache, dass eine Anhäufung von NMP in Geweben und Organen eine lebenslange Exposition bedeutet, sind ihre potenziellen negativen Auswirkungen auf die Gesundheit ein ernstes Problem. Am Beispiel von 2 jüngeren Studien soll dargestellt werden, welche Wirkungen von Mikroplastik nach Überwindung der Barrieren (möglicherweise) ausgehen:

Die Blut-Hirn-Schranke ist eine wichtige biologische Barriere zum Schutz des Gehirns vor schädlichen Substanzen. Kopatz et al. (2023: 8) konnten durch Versuche an Mäusen zeigen, dass oral verabreichte Polystyrol-Nanopartikel diese Schranke innerhalb von nur 2 Stunden nach der Verabreichung erreichen. Diese Fähigkeit wird durch die Oberflächenschicht aus Proteinen und anderen Molekülen, die biomolekulare Corona, beeinflusst. „Im Gehirn könnten Plastikpartikel das Risiko von Entzündungen, neurologischen Störungen oder sogar neurodegenerativen Erkrankungen wie Alzheimer oder Parkinson erhöhen.“ (Medizinische Universität Wien 2023)

Über den Magen-Darm-Trakt wird ein Großteil des Mikroplastiks aufgenommen. Brynzak-Schreiber et al. (2024: 11) konnten nachweisen, dass Polystyrol-Mikropartikel (0,25 und 1 µm) in Zellorganellen (Lysosomen) menschlicher Magen-Darm-Krebszellen vorkommen und sich dort anreichern. Die Forscher:innen beobachteten, dass die Partikel während der Zellteilung zwischen den Zellen übertragen wurden und Partikel, die kleiner als 1 µm sind, die Zellmigration fördern, was möglicherweise die Entstehung von Metastasen begünstigt. Die Studie „weist auf die Persistenz und Bioakkumulation von MNPs hin, sobald sie sich in Kolorektalkrebszelllinien angesammelt haben, was zwei der drei Merkmale in der Toxikologie und der REACH-Verordnung für potenziell schädliche Chemikalien erfüllt“ (Medizinische Universität 2024).

Zusammen mit den Kunststoffpartikeln gelangen auch die enthaltenen Schadstoffe in die Umwelt. Darüber hinaus besteht die Gefahr, dass Mikroplastik als Träger für weitere Stoffe fungiert, die bereits in der Umwelt vorhanden sind. Bradney et al. (2019: 4 f.) fassen zahlreiche Studienergebnisse zusammen und kommen zu dem Schluss, dass aufgrund ihrer großen Oberfläche, ihrer Hydrophobie und ihrer Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Abbau Mikroplastikpartikeln in der Lage sind, Schwermetalle und zahlreiche hydrophobe organische Verbindungen zu adsorbieren. Die Partikeln und die daran anhaftenden Verbindungen gelangen über terrestrische und aquatische Organismen letztendlich in die Nahrungskette des Menschen. Sowohl in seinem Körper als auch in den Ökosystemen ist mit schädlichen Auswirkungen zu rechnen, selbst wenn diese bisher noch nicht ausreichend erforscht sind.

7.5.2 Umwelt- und Gesundheitswirkungen von Ausgangsstoffen der Kunststoffproduktion

Bei der Herstellung von Kunststoffen kommt eine Vielzahl von Ausgangsstoffen zur Anwendung, die potenzielle Risiken für die Umwelt und die Gesundheit bergen. Die wichtigsten Stoffe im Bauwesen sind in Tabelle 4 zusammen mit ihrem jeweiligen Einsatzgebiet und den Einstufungen gemäß CLP-Verordnung (Europäische Union 2008) dargestellt. Im Umgang mit diesen Ausgangsstoffen gelten abhängig von der jeweiligen Einstufung stoffspezifische Arbeitsschutzmaßnahmen (Arbeitsplatzkennzeichnungen und -grenzwerte, persönliche Schutzausrüstung) und Maßnahmen, z. B. bei unbeabsichtigter Freisetzung, im Brand- oder Störfall, um die Risiken für die Gesundheit von Arbeitnehmer:innen und für die Umweltrisiken zu minimieren. In den am Bau verwendeten Kunststoffprodukten liegen diese monomere Ausgangsstoffe üblicherweise nicht mehr vor, Emissionen von Restmonomeren sind jedoch möglich (siehe die Kapitel 3.2 Kunststoffarten und 8 Bauprodukte mit Kunststoffen).

Stoffbezeichnung	Einsatzgebiete	Einstufung
Acrylnitril	ABS	Giftig bei Verschlucken, bei Hautkontakt oder bei Einatmen (H301, H311, H331) Verursacht Hautreizungen (H315) Kann allergische Hautreaktionen verursachen (H317) Verursacht schwere Augenschäden (H318) Kann die Atemwege reizen (H335) Kann Krebs erzeugen (H350) Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen (H361fd). Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung (H411)
Benzol	PS	Kann bei Verschlucken und Eindringen in die Atemwege tödlich sein (H304) Kann Krebs erzeugen (H350) Kann genetische Defekte verursachen (H340) Schädigt die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition (H372)
1,3-Butadien	ABS, SBR, SBS	Kann genetische Defekte verursachen (H340) Kann Krebs erzeugen (H350)
n-Butylacrylat/2-Ethylhexylacrylat	Arcylharz	Kann die Atemwege reizen (H335) Kann allergische Hautreaktionen verursachen (H317)
Chlor	PVC	Verursacht Hautreizungen (H315) Verursacht schwere Augenreizungen (H319) Giftig bei Einatmen (H331)

		Kann die Atemwege reizen (H335)
		Sehr giftig für Wasserorganismen (H400)
Ethylenglycol	PET	Gesundheitsschädlich bei Verschlucken (H302)
		Kann die Organe schädigen bei längerer oder wiederholter Exposition (H373)
Ethylenoxid	PET	Verursacht Hautreizungen (H315)
		Verursacht schwere Augenreizungen (H319)
		Giftig bei Einatmen (H331)
		Kann die Atemwege reizen (H335)
		Kann genetische Defekte verursachen (H340)
		Kann Krebs erzeugen (H350)
Formaldehyd	PF	Giftig bei Verschlucken, bei Hautkontakt oder bei Einatmen (H301, H311, H331)
		Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden (H314)
		Kann vermutlich genetische Defekte verursachen (H341)
		Kann allergische Hautreaktionen verursachen (H317)
		Kann die Atemwege reizen (H335)
		Kann Krebs erzeugen (H350)
		Schädigt die Organe (H370)
Methyldiphenyldiisocyanat: MDI	PUR	Verursacht Hautreizungen (H315)
		Verursacht schwere Augenreizungen (H319)
		Kann allergische Hautreaktionen verursachen (H317)
		Gesundheitsschädlich bei Einatmen (H332)
		Kann bei Einatmen Allergie, asthmaartige Symptome oder Atembeschwerden verursachen (H334)
		Kann die Atemwege reizen (H335)
		Kann vermutlich Krebs erzeugen (H351)
		Kann die Organe schädigen bei längerer oder wiederholter Exposition (H373)
Toluoldiisocyanat: TDI	PUR	Verursacht Hautreizungen (H315)
		Verursacht schwere Augenreizungen (H319)
		Kann allergische Hautreaktionen verursachen (H317)
		Kann bei Einatmen Allergie, asthmaartige Symptome oder Atembeschwerden verursachen (H334)
		Kann die Atemwege reizen (H335)
		Kann vermutlich Krebs erzeugen (H351)
		Lebensgefahr bei Einatmen (H330)
		Schädlich für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung (H412)
Phenol	PF	Giftig bei Verschlucken, bei Hautkontakt oder bei Einatmen (H301, H311, H331)
		Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden (H314)
		Kann vermutlich genetische Defekte verursachen (H341)
		Kann die Organe schädigen bei längerer oder wiederholter Exposition (H373)
		Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung (H411)
Phosgen	PUR	Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden (H314)

Styrol	ABS, PS, SBR, SBS	Lebensgefahr bei Einatmen (H330)
		Gesundheitsschädlich bei Einatmen (H332)
2-Butanonoxim	PMMA	Schädigt die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition (H372)
		Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen (H361d)
Vinylchlorid	PVC	Kann Krebs erzeugen (H350)
		Giftig bei Verschlucken (H301)
		Kann Krebs erzeugen (H350)

Tabelle 4: Ausgewählte Grundstoffe, ihre Anwendungsbereiche und von ihnen ausgehende Gesundheits- und Umweltgefahren gemäß CLP-Verordnung (Europäische Union 2008)

7.5.3 Schadstoffe in Kunststoffprodukten für das Bauwesen

Kunststoffen wurden und werden je nach Produktgruppe und gewünschter Funktion Additive zur Farb- und Formgebung, zur Funktionserhaltung und zur besseren Verarbeitbarkeit zugefügt. Diese sind u. a.

- Weichmacher: Phthalsäureverbindungen, Chlorparaffine (CPs), halogenierte Phosphorsäureester;
- Flammschutzmittel: Hexabromcyclododecan (HBCD), polymeres Flammschutzmittel (pFR), CPs, polybromierte Diphenylether (PBDE) und weitere bromierte oder halogenierte Verbindungen;
- Stabilisatoren/Emulgatoren und Sikkative (Trocknungsmittel): Schwermetalle wie Arsen, Cadmium, Blei, zinnorganische Verbindungen, Tenside wie Alkylphenoethoxylaten (APEO)/Nonylphenoethoxylate (NPEO), perfluorierte Verbindungen;
- Farbstoffe und Pigmente: Azofarbstoffe, Schwermetalle wie Arsen, Blei, Cadmium, Chrom und Quecksilber;
- Cyclische Siloxane (D4, D5 und D6) vor allem in Farben, Beschichtungen, Dicht- und Klebstoffen.

Für einige der genannten Verbindungen gelten bereits nationale, europa- oder weltweite Verbote (z. B. HBCD, perfluorierte Tenside wie Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) und Perfluorooctansäure (PFOA), einzelne Farbstoffe, Cadmium in PVC, kurzkettige Chlorparaffine). Oder ihr Einsatz ist auf bestimmte Anwendungen oder mengenmäßig stark eingeschränkt, weil mit den Stoffen Umwelt- und Gesundheitsgefahren verbunden sind. Beispiele dafür sind die Phthalate Diethylhexylphthalat (DEHP), Dibutylphthalat (DBP), Benzylbutylphthalat (BBP) und Diisobutylphthalat (DIBP), mittelkettige Chlorparaffine und polybromierte Diphenylether (PBDE). Über das Kunststoffrecycling können diese Stoffe jedoch in neu produzierter Ware eingeschleppt werden. Zur Förderung der Kreislaufführung und der Reduktion des Ressourcenverbrauchs sind solche Verunreinigungen für einige Produktgruppen unter kontrollierten Bedingungen, d. h. in bestimmten Maximalkonzentrationen und begrenzt auf einen Übergangszeitraum zulässig. So darf Hart-PVC mit Rezyklatanteilen für Fenster und andere Anwendungen im Bau bis zu 0,1 Gew.-% Cadmium enthalten (Bendix et al. 2021: 75 f.).

Unter den besonders besorgniserregenden Stoffen (SVHC, engl. Substances of Very High Concern) sind chemische Verbindungen zusammengefasst, die laut europäischem Chemikalienrecht (Europäische Union 2006) schwerwiegende und oft irreversible Auswirkungen auf den Menschen und die Umwelt haben können. Sie sind gemäß REACH-Verordnung als kanzerogen, mutagen, reproduktionstoxisch oder persistent bioakkumulativ und toxisch klassifiziert oder weisen mehrere dieser Merkmale oder andere kritische Wirkungen auf (z. B. neurotoxisch, hormonaktiv). Ihre Verwendung ist daher unerwünscht und sie sollen langfristig gänzlich aus dem Umlauf in Europa verschwinden. SVHC, die im Anhang XIV der REACH-Verordnung gelistet sind, unterliegen bereits einer Zulassungspflicht. Die Liste der für eine Zulassung infrage kommenden Stoffe („Kandidatenliste“) enthält alle SVHC, für die die Zulassungspflicht und eine damit verbundene Übernahme in Anhang XIV noch

geprüft werden muss. Parallel dazu sind in der POP-Verordnung persistente organische Verbindungen (engl. Persistent, Organic, Pollutant) geregelt (Europäische Union 2019). Im folgenden Abschnitt werden die wichtigsten in Kunststoffen eingesetzten Stoffgruppen mit Wirkungen und geltenden Einsatzbeschränkungen oder -verboten beschrieben und in Tabelle 5 werden die verschiedenen Stoffgruppen genannt und ihre gesetzlichen Anforderungen und Anforderungen in ausgewählten öffentlichen Beschaffungssystemen und Umweltzeichen zusammengefasst.

Weichmacher

Phthalate (Phthalsäureester)

Phthalate (Synonym: Phthalsäureester) kommen als Weichmacher in PVC-Kunststoffen sowie als Zusatzstoffe in Farben, Klebstoffen und Dichtstoffen vor. Phthalate sind nicht stabil in die Kunststoffmatrix eingebunden und können aus dem Produkt entweichen. Besonders kritisch sind die niedermolekularen Phthalate DEHP, Dibutylphthalat (DBP), Benzylbutylphthalat (BBP) und DIBP, die inzwischen als Kanzerogene der Kategorie 1B, als reproduktionstoxisch sowie als endokrine Disruptoren (Krenauer 2023: 41) eingestuft sind und zu den SVHC zählen. DBP, BBP und DIBP sind außerdem gewässergefährdend und ihre Konzentration ist seit 2020 gemäß Anhang XVII der REACH-Verordnung in den meisten Produkten auf max. 0,1 Gew.-% in Summe beschränkt (Europäische Union 2006). Höhermolekulare Phthalate wie Diisononylphthalat (DINP), Diisodecylphthalat (DIDP) und Di-n-octylphthalat (DNOP), die als Alternative zu den kurzkettigen Phthalaten eingesetzt werden (UBA 2007: 4; PVCH o. J.), sind ebenfalls von Beschränkungen betroffen. Für sie gilt ein Einsatzverbot für Spielzeug- und Babyartikel.

Chlorparaffine (CPs)

CPs werden nach ihrer Kettenlänge in kurzkettige (SCCP, C10–13), mittelkettige (MCCPs, C14–17) und langkettige Chlorparaffine (LCCPs, CPs C >17) eingeteilt. Sie dienen in Kunststoffen als Weichmacher oder Flammschutzmittel. Kurzkettige CPs sind als persistent, bioakkumulierbar, toxisch (PBT) und als gewässergefährdend eingestuft und als SVHC gelistet. Sie unterliegen daher seit 2017 auch dem Stockholmer Übereinkommen über persistente organische Schadstoffe (POP-Konvention). CPs zählen außerdem zu den möglicherweise krebserzeugenden Verbindungen. Ihr Einsatz ist in Stoffen und Gemischen auf 1 Gew.-% und in Erzeugnissen auf 0,15 Gew.-% beschränkt (Europäische Union 2019). Mittelkettige CPs sind ebenfalls gewässergefährdend und unter REACH als PBT und SVHC gelistet.

Flammschutzmittel

Halogenierte (bromierte oder chlorierte) und Organophosphor-Flammschutzmittel zählen zu den besonders kritischen Zusatzstoffen, die in (Alt-)Kunststoffen vorkommen. Bromierte Flammschutzmittel wie die polybromierten Diphenylether Decabromdiphenylether (DecaBDE), Tetrabrombisphenol A (TBBPA) und Hexabromcyclododecan (HBCD) sind in der Umwelt nur schwer abbaubar und reichern sich in Lebewesen an. Im Brandfall bilden sich Rauchgase, die hochgiftige bromierte Dioxine und Furane enthalten können. Decabromdiphenylether ist als SVHC und persistent, bioakkumulierbar und toxisch (PBT) bzw. sehr persistent und sehr bioakkumulierend (vPvB, engl. very Persistent, very Bioaccumulative) eingestuft und fällt unter das Stockholmer Übereinkommen. Seit 2018 ist die Herstellung und Verwendung von DecaBDE bis auf einige spezifische Anwendungen verboten (Europäische Union 2019). Tetrabrombisphenol A steht im Verdacht, Krebs zu verursachen und ist als toxisch für Gewässerorganismen eingestuft. Eine Klassifizierung als PBT und endokrin wirksame Substanz wird derzeit noch überprüft (Stand: 2025).

Hexabromcyclododecan (HBCD) wurde über Jahrzehnte als Flammschutzmittel in EPS- und XPS-Dämmstoffen eingesetzt. HBCD wurde 2008 als persistent, bioakkumulierend, toxisch eingestuft und in die Liste der besonders besorgniserregenden Stoffe (SVHC) aufgenommen (ECHA o. J. d). 2013 setzte die Stockholmer Kommission HBCD auf die Liste der persistenten organischen Schadstoffe (Persistent Organic Pollutants, POP), was für den Einsatz als Flammschutzmittel ein weltweites Herstellungs- und Anwendungsverbot bedeutete. Auf EU-Ebene wurden unter REACH für die Anwendung in EPS-Dämmplatten eine herstellerbezogene Ausnahmeregelung bis August 2017 erteilt. Die Ausnahme für das Inverkehrbringen und Verwenden von Dämmstoffen aus EPS mit HBCD endete im Februar 2018 (UBA 2021).

Polymeres Flammschutzmittel (pFR, engl. poly Flame Retardant) ersetzt in Polystyrolämmstoffen das Flammschutzmittel HBCD. Die pFR-Ketten sind stärker untereinander und mit dem Polystyrol verbunden, weshalb sie nicht mehr so leicht aus der Polystyrolmatrix austreten können (EPA 2014). Poly Flame Retardant ist ebenfalls eine halogenorganische Verbindung, allerdings wird für pFR keine Gefahreinstufung nach REACH benötigt, da es als Polymer unter die Ausnahmeregelung für Polymere fällt und somit nicht zu den zulassungspflichtigen Stoffen in Europa gehört.

Auch chlorierte Verbindungen, genauer kurz- und mittelkettige Chlorparaffine, werden als Flammschutzmittel in Kunststoffen eingesetzt (siehe Abschnitt Chlorparaffine (CPs) in diesem Kapitel).

Halogenierte Phosphorsäureester werden als Flammschutzmittel und Weichmacher in Kunststoffprodukten wie Dämmstoffen oder Montageschäumen verwendet. In PU-Schäumen wird hauptsächlich Tris(2-chlorisopropyl)phosphat (TCPP) eingesetzt.

Halogenierte Biphenyle, Terphenyle, Naphthaline und Diphenylmethane sind als umweltgefährdende Substanzen in Österreich (Republik Österreich 1993) und in der Schweiz (Schweizerische Eidgenossenschaft 2005) verboten.

Bisphenol und Alkylphenole

Bisphenol A wird zur Herstellung von Kunststoffen, u. a. auf Basis von Polyestern, Polycarbonaten und Epoxidharzen, verwendet. Bisphenol A zählt zu den SVHC und ist als möglicherweise reproduktionstoxisch und gewässerschädigend eingestuft (Europäische Union 2008). Alkylphenoethoxylate (APEO) gehören zu den nicht ionischen Tensiden, die beispielsweise als Zusatzstoffe für Farben, Lacke, Metallbehandlungen, Betone eingesetzt werden. Besonders relevant sind Nonylphenoethoxylate (NPEOs), die in der Umwelt zu Nonylphenolverbindungen abgebaut werden. Diese besitzen eine hohe aquatische Toxizität und eine hohe Bioakkumulationsfähigkeit (Linden/Witten 2024: 31+103).

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS)

PFAS sind sehr stabile Bindungen für einen breiten Anwendungsbereich. Wegen ihrer schmutz-, fett- und wasserabweisenden Eigenschaften werden sie insbesondere auch in der Textilindustrie, z. B. in textilen Bodenbelägen, Sonnenschutztextilien und Beschichtungen (OECD 2023), eingesetzt. PFAS sind toxisch, stehen im Verdacht, Krebs zu verursachen, und reichern sich im menschlichen Körper an. Sie werden nur langsam abgebaut und verbleiben sehr lange in der Umwelt. Die PFAS Perfluorooctansulfonsäure (PFOS), Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) sind als persistente organische Schadstoffe im Stockholmer Übereinkommen gelistet. Das heißt, sie unterliegen in der EU der POP-Verordnung, weshalb ihre Anwendung stark eingeschränkt ist. Einige EU-Staaten haben ein Vorschlag zur Beschränkung aller PFAS bei der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) eingereicht, der u. a. mit der „irreversiblen Umweltexposition und

Akkumulation“ von PFAS begründet wurde; das Bewertungsverfahren ist derzeit noch nicht abgeschlossen (ECHA o. J. b).

Siloxane D4, D5, D6

Die cyclischen Siloxane D4 (Octamethylcyclotetrasiloxan), D5 (Decamethylcyclopentasiloxan) und D6 (Dodecamethylcyclohexasiloxan) kommen im Baubereich vor allem in Farben, Beschichtungen, Dicht- und Klebstoffen vor. Sie können über weite Strecken transportiert werden und sich in der Umwelt und in aquatischen Lebewesen anreichern. Außerdem sind sie sehr persistent, sehr bioakkumulierbar und toxisch (PBT/vPvB) und daher seit 2018 als SVHC eingestuft. Für Siloxan D4 besteht der Verdacht auf eine reproduktionstoxische Wirkung. Zahlreiche Messungen belegen die Emission von Siloxanen in der Innenraumlufth (Kopp/Fromme 2010: 28 ff.), weshalb in Deutschland und Österreich Innenraumluftrichtwerte festgelegt wurden (IRK 2011).

Farbstoffe/Pigmente

Azofarbstoffe sind die wichtigsten Mittel zum Färben von Textilien, Bodenbelägen und Kunststoffen. Einige dieser Farbstoffe können krebserzeugende Amine abspalten, die über die menschliche Haut aufgenommen werden. Ihr Einsatz ist daher in Textil- und Ledererzeugnissen, die längere Zeit mit der Haut in Kontakt kommen können, verboten (Linden/Witten 2024: 129). Zwar besteht für den Einsatz in Bauprodukten keine Einschränkung gemäß REACH-Verordnung, allerdings kann aufgrund des Anwendungsbereichs und ähnlicher Kontaktsituationen der Einsatz von Azofarbstoffen in Oberflächenprodukten wie Farben und Bodenbelägen durchaus kritisch gesehen werden. Umweltzeichen schließen sie als Einsatzstoff meist aus. Auch andere Farbstoffe, wie z. B. Bleichromatmolybdatsulfatrot (C. I. Pigment Red 104) oder Bleisulfochromatgelb (C. I. Pigment Yellow 34) sind mit Risiken behaftet und zählen zu den SVHC, (Polcher et al. 2020: 40). Kunststoffabfälle können ebenfalls mit bereits verbotenen Farbstoffen oder mit Cadmium verunreinigt sein. Cadmium ist üblicherweise gut in die Kunststoffmatrix eingebunden und wird nur durch eine starke Beanspruchung des Produkts als Abrieb oder bei der Abfallverbrennung freigesetzt (Linden/Witten 2024: 129 f.).

Metalle

Schwermetallverbindungen können in Farben und Beschichtungen insbesondere als Pigmente oder als Sikkative (Trocknungsstoffe), in Kunststoffen wie PVC als Stabilisatoren eingesetzt werden. Es gibt Schwermetalle, die bereits in geringer Konzentration toxisch sind (z. B. Arsen, Blei, Cadmium, Chrom und Quecksilber). Diese Schwermetalle sind nicht abbaubar und können sich in der Nahrungskette anreichern. Der Einsatz von Cadmium-Verbindungen in Kunststoffen wurde 2011 durch REACH-Verordnung, Anhang XVII, Eintrag 23 (Europäische Union 2006), stark eingeschränkt. Für Bleiverbindungen gelten die Anforderungen gemäß REACH-Verordnung, Anhang XVII, Eintrag 63 (Europäische Union 2006). In beiden Fällen gelten Sonderregelungen für Erzeugnisse mit Recyclinganteilen (siehe Kapitel 4.2.2 Verwertungsverfahren für im Bauwesen verbreitete Kunststoffe, Abschnitt Polyvinylchlorid). Zinnorganische Verbindungen werden u. a. als Stabilisator in PVC eingesetzt, können aber auch als Konservierungsmittel in Farben und Dichtungsmassen oder in Polyurethanschäumen als Katalysator enthalten sein. Eine hohe Giftigkeit, insbesondere für Wasserorganismen, weisen zinnorganische Verbindungen wie Dibutylzinn (DBT) und Tributylzinn (TBT) auf. Einige zinnorganische Verbindungen sind als PBT (persistente, bioakkumulierende, toxische) klassifiziert. Der Einsatz von zinnorganischen Verbindungen wird gemäß Anhang XVII der REACH-Verordnung stark eingeschränkt.

Stoffgruppe/Stoffbezeichnung	Gesetzliche Anforderung	Öffentliche Beschaffung	Umweltzeichen
Phthalate/Phthalsäureester <u>Einsatzgebiete:</u> Weichmacher in PVC-Kunststoffen, Zusatzstoffe in Farben, Klebstoffen und Dichtstoffen <u>Wichtigste Vertreter:</u> Diethylhexylphthalat (DEHP), Dibutylphthalat (DBP), Benzylbutylphthalat (BBP), Diisobutylphthalat (DIBP), Diisononylphthalat (DINP), Diisodecylphthalat (DIDP), Di-n-octylphthalat (DNOP)	REACH/CLP <u>DEHP, DBP, BBP und DIBP</u> beschränkt auf max. 0,1 Gew.-% in Summe <u>DINP, DIDP und DNOP:</u> Einsatzverbot für Spielzeug- und Babyartikel	BNB <u>1.1.6–1.5.2. Ausschluss von Phthalaten:</u> Einsatzverbot. Nachweis durch Prüfgutachten. Verunreinigungen bis max. 0,1 Gew.-% zulässig ÖkoBauKriterien <u>2.2.6. Verbot von Phthalaten:</u> Phthalsäureester (Phthalate) als Bestandteil ausgeschlossen. Nachweis durch Herstellerbestätigung für alle Phthalsäureesterrohstoffe	Blauer Engel <u>DE-ZU 120 Elastische Bodenbeläge, 3.1.4. Weichmacher:</u> Einsatzverbot. Nachweis durch Prüfgutachten, Verunreinigungen bis max. 0,1 Gew.-% zulässig
Flammschutzmittel <u>Wichtigste Vertreter:</u> Hexabromcyclododecan (HBCD) Halogenierte Verbindungen (z. B. Phosphorsäureester) kurz- und mittelkettige Chlorparaffine	REACH/CLP/POP/nationale Regeln <u>HBCD:</u> Weltweites Handels- und Verwendungsverbot seit 2013, in der EU mit Übergangsregelung für Dämmstoffe bis 2018. Eingestuft als SVHC, PBT und POP <u>Kurzkettige Chlorparaffine:</u> Herstellung, Verwendung und Inverkehrbringen in der EU seit 2002/2012 verboten. Eingestuft als SVHC, PBT und vPvB <u>Halogenierte Verbindungen:</u> Stoffspezifische Einstufungen. Zum Teil langfristige schädliche Wirkungen auf Mensch und Umwelt (z. B. KMR, persistent, giftig für Wasserorganismen usw.). Nationale Verbote (z. B. halogenierte Biphenyle in Österreich und Schweiz) oder Verzichtsempfehlung	BNB <u>1.1.6.–1.4.3. Ausschluss von Hexabromcyclododecan (HBCD):</u> Verbot für HBCD in EPS-/XPS-Dämmstoffen. Verunreinigungen bis max. 0,1 Gew.-% zulässig ÖkoBauKriterien <u>2.2.14. Vermeidung der Verbreitung von HBCD:</u> Ausschluss von HBCD-haltigem EPS als Zumischung zu Produkten <u>2.7.1. Verbot von kritischen Flammschutzmitteln:</u> Verwendungsverbot für Produkte mit HBCD, kurzkettigen Chlorparaffinen und halogenierten/bromierten Flammschutzmitteln	Blauer Engel <u>DE-ZU 120 Elastische Bodenbeläge, 3.3.1. Halogene:</u> Einsatzverbot. Nachweis durch Prüfgutachten, Verunreinigungen bis max. 1 g/kg zulässig <u>3.3.2. Flammschutzmittel:</u> Nur anorganische Ammoniumphosphate, wasserabspaltende Minerale und Blähgrafit zulässig
Schwermetallverbindungen <u>Einsatzgebiete:</u> Pigmente oder Sikkative (Trocknungsstoffe) in Farben und Beschichtungen	REACH/CLP/nationale Regelungen Cadmium ist als Einsatzstoff in PVC in der EU verboten.	BNB <u>2.1. Ausschluss von Cadmium- und Bleistabilisatoren in PVC-Produkten</u> <u>2.3 Ausschluss von Blei-, Cadmium- und Chrom-VI-Verbindungen:</u>	natureplus <u>RL5001 Chemikalienrichtlinie, Ausgabe 22-05</u> Verbot von Arsen-, Blei-, Cadmium-, Quecksilber- und zinnorganischen

<i>Stabilisatoren in Kunststoffen wie PVC</i> <u>Wichtigste Vertreter:</u> Blei, Cadmium, Chrom, Zinn, Antimon, Arsen, Barium, Kobalt, Kupfer, Nickel, Molybdän, Quecksilber, Silber, Thallium, Vanadium, Uran, Zink	Zinnorganische Verbindungen oder Bleipigmente sind als besonders besorgniserregender Stoff (SVHC, engl. Substance of Very High Concern) eingestuft.	Stoffspezifische Grenzwerte für Verunreinigungen von 100–200 ppm (Produktgruppe Beschichtungen) ÖkoBauKriterien <u>2.3.3. Grenzwerte für Schwermetalle:</u> Verbot von Arsen-, Blei-, Cadmium-, Chrom (VI)- oder Quecksilberverbindungen. Stoffspezifische Grenzwerte für Verunreinigungen von 0,0002–0,005 Gew.-% (Produktgruppe Beschichtungen)	Verbindungen. Grenzwerte für Verunreinigungen Blauer Engel <u>DE-ZU 120 Elastische Bodenbeläge,</u> <u>3.1.3. Rezyklatmaterialien:</u> Eingesetzte Rezyklate dürfen in Summe max. 100 g Blei, Cadmium, Quecksilber und Chrom pro kg Rezyklat enthalten.
--	--	---	--

Tabelle 5: Stoffgruppen, ihre gesetzlichen Anforderungen und Anforderungen in ausgewählten öffentlichen Beschaffungssystemen und Umweltzeichen

7.6 Brandverhalten

Fast alle Kunststoffe sind brennbar. Ihr Brandverhalten hängt wie bei anderen organischen Stoffen von Eigenschaften wie der Form, der Oberfläche und der Zusammensetzung oder den Zusatzstoffen ab.

Je nach Kunststoffart kann das Brandverhalten erhebliche Folgen für den Brandverlauf haben. Thermoplastische Kunststoffe schmelzen durch die entstehende Verbrennungswärme, tropfen dann brennend ab und fördern so die Brandverbreitung. Die im Bauwesen häufig eingesetzten Thermoplaste Polypropylen (PP), Polyethylen (PE) und Polystyrol (PS) weisen eine niedrige Entflammbarkeit bei gleichzeitig hoher Verbrennungswärme auf, was zu einem gegenüber anderen Stoffen wesentlich rascheren und intensiveren Brandverlauf führen kann. Polystyrol verbrennt außerdem unter starker Rußentwicklung, welche die Brandbekämpfung erschwert. Hart-PVC hingegen ist zwar aufgrund des hohen Chlorgehalts schwer entflammbar, im Brandfall entsteht allerdings wegen des hohen Chlorgehalts auch Chlorwasserstoff (je nach Zusammensetzung bis zu 550 Gramm pro Kilogramm PVC). Dieses kann erhebliche Brandfolgeschäden verursachen (GDV o. J.).

Für die Anwendung im Baubereich werden vielen Kunststoffen Flammschutzmittel zugegeben, um die Entflammbarkeit und die Abbrandgeschwindigkeit zu verringern. Diese Mittel können Kunststoffe aber nicht unbrennbar machen. Viele von ihnen enthalten Halogene (Brom und/oder Chlor), die beim Brand freigesetzt werden können (siehe Kapitel 7.5.3 Schadstoffe in Kunststoffprodukten für das Bauwesen).

Kunststoffe, die mit Flammschutzmitteln ausgerüstet sind, können beim Altern ihre Brandschutzeigenschaften verlieren (GDV o. J.).

8 BAUPRODUKTE MIT KUNSTSTOFFEN

8.1 Einleitung

Neben reinen Kunststoffprodukten wie synthetischen Dämmstoffen, elastischen Bodenbelägen, Rohren, Dichtungsbahnen, Dampfbremsen usw. sind Kunststoffe auch in anderen Bauprodukten als funktionsgebende Komponenten oder Zusatzmittel enthalten. Diese „versteckten“ Kunststoffe funktionieren als Bindemittel in Farben, Putzen oder Holzwerkstoffen, als verarbeitungs- oder nutzungsoptimierende Zusatzmittel in Betonen, Estrichen, Bauplatten, Farben, Putzen oder (werkseitigen) Oberflächenbeschichtungen von Bodenbelägen, Fenstern und Türen oder als Bindemittel oder Stützfasern in Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen. Die Art und Menge der eingesetzten Kunststoffe variiert je nach Produktgruppe und Funktion. Das Spektrum ist breit: Betone und Estriche enthalten 1 M.-% und weniger. Die Verleimung von Massivholzprodukten liegt typischerweise bei ca. 3 M.-% und Bindemittel in Holzwerkstoffen machen etwa 4 bis 11 M.-% aus. In biogenen Dämmstoffen sind Stützfasern bis zu 15 M.-% enthalten. Der Kunststoffgehalt von Dispersionsfarben und Spachtelmassen kann bis zu 30 M.-% betragen. Hingegen ist der Kunststoffanteil in anderen mineralischen Bauprodukten wie Putzen, Mörtel, Dämmstoffen, Bauplatten oder Mauersteinen, in denen sie beispielsweise zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit, zur Reduktion von Rissbildung oder als Hydrophobierungsmittel eingesetzt werden, sehr gering. Die exakten Mengenangaben von Kunststoffanteilen fehlen für gewöhnlich unter Berufung auf das Betriebsgeheimnis (siehe Anhang 1: Interviews und Herstellerumfrage).

In diesem Kapitel werden Kunststoffprodukte aus den Produktgruppen Dämmstoffe, Dichtungsbahnen, Dampfsperren und Folien, Fensterkomponenten und Bodenbelägen hinsichtlich ihrer Einsatzstoffe, Herstellungsverfahren, möglichen Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit sowie Rückbau- und Recyclingeigenschaften beschrieben. Ergänzend dazu wird auf Oberflächenprodukte mit Kunststoffanteilen, d. h. Putze, Farben und Lacke, eingegangen. Für detailliertere Produktdarstellungen wird auf das Baustoffinformationssystem WECOBIS verwiesen. Dort stehen Informationen zum Produkt über den gesamten Lebenszyklus, Planungs- und Ausschreibungshilfen insbesondere zu den BNB- und QNG-Anforderungen, aber auch für die Produktgruppe relevante Deklarations- und Bewertungssysteme (z. B. Umweltlabel, Umweltproduktdeklaration, BNB-Kriterien).

8.2 Dämmstoffe

Im folgenden Abschnitt werden zunächst Dämmstoffe aus Kunststoffen näher beschrieben. Für einen umfassenderen Überblick werden Informationen zu Alternativprodukten aus Kunststoff und um Angaben zu Dämmstoffen auf Basis mineralischer und nachwachsender Rohstoffe ergänzt. Die Informationen stammen aus der Publikation „Ökologisches Baustoff-Lexikon“ (Linden/Witten 2024) und WECOBIS (o. J. g), wo detaillierte Informationen zu den einzelnen Dämmstoffen abrufbar sind.

8.2.1 Dämmstoffe aus Kunststoff

Expandiertes Polystyrol (EPS)

Herstellungsverfahren und Anwendungsbereiche

Bei der Herstellung von EPS-Dämmplatten werden mit Treibmittel (Pentan oder CO₂) und Flammschutzmittel (pFR) in Mengen von 1 bis 5 M.-% ausgerüstete Polystyrolkugeln bei etwa 100 °C und unter Einwirkung von

Wasserdampf auf ein Vielfaches ihres Volumens aufgeschäumt. Das Treibmittel verdampft dabei teilweise. Es entsteht expandiertes Polystyrol (EPS), das in einer Presskammer unter Dampf- und Druckeinwirkung zu Formteilen oder Blöcken ausgedehnt wird. Die Blöcke werden anschließend zu Platten aufgeschnitten. Als Produktvariante wird EPS mit einem Wärmestrahlungsabsorber angeboten, das über besonders gute Dämmeigenschaften verfügt. Die Wirkung wird durch Zugabe von 3,5 bis 10 M.-% Grafit erzielt, wodurch sich das Produkt grau einfärbt und deshalb als „Graues EPS“ bezeichnet wird.

EPS wird als Granulat für lose und gebundene Schüttungen oder in Form von Platten und Dämmkeilen angeboten. Es wird vorwiegend als Teil von Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) an Fassaden eingesetzt. Im Sockelbereich und zur Perimeterdämmung kommen hydrophobierte EPS-Dämmplatten (EPS-P, auch „Automatenplatten“ genannt) zum Einsatz. Für die Dachdämmung oder als Trittschalldämmung können EPS-Platten ebenfalls verwendet werden.

Für die Anwendung in WDVS stehen Systeme auf Basis nachwachsender oder mineralischer Rohstoffe zur Verfügung, z. B. mit Holzfaserdämmplatten oder Mineralschaumplatten. Auch für den Sockel- und Perimeterbereich sowie für gebundene Schüttungen gibt es mineralische Alternativen, z. B. aus Schaumglas.

Umwelt- und Gesundheitsgefahren im Lebenszyklus und ökologische Maßnahmen

Die Gewinnung, der Transport und die Verarbeitung des Ausgangsstoffs Erdöl und seiner Raffinerieprodukte sind mit Risiken für die Umwelt verbunden. In dem komplexen, mehrstufigen Herstellungsprozess entsteht eine Reihe gesundheitsgefährdender Zwischen- und Nebenprodukte, die eine hohe humantoxikologische Relevanz haben können, darunter Benzol und Styrol (siehe Kapitel 7.5.2 Umwelt- und Gesundheitswirkungen von Ausgangsstoffen der Kunststoffproduktion).

In geringem Maße kann Styrol aus frisch hergestellten EPS-Dämmungen entweichen, ebenso Pentan. Durch eine mehrwöchige Lagerung vor dem Einbau sollten diese Emissionen weiter reduziert werden.

Um Umwelteinträge bei der Verarbeitung zu unterbinden, sollen EPS-Platten mit einem Heißdraht-Schneidegerät zugeschnitten werden. Dadurch kann in geringem Maße Styrol emittieren. Für den Zuschnitt dünner Platten kann ein Cutter geeignet sein. Sofern freigesetzte Partikel beim Zuschnitt gleichzeitig abgesaugt werden, können auch feinzahnige Sägen verwendet werden. Grobzahnige Sägen, welche die Struktur aufbrechen, sind hingegen ungeeignet, da sie zur Freisetzung kleinerer und größerer EPS-Partikel führen.

In Wärmedämmverbundsystemen aus EPS werden neben den Dämmplatten Systemergänzungsprodukte wie Armierungsmörtel, Unter- und Deckputze sowie Farben verarbeitet. Dafür werden je nach Systemaufbau Produkte mit mehr oder weniger Kunststoffgehalte verarbeitet, z. B. Silikonharzprodukte (siehe Kapitel 8.5 Putze). Für gut wärmedämmende Fassaden werden häufig Dünnputzsysteme mit biozidhaltigen Produkten eingesetzt, die einen mikrobiellen Bewuchs der Fassade, der eine übermäßige, anhaltende Oberflächenfeuchte (Tauwasser/Kondensat und Schlagregen) begünstigt, reduzieren oder verzögern sollen. Da sich die Biozide dazu (bestimmungsgemäß) aus der Produktmatrix lösen, ist ihre Wirksamkeit auf der Fassade zeitlich begrenzt. Durch bauliche Maßnahmen wie große Dachüberstände und diffusionsoffene, hydrophile Beschichtungssysteme mit Dickputzen und Fassadenfarben auf Silikatbasis kann die Oberflächenfeuchte verringert und auf biozid ausgerüstete Beschichtungsprodukte verzichtet werden.

Besonderheiten bei Rückbau, Re-Use und Recycling

Verschnitt von der Baustelle und Verpackungsabfälle, also sauberes, sortenrein gesammeltes Polystyrol, wird vorzugsweise zu Rezyklat verarbeitet und als Dämmschüttung oder als Zuschlagstoff in Estrichen, Mörtel,

Ziegeln und Beton verwendet. Letzteres stellt jedoch ein Downcycling dar. Die Verwendung als Granulat zur Bodenauflockerung ist angesichts der Mikroplastikproblematik nicht mehr zeitgemäß. Die Wiederverwendung von Wärmedämmverbundsystemen mit EPS ist wegen des Verbunds mit den verschiedensten Materialien kaum möglich. Stripverfahren für eine sortenreine Trennung werden bereits vereinzelt angeboten.

Besondere Aufmerksamkeit gilt dem Abbruchmaterial, da die EPS- und XPS-Abfälle das über Jahrzehnte eingesetzte Flammenschutzmittel Hexabromcyclododecan (HBCD) enthalten können (siehe Abschnitt Flammenschutzmittel in Kapitel 7.5.3 Schadstoffe in Kunststoffprodukten für das Bauwesen). HBCD-haltige Abfälle unterliegen in Deutschland der seit 01.08.2017 gültigen POP-Abfall-Überwachungs-Verordnung. Sie greift für HBCD-haltige Abfälle, sofern der HBCD-Gehalt 1.000 mg/kg oder mehr beträgt. Die POP-haltigen Abfälle sind dadurch nachweispflichtig, d. h. ihr Verbleib ist bis zur endgültigen Entsorgung zu überwachen und zu dokumentieren. Ziel ist es, persistente und organische Schadstoffe durch Verwertung oder Beseitigung zu zerstören oder unumkehrbar umzuwandeln (BMUV 2017).

Rohstoffliches und werkstoffliches Recycling von EPS-Dämmstoffplatten ist derzeit (Stand: 2025) und auch in den nächsten Jahren wegen mangelhafter Wirtschaftlichkeit der Reinigung verschmutzter EPS-Abfälle angesichts der relativ hohen spezifischen Transportkosten vermutlich nicht im großen Maßstab möglich. Polystyrol kann in Abfallbehandlungsanlagen verbrannt werden.

Baustellenverschnitt kann über Rücknahmesysteme der Branchenhersteller dem Recycling zugeführt werden (siehe Kapitel 4.3 Rücknahme, Rückbau und Verwertungsmöglichkeiten).

Extrudiertes Polystyrol (XPS)

Herstellungsverfahren und Anwendungsbereiche

Extrudiertes Polystyrol wird hergestellt, indem Polystyrolgranulat in einer Strangpresse, dem sogenannten Extruder, unter Druckeinwirkung geschmolzen und mit Treibmittel, Flammenschutzmittel (pFR) Pigmenten und weiteren Additiven (Lichtstabilisatoren, Keimbildner, Antioxidationsmittel) zu einem Endlosstrang verpresst und anschließend auf Plattengröße zugeschnitten wird. Als Treibmittel wird vor allem CO₂ und Mischungen mit 2 bis 3 M.-% Ethanol eingesetzt. Die Verwendung von treibhauswirksamen Verbindungen (z. B. HFKW R-152a und HFO-1234ZE) beschränkt sich auf Spezialprodukte mit einer besonders hohen Dämmleistung. Erste Wahl sollten CO₂-geschäumte XPS-Platten sein.

XPS wird für Anwendungen im Nassbereich und bei hoher Druckbeanspruchung eingesetzt, z. B. zur Dämmung von Umkehrdächern, Gründächern, Terrassen, Kelleraußenwänden und Böden. Für die meisten Anwendungen können Schaumglasprodukte anstelle von XPS eingesetzt werden.

Umwelt- und Gesundheitsgefahren im Lebenszyklus und ökologische Maßnahmen

Für XPS gelten die Hinweise zur Rohstoffgewinnung, Kunststoffproduktion und Produktverarbeitung von EPS sinngemäß.

Besonderheiten bei Rückbau, Re-Use und Recycling

Baustellenverschnitte nehmen einzelne Hersteller zurück. Grundsätzlich können XPS-Dämmungen bei zerstörungsfreiem Ausbau wiederverwendet werden. Jedoch werden die Platten oft verklebt.

Besondere Aufmerksamkeit gilt auch bei XPS-Abbruchmaterial: Für XPS-Dämmplatten wurden bis ca. 1990 Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) als Treibmittel verwendet. Diese wurden zunächst durch teilhalogenierte

Fluorchlorkohlenwasserstoffe (HFKW) und ab 2000 durch teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW) ersetzt. Um die von diesen Verbindungen ausgehenden Treibhausgasemissionen einzudämmen, wurde deren Verwendung bereits 2015 durch die sogenannte F-Gas-Verordnung stark eingeschränkt (Europäische Union 2024 b). Extrudiertes Polystyrol (XPS), das HFKW mit einem Treibhauspotenzial (GWP) von 150 oder mehr enthält, ist – außer, wenn dies zur Einhaltung nationaler Sicherheitsnormen erforderlich ist – dementsprechend seit 2020 nicht mehr zugelassen. Produkte, die Treibmittel mit einem niedrigeren Treibhauspotenzial enthalten, werden noch angeboten. FKW-haltige XPS-Abfälle sind sortenrein und möglichst zerstörungsfrei auszubauen und entsprechend den Vorgaben der F-Gas-Verordnung zu entsorgen.

Die Ausführungen zu HBCD-haltigen EPS-Dämmplatten gelten auch für XPS-Dämmplatten.

FKW- und HBCD-freie Dämmplatten könnten granuliert als Schüttung oder Zuschlagstoff für Mörtel verwendet werden. Letzteres ist aufgrund der Vermischung von Kunststoffen mit mineralischen Einsatzstoffen und fehlender Recyclinglösungen jedoch nicht zu empfehlen. Verbrennung stellt nach wie vor die häufigste Entsorgungsform dar.

Polyurethan-Hartschaum (PUR)

Herstellungsverfahren und Anwendungsbereiche

Ausgangsprodukte für die Herstellung von Polyurethan-Hartschaum (PUR) sind Polyisocyanate, häufig Methylendiphenylisocyanat (MDI) und mehrwertige Alkohole, genauer Polyole, die auch aus nachwachsenden Rohstoffen stammen können. In Kombination mit einem Treibmittel (ca. 5 M.-%), verschiedenen Katalysatoren und anderen Additiven können sie aufgeschäumt werden. Als Treibmittel dienen Kohlenwasserstoffe (z. B. Pentan), Kohlendioxid (CO₂) oder fluoridierte Treibmittel (z. B. HFKW). Der früher übliche Einsatz von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) ist in Deutschland verboten. Phosphorsäureester werden als Flammschutzmittel zugegeben, wobei überwiegend das halogenierte TCPP (Tris(2-Chlorisopropyl)phosphat) und seltener TEP (Triethylphosphat) als halogenfreie Alternative eingesetzt werden. Die Mengen variieren je nach Anforderung und liegen bei 1 bis 5 M.-%. Weitere Zusatzstoffe sind beispielsweise Organozinnverbindungen, tertiäre Amine (als Katalysatoren), Tenside (als Emulgatoren), Füllstoffe, Alterungsschutzmittel, Pigmente, antistatische Mittel, Biozide und Trennmittel.

Die Mischung wird auf einer Förderanlage zwischen zwei Bändern aufgetragen und schäumt dort durch die Reaktionswärme auf. Nach dem Aushärten wird das Material auf die gewünschte Größe zugeschnitten. Alternativ können PUR-Platten auch in Blockformen gefertigt werden. Für besondere Anwendungszwecke werden Deckschichten wie Glasvliese, Aluminiumfolien, Gips- oder Spanplatten u. a. auf die Platten aufgebracht.

Eine Weiterentwicklung sind Dämmplatten aus Polyisocyanurat, die einen höheren Anteil an MDI haben, schwer brennbar sind und weniger Flammschutzmittel enthalten.

Einsatzgebiete für PUR-Dämmplatten sind vor allem Aufdach-, Steildach-, Flachdach- oder Fußbodendämmung, Kelleraußenwände und Geschossdecken. Für Kessel-, Rohr- und Boilerdämmung werden zudem spezielle Elemente wie Halbrundschaalen angeboten. Der bedeutendste Einsatz ist die Dämmung von industriellen Hallen. Ähnlich wie bei EPS- und XPS-Dämmstoffen können auch PUR-Dämmplatten je nach Anwendungsbereich durch mineralische oder biogene Dämmstoffe ersetzt werden.

Umwelt- und Gesundheitsgefahren im Lebenszyklus und ökologische Maßnahmen

Ein gesundheitliches Risiko kann vor allem durch den Umgang mit den Ausgangsstoffen sowie durch Zwischen- und Nebenprodukte, die in den Vorprozessen entstehen (siehe Kapitel 3.2 Kunststoffarten). Während der Herstellung der Dämmplatten ist vor allem die Exposition gegenüber Isocyanaten relevant. Diese können u. a. reizend für Haut, Augen und Atemwege wirken, allergische Hautreaktionen verursachen oder Allergien auslösen und vermutlich Krebs erzeugen. In den Produktionsstätten sind daher umfangreiche Arbeitsschutzmaßnahmen notwendig. Die Dämmplatten selbst können als toxikologisch unbedenklich eingestuft werden (Linden/Witten 2024: 542). Das Flammenschutzmittel TCPP gilt als umstritten, denn es kann Reizwirkungen für Haut und Schleimhäute hervorrufen, und es steht im Verdacht, Krebs zu verursachen und die Fruchtbarkeit oder das ungeborene Kind zu schädigen (ECHA o. J. f). Fluorierte Treibmittel zählen zu den Treibhausgasen, weshalb ihr Einsatz vermieden werden sollte. Pentan entweicht im Laufe der Nutzungsdauer nur in geringen Mengen.

Bei der Verarbeitung entstehen Stäube durch Sägen, Schleifen und Fräsen. Im Brandfall kann eine Vielzahl gesundheitsgefährdender Stoffe entstehen, darunter Cyanwasserstoff und Ammoniak, in geringerem Ausmaß auch Amine, Nitrile, Isocyanate, Aldehyde u. a.; ferner ist die Bildung von Dioxinen und Furanen möglich.

Besonderheiten bei Rückbau, Re-Use und Recycling

Werden Polyurethan-Hartschaumplatten zerstörungsfrei ausgebaut, sind sie wiederverwendbar. Verbundelemente können bei entsprechender Befestigung zerstörungsfrei ausgebaut und erneut eingesetzt werden. Da Polyurethane nicht wieder aufgeschmolzen werden können, werden saubere, unbedenkliche Dämmplatten üblicherweise stofflich recycelt und das granuliert PUR zusammen mit einem Kleber zu Platten oder Formteilen zusammengefügt. Platten mit Kaschierungen werden ebenfalls geschreddert und stofflich verwertet. Andere Aufbereitungsverfahren werden derzeit (Stand: 2025) nicht in größerem Maßstab angewendet (siehe Kapitel 4.2 Kunststoffrecycling). Die Entsorgung erfolgt in Abfallbehandlungsanlagen. Für den Baustellenverschnitt ist ein Rücknahmesystem im Aufbau (siehe Kapitel 4.3 Rücknahme, Rückbau und Verwertungsmöglichkeiten).

Ältere Produkte (aus dem Jahr 1990 und älter) können die ozonschädigenden FCWK oder HFCKW enthalten und müssen daher möglichst zerstörungsfrei ausgebaut und zur Zerstörung der Fluorchlorkohlenwasserstoffe einer kontrollierten Verbrennung zugeführt werden.

Dämmstoffe aus Phenolharzschaum***Herstellungsverfahren und Anwendungsbereiche***

Phenolharz wird mit einem Härter (z. B. Schwefelsäure, Phosphorsäure oder Salzsäure) und einem Treibmittel (Pentan) vermischt und üblicherweise im kontinuierlichen Verfahren als Bandware geschäumt. Die Dämmstoffplatten werden anschließend beidseitig mit Glasvlies oder auch mit Aluminium kaschiert.

Ein typischer Anwendungsbereich von Phenolharz-Dämmplatten sind Wärmedämmverbundsysteme. Sie können ebenfalls als Kerndämmung oder geschützt unter der Deckung in Dächern eingesetzt werden.

Umwelt- und Gesundheitsgefahren im Lebenszyklus und ökologische Maßnahmen

Ein gesundheitliches Risiko besteht vor allem durch die Verarbeitung der Ausgangsstoffe sowie Zwischen- und Nebenprodukte in den Vorprozessen (siehe Kapitel 3.2 Kunststoffarten).

Phenolharzschäume enthalten als Flamschutzmittel Borsäure oder Ammoniumphosphat. Da einige Borsalze (z. B. Dinatriumtetraborat) in der EU-Chemikalienverordnung (REACH) inzwischen als reproduktionstoxisch (Kategorie 1B, H360FD) eingestuft und in der REACH-Kandidatenliste für besonders besorgniserregende Stoffe (SVHC, engl. Substances of Very High Concern) stehen, werden sie tendenziell durch bisher nicht eingestufte Varianten (z. B. Dinatriumtetraborat) oder durch Ammoniumpolyphosphate ersetzt.

Besonderheiten beim Rückbau, Re-Use und Recycling

Sauber abgetrennte Platten können theoretisch wieder eingebaut werden. Als Teil eines Wärmedämmverbundsystems ist der zerstörungsfreie Ausbau jedoch nicht möglich. Aufgrund der relativ geringen Mengen, die bei Ein- und Ausbau anfallen, wird der Stoff derzeit (Stand: 2025) nicht recycelt. Eine Phenolharzdämmung kann in Abfallbehandlungsanlagen verbrannt werden.

Polyesterfaserdämmstoffe

Herstellungsverfahren und Anwendungsbereiche

Polyesterfaserdämmstoffe bestehen ausschließlich aus Polyesterfasern, die thermisch zu einer Platte verbunden werden. Die Fasern können je nach Produkt einen Rezyklatanteil von 50 M.-% bis zu 80 M.-% enthalten. Das Rezyklat stammt vorwiegend aus dem Recycling von PET-Flaschen. Polyesterdämmstoffe werden typischerweise zu Schallschutzzwecken, vor allem in Akustikdecken, als Akustikpaneele oder zur Trittschalldämmung, eingesetzt.

Weitere Angaben zum Herstellungsprozess und der damit verbundenen Stoffen und Risiken (siehe Kapitel 3.2.8 Polyethylenterephthalat (PET)).

8.2.2 Dämmstoffe aus biogenen Rohstoffen

Herstellung und Anwendungsbereiche

Für die Herstellung von Dämmmatten und -platten werden Hanf-, Flachs-, Holz-, Zellulose- oder Jutefasern verwendet. Die zerkleinerten Fasern werden mechanisch verfilzt, zu Vliesen verdichtet und entweder mit Bindemittel oder mit Stützfasern zu Dämmmatten verbunden. Die Dämmstoffe werden in Holzkonstruktionen von Dächern, Decken, Innen- und Außenwänden, aber auch als Trittschalldämmung und als Alternative zu Montageschaum als Stopfmaterial für Fenster- und Türfugen sowie für Hohlräume eingesetzt. Hanf- und Holzfaserdämmplatten kommen auch in Wärmedämmverbundsystemen zum Einsatz. Die biogenen Fasern werden zum Teil ebenfalls zu Schütt- oder Einblasdämmstoffen verarbeitet.

Kunststoffanteile und kritische Stoffe

Stützfasern zur Stabilisierung von Weichfaserdämmungen können aus Kunststoffen oder PLA bestehen und sind meistens mit einem Anteil von ca. 10 bis 15 M.-% enthalten. Flachsdämmstoffe können stattdessen Kartoffelstärke als Bindemittel enthalten (ca. 10 M.-%). Im Trockenverfahren hergestellte Holzfaserplatten enthalten ca. 4 M.-% Polyurethan-Klebstoffe (PUR-Harze), Polymeres Diphenylmethandiisocyanat-Kleber (PMDI-Kleber) oder Zweikomponenten-Stützfasern. Im Nassverfahren hergestellte Holzfaserdämmplatten kommen ohne zusätzliche Bindemittel oder Stützfasern aus, da die Fasern durch die holzeigenen Lignine verkleben. Zur Stabilisierung kann Latex (ca. 5 M.-%) enthalten sein. Für größere Plattenstärken werden einzelne dünnere Platten mit Weißleim (ca. 3 M.-%) miteinander verleimt.

Die Arten und die Einsatzmengen von Flammenschutzmitteln variieren. Hanfdämmstoffe enthalten ca. 3 bis 5 M.-% Ammoniumphosphate oder Soda. Jute enthält ebenfalls Soda. Eine Flachs- und Zellulosedämmung wird mit Boratverbindungen oder Ammoniumpolyphosphat ausgerüstet. Der Anteil beträgt bei Flachs ca. 10 M.-%, bei einer Zellulosedämmung können bis zu 8 M.-% enthalten sein. Einige Borsalze (z. B. Dinatriumtetraborat), die in der Vergangenheit vielfach verwendet wurden, sind in der EU-Chemikalienverordnung (REACH) inzwischen als reproduktionstoxisch (Kategorie 1B, H360FD) eingestuft und in der REACH-Kandidatenliste für besonders besorgniserregende Stoffe (SVHC, engl. Substances of Very High Concern) aufgeführt. Sie werden tendenziell durch bisher nicht eingestufte Varianten (z. B. Dinatriumtetraborat) oder durch Ammoniumpolyphosphate ersetzt.

Feuchteresistente Platten können je nach Einsatzgebiet Hydrophobierungsmittel (Bitumen, Wachs, Paraffine sowie Bitumenersatz auf Naturharzbasis) enthalten.

Rückbau, Re-Use, Recycling und Entsorgung

Dämmstoffe, die in die Konstruktion eingeklemmt oder lose verlegt werden, können weiterverwendet werden, wenn sie sauber, trocken und unbeschädigt sind. Mechanisch befestigte Dämmplatten, die nicht unbeschädigt ausgebaut werden können, sind stofflich verwertbar und können beispielsweise als Stopfwole wiederverwendet werden.

Eine Einblasdämmung kann abgesaugt und theoretisch wiederverwendet werden. Aufgrund von Alterungsprozessen, Feuchteinträgen usw. kann die Verwendbarkeit aber beschränkt sein; sie ist daher im Einzelfall zu bewerten.

Produkte ohne Flammenschutzmittel und ohne Stützfasern aus fossilen Rohstoffen oder mit PLA-Stützfasern sind biologisch abbaubar. Ist eine stoffliche Verwertung nicht möglich, werden Dämmstoffe aus biogenen Rohstoffen in Abfallbehandlungsanlagen verbrannt. Enthält das Dämmmaterial gefährliche Stoffe wie die als reproduktionstoxisch und SVHC eingestuften Boratverbindungen, gelten die besonderen Anforderungen für gefährliche Abfälle.

Saubere und unbehandelte Korkabfälle können als Granulat wieder zu Dämmplatten verarbeitet, kompostiert oder zur Auflockerung von Böden verwendet werden. Sind die Platten jedoch mit Bodenbelagsklebern oder mit mineralischen Putzen und Klebern aus dem Wärmedämmverbundsystem verunreinigt, sind sie nicht mehr für ein Recycling geeignet und werden in Abfallbehandlungsanlagen verbrannt.

Alternativprodukte

Schafwollendämmstoffe kommen ohne Stützfasern aus. Sie können in Holzkonstruktionen von Dächern, Decken, Innen- und Außenwänden, als Trittschalldämmung, zum Ausstopfen von Fenster- und Türfugen sowie in Hohlräumen eingesetzt werden.

Korkdämmplatten, die aus expandiertem Korkgranulat bestehen und durch die korneigenen Harze gebunden werden, sind kunststofffrei. Sie eignen sich als Trittschalldämmung beispielsweise unter Laminat- und Parkettböden. Korkgranulat wird auch als Ausgleichs- oder Dämmschüttung eingesetzt.

Die Einblasdämmung aus Stroh enthält ebenfalls keine Bindemittel oder Stützfasern. Sie wird im Holzrahmenbau in Fassaden, Wänden, Zwischendecken und Dächern als Hohlraumdämmung verwendet und kann außerdem lose auf die oberste Geschossdecke aufgeschüttet werden.

Hanfschäben dienen im Decken- und Fußbodenbereich als Hohlraumdämmung, als druckbelastbare Dämmung oder als Ausgleichsschüttung.

8.2.3 Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen

Herstellung und Anwendungsbereiche

Unter dem Begriff „Mineralfaser“ oder „Mineralwolle“ werden Dämmstoffe aus Glas- und Steinwolle zusammengefasst. Aus diesen Rohstoffen werden bei hohen Temperaturen künstliche Mineralfasern erzeugt, um sie anschließend mit Bindemittel zu verkleben. Ein typischer Einsatzbereich sind Wärmedämmverbundsysteme. Mineralfaserdämmstoffe werden außerdem als Aufdachdämmung und zur unterseitigen Deckendämmung von Tiefgaragen, Kellerdecken oder Durchfahrten eingesetzt.

Kunststoffanteile und kritische Stoffe

Glaswolle besteht zu 60 bis 80 M.-% aus Altglas, Produktionsabfällen und neu gewonnenen Glasmaterialien. Steinwolle besteht etwa zur Hälfte aus Gesteinsfäden von Mineralien, insbesondere Diabas und Basalt, sowie aus Gesteins-, Zement- und Ascheabfälle der Produktion. Mineralfaserdämmstoffe enthalten Phenol-Harnstoff-Formaldehyd- oder stärkebasierte Bindemittel. Der Anteil liegt bei Glaswolle zwischen 5 und 7 M.-% und bei Steinwolle zwischen 1 und 3,5 M.-%. Für die Anwendung in Bereichen mit Feuchtebelastung können die Platten mit einem Hydrophobierungsmittel ausgerüstet sein.

Rückbau, Re-Use, Recycling und Entsorgung

Den Baustellenverschnitt von Mineralwolle nehmen Hersteller zum Teil zurück. In einem Fall erstreckt sich das Angebot auch auf das Abbruchmaterial aus Steinwolle. Verklebte Platten können nicht zerstörungsfrei rückgebaut werden. Glaswolle und Steinwolle können technisch gesehen wiederverwendet bzw. als Zuschlagstoff verwertet werden. Verbundelemente, beispielsweise mit einer Aluminiumbeschichtung oder Vlieskaschierung, sind nicht sortenrein und daher schlechter zu recyklieren. „Alte“ Mineralfaserdämmstoffe, die vor dem in Deutschland seit Juni 2000 geltenden Herstellungs- und Verwendungsverbot in Verkehr gebracht wurde, hergestellt wurden, gelten als krebserzeugend und sind bei Abbruch- Sanierungs- und Instandhaltungsmaßnahmen gemäß der Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 521 2008) gesondert zu behandeln.

Alternativprodukte

Mineralschaum- und Perliteplatten, die in Wärmedämmverbundsystemen oder als Innendämmung eingesetzt werden, enthalten üblicherweise keine Kunststoffe. Auch Calcium-Silikat-Platten sind eine Alternative für die Innendämmung. Allerdings dienen für die vollflächige Verklebung am Untergrund meistens mineralisch basierte Kleber, die synthetisch-organische Binde- und Zusatzmittel enthalten können.

Dämmplatten und Schüttungen aus Schaumglas enthalten keine Kunststoffe. Schaumglas wird aufgrund der hohen Feuchteresistenz und Druckfestigkeit vor allem im Außenbereich als Perimeterdämmung unter der Bodenplatte oder an erdberührten Außenwänden, als Flachdach- oder Gefälledämmung sowie auf genutzten Dächern (z. B. Parkdecks, Terrassen) eingesetzt. Produktvarianten für Wärmedämmverbundsysteme oder die Innendämmung werden angeboten, jedoch sollten im Bereich WDVS und Innendämmung diffusionsoffene Systeme bevorzugt eingesetzt werden. Schaumglasplatten werden abhängig von der Konstruktion und der Belastung mit Klebern auf Kunstharzbasis oder mit Bitumenklebern verklebt. Die lose Verlegung im Sandbett ist beispielsweise unter Bodenplatten auf Magerbeton möglich.

Auch mineralische Schüttdämmstoffe aus Blähglas, Blähton und Blähperlite sind kunststofffrei. Es gibt sie in verschiedenen Körnungen und für unterschiedliche Einsatzbereiche: als Gesteinskörnung in Leichtbetonen und zementgebundene Schüttungen, unter Fundamentplatten, zur Hinterfüllung im Außenbereich. Im Innenbereich

werden Blähton, Blähglas und Bläherlite als lose Hohlraum- oder Ausgleichsschüttung verwendet. Blähglas und geschlossenporige Bläherlite sind als Zuschlagsstoff für Leichtmörtel und Dämmputze geeignet. Blähglas wird außerdem mit mineralischen Bindemitteln zu Absorberplatten weiterverarbeitet.

8.3 Dichtungsbahnen, Dampfsperren und Folien

8.3.1 Kunststoffarten

Kunststoffbahnen enthalten unterschiedlichste Polymere wie Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polyisobutylen (PIB), Polyamid (PA), Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR), Polyvinylchlorid (PVC), Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM), flexible/thermoplastische Polyolefine (FPO/TPO), Polyester (PES) und Ethylen-Vinylacetat-Copolymer (EVA) (siehe Kapitel 3.2 Kunststoffarten).

Moderne Bitumenbahnen enthalten in der Regel Plastomere (d. h. thermoplastische Polymere) oder Elastomere. Aluminiumbahnen sind meistens mit Kunststoffen oder Bitumen beschichtet, um bestimmte Eigenschaften und Funktionen zu bieten.

8.3.2 Anwendungsbereiche

Folien und Abdichtungen erfüllen wichtige Bauaufgaben wie Feuchteschutz, Luftdichtigkeit und Trennung von Schichten. Sie werden als Dachabdichtung, Bauwerksabdichtung, Dampfsperren, Unterspannbahn, Mauersperrbahn, Ausgleichs-, Schutz-, Gleit- oder Trennschicht eingesetzt. Eine mangelhafte Detailplanung oder minimale Fehler bei ihrem Einbau können zu massiven Feuchteschäden führen.

Bei entsprechendem Konstruktionsaufbau ist es möglich, weniger umweltbelastende Folien- oder Abdichtungssysteme einzusetzen oder ganz auf sie zu verzichten (siehe Kapitel 9 Kunststoffeinsatz in Konstruktionen). Die ökologischen Einstufungen im Folgenden betreffen die Materialqualität.

Die Sortierung der Kunststoffarten ergibt sich aus den Anwendungsempfehlungen des Kriteriensteckbriefs 1: Grundsätze für die Planung von Dächern (Wicke et al. 2021: 2) sowie aus der Kunststoffpyramide nach Greenpeace (Greenpeace 2004: 1).

Die folgenden auswaschreduzierten Materialien werden empfohlen: Polyolefine (FPO/TPO), EPDM (teilvernetzt), Bitumenbahnen (ohne chemischen Wurzelschutz), wurzelfeste Bitumenbahnen ohne chemisches Schutzmittel (Wicke et al. 2021: 2), PVC, EVA, PE und PP. Die geringsten Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit weisen Polyolefine wie Polyethylen (PE) oder Polypropylen (PP) auf (Greenpeace 2004: 1). Kunststoffe, die nicht als Folienmaterialien im Gebäudebereich Anwendung finden, werden hier nicht aufgeführt.

Die vorrangige Aufzählung der Dachbahnen beruht auf der horizontalen oberflächlichen Anwendung und der daraus resultierenden stärkeren Bewitterung. Flachdachkonstruktionen bieten bei entsprechender Konstruktion ein gewisses Wasserrückhaltevermögen bzw. einen verzögerten Wasserablauf und können so über Verdunstungskühlung aktiv zur Verbesserung des Umgebungsclimas in Städten beitragen (Sieker et al. 2019). Bei begrünten Flachdächern ist besonders auf den Schutz der Abdichtung vor pflanzlicher Durchdringung zu achten. Dieser kann physikalisch oder chemisch erreicht werden. Chemische Schutzmittel können dabei aus den Produkten ausgewaschen werden und die Umwelt belasten (Burkhardt et al. 2020).

Der Eintrag von Mikroplastik in die Umwelt bei der Verarbeitung von Kunststoffdachbahnen wird von der European Single Ply Waterproofing Association (ESWA) als vernachlässigbar gering betrachtet. Sie weist in ihrem Positionspapier zu Mikroplastik extra darauf hin, dass keine Beobachtungen oder Studien zum Eintrag von

Mikroplastik in die Umwelt vorliegen (ESWA 2022: 2). Unabhängig vom Mikroplastikeintrag können durch Bewitterung verschiedene Inhaltsstoffe aus den diversen Bahnenmaterialien migrieren (Burkhardt et al. 2020).

8.3.3 Produktbeschreibungen

Im Folgenden werden Kunststoffdach- und -dichtungsbahnen beschrieben. Unter <https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/abdichtungen-pg.html> sind detaillierte Informationen zu den einzelnen Kunststoffbahnen abrufbar.

Flexible bzw. Thermoplastische Polyolefine (FPO/TPO)

Über die Zusammensetzung einzelner Produkte geben produktspezifische Umweltproduktdeklarationen (EPD, engl. Environmental Product Declaration) oder im Allgemeinen Branchen-EPDs Auskunft. Die Polymeranteile können je nach Produkt zwischen 45 M.-% und 85 M.-% betragen. Der Anteil an Flammschutzmitteln ist mit bis zu 45 M.-% relativ hoch. Das Trägermaterial kann aus synthetischen Fasern oder aus Kombinationen mit Kunststoffen, z. B. aus Glasvlies mit PE, bestehen. Zudem werden Stabilisatoren und Pigmente eingesetzt (Bauder 2022b; ÖKOBAUDAT 2024).

In beiden EPDs werden keine Stoffe in einer Konzentration von > 0,1 Gew.-% angeführt, die als KMR-Stoffe angeführt oder als SVHC in der REACH-Kandidatenliste stehen.

Die ECHA-Liste der Kunststoffadditive führt PE und PP unter den Begriffen „Polyolefin I“ und „Polyolefin II“, sodass eine klare Zuordnung der in Polyolefinen verwendeten Additive zu Polyethylen und/oder Polypropylen nicht möglich ist.

In Wicke et al. (2021: 2) wird der Einsatz auswaschreduzierter FPO-Dachbahnen empfohlen. Untersuchungen in Bezug auf Emissionen verschiedener Stoffe in bzw. aus verschiedenen Bahnenmaterialien haben keine signifikanten Emissionen ermittelt. Allerdings standen zum Bearbeitungszeitpunkt im Jahr 2021 keine ausreichenden Kenntnisse über umweltrelevante Stoffemissionen zur Verfügung, weshalb hier weiterer Forschungsbedarf besteht. Insgesamt wurden 172 Substanzen (Weichmacher, Vernetzer, Antioxidantien etc.) untersucht. Von den 3 untersuchten Bahnen konnte in den wässrigen Auszügen (Eluat) einer Bahn Trimethylolpropan nachgewiesen werden (Burkhardt et al. 2020: 4). Dieser Stoff steht im Verdacht, reproduktionstoxisch zu sein (ECHA, 2024c) und findet als Hitzestabilisator Verwendung. Unter dieser Anwendung findet man Trimethylolpropan auch in der Liste der Plastic Additives Initiative der ECHA. Ergänzende Angaben, in welchen Kunststoffarten dieser Stoff vorkommt und über mögliche Gehalte, sind nicht verfügbar (ECHA, 2024 b).

Bei Eluatversuchen wurden im umu-Test (untersucht die Genotoxizität) sowie bei den Daphnien- und Leuchtbakterientests in keiner untersuchten Probe Effekte festgestellt. Im Algentest beobachtete Effekte werden auf Trimethylolpropan im Eluat zurückgeführt. Da FPO-Dachbahnen als unkritische Produkte gelten, empfehlen Burkhardt et al. (2020: 5) weitere Untersuchungen. Dass dieser Stoff aus den FPO-Bahnen eluiert werden kann, bestätigen auch Untersuchungen des deutschen Umweltbundesamts (Wicke et al. 2022: 50 f.). FPO-Bahnen werden von Wicke et al. (2021: 2) an oberster Stelle empfohlen. Aufgrund der Ergebnisse aus durchgeführten Untersuchungen können keine Aussagen zu chronischen oder hormonellen Auswirkungen bzw. Auswirkungen auf die Reproduktion (Daphnien) abgeleitet werden.

Polyisobutylen (PIB)

Abhängig vom jeweiligen Molekulargewicht des Polymers findet PIB im Baubereich, z. B. in Klebstoffen und Dachbahnen, Anwendung. Um die Eigenschaften der Dachbahnen zu verbessern, werden dem Polymer Zusatzstoffe wie Ruß, Talkum und Glasfasern zugegeben. Zudem wird es in Kombinationen mit anderen Polymeren verwendet. Durch Ruß steigt die Lichtstabilität, durch Talkum wird die Kriechneigung vermindert und Glasfasern verbessern die mechanischen und thermischen Eigenschaften (Chemie-Schule 2025 b). PIB-Dachbahnen bestehen zu 40 bis 60 M.-% aus PIB und Copolymeren. Auffallend ist ein hoher Anteil an Flammschutzmitteln (20–55 M.-%). Das als Flammschutzmittel verwendete Aluminiumhydroxid findet sich wie andere Metallhydroxide in der ECHA-Liste der Plastic Additives Initiative (ECHA o. J. h). Genauere Angaben zu Inhaltsstoffen sind nicht enthalten (ÖKOBAUDAT 2023; FDT 2024).

Den PIB-Dachbahnen eines Herstellers werden seiner Eigenangabe zufolge keine Weichmacher, Halogene oder Herbizide zugesetzt. Es wird weiterhin auf einen Leaching-Test verwiesen, demzufolge eine Reihe von Inhaltsstoffen nicht nachweisbar waren. Diese Stoffe, darunter auch in den Produkten überhaupt nicht eingesetzte Herbizide, werden im Nachhaltigkeitsdatenblatt als „Negativliste“ geführt. Informationen darüber, ob und wenn ja, welche Stoffe in welchen Mengen aus den Produkten auswaschbar waren, fehlen hingegen. Es bleibt somit unklar, ob möglicherweise enthaltene Inhaltsstoffe aus der PIB-Dachbahn von FDT migrieren (FDT 2023 a: 3).

Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM)

EPDM zeichnen sich durch gute Beständigkeit gegen Alterung, Witterung und Kälte aus (Briehl 2014: 188). Ihre endgültigen Produkteigenschaften erhalten EPDM-Produkte durch die Zugabe von Additiven wie Flammschutzmitteln, Farbpigmenten, Weichmachern, Füllstoffen und Fasern (Abts 2020: 92 f.). Die Herstellerangaben zur Zusammensetzung der EPDM-Bahnen und zu den Inhaltsstoffen zeigen große Unterschiede: Der Kautschuk-Anteil liegt zwischen 22 und 45 M.-%, mineralische Flammschutzmittel sind bis zu 40 M.-% enthalten. Es sind auch Produkte ohne Flammschutzmittel erhältlich (SaarGummin Construction GmbH 2018). Darüber hinaus können Füllstoffe und Additive wie Stabilisatoren, Vulkanisationsmittel, Vernetzer, Pigmente und Weichmacher in unterschiedlichen Mengen enthalten sein (SaarGummin Construction GmbH 2018; ÖKOBAUDAT 2020; EPD International AB 2023).

Aus EPDM-Bahnen konnten aufgrund eines Auslaugtests Schadstoffausträge von Vulkanisationsbeschleunigern (Benzothiazol, Zink), Hexamethyldiamin und Anilin nachgewiesen werden (Umweltbundesamt 2022: 51). Es wurden ökotoxikologische Versuche mit Algen, Daphnien, Leuchtbakterien und ein zusätzlicher Genotoxizitätstest mit Eluat von verschiedenen Bahnenmaterialien durchgeführt. Die untersuchten EPDM-Bahnen wiesen jedoch deutliche Effekte bei den ökotoxikologischen Tests auf, die auf die zugesetzten Vulkanisationsstoffe Benzothiazol und Zink zurückgeführt werden (Burkhardt et al. 2020: 5). Für die Planung von Dächern empfehlen Wicke et al. (2021: 4) die Verwendung von Bahnen mit einem Vernetzungsgrad von unter 25 %, da der Schadstoffaustrag bei diesen geringer ist.

Eine Sonderform der EPDM-Dichtungsbahnen stellt die Kombination einer mit Bitumen beschichteten Variante vor pflanzlicher Durchdringung eines Herstellers dar. Sie verbindet eine EPDM-Bahn mit einer Glasvlieseinlage an der Unterseite mit einer polymermodifizierten, selbstklebenden Bitumenschicht und einer PE-Trennfolie (CARLISLE Construction Materials GmbH 2021). Daher müssen bei einer ökologischen Betrachtung über EPDM hinausgehend auch die umweltrelevanten Eigenschaften von Bitumen beachtet werden.

Elastomer- und Plastomer-Bitumenbahnen

Bitumen ist ein durch Erdöldestillation gewonnenes zähflüssiges und schwerflüchtiges (Rest-)Produkt, das aus verschiedenen organischen Verbindungen besteht (die bitumenbahn GmbH 2025). Durch das Mischen von Bitumen und Polymeren entsteht Polymerbitumen. Es wird zwischen Elastomer-Bitumenbahnen (Destillationsbitumen mit Styrol-Butadien-Kautschuk, SBS, modifiziert) und Plastomer-Bitumenbahnen (Destillationsbitumen mit ataktischem Polypropylen, APP, modifiziert) unterschieden (die bitumenbahn GmbH 2025: 7). Um verschiedene physikalische Eigenschaften zu erreichen, werden Zuschlagstoffe, z. B. Sand, zugesetzt. Zur Armierung und zur Erhöhung der mechanischen Stabilität werden Trägereinlagen aus beidseitig mit (Polymer-)Bitumen beschichteten Metalleinlagen, Polyester- oder Glasvliesgewebe eingesetzt (die bitumenbahn GmbH 2025: 9).

In einer Branchen-EPD von 8 Bitumenbahnherstellern mit insgesamt 43 Werken in Europa finden sich Inhaltsstoffangaben zu den am häufigsten eingesetzten Dachabdichtungssystemen (EWA 2021: 4). Der Bitumenanteil beträgt 45 bis 52 M.-%. Polyolefine oder SBS sind zwischen 6 und 10 M.-% enthalten. Die Angaben zu den eingesetzten Recyclinganteilen an Kunststoffen der EPD sind für eine genauere Beurteilung nicht ausreichend. Werden tatsächlich hohe Recyclinganteile verwendet, so können – wie in der Plastics Additives Initiative der ECHA erfasst (ECHA o. J. h) – verschiedenste Inhaltsstoffe mit unterschiedlichsten CLP-Einstufungen enthalten sein. Als Trägereinlagen können Polyolefine eingesetzt werden (EWA 2021). Die Bitumendachbahnen werden überwiegend thermisch verwertet (Bendix et al. 2021: 88).

Bei Flachdachprodukten, die für den Einsatz unter begrüntem Dächern vorgesehen sind, können Wurzelschutzchemikalien, z. B. 2-Methyl-4-chlorphenoxyessigsäure (MCPA), (R)-2-(4-chloro-2-methylphenoxy) Propionsäure (MCP-P) oder Methylchlorphenoxypropionsäure (MCP-P), zum Einsatz kommen (Burkhardt 2017: 1). Dabei handelt es sich um Pflanzenschutzmittel, die ursprünglich vor allem in der Landwirtschaft eingesetzt wurden. Abhängig von dem eingesetzten Wirkstoff können diese unterschiedlich stark aus den verschiedenen Dachbahnen ausgewaschen werden, wobei die umfangreiche Freisetzung problematisch ist (Burkhardt 2021 b: 59). Einige Hersteller von wurzelfesten Dachbahnen haben daraufhin reagiert und fertigen nun nach der Umstellung auf andere Wirkstoffformulierungen Produkte mit geringeren Auswaschraten (Burkhardt 2017: 3). Der Kriteriensteckbrief 1 des Umweltbundesamts (2021) empfiehlt für Gründächer Bitumenbahnen ohne eine chemische Schutzausrüstung oder mit reduzierter Auswaschung. Die Stadt Berlin verbietet sogar den Einsatz von Bitumenbahnen mit chemischem Wurzelschutz in Wasserschutzgebieten (Stadt Berlin 2013: 2).

Polyvinylchlorid (PVC)

Dichtungsbahnen werden aus Weich-PVC hergestellt. Durch den Zusatz verschiedener notwendiger Additive für die Materialbeständigkeit, z. B. Weichmacher oder Stabilisatoren, können sie zusätzlich auch die Materialeigenschaften wesentlich beeinflussen (Abts, 2016: 113; Bonnet 2016: 123 ff.). Mit den Ausgangsstoffen können Gesundheitsgefahren verbunden sein (siehe Kapitel 3.2.12 Polyvinylchlorid (PVC) und Kapitel 7.5.2 Umwelt- und Gesundheitswirkungen von Ausgangsstoffen der Kunststoffproduktion).

Die Polymeranteile in PVC-Dichtungsbahnen sind unterschiedlich umfangreich und variieren produktabhängig zwischen 45 und 70 M.-%. Zudem werden verschiedene Zusätze in relevanten Gewichtsanteilen verwendet. Die Weichmacher (Phthalate) machen dabei ein Drittel oder sogar mehr der fertigen PVC-Bahn aus. Weitere Bestandteile sind Flammenschutzmittel und Stabilisatoren (jeweils ca. 1–3 M.-%) sowie Träger- und Verstärkungsmaterialien (1–8 M.-%). Biozide können auch enthalten sein (Bauder 2022a; Sika Deutschland GmbH 2021; FDT 2024).

Hauptanwendungsgebiete für PVC sind neben den Dachbahnen ebenfalls Folien, Bodenbeläge und vor allem Kabel. Als Weichmacher kommen im PVC vorrangig Phthalate zu Einsatz (UBA 2007: 3). Diese sind nicht fest in die Polymermatrix eingebunden und können auf verschiedenen Wegen aus dem PVC migrieren. Die früher eingesetzten kurzkettigen Phthalate, wie Dibutylphthalat (DBP), Diisobutylphthalat (DIBP), Benzylbutylphthalat (BBP) und Diethylhexylphthalat (DEHP), wurden aufgrund ihrer Einstufung u. a. als SVHC (siehe Kapitel 7.5.3 Schadstoffe in Kunststoffprodukten für das Bauwesen) inzwischen durch andere Weichmacher wie Diisononylphthalat (DINP) und Diisodecylphthalat (DIDP) ersetzt (UBA 2007: 4; PVCH o. J.).

Weich-PVC-Abfälle, die Weichmacher mit gefahrenrelevanten Eigenschaften (BMK 2020: Anhang 3), z. B. bei DEHP, enthalten, sind in Österreich als gefährlicher Abfall eingestuft. Das gilt ebenfalls für Weich-PVC-Abfälle aus dem Rückbau von Bauwerken, für die der Nachweis fehlt, dass keine gefahrenrelevante Eigenschaft vorliegt (Republik Österreich 2020: 8). In Deutschland gibt es diese spezielle Differenzierung bei PVC-Abfällen nicht.

Der Einsatz von Blei- und Cadmiumverbindungen in Kunststoffen ist gemäß REACH-Verordnung, Anhang XVII (Europäische Union 2006) geregelt. Es gelten starke Mengenbeschränkungen und Sonderregelungen für Erzeugnisse mit Recyclinganteilen (siehe Kapitel 4.2.2 Verwertungsverfahren für im Bauwesen verbreitete Kunststoffe).

Analysen verschiedener Kunststoffprodukte der Baubranche, darunter PVC-Profile und Produkte mit Rezyklatanteil, konnten in allen Proben Weichmacher aus der Klasse der Phthalate nachweisen, wobei die PVC-Produkte die höchsten Phthalatgehalte hatten. Die gemäß REACH beschränkten Phthalate DEHP und DBP blieben aber unter dem erlaubten Grenzwert von 0,1 M.-% (Figl/Scharnhorst/Thurner 2022: 73).

Ökotoxikologische Versuche mit Algen, Daphnien, Leuchtbakterien und zusätzlich ein Gentoxizitätstest mit Eluaten verschiedener Bahnenmaterialien ergaben, dass PVC-Bahnen keine Effekte zeigten. Dieses Ergebnis wird darauf zurückgeführt, dass die eingesetzten Weichmacher nicht aus den Bahnen migrierten. Eine spätere Migration der Weichmacher aus den PVC-Bahnen aufgrund von Witterungseinflüssen kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, wie Messungen in urbanen Niederschlagswässern bestätigten (Burkhardt et al. 2020).

Ein Fachbeitrag im Journal „Korrespondenz, Abwasser, Abfall“ bewertet zusammenfassend die zum Einsatz kommenden höhermolekularen Phthalate, auch wenn sie derzeit (Stand: 2020) nicht abschließend nach REACH eingestuft sind, aus Vorsorgegründen als nicht für den Tiefbau einsatzfähig (Lühr 2020: 50). Begründet wird das mit der Abschätzung der hohen Freisetzungsraten von Phthalat-Weichmachern (Lühr 2020: 49).

Polyethylen (PE)

PE eignet sich aufgrund seiner hohen Kälte- und Wasserdampfbeständigkeit für Folien im Gebäudebereich. PE-Folien lassen sich gut miteinander verschweißen, das gilt auch für Produkte aus Rezyklaten, selbst wenn geringe Anteile an PP enthalten sind (Laugwitz et al. o. J.: 58). Die Eigenschaften der Polymere können durch Zusatz verschiedener Additive wie Flammschutzmittel, Stabilisatoren oder Weichmacher verbessert werden (Polcher et al. 2020: 87 f.). Zur Eigenschaftsverbesserung der fertigen Produkte können Folien unterschiedlicher Kunststoffe zu Mehrschichtverbundprodukten kombiniert werden (Bernhardt et al. 2022: 64 f.).

Die ECHA-Liste der Kunststoffadditive führt PE und PP unter den Begriffen „Polyolefin I“ und „Polyolefin II“, weshalb keine klare Zuordnung der Additive zu den Polymeren PE und PP möglich ist (ECHA o. J. h). Auch produktspezifische Umweltproduktdeklarationen geben nur bedingt Auskunft über die verwendeten Inhaltsstoffe. So werden häufig nur die Farbpigmente mit ihrem Gewichtsanteil benannt. Zu den genauen Anteilen anderer Additive finden sich keine Angaben. Farbmittel und Pigmente können zusammen unter 1 M.-% bis zu knapp 5 M.-% bei Verbundprodukten ausmachen (Ab Rani Plast Oy 2016; Tommen Gram Folie AS 2015; LIP 2022).

In der „mapping exercise“ (ECHA, 2019) der ECHA-Plastic Additives Initiative angeführten Stoffe finden sich als Flammschutzmittel wie auch als Weichmacher Stoffe, die in die POP-Liste aufgenommen wurden und deren Einsatz verboten ist (Europäische Union 2019).

Aufgrund des hohen Anteils von PE an der Kunststoffproduktion (Plastics Europe 2024 b), aber auch hinsichtlich der laut PlastX (2020: 62) hohen Marktanteile von PE-Folien von 25 bis 30 % wird an der Entwicklung von abbaubarem PE geforscht. Hierfür werden mittels Orthoestern und Phosphaten Sollbruchstellen in die Polymermatrix eingebaut. Die Eigenschaften der so erzeugten Polymere weisen aber derzeit (Stand: 2020) noch nicht die gleichen thermischen und mechanischen Eigenschaften wie herkömmliches PE auf, um eine überzeugende Alternative darzustellen (Kramm et al.: 64). Etwa ein Drittel der anfallenden PE-Abfälle werden stofflich verwertet (Polcher et al. 2020: 114).

Polypropylen (PP)

Der Anteil von PP an der weltweiten Kunststoffgesamtproduktion beträgt etwa 20 % (Briehl 2014: 112). Es wird u. a. als Folienmaterial in der Gebäudehülle eingesetzt, da es wie Polyethylen ebenfalls eine relativ geringe Wasserdampfdurchlässigkeit aufweist (Bernhardt et al. 2022: 65). PP hat eine höhere thermische Beständigkeit als Polyethylen und ist zudem härter und fester als PE. Neben Folien werden auch Rohre aus Polypropylen für den Baubereich hergestellt (Abts 2020: 114 f.).

Produktspezifische Umweltproduktdeklarationen geben wie schon bei PE nur bedingt Auskunft über die verwendeten Inhaltsstoffe. Die Polymeranteile liegen zwischen 82 und 96 M.-%, können aber auch bis zu knapp 10 M.-% betragen (International EPD System 2022; International EPD System 2023; International EPD System 2024).

Die Masterbatches enthalten die gewünschten Additive in Polymerform in höherer Konzentration als im Endprodukt; durch Zugabe zum Rohpolymer ergibt sich die eigentliche Endkonzentration im fertigen Produkt (Chemie.de o. J.). Zu den genauen Anteilen anderer Additive finden sich keine Angaben. Wie bei PE werden dem Polypropylen verschiedene Additive zur Steuerung der Eigenschaften des fertigen Polymers zugesetzt. Mit Ausnahme von Weichmachern kommen die Abschnitt Polyethylen (PE) genannten Stoffe zur Anwendung (Polcher et al. 2020: 91).

Sonstige Polymere in Kunststoffdachbahnen und Dichtungsbahnen aus Kunststoff

Weitere Materialien, aus denen Dachbahnen gefertigt werden, sind beispielsweise chlorsulfoniertes Polyethylen (CSM), EVA (Abts 2020: 113). EVA ist ein Copolymerisat aus Ethylen und Vinylacetat. Dachbahnen aus EVA beinhalten neben anderen Polymeren zusätzlich noch Anteile an (Poly-)Vinylchlorid (Abts 2020: 115; Lühr 2020: 48). Die Eigenschaften von EVA können auch wesentlich vom Vinylacetat-Anteil gesteuert werden. Für Folien kommen Polymerisate mit einem Anteil von über 30 % Vinylacetat (Briehl 2014: 187) und weniger als 50 % PVC zum Einsatz (WECOBIS o. J. a). Durch die Copolymerisation mit Vinylacetat als innerem Weichmacher kann auf eine weitere Zugabe äußerer Weichmacher wie Phthalaten verzichtet werden. Die inneren Weichmacher diffundieren nicht aus dem Material, der Kunststoff bleibt damit dauerhaft weich (Bonnet 2016: 154).

Die Darstellung der Einsatzstoffe erfolgt in EPD auf unterschiedliche Art. EVA-Dachbahnen enthalten EVA und PVC sowie gelegentlich auch Ethylen-Butyl-Acrylat (EBA). PES- oder Glasvlieskaschierung dient als Trägermaterial (alwitra GmbH 2024). Zusätzlich werden als funktionale Inhaltsstoffe noch Weichmacher (Phthalate), Stabilisatoren, Flammschutzmittel und Pigmente angeführt. Der Weichmacheranteil im Produkt kann zwischen 5 und 15 M.-% betragen (Renolit SE 2017).

Darüber hinaus können noch Verbundprodukte aus Bitumen und Polymeren Verwendung finden. Polymere, die mit Bitumen verbunden werden können, sind u. a. die zuvor beschriebenen PIB, PVC, PE, PP oder EVA (Porto 2019: 7). Die Polymerzugaben erhöhen die Steifigkeit der Bitumenbahnen, wobei PP und PE eine gewisse Unverträglichkeit mit Bitumen aufweisen, weshalb sich andere Polymere wie EVA zur Kombination mit Bitumenbahnen eignen (Porto 2019: 7 f.).

Ethylen-Copolymerisat-Bitumen (ECB)-Bahnen enthalten sowohl Polymer- als auch Bitumenanteile und werden mit Glasvliesen verstärkt. Die Bahnen sind bitumenverträglich (Neroth/Vollenschaar 2011: 916).

Polyester können in Dach- und/oder Fassadenbahnen als verstärkende Fasern zur Anwendung kommen (Bonnet 2016: 91). Zu den Polyestern gehören beispielsweise die Kunststoffe Polyethylenterephthalat (PET) und Polycarbonat (PC) (Bertling/Bertling/Hamann 2018: 49). Polyester werden aufgrund ihrer Zugfestigkeit vor allem in Geotextilien verwendet (Neroth/Vollenschaar 2011: 959). Zum Schutz gegen äußere Einflüsse werden Polyester beispielsweise Antioxidantien oder Stabilisatoren zugesetzt (Bonnet 2016: 115).

Polyamide (PA) zählen zu den wichtigen Thermoplasten und werden aufgrund ihres variablen Dampfdiffusionswiderstands im Baubereich als Dampfbremsen verwendet (WECOBIS o. J. a). PAs sind beispielsweise unempfindlich gegen verdünnte Laugen oder verschiedene Kohlenwasserstoffe. Allerdings können sie von starken Säuren angegriffen werden und neigen zur Hydrolyse (Briehl 2014: 234). Für den Einsatz im Freien sind UV-Stabilisatoren einzusetzen (Abts 2020: 122 f.). Als Flammschutzmittel können in Polyamiden Metallhydroxide zur Anwendung kommen (Bonnet 2016: 150). Weitere Additive für PA sind gemäß Plastics Additives Initiative (ECHA 2024 a) Antioxidantien und Pigmente.

8.4 Fensterrahmen

8.4.1 Kunststoffprofile

Herstellungsverfahren und Anwendungsbereiche

Kunststoffprofile werden aus Hart-PVC hergestellt. Reines PVC ist hart und spröde. Seine charakteristischen Eigenschaften erhält das jeweilige PVC-Produkt durch die Zugabe von Additiven. Die durchschnittliche Zusammensetzung von PVC-Produkten zeigt Tabelle 6.

Bestandteil	M.-%
PVC (rein)	80–90 %
Stabilisatoren	3–5 %
Weichmacher	-
Füllstoffe	3–5 %
Sonstige*)	5–10 %

Tabelle 6 Durchschnittliche Zusammensetzung von PVC-Produkten (gemäß BMLFUW, 2002). *) z. B. Buntpigmente, Gleitmittel oder Flammschutzmittel

Kunststofffensterrahmen bestehen vor allem aus PVC. Moderne Kunststofffensterprofile besitzen mehrere Kammern (bis zu 7), in denen sich Luft oder geschäumtes Polystyrol als Dämmstoff befindet. Eine Stahlarmierung erhöht die Stabilität des Fensters und führt zu einem erhöhten Einbruchschutz. Eine Alternative mit besserer Wärmedämmung und geringerem Gewicht sind Glasfaserverstärkungen (GFKs). Falzdichtungen

sollen den festen Teil (Rahmen) und den beweglichen Teil (Flügel) des Fensters dicht abschließen. Unterschieden wird zwischen einer Blendrahmenanschlagdichtung (am Blendrahmen fixiert), einer Mitteldichtung (am Blendrahmen im mittleren Falzbereich fixiert) und einer Fensterflügelanschlagdichtung (am Fensterflügel fixiert). Bei einer „Dreifachdichtung“ sind alle 3 vorhanden. Folien ermöglichen die farbliche Gestaltung der Kunststofffensterelemente. Kunststoffprofile werden auch mit einem Schutz aus Aluminiumschalen angeboten.

Umwelt- und Gesundheitsgefahren im Lebenszyklus und ökologische Maßnahmen

Die grundsätzliche Problematik von halogenorganischen Verbindungen einschließlich deren Herstellung und Entsorgung wurde bereits festgehalten (siehe Kapitel 7.5.3 Schadstoffe in Kunststoffprodukten für das Bauwesen). Für die Anwendung von Hart-PVC in Fensterprofilen sind Thermo- oder UV-Stabilisatoren unabdingbar. Dafür wurden in der Vergangenheit organische Salze der Metalle Blei- und Cadmium eingesetzt. Cadmium darf in PVC seit 2011 nicht mehr verwendet werden (Europäische Union 2011). Als obere Grenze gilt ein Cadmiumgehalt von 0,01 Gew.-% (100 mg/kg). Abweichend davon ist ein Cadmiumgehalt von 0,1 Gew.-% (1 000 mg/kg) im PVC-Produkt erlaubt, wenn das Cadmium aus einem PVC-Rezyklat stammt.

Bleistearat muss nach der CLP-Verordnung (Europäische Union 2008) mit folgenden Gefahrensätzen gekennzeichnet werden:

- 360Df (kann das Kind im Mutterleib schädigen; kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen),
- 332 (gesundheitsschädlich bei Einatmen),
- H302 (gesundheitsschädlich bei Verschlucken),
- H373 (kann die Organe schädigen bei längerer oder wiederholter Exposition),
- H410 (sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung).

Der Einsatz von Bleistearat als Stabilisator ist noch nicht verboten. Es haben sich aber alle europäischen Mitglieder von VinylPlus dazu verpflichtet, ab Ende 2015 aus der Bleistabilisierung auszusteigen. In der Europäischen Union produziertes PVC enthält daher keine Bleistabilisierung mehr. Importierte PVC-Produkte sind in dieser Verzichtserklärung nicht eingeschlossen.

Bleiverbindungen werden aktuell (Stand: 2025) für die Klassifizierung als SVHC geprüft und könnten bald ebenfalls mit einer Grenzkonzentration von max. 0,1 Gew.-% beschränkt werden. Sofern keine Ausnahmegenehmigung für das Recycling erteilt wird, könnte die SVHC-Einstufung das PVC-Recycling beispielsweise von alten Fensterrahmen beenden. Befürworter des PVC-Recyclings fordern daher eine Erlaubnis von 1 Gew.-% Bleigehalt in recycelten PVC-Produkten (Wagner/Schlummer 2002). Der mittlere Bleigehalt von PVC-Fensterprofilen mit Bleistabilisatoren beträgt 2,7 Gew.-% (BMLFUW 2002).

Besonderheiten bei Rückbau, Re-Use und Recycling

2021 wurden in Deutschland 1,91 Mio. t PVC verarbeitet. Die Baubranche war mit über 75 % der größte Anwendungsbereich. Verarbeitet wurden 1,57 Mio. t PVC-Neuware und 340 000 t PVC-Rezyklate. Der Anteil an Recyclingmaterialien in PVC-Produkten beträgt damit knapp 18 %. Die Rezyklate werden vor allem in Fensterrahmen, sonstigen Bauprofilen und Rohren eingesetzt.

Die PVC-Abfallmenge ist gegenüber 2017 um knapp 24 % auf 861 000 t im Jahr 2021 gestiegen. Diese Steigerung ist auf den höheren Rücklauf aus dem Baubereich zurückzuführen. 57 % des PVC-Abfalls wurden der Verbrennung zugeführt, 42 % dem werkstofflichen Recycling (Arnold 2023).

Der relativ gering anmutende Rezyklatanteil von 18 % in der deutschen Fensterproduktion liegt deutlich über dem europaweiten Rezyklatanteil von durchschnittlich ca. 10 % (EWSA

PA ivzw 2018). Für Deutschland sind wiederum die vergleichsweise hohen Importquoten von PVC-Fenstern beispielsweise aus Polen (metallbau 2025) relativierend vorzubringen.

Die Wiederverwendung von Fenstern aus Hart-PVC-Produkte (Fenster, Rohre etc.) ist zwar möglich, aber nicht praxisrelevant. Aus alten PVC-Fenster- und Bauprofilen kann Granulat für die Herstellung neuer Fenster- oder Bauprofile gewonnen werden. Das rezyklierte PVC-Granulat wird in der Regel im Profilkern eingesetzt. Diese Handhabung liegt auch an der EN 12608 für Kunststofffensterprofile, welche für die Außenwandung eines Fensterprofils die Verwendung von Frischmaterial (Wetterfestigkeit, UV-Stabilität) vorschreibt.

Der durchschnittliche maximale Rezyklatanteil beträgt 50 M.-% (EPPA ivzw 2018).

Es wird jedenfalls eine große Menge an PVC-Neumaterial benötigt und das PVC im Umlauf nimmt zu.

Zum Stand der Forschung: Für einige Systemhäuser erfolgt derzeit (Stand: 2025) die Entwicklung von Profilen mit einem PVC-Rezyklatanteil von bis zu 70 M.-%. Dabei wird beispielsweise Rezyklat auch in die Außenwandung des Profils extrudiert. Es gibt jedoch Bedenken, Rezyklat in die Außenwandung einzubringen, denn bei gleichbleibender Wanddicke wird die Frischmaterialsicht dünner. Somit besteht die Gefahr, dass beim Entfernen der sogenannten Schweißraupe die Rezyklatschicht offengelegt werden könnte.

Im Rahmen von VinylPlus®, dem freiwilligen Selbstverpflichtungsprogramm der europäischen PVC-Branche, wurde ein europaweites Netzwerk für die Sammlung und das Recycling von PVC eingerichtet. In Deutschland hat die Rewindo GmbH einen Fensterrecyclingservice mit ihren Recyclingpartner:innen und ein Rücknahmesystem für PVC-Fenster eingerichtet. 2021 wurden über Rewindo 42 463 t PVC-Altfenster und verwandte Produkte rezykliert (vergleiche: 2021 wurden gemäß Arnold (2023) 340 000 t PVC-Rezyklate in Deutschland verarbeitet). Derzeit (Stand: 2025) gibt es keine getrennten Sammelsysteme für PVC-Altprodukte mit mittlerweile verbotenen oder nicht mehr verwendeten Schadstoffen.

Über das Recycling können heute entweder verbotene oder nicht mehr verwendete Substanzen wie Cadmium- und Bleistabilisatoren in Neuprodukte gelangen. Wie bereits erwähnt könnten Bleiverbindungen bald als SVHC mit einer Grenzkonzentration von 0,1 Gew.-% eingestuft und damit das Recycling von PVC-Profilen mit einem potenziellen Gehalt an Bleistabilisatoren beendet werden.

Für die Abfallverbrennung ist der vergleichsweise geringe Brennwert von 18 MJ/kg wegen des relativ hohen Chlorgehalts zu beachten. Bei der Verbrennung entsteht Salzsäure, die zu einer frühzeitigen Korrosion von Kesselanlagen führt. Um einen Austritt von HCl in die Umwelt zu verhindern, wird das Abgas in der Regel mit Kalk in Ablüftungsanlagen neutralisiert, welcher dann als gefährlicher Abfall entsorgt werden muss. Es gibt Verfahren, die HCL rückgewinnen oder zu NaCl verarbeiten. Die PVC-Herstellung dient jedoch in der Regel als Chlorsenke in der Herstellung von Natriumhydroxid (NaOH), weshalb der Absatz für rückgewonnenes Chlor aus der PVC-Verbrennung ökonomisch nicht attraktiv ist.

Produktalternativen

Statt Kunststoffprofilen können Profile aus Holz oder Aluminium eingesetzt werden. Holzprofile enthalten oft Holzschutzmittel. Früher wurden teilweise umwelt- und/oder gesundheitsgefährdende Chemikalien eingesetzt. Viele dieser Chemikalien sind heute verboten und die in modernen Holzfenstern eingesetzten Holzschutzmittel meist weniger bedenklich. Holzprofile werden häufig auch mit einem Schutz aus Aluminiumschalen angeboten.

Die innenliegende Dämmung von Fensterprofilen aus Holz oder Aluminium besteht häufig ebenfalls aus Kunststoffen. Hierfür gibt es inzwischen nahezu kunststofffreie Alternativen, z. B. Vollholzfenster mit passivhausgeeigneter Wärmedämmung.

Schwer ersetzbare Kunststoffanteile sind in Dichtungen, Beschichtungen und Klebstoffen enthalten.

8.4.2 Fensterdichtungen

Verglasungsdichtungen bilden den Abschluss zwischen Glasrand und Rahmen und dichten den Glasfalz ab. Die Glasleistendichtung dichtet den Falz zwischen Glasscheibe und Glasleiste des Fensterrahmens auf der inneren Seite, die Glasanlagedichtung auf der äußeren Seite ab. Bei der Dreifachdichtung gibt es noch eine Mitteldichtung.

Materialien für Dichtungen:

- Thermoplastische Elastomere (TPE),
- Dichtungen aus Silikonkautschuk,
- Dichtungen aus Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM).

Produktalternativen sind den Autor:innen keine bekannt.

8.4.3 Abstandhalter

Der Abstandhalter ist ein umlaufender Randverbund, welcher den Scheibenzwischenraum versiegelt. Er besteht aus mit Trockenmittel gefüllten Hohlprofilen aus Aluminium, verzinktem Stahl, Edelstahl, Kunststoff oder aus einer Kombination aus Edelstahl und Kunststoff. Ein wesentliches Entscheidungskriterium für den Abstandhalter ist die Wärmedämmung. In modernen Fensterrahmen wird daher vermehrt auf Kunststoff und Edelstahl zurückgegriffen.

8.4.4 Weitere Bauteile an Fensterrahmen und Fensterflügel

Verglasungsklötze verhindern bei modernen Fenstern, dass sich der Rahmen und die Glasscheibe berühren. Sie dienen zugleich als Dampfdruckausgleich für die Falzraumbelüftung und können aus unterschiedlichen Materialien bestehen; typisch sind (glasfaserverstärkter) Kunststoff, Hartholz oder Aluminium. Die Materialwahl hängt von Anforderungen wie Belastbarkeit und Wetterbeständigkeit sowie von thermischen Eigenschaften ab.

Fensterbeschläge sind für das Schließen, Öffnen und Bewegen des Fensterflügels notwendig. Je nach Öffnungsart gibt es Drehkippsbeschläge oder Scheren.

Der Fensterzapfen ist ein Beschlag am Fensterflügel, der beim Schließen in die Beschläge des Fensterrahmens greift. Fensterbeschläge bestehen hauptsächlich aus Metallen (Stahl, Edelstahl, Aluminium, Zink). Kunststoffe kommen vor allem bei Abdeckungen und weniger belasteten Teilen zum Einsatz.

Der Fenstergriff ist am Fensterflügel befestigt und dient zum Öffnen, Kippen und Schließen des Fensters. Er besteht hauptsächlich aus Metall (Stahl, Edelstahl, Aluminium, Zink). ABS-Kunststoffe oder verstärkte Kunststoffe werden als leichte und kostengünstige Alternative verwendet. Ebenfalls angeboten werden Kombinationen aus einem Metallkern und einer Kunststoff- oder Holzverkleidung.

Der Wetterschenkel wird auf der unteren Außenseite des Fensterflügels angebracht, um Regenwasser abzuleiten (meist bei Holzfenstern). Er besteht aus Aluminium, Kunststoff (PVC oder GFK), Holz (hauptsächlich bei Holzfenstern) oder Edelstahl.

Die Glasleiste ist ein schmales Fensterelement, das am Flügel angebracht wird, nachdem die Scheibe in den Glasfalz eingesetzt wurde. Sie besteht aus Kunststoff (PVC), Aluminium, Holz (hauptsächlich bei Holzfensterrahmen) oder Hybridlösungen.

Des Weiteren ist folgendes Zubehör notwendig:

- Fensterabdeckleisten verdecken die Fuge zwischen Fenster und Mauerwerk im Bauteilanschluss. Sie bestehen aus Kunststoff (PVC, ABS), Aluminium, Holz (hauptsächlich bei Holzfensterrahmen) oder Edelstahl.
- Fensteranschluss: Putzleisten bestehen meistens aus PVC mit einem Glasgitter, welches kunststoffbeschichtet ist. Beim Einbau werden meistens PUR-Montageschäume verwendet.
- Kunststoffteile, die Fensterrahmen mit der Aluabdeckschale verbinden.

8.5 Putze

8.5.1 Kunststoffarten und Anwendungsbereiche

Putzmörtel mit Silikonharz- oder Kunstharzbindemittel werden überwiegend als Teil von Wärmedämmverbundsystemen für Fassaden eingesetzt. Mit kunststoffhaltigen Putzen sind besonders dünne Auftragsstärken möglich. Diese Produkte können Spannungen gut überbrücken, weshalb weniger (schnell) Risse in der Oberfläche entstehen. Im Innenbereich werden Putzen und Spachtelmassen ebenfalls oft Kunststoffe zugesetzt. Kunststoff-Dispersionsspachtel, aber auch Gipsspachtelmassen enthalten meistens Bindemittel auf Basis von Polyvinylacetat oder Acrylharzen. Die meisten Putze enthalten weniger als 15 M.-%, aber mehr als 6 M.-% Kunststoff, besonders Silikonharzputze. Kunstharzputze können auch weniger als 6 M.-% Kunststoffanteil haben, viele Putze liegen sogar unter 3 M.-%.

Hauptbestandteile von Putzen sind Sande und andere mineralische Zuschlagstoffe. Als Bindemittel kommen vorwiegend Kalk, Gips, Zement und Kombinationen aus diesen drei Rohstoffen sowie Lehm zum Einsatz. Die wenigsten Fertigputze (ausgenommen Lehmputze) und Spachtelmassen werden ohne Kunststoffadditive angeboten. Angaben zu Kunststoffgehalten in Putzen fehlen gewöhnlich mit Verweis der Hersteller auf das Rezepturgeheimnis.

8.5.2 Kritische Stoffe

In der Nutzungsphase kann es auf Wärmedämmverbundsystemen bei übermäßiger, anhaltender Oberflächenfeuchte (Tauwasser/Kondensat und Schlagregen) in Kombination mit dünn-schichtigen, hydrophoben Beschichtungen zu einem mikrobiellen Bewuchs der Fassade kommen. Zum Schutz vor Veralgung können Putzmörtel daher Biozide enthalten. Diese Wirkstoffe wäscht der Regen jedoch kurz- bis mittelfristig aus, weshalb ihre Wirksamkeit gegenüber mikrobiellem Bewuchs zeitlich begrenzt ist. Zugleich stellen Biozide aufgrund ihres ungünstigen Abbauverhaltens in der Umwelt und weiterer toxikologischer Eigenschaften ein hohes öko- und humantoxikologisches Risiko dar. Biozide werden auch als Topfkonservierer für bereits mit Wasser versetzte, verarbeitungsfertige Produkte im Promillebereich eingesetzt.

Im Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) ist der Biozideinsatz für verschiedene Produktgruppen über den BNB-Kriteriensteckbrief 1.1.6 „Risiken für die lokale Umwelt“ geregelt. So ist die Verwendung von Bioziden in WDVS oder Innendämmungen ausgeschlossen. Mit Ausnahme bestimmter Topfkonservierungsmittel gilt der Ausschluss auch für andere Produkte wie Spachtelmassen, Putze und Farben. Der Blaue Engel schließt in seinen Vergaberichtlinien den Einsatz von Bioziden in WDVS aus. Auch das Umweltzeichen natureplus schließt Putzmörtel, Spachtelmassen und WDVS, die Filmkonservierungsmittel enthalten, von der Zertifizierung aus. Beim Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG) sind biozide Wirkstoffe derzeit (Stand: 2025) nur zu deklarieren, ihr Einsatz ist jedoch weder beschränkt noch ausgeschlossen.

In der Nutzungsphase können je nach Produktart und Zusammensetzung u. a. aus den enthaltenen organischen Bestandteilen oder Lösemitteln flüchtige organische Verbindungen (VOC) emittieren.

Putzmörtel können halogenorganische Verbindungen enthalten, die über ihren gesamten Lebenszyklus mit gesundheitlichen und ökologischen Risiken verbunden sind.

Aufgrund vielfältiger ökologischer Nachteile bei der Herstellung sowie bei der Entsorgung und beim Recycling sollten Produkte aus halogenorganischen Verbindungen vermieden werden. Im Hinblick auf Recycling sind Carbonfasern und EPS-Granulate in Leicht- und Wärmedämmputzen als Störstoffe anzusehen.

Bei Rückbau und Recycling werden die in Putzen und Spachtelmassen enthaltenen, nicht sichtbaren und daher als „versteckt“ bezeichneten Kunststoffe nicht berücksichtigt. Für die Baurestmassendeponie ist die zulässige Verunreinigung mit organischen Stoffen auf wenige Prozent beschränkt. Da die Einschätzung jedoch auf Sicht bzw. nach dem subjektiven Ermessen erfolgt, kann der mit den Baurestmassen deponierte Kunststoffanteil mengenmäßig weder für Makro- noch für Mikroplastik beziffert werden.

Putze und Spachtelmassen können kaum sauber von den unter ihnen liegenden Bauteilschichten gelöst werden. Vorgaben für mineralische Recyclingbaustoffe thematisieren den Kunststoffgehalt nicht. Eine Verschlechterung der Eigenschaften durch Verunreinigung ist zumindest mittelfristig anzunehmen.

8.5.3 Produktalternativen

Eine Alternative zum kunststoffhaltigen Putzmörtel sind rein mineralische Putze, zu denen vor allem Lehm-, Kalk-, Gips- und Zementputze zählen. Dabei ist zu beachten, dass die meisten dieser drei Putzarten sowie deren Mischungen – in den Datenblättern nicht oder nicht näher bezeichnete – Zusatzstoffe enthalten, weshalb die Kunststofffreiheit nur schwer eindeutig festzustellen ist. Sobald die Wörter „Kunststoffvergütung“ oder „Edelputz“ in der Produktbeschreibung stehen oder auf besondere Rissfreiheit und Flexibilität hingewiesen wird, ist in jedem Fall Kunststoff zugesetzt.

Wandbekleidungen mit Tapeten, Holz oder Holzwerkstoffen können speziell, wenn sie leicht von der Wand lösbar sind, für eine sortenreine Trennung von Bauteilschichten vorteilhaft sein.

Die Verwendung von Putzen und Spachtelmassen kann hinterfragt werden, eventuell kann die Tragstruktur ohne Verputz oder andere Schichten auskommen.

Durch bauliche Maßnahmen wie große Dachüberstände und diffusionsoffene, hydrophile Beschichtungssysteme mit Dickputzen und Fassadenfarben auf mineralischer Basis kann die Oberflächenfeuchte verringert und auf den Einsatz von biozidhaltigen Produkten verzichtet werden. Produkte, die mit dem Blauen Engel oder dem natureplus-Qualitätszeichen ausgezeichnet sind oder die im BNB-System die höchsten Qualitätsniveaus erreichen, sind frei von Filmkonservierungsmitteln.

8.6 Bodenbeläge

8.6.1 Kunststoffarten und Anwendungsbereiche

Elastische Bodenbeläge werden vorwiegend aus Kunststoffen gefertigt. Zu den gängigen Produkten zählen PVC-, Polyolefin-, Polyurethan- sowie Elastomerbodenbeläge aus synthetischem Kautschuk. Vereinzelt bestehen Bodenbeläge auch aus biobasiertem Polyurethan. Laminatbodenelemente enthalten Melamin-Formaldehydharz (MF), Melamin-Harnstoff-Formaldehydharz (MUF) und Phenol-Formaldehyd-Harz (PF) als Klebstoffe der Holzfaserträgerschicht und für die Laminatschicht.

Textile Bodenbeläge aus synthetischen Fasern werden u. a. aus Polyamid, Polypropylen, Polyester oder Polyacryl bzw. Mischungen aus ihnen hergestellt. Selbstliegende Teppichfliesen, die einen schweren Rücken

benötigen, können PVC enthalten. Einige Anbieter verwenden dafür Recyclingmaterial. Zusätzlich setzen sie Kunststoff für bzw. in Sockelleisten, Verklebungen, Beschichtungen und Pflege- und Reinigungsmitteln ein.

Elastische Bodenbeläge werden in Wohngebäuden, vor allem aber in Gewerbebauten, öffentlichen Gebäuden (Sportstätten, Schulen, Krankenhäuser etc.) und in der Industrie eingesetzt. Sie sind strapazierfähig, feuchteunempfindlich und können leicht gereinigt werden, weshalb sie besonders für Feuchträume, bei hohen hygienischen Anforderungen oder für stark frequentierte Flächen geeignet sind. Teppiche werden überwiegend für Bürobauten verwendet, während Laminatböden eher im Wohnbereich anzutreffen sind.

8.6.2 Kritische Stoffe

Emissionen aus Bodenbelägen sind relevant für die Innenraumluftqualität. Begrenzungen von VOC und SVOC sind daher schon lange Kriterien für die Erlangung von Umweltzeichen. Zusätzlich gibt es für Kautschukbeläge die Beschränkung für Nitrosamine. Farbgebende Pigmente und Farbstoffe können bedenklich sein. Weichmacher und Flammenschutzmittel unterliegen den Anforderungen der REACH-Verordnung.

Die meisten Bodenbeläge können recycelt werden, zumindest teilweise kommt Rezyklat bei der Erzeugung von Neuware vor. Verunreinigungen etwa durch Klebstoffreste beeinträchtigen die Verwertbarkeit.

8.6.3 Produktalternativen

Kunststoffhaltige elastische Bodenbeläge können durch Linoleum- oder Korkbodenbeläge ersetzt werden. Auch harte, hochwertige Bodenbeläge aus Holz, z. B. Parkett- und Dielenböden, Naturstein- und keramische Bodenbeläge können je nach Anwendungsbereich alternativ verwendet werden. Selten, aber doch vereinzelt auftretend gibt es Produkte, die nicht verklebt werden müssen und im Sinne der Kreislaufwirtschaft ebenso wie zur Vermeidung von Kunststoffen in Klebstoffen einsetzbar sind.

Die zuvor genannten Hinweise zu Gefahrstoffen und Alternativen gelten sinngemäß auch für Klebstoffe und Sockelleisten.

8.7 Farben und Lacke

8.7.1 Kunststoffarten und Anwendungsbereiche

Farben und Lacke werden zum Schutz und zur Gestaltung der Oberflächen von Decken, Innen- und Außenwänden, Böden, Fenstern, Türen und Möbeln eingesetzt. Sie sind auf verschiedenartigen Untergründen wie Putz, Beton, Fliesen, Naturstein, Holz oder Metall anwendbar. Ihre Benennung erfolgt nach Anwendungszweck (Wandfarbe, Holzlack) oder Rohstoffbasis (Silkatfarbe, Epoxidharzbeschichtung) oder nach Verarbeitungsart (Einbrennlackierung). Eine Übersicht über Farben und Lacke gibt beispielsweise die Datenbank WECOBIS, abrufbar unter <https://www.wecobis.de/service/farben-lacke-lasuren-anw.html> (WECOBIS o. J. h). Die verwendeten Kunststoffarten sind in der Regel Duroplaste, die nach ihrer Aushärtung nicht mehr (wie die Thermoplaste PE und PP) ohne chemische Modifikation verändert und daher nicht wiederverwertet werden können. Die häufigsten Kunststoffarten in Wandfarben und Lacken sind

- Acrylat-Polymere: Diese sind weitverbreitet in wasserbasierten Farben, sowohl Wandfarben als auch in Lacken. Sie bieten gute Haftung und Flexibilität zur Rissüberbrückung, Wetter- und Farbbeständigkeit, weshalb sie ideal für Innen- und Außenanwendungen geeignet sind.
- Polyvinylacetat (PVA): PVA wird oft in Dispersionsfarben verwendet. Es sorgt für eine gute Haftung und ist kostengünstig, hat jedoch möglicherweise nicht die gleiche Wetterbeständigkeit wie Acrylatfarben.

- Styrol-Acrylat-Polymere: Diese Kombination bietet die Vorteile von Styrol und Acrylat einschließlich verbesserter Haltbarkeit und Wetterbeständigkeit; sie sind jedoch spröder als Reinacrylate.
- Polyurethan (PUR): In einigen speziellen Wandfarben kann PUR enthalten sein, um zusätzliche Strapazierfähigkeit und chemische Beständigkeit zu bieten.
- Alkydharze: Alkyde sind modifizierte Öle und werden vorwiegend für die Lackherstellung verwendet, sind jedoch nicht (mehr) gebräuchlich.
- Epoxid- und Polyurethan-Harze: Epoxidharz und PUR gelten derzeit (Stand: 2025) als nicht rezyklierbar.

Reinacrylate bieten in der Regel eine höhere Flexibilität, eine bessere Haftung und eine gute Wetterbeständigkeit. Sie sind oft auch weniger anfällig für Vergilbung und sorgen für eine gute Farbstabilität über einen größeren Zeitraum. Diese Eigenschaften machen sie besonders geeignet für Anwendungen, bei denen eine lange Haltbarkeit und Farbtreue wichtig sind. Styrolacrylate hingegen kombinieren die Vorteile von Styrol und Acrylat. Sie bieten oft eine bessere Wasserbeständigkeit und eine höhere Deckkraft, weshalb sie eine beliebte Wahl für Innen- und Außenanstriche sind. Sie können jedoch spröder sein als Reinacrylate.

8.7.2 Kritische Stoffe

Reaktionsharze sind vor allem in der Verarbeitung bedenklich, nach ihrer Aushärtung gelten sie als inert. Einige der Ausgangsstoffe für Epoxidharze (Bisphenol und Epichlorhydrin) und für Polyurethane (Isocyanate) sind als möglicherweise krebserregend eingestuft. Für den Außenbereich können Biozide enthalten sein, sowohl für Holz- und Putzbeschichtungen als auch als Topfkonservierer vor allem für wässrige Formulierungen (siehe Kapitel 8.5 Putze).

Aus Bautenanstrichen werden relevante Mengen an Mikroplastik freigesetzt (siehe Kapitel 7.5.1 Makroplastik, Mikroplastik, Nanoplastik). Zu beachten ist, dass auch Spachtelmassen für die Untergrundvorbereitung von Lackierungen oft aus Polyester- und Epoxidharzen bestehen.

Aus Farben und Gebäudebeschichtungen entweicht mehr Mikroplastik als aus Textilien (Olatunji 2022; zitiert in Prasittisopin/Ferdous/Kamchoom 2023: 8). Untersuchungen der OECD (2009:130) beschreiben Bautenfarben als Innen- und Außenwandfarben sowie Lacke und Lasuren für Holz und Metall für Innen und Außen. OECD (2009:135 f.) schätzten für die Verarbeitung durch Professionisten Verluste von 3 % Restfarbe im Gebinde und 1 % durch die Werkzeugreinigung. Während der Nutzung werden 3 % der ausgehärteten Farben durch Abrieb in den Erdboden freigesetzt. Die verbleibende Farbe wird mit dem damit beschichteten Produkt gemeinsam entsorgt. Hann et.al (2018: 27) berechnen einen jährlichen Verlust von 21.100 bis 34.900 t Farbe EU-weit. Darüber hinaus setzen auch die Instandhaltung und die Renovierung etwa durch Schleifen, Abscheren und Sandstrahlen Kunststoffpartikel frei.

8.7.3 Produktalternativen

Bei geringer Beanspruchung können Oberflächen unbeschichtet bleiben. Wo Holz- oder offenporige, mineralische Oberflächen vor Feuchte oder mechanischer Beanspruchung durch Gebrauch oder Bewitterung geschützt werden sollen, können Öle, Wachse, Lacke und Lasuren auf Basis von Pflanzenöl oder Naturharz oder auch auf Basis von Wasserglas (Silikat) verwendet werden. Mit dem Einsatz von Farben, die ohne Schleifen renoviert werden können, werden Stäube vermieden und damit die Gesundheit der Arbeitenden geschont und die Arbeitszeit bei der Renovierung gespart.

Bei besonders hoher Beanspruchung können keramische Bodenbeläge, z. B. Fliesen, eine Alternative zu Epoxidharzbeschichtungen sein. Auf Wänden und Decken können kunststoffbasierten Farben durch mineralische

Produkte wie Kalk- oder Silikatfarben ersetzt werden. In Silikatfarben wird der organische Teil mit der DIN-Norm 18363 auf 5 M.-% im Gebinde beschränkt. Metalle korrodieren unbehandelt rasch, weshalb eine Oberflächenbeschichtung verwendet oder auf die Verwendung von Metall verzichtet werden sollte.

8.8 Kunststoffeinsatz in Bauprodukten

Im Rahmen des Projekts „Wegweiser kunststofffreies Bauen“ wurden sowohl produktspezifische als auch generische Daten für den Kunststoffgehalt in Baustoffen sowie potenziell enthaltene kritische Schadstoffe recherchiert. Zur Datensammlung wurden Interviews und Umfragen mit Herstellern (siehe Anhang 1: Interviews und Herstellerumfrage sowie verschiedene öffentlich zugängliche, kostenfreie Datenbanken genutzt. Der Fokus lag auf Polymeren, Additiven und deren ökologischen Eigenschaften. Die Daten sollten idealerweise qualitätsgesichert sein. Geprüft wurden unter anderem Material Data Center von Altair Engineering, Inc. (<https://materials.altairone.com/>), die Campus-Datenbank der CWFG mbH (<https://www.campusplastics.com/>), ChemSpider der Royal Society of Chemistry (<https://www.chemspider.com/search>) oder die Polymer-Additiv-Datenbank von SpecialChem (<https://polymer-additives.specialchem.com/>). Diese Datenbanken bieten Informationen zur Verwendung, Komparabilität und funktionalen Eigenschaften von Polymeren sowie deren Rolle in Kunststoffen, enthalten jedoch keine Angaben zu ökologischen Auswirkungen.

Bauprodukt Datenbanken wie etwa DGNB Navigator (DGNB Navigator o. J.), SundaHus (SundaHus o. J.) und Sentinel Holding Institute (Sentinel o. J.) stellen unterschiedlich strukturierte Informationen zur Verfügung, Kunststoffanteile werden jedoch nicht ausgewiesen. Wesentliche Quellen für Baustoffdaten im Projekt waren daher die beiden nachfolgend beschriebenen Datenbanken.

8.8.1 Ökologisches Baustoffinformationssystem WECOBIS

Das ökologische Baustoffinformationssystem WECOBIS (www.wecobis.de) vermittelt einen produktneutralen Überblick über am Bau verwendeten Bauproduktgruppen und Materialien über deren gesamten Lebenszyklus. Die folgenden Produktgruppen werden behandelt:

- Bauplatten,
- Bodenbeläge,
- Dämmstoffe,
- Dichtungen, Abdichtungen,
- Bauprodukte aus Holz,
- Kleb- und Dichtstoffe für punkt- und linienförmige Verklebungen,
- Klebstoffe und Verlegewerkstoffe,
- Massivbaustoffe,
- Metalle,
- Mörtel und Estrich,
- Oberflächenbehandlungen,
- Verglasungen,
- Grundstoffe – Bindemittel, Gesteinskörnungen, Kunststoffe.

Die Produktgruppen sind dann weiter unterteilt, zunächst nach der Funktion (z. B. Abdichtungsbahnen) oder direkt nach der Rohstoffbasis (z. B. Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen). Auf die jeweilige Produktart bezogen (z. B. Kunststoffdichtungsbahnen oder Polyurethan-Hartschaum) sind ausführliche Fachinformationen und der Lebenszyklus je nach Rohstoff, Herstellung, Verarbeitung, Nutzung und Nachnutzung dargestellt. Im Abschnitt Rohstoffe werden die Hauptbestandteile mit durchschnittlichen Einsatzmengen genannt. Welche

Kunststoffe und welche kritischen Stoffe in welchen Mengen in den einzelnen Produktgruppen enthalten sein können, kann somit abgeschätzt werden. Ausführungen zu umwelt- und gesundheitsrelevanten Auswirkungen über den Lebenszyklus ergänzen die Stoffbeschreibung.

8.8.2 Produktdeklarationsplattform baubook

Das österreichische Webportal www.baubook.info bildet die Kriterien verschiedener etablierter Ausschreibungs-, Gebäudezertifizierungs- oder Fördersysteme, z. B. BNB/QNG, ÖkoBauKriterien, ab. Hersteller können ihre Produkte mit technischen und bauökologischen Eigenschaften deklarieren. Derzeit sind knapp 4000 Produkte auf baubook.info gelistet (Stand: 2025). Für einige Produktgruppen sind bereits Rohstoffanteile (fossil, nachwachsend, mineralisch) miterfasst. Es werden kritische Stoffgruppen, die auch mit Kunststoffprodukten assoziiert werden (z. B. Weichmacher, Flammschutzmittel etc.), adressiert und einigen Produktgruppen sind Kriterien mit Kunststoffbezug zugeordnet (z. B. „Kunststoffgehalt in mineralischen Produkten < 3 M.-%“). Je nach Bewertungssystem sind dies:

- Anforderungen mit Bezug auf den Kunststoffanteil oder die Kunststoffart
 - Grenzwert für organische Bestandteile in Mineralfarben,
 - Grenzwert für den Kunststoffgehalt in Farben, anderen mineralischen Produkten, Dämmstoffen und Folien aus Papier,
 - Begrenzung der Kunststoffanteile in mineralischen Putzen und Klebern.
- Anforderungen mit Bezug auf kritische Inhaltsstoffe, Emissionen oder Verunreinigungen
 - Vermeidung von PVC in Folien, Fußboden- und Wandbekleidungen, Sonnen- und/oder Sichtschutz,
 - PVC-freie Fenster, Türen, Rohre im Gebäude, Folien, Fußbodenbeläge, Tapeten, Wasser- und Abwasser-, Zu- und Abluftrohre im Gebäude,
 - Vermeidung von Reaktionslacken,
 - Verbot von Epoxid- und PUR-Systemen für Industrieböden.

Themenübergreifend kann wiederum zwischen

- Ausschlusskriterien, die bestimmte Stoffe oder Stoffgruppen ausschließen, z. B.
 - Verbot von Alkylphenoethoxylaten (Kunstharzbodenbeläge auf PUR-Basis),
 - Vermeidung von PVC-Produkten wie Boden- oder Wandbeläge; Dichtungsbahnen, Dampfsperren, Folien und Vliese,
- Positivkriterien, die Produkte mit bestimmten Eigenschaften fordern, z. B.
 - GISCODE-Einstufung PU10,
- Grenzwerten, die den Einsatz von oder die Verunreinigung mit Stoffen einschränken, z. B.
 - Begrenzung des Kunststoffgehalts in mineralischen Produkten,
 - Begrenzung des Gehalts an Bisphenol in Bodenbelägen,
 - Begrenzung des Schwermetallgehalts in Bodenbelägen

unterschieden werden. Insgesamt ergibt sich anhand von [baubook](http://baubook.info) bereits ein umfassendes Bild der Kriterien und Produktgruppen, da hier einerseits allein aufgrund der Zielgruppen und Nutzer:innen (Wohnbauförderungen, Gebäudebilanzierer:innen, Energieausweisersteller:innen, Planer:innen) ein nahezu vollständiges Produktspektrum erforderlich ist und dieses andererseits durch Kooperationen mit dem BNB auch Ergänzungen aus Deutschland erhalten hat. Nach intensiver Durchsicht aller Produktgruppen ist festzuhalten, dass lediglich Hilfsmittel für die Montage, z. B. Dübel, Keile/Abstandhalter (Fliesenleger), Unterlagsplättchen (Fenstermontage. Kunststoff oder Holz), Schalungszubehör und andere am Bau präsente Materialien wie Abdeckmaterial, (Not-)Dächer aus PVC-Folien, Schutzfolien und sonstige (Verpackungs-)Abfälle nicht erfasst sind. Zudem fehlt die

Produktgruppe der Verlegeplatten für eine Fußbodenheizung, wobei diese vermutlich auch als Bauplatten unter der jeweiligen Rohstoffbasis deklariert werden können.

9 KUNSTSTOFFEINSATZ IN KONSTRUKTIONEN

9.1 Einleitung

Im Folgenden werden Baukonstruktionen und der Aufbau von Bauteilen untersucht. Ein besonderes Augenmerk gilt den Aufgaben bzw. Funktionen der einzelnen Bauteilschichten, denn jedes Bauteil muss vielfältige Anforderungen etwa an die Statik oder die Behaglichkeit erfüllen. Als Strukturierungshilfe dienen die Kostengruppen nach DIN 276 – Kosten im Bauwesen (Dezember 2018), da diese auch zu anderen Nachhaltigkeitsbewertungssystemen für Gebäude herangezogen werden, z. B. beim BNB-System oder den QNG-Anforderungen. Die Anforderungen an die Baukonstruktionen werden untersucht und darauf aufbauend gängige Bauteilaufbauten, die besonders relevant für das kunststofffreie Bauen sind, definiert. Anschließend erfolgt eine Analyse der Aufbauten hinsichtlich des Kunststoffeinsatzes. In einem weiteren Schritt wird untersucht, ob in den Aufbauten Kunststoffanteile in Baumaterialien vermieden werden können (z. B. durch eine andere Baustoffwahl oder eine spezifische Produktwahl). Außerdem wird nach konstruktiven Lösungen gesucht, die den Einsatz kunststoffhaltiger Materialien vermeiden oder verringern können.

9.2 Ziel der Untersuchung

Die Bauweise (oder auch die Art der Konstruktion) übt einen wesentlichen Einfluss auf die Wahl der Baumaterialien aus, da sich aus ihr unterschiedliche Anforderungen ergeben, z. B. hinsichtlich der Abdichtung oder des Wärmeschutzes. Das Ziel dieses Arbeitspakets ist es, den Einsatz von Baumaterialien aus oder mit Kunststoffen in den unterschiedlichen Baukonstruktionen zu untersuchen, um festzustellen, welche das kunststofffreie Bauen unterstützen.

9.3 Gebäude und Baukonstruktionen

Gebäude haben im Laufe der Geschichte diverse Rollen eingenommen. Während einige als Schutz vor Umwelteinflüssen dienten, wurden andere für rein religiöse oder symbolische Zwecke ohne Schutzfunktion errichtet. Den meisten Bauten heute liegt eine klar definierte Funktion zugrunde: Sie bieten einen speziell gestalteten Raum für Lebensbereiche an, von Wohnungen und Wohnhäusern, Bürobauten, Krankenhäuser, Hochschulen, Gedenkstätten, um nur wenige zu nennen. Diese Räume werden oft mit verschiedenen Technologien ausgestattet, um die Bedürfnisse ihrer Nutzer:innen zu erfüllen. Die Entwicklung von Gebäuden, die viele Funktionen erfüllen, ist eine anspruchsvolle Aufgabe. Insbesondere im Hochbau sind die vielfältigen Anforderungen und das komplexe Zusammenspiel der verschiedenen Teile einer Struktur eine besondere Herausforderung für Architekt:innen und Bauingenieur:innen (Moro 2021: 496).

Im Forschungsprojekt „Wegweiser für kunststofffreies Bauen“ wurden Wohngebäude untersucht. Mit dem Wohnen als Funktion gehen vielfältige Anforderungen an die Baukonstruktion einher. Dabei sind nicht nur physiologische Bedürfnisse wie frische Luft, ausreichendes Tageslicht und die Raumtemperatur zu berücksichtigen, sondern auch psychologische Aspekte (z. B. Kontrollmöglichkeiten bezüglich der Raumtemperatur, Einblick in den Wohnbereich, etc.), die das allgemeine Wohlfühl im Raum beeinflussen. Die wichtigsten Anforderungen an Wohngebäude und somit auch an Bauprodukte sind in den Grundanforderungen der EU-Bauprodukte-Verordnung beschrieben. Sie betreffen die statischen Eigenschaften, den Wärme-, Schall- und Brandschutz, die Sicherheit und Barrierefreiheit sowie den Ressourcen-, Gesundheits- und Umweltschutz. Die Gebäudehülle spielt eine wesentliche Rolle bei der Erfüllung der Anforderungen, da sie

vor Witterung schützt und ein konstantes Innenklima ermöglicht. Die Anforderungen können je nach Ziel variieren. Beispielsweise fordern verschiedene Energieeffizienzziele wie das des Nahezu-Null-Energie-Gebäudes verschiedene Bauteilaufbauten. Horizontale und geneigte Außenflächen wie Dächer müssen nicht nur extremen Witterungsbedingungen standhalten, sondern zusätzlich auch Kräfte und Lasten umleiten. Diese Beanspruchung kann zu erhöhtem Materialverbrauch und speziellen Anforderungen an die Bauphysik führen, welche den allgemeinen baulichen Aufwand maßgeblich beeinflussen (Moro 2021: 497–498).

Um diese Aufgaben des Gebäudes zu erfüllen, muss auch die Baukonstruktion spezifische Bedingungen erfüllen. Es lassen sich 3 bauliche Hauptfunktionen unterscheiden, die in verschiedenen Teilsystemen der Gebäudestruktur auftreten. Diese sind:

- Lastabtragen als Primärsystem (Kraftleiten),
- Einhüllen und Schützen (vor äußeren oder anderen Einflüssen) als Funktion des Sekundärsystems (thermohygrische Funktionen, Belichtung, Schallschutz, Brandschutz etc.),
- Ver- und Entsorgen als Tertiärsystem in gebäudetechnischen Anlagen (Moro 2021: 497 ff.).

Diese drei Hauptfunktionen können sowohl getrennt als auch miteinander verbunden in einem Bauteil auftreten. Es gibt zudem weitere Aufgaben wie die Dauerhaftigkeit und Nachhaltigkeit (z. B. Primärenergiebedarf der Baukonstruktion oder Recyclingfähigkeit), welche die Planung und Ausführung der Baustruktur beeinflussen.

Die Funktionen der Baukonstruktion können bei den Sekundärsystemen weiter untergliedert werden:

- Windschutz*)
- Schutz vor Niederschlag bzw. Nässe*)
- Thermische Konditionierung*)
- Kontrolle des Dampfhaushalts (Schutz vor Dampfeintritt oder Dampfdiffusionsfähigkeit) *)
- Schallschutz*)
- Brandschutz*)
- Schutz vor Eindringen
- Natürliche Belüftung
- Belichtung
- Sicht-, Blend-, Sonnenschutz

*) Funktionen, die einen unmittelbaren Einfluss auf die konstruktive Ausbildung von Bauteilen ausüben. (Moro 2021: 503).

Je nach Lage und Bauteil muss die Baukonstruktion eine oder mehrere dieser Funktionen erfüllen. Meistens sind die „Aufgaben“ auf verschiedene Bauteilschichten eines Bauteils aufgeteilt, z. B. die Monofunktionalität der Wärmedämmung oder der Dampfsperre. In diesem Forschungsprojekt werden sowohl die Primär- als auch die Sekundärsysteme untersucht. Die gebäudetechnischen Anlagen (das Tertiärsystem) werden nicht berücksichtigt.

9.4 Auswahl der Baukonstruktion

Um die Bauteile und ihre Funktionen vertieft zu betrachten, werden relevante Bauteile definiert und im weiteren Verlauf analysiert. Die Relevanz eines Bauteils wird dabei durch die Anforderungen, die an das Bauteil gestellt werden, und die Häufigkeit des Bauteils bewertet. Die Anforderungen, die an das Kraftleiten bzw. Lastabtragen gestellt werden, unterscheiden sich je nach Lage des Bauteils. Beispielsweise muss das Dach neben der Verkehrslast und der Eigenlast bzw. Auflast im Winter auch die Schneelast mit ableiten. Dabei ist beim Flachdach mit besonderer Belastung zu rechnen, da die Kraftrichtung der Lasten meistens rechtwinklig zur Hüllebene wirkt.

Bei erdberührten Bauteilen muss zusätzlich zur Eigenlast auch der Erddruck und teilweise drückendes Wasser berücksichtigt werden (Moro 2021: 509).

Die Anforderungen an den Feuchteschutz unterscheiden sich ebenfalls je nach Lage des Bauteils. Vor allem betroffen sind erdberührte Bauteile (Bodenfeuchte), Spritzwasserzonen (ca. 30 cm oberhalb des Bodenniveaus), senkrechte und geneigte Hüllflächen (unterer Teil der Fassade: verstärkter Wasseranfall). Besondere Anforderungen bezüglich des Feuchteschutzes ergeben sich bei waagrechten oder nur leicht geneigten Flächen, da es hier zur Bildung von Pfützen und liegendem Schnee mit Tauwasser kommen kann (Moro 2021: 512).

Die Gebäudehülle kann dem Winddruck oder Windsog ausgesetzt sein, je nachdem, ob sie dem Wind zugewandt ist (Luvseite) oder nicht (Leeseite). Verwirbelungen, die schwer vorhersehbar sein können, hängen stark von der Geometrie der Hüllfläche und Faktoren wie der umgebenden Landschaft und der Nachbarbebauung ab. Mit zunehmender Höhe eines Gebäudes steigen auch die Windstärke und -geschwindigkeit. Diese wachsende Windlast trifft besonders auf Hochhäuser zu und muss bei der Planung berücksichtigt werden. Flacher geneigte und tiefer liegende Hüllflächen sind besser vor Wind geschützt, obwohl auch auf horizontalen Flächen ein Sogeffekt spürbar sein kann (Moro 2021: 514).

Der Wärmeaustausch über die Gebäudehülle erfolgt durch den Temperaturunterschied zwischen innen und außen. Je größer dieser Unterschied ausfällt, desto stärker ist der Wärmetransport. Wind kann diesen Effekt verstärken, indem er die Wärme an der Oberfläche der Hülle schnell abführt. Man unterscheidet zwischen zwei Typen:

- erdberührten Bauteilen: Der Wärmefluss ist zwischen den kühleren unterirdischen Räumen und dem Erdreich, das gemäßigte Temperaturen aufweist, reduziert;
- nicht erdberührten Bauteilen: Insbesondere bei den Dachflächen sind ungünstige Bedingungen gegeben, da warme Luft nach oben steigt und es daher im Winter erhöhte Wärmeverluste durch diese gibt (Moro 2021: 514–515).

Für die Planung der Bauteilaufbauten ist ebenfalls die Dampfdiffusion durch die Gebäudehülle relevant. Sie hängt von der Differenz im Dampfdruck zwischen innen und außen ab, d. h. je größer diese Differenz ausfällt, umso schneller erfolgt die Diffusion. Sie kann mit geeigneten Sperrschichten kontrolliert werden. In der lokalen Klimazone (Deutschland, Kontinentalklima) ist in der Regel ein höherer Dampfdruck innerhalb des Gebäudes als außen vorhanden, weshalb eine Dampfdiffusion von innen nach außen erwartet wird. Im feuchten Umfeld des Bodens hingegen tritt ein Sättigungsdruck auf, der stets über dem Dampfdruck in unterirdischen Räumen liegt. In dieser Situation wäre ein umgekehrter Dampftransport in den Innenbereich möglich, den es zu verhindern gilt. Daher wird eine Sperrschicht verwendet, deren Aufgabe es u. a. ist, Wasser von der Baukonstruktion fernzuhalten (Moro 2021: 514–517).

Die Anforderungen bezüglich des Schallschutzes sind vor allem für die nicht erdberührten Bauteile von Interesse. Die Berücksichtigung von Schallschutzmaßnahmen ist je nach Standort des Gebäudes anzupassen und schützt den Innenraum gegen Schallimmissionen von außen. Ebenso können Schallschutzanforderungen für Wohnungstrennwände zu anderen Bauteilaufbauten führen (Moro 2021: 517 f.).

Gebäude müssen entsprechend eines Brandschutzkonzeptes geplant und umgesetzt werden. In manchen Fällen muss das gesamte Gebäude vor externen Brandgefahren wie dem Übergreifen eines Feuers von einem benachbarten Gebäude aus geschützt werden. In anderen Situationen, etwa bei Mehrfamilienhäusern, ist es notwendig, bestimmte Bereiche, in denen Brände entstehen könnten, voneinander zu isolieren. Ein Ziel des Brandschutzes im Bauwesen ist es, das Haupttragwerk eines Gebäudes vor Feuer zu schützen, um seine Stabilität im Brandfall zu gewährleisten und eine ausreichende Evakuierungszeit zu ermöglichen. Es bestehen

auch Risiken wie das Übergreifen von Bränden zwischen Stockwerken oder das Eindringen von Flugfeuer von brennenden Nachbargebäuden aus. Schächte können ebenfalls eine Brandübertragung zwischen den Geschossen ermöglichen. Zudem muss die Entstehung gesundheitsgefährdender Brandgase durch geeignete rauchdichte Vorrichtungen wie spezielle Brandschutztüren verhindert werden. Beim Brandschutz gelten oft auch gesonderte Anforderungen an Baustoffe, die in verschiedenen Normen, wie z. B. die Normenreihe DIN EN 13501, definiert sind. Da diese bestehen, werden die Materialien mit Kunststoffgehalten, die für den Brandschutz erforderlich sind, nicht weiter hinsichtlich der Vermeidung untersucht.

Neben den zuvor genannten Anforderungen sind die Lage und die Form eines Bauteils mitentscheidend für die Auswahl von Beispielkonstruktionen zur weiteren Bewertung.

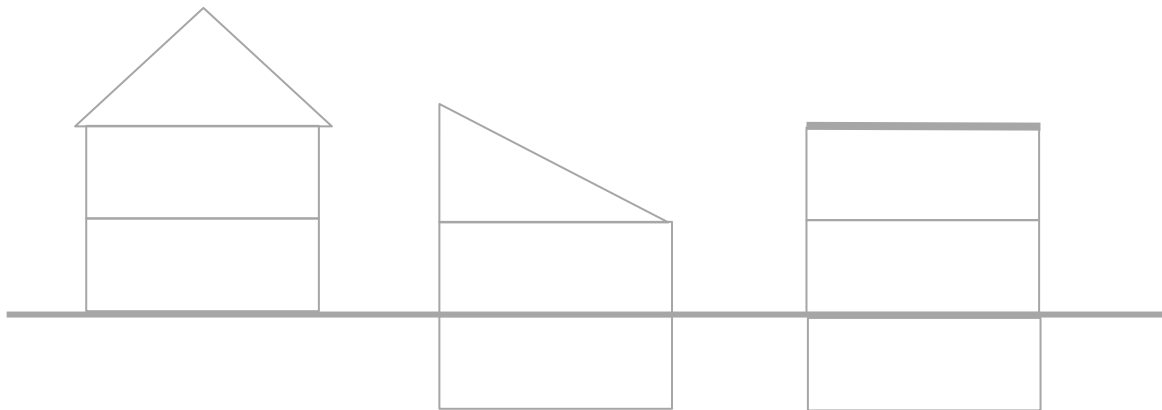


Abbildung 11: Verschiedene Ausführungen vom Aufbau eines Gebäudes (eigene Darstellung)

Abbildung 11 zeigt in einer schematischen Darstellung verschiedene Ausführungen vom Aufbau eines Gebäudes. Diese können sich beispielsweise durch die Dachausführung oder den unteren Gebäudeabschluss unterscheiden. Einen Großteil der Baukonstruktion nehmen die opaken Außenwände ein. Bezüglich der Anforderungen an die Bauteile sticht das opake Flachdach und vor allem das begrünte Flachdach heraus. Außerdem müssen erdberührte opake Außenwände besondere Anforderungen erfüllen.

Fenster, Türen und Anschlussdetails sind in ihrem Flächenanteil nachrangig und werden deshalb im ersten Schritt nicht berücksichtigt. Ebenso werden Innenwände und Decken vorerst nicht berücksichtigt, da diese aufgrund der witterungsgeschützten Lage deutlich weniger Anforderungen als Bauteile der Gebäudehülle erfüllen müssen.

Folgende Bauteile werden für eine vertiefte Betrachtung aufgrund ihrer Relevanz bezüglich der Anforderungen an das Bauteil und der Häufigkeit ausgewählt:

- Steildach,
- Flachdach,
- opake Außenwand zur Außenluft,
- opake erdberührte Außenwand.

9.5 Steildach

Das Steildach ist eine der traditionellsten und verbreitetsten Dachkonstruktionen im deutschen Wohnungsbau. Es besteht aus mehreren Schichten, die gemeinsam den Schutz des Gebäudes vor Witterungseinflüssen, den Wärmeschutz und die statische Stabilität gewährleisten. Das Dach muss die Eigenlast, die Schneelast und

abwechselnde Kräfte von Staudruck und Sog des Windes abtragen. Zudem muss es den Innenraum vor Feuchteinträgen durch Schlagregen, Flugschnee und Tauwasser schützen.

9.5.1 Aufbau eines Steildachs

Das Steildach kann in folgende hier relevante Kostengruppen gemäß DIN 276: 2018-12 Kostengruppe 360 Dächer eingeteilt werden.

- 361 Dachkonstruktionen: tragende Konstruktionen von Dächern einschließlich Über- und Unterzügen, Abstützungen und füllender Teile (z. B. Dämmungen, Hohlkörper, Blindböden, Schüttungen),
- 363 Dachbeläge: Beläge auf Dachkonstruktionen von ungenutzten und genutzten Dachflächen einschließlich Schalungen, Lattungen, Gefälle-, Dichtungs-, Dämm-, Drän-, Schutz- und Nutzschichten sowie die Entwässerung der Dachflächen bis zum Anschluss an die Abwasseranlagen, dazu gehören auch extensive und intensive Dachbegrünungen einschließlich aller Teile (z. B. Substrate, Pflanzen, Fertigstellungs- und Entwicklungspflege, Dünge- und Bewässerungsvorrichtungen).
- 364 Dachbekleidungen: Bekleidungen unter Dachkonstruktionen einschließlich Putz-, Dichtungs-, Dämm- und Schutzschichten, Licht- und Kombinationsdecken.

Je nach konstruktionsweise von Dächern wird zwischen Kaltdach und Warmdach unterschieden. Ein Kaltdach zeichnet sich durch eine zusätzliche Hinterlüftung, die u. a. dem Ableiten von Wasser dient, aus. Bei einem Warmdach entfällt diese Ebene. In Deutschland ist das Warmdach die Regel.

Abbildung 12 zeigt einen schematischen Aufbau des Warmdachs.

Variante 1 Warmdach: Holzsparren – Vollsparrendämmung

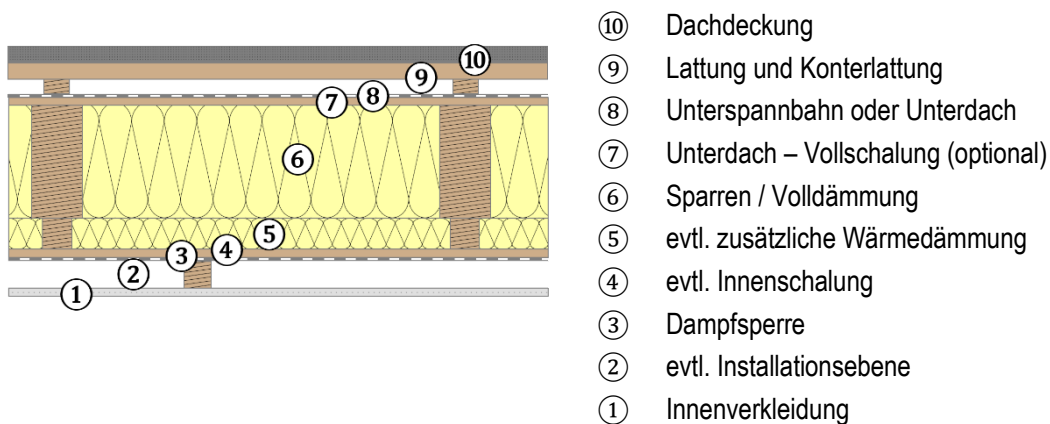


Abbildung 12: Warmdach: Holzsparren – Vollsparrendämmung

Der gesamte Dachaufbau unterhalb des Underdachs bildet ein nicht belüftetes Schichtenpaket, das vor dem Eindringen von Wasserdampf aus dem Innenraum geschützt werden muss. Daher ist auf der Innenseite der Wärmedämmung eine Dampfsperre erforderlich. Über dem Underdach befindet sich eine Hinterlüftungsebene, die für die Belüftung der Dachdeckung sorgt.

9.5.2 Analyse des schematischen Konstruktionsaufbaus

In diesem Abschnitt werden die einzelnen Schichten hinsichtlich ihres Kunststoffgehalts und der Rückbaubarkeit vom Bauteil bewertet. Es sei jedoch darauf hingewiesen: Baukonstruktionen sind komplexe Systeme, in denen die einzelnen Schichten für ein funktionsfähiges Bauteil zusammenspielen müssen. Daher ist bei einer Analyse

und Bewertung der einzelnen Schichten zu betonen, dass eine Fachperson die Funktionsfähigkeit des Bauteils als Gesamtaufbau beurteilen muss.

Folgende Schichten werden für den zuvor gezeigten Warmdachaufbau verwendet:

Dachdeckung / Dachhaut

Aufgabe:	Ableitung von Niederschlag und Vermeidung von Feuchte durch z. B. Flugschnee, Windschutz
Eigenschaften:	regensicher, witterungsbeständig, feuerbeständig
Material:	Dachziegel (Ton), Schieferplatten, Stroh bzw. Reet, Holzschindeln (z. B. Zeder, Lärche), Betondachsteine, Faserzement-Dachplatten (z. B. mit Polyvinylalkoholfasern), Metalle (z. B. Stahl, Kupfer, Aluminium), Bitumendachschindeln, Bitumenwellplatten, Kunststoff-Dachziegel
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	nein
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	Dachdeckung weitgehend ohne Kunststoffe umsetzbar, Verwendung von z. B. Tonziegeln, Schiefer oder Reet, Verzicht auf synthetische Dachbeschichtungen möglich
Rückbaubarkeit der Schicht:	Deckmaterialien (Ton, Schiefer, Beton) gut rückbaubar, recyclingfähig, wiederverwendbar

Dachlattung und Konterlattung

Aufgabe:	Unterkonstruktion für die Dachdeckung, Hinterlüftung
Eigenschaften:	tragfähig
Material:	Holzlaten, evtl. Schalung über Konterlattung: Massivholzplatten, Holzwerkstoffplatten wie beispielsweise OSB-Platten
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	nein
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	Dach- und Konterlattung vollständig kunststofffrei mit Vollholzlaten umsetzbar, Massivholz-, OSB- und andere Holzwerkstoffplatten enthalten meist kunstharzbasierte Bindemittel
Rückbaubarkeit der Schicht:	rückbaubar ohne Stör- und Fremdstoffe aus angrenzenden Schichten, alle Bestandteile recyclingfähig, Rückbau in der Regel zerstörend und damit nicht wiederverwendbar

Unterspannbahn oder Unterdach

Aufgabe:	Schutz vor Feuchtigkeit, Wind und Staub
Eigenschaften:	diffusionsoffen, wasserabweisend, winddicht
Material:	mehrlagige Spinnvliese aus Polyethylen (HDPE) oder Polypropylen (PP), alternativ verklebte oder verschweißte Unterdeckbahnen und Nageldichtbänder (aus selbstklebendem Bitumen oder Kunststoff)
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	abhängig vom Konstruktionsaufbau; Einsatz einer Kunststoffolie bei einem diffusionsoffenen Aufbau nicht erforderlich
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	Unterspannbahnen bestehen meist aus Kunststoffen, auch bituminöse Varianten enthalten häufig Kunststoffanteile, Vermeidung durch alternativen Schichtaufbau möglich, Beispiel in Kapitel 9.5.4 Vergleich von Steildachkonstruktionen

(Steildachkonstruktion 3), alternative Lösung: Aufsparrendämmung mit zusätzlicher Schutzfunktion gegen Feuchtigkeit, Wind und Staub

Rückbaubarkeit der Schicht: meistens nicht zerstörungsfrei rückbaubar, ohne wesentliche Stör- und Fremdstoffe aus angrenzenden Schichten trennbar, thermische Verwertung

Unterdach – Vollschalung (optional)

Aufgabe: Unterkonstruktion

Eigenschaften: tragfähig

Material: Holzbretter, Holzwerkstoffplatten wie beispielsweise OSB-Platten

Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig: nein

Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung: Schalung vollständig kunststofffrei mit Holzbrettern umsetzbar, OSB- und andere Holzwerkstoffplatten enthalten kunststoffbasierte Bindemittel

Rückbaubarkeit der Schicht: rückbaubar ohne Stör- und Fremdstoffe aus angrenzenden Schichten, alle Bestandteile recyclingfähig, Rückbau in der Regel zerstörend und damit nicht wiederverwendbar

Dämmung

Aufgabe: Wärmeschutz

Eigenschaften: wärmedämmend, je nach Material auch schalldämmend und brandsicher

Material – Ausparrendämmung: Holzfaser, Kork, Mineralwolle (Glaswolle, Steinwolle), expandiertes Polystyrol (EPS), extrudiertes Polystyrol (XPS), Phenolharz (Resolharz), Polyurethan-(PUR-) Hartschaum (Bauer et al. 2022)

Material – Zwischensparrendämmung: Flachs, Hanf, Holzfaser, Jute, Kork, Schafwolle, Stroh, Zellulose, Glaswolle, Steinwolle (Bauer et al. 2022)

Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig: nein

Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung – Aufsparrendämmung: kunststofffreie bzw. -arme Alternativen (Mineralwolle) mit kunststofffreiem Bindemittel oder Kork sind vorhanden. Auswahl der Materialien im ökologischen Gesamtkontext prüfen, ggf. höhere Wärmeleitfähigkeit erfordert größere Dämmstärken

Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung – Zwischensparrendämmung: Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen teils vollständig kunststofffrei, teils mit Kunststoff-Stützfasern und -bindemitteln, Mineralwolle auch mit kunststofffreiem Bindemittel erhältlich, Auswahl der Materialien im ökologischen Gesamtkontext prüfen

Rückbaubarkeit der Schicht – Aufsparrendämmung: mechanisch mit den Sparren verbunden, Rückbau an den Verbindungsstellen zerstörend, sortenreiner Rückbau möglich

Rückbaubarkeit der Schicht – Zwischensparrendämmung: zerstörungsfrei rückbaubar, da meistens eingelegt oder eingeblasen, sortenreiner Rückbau möglich, Wiederverwendung grundsätzlich möglich

Tragende Konstruktion

Aufgabe: Primärtragkonstruktion

Eigenschaften: tragfähig

Material: Konstruktionsvollholz, Brettschichtholz, Brettsperrholz, Vollholz, z. B. Balken

Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	nein
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	Tragkonstruktion aus Vollholz vollständig kunststofffrei, Konstruktionsvollholz enthält nur sehr geringe Kunststoffanteile (ca. 0,04 M.-%)
Rückbaubarkeit der Schicht:	Schicht mit herkömmlichen Verbindungstechniken (Stahldübel, Bolzen oder Nagelplatten) zerstörungsarm rückbaubar, mit innovativen Verbindungstechnologien (Stecksysteme oder lösbare Klebeverbindungen) und entsprechende Rückbautechniken zerstörungsfrei rückbaubar, Wiederverwendung grundsätzlich möglich

Dampfsperre

Aufgabe:	Vermeidung des Eindringens von Feuchtigkeit in die Dämmung, Kondensatschutz
Eigenschaften:	luftdicht, diffusionshemmend
Material:	Dampfsperrbahnen aus Kunststoff, Elastomeren oder Bitumen, feuchtevariable Bahnen (Polyamidvlies), Verbundfolien, Aluminiumfolien, Dampfbremse aus Pappe
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	nein
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	luftdichte Innenverkleidungen können Dampfsperre ersetzen bei diffusionsoffenem Aufbau, Aluminiumfolien meist mit Kunststoffbeschichtung und ökologisch kritisch, alternative Dampfsperren z. B. Pappe (Kunststoffgehalt prüfen) oder Lehm-Leinen-Vlies mit Lehmkleber bei niedrigen Anforderungen hinsichtlich des Diffusionswiderstands möglich, bauphysikalisches Zusammenspiel der Schichten beachten, fachliche Abstimmung erforderlich, fehlerhafte Ausführung kann Feuchteschäden verursachen
Rückbaubarkeit der Schicht:	nicht zerstörungsfrei rückbaubar, frei von Verunreinigungen aus angrenzenden Schichten, stoffliche oder energetische Verwertung

Innenverkleidung – Bauplatten

Aufgabe:	Befestigungsgrundlage für Oberflächenmaterialien
Eigenschaften:	tragfähig, stabil, gute Haftung für Oberflächenmaterialien
Material:	Gipsbauplatten, Gipsfaserplatten, Putzträgerplatten (z. B. Holzwolle-Leichtbauplatten), Holzwerkstoffplatten, wie Spanplatten, mitteldichte Faserplatte (MDF), OSB-Platten etc.), Lehmbauplatten, Massivholzplatten
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	nein
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	Lehmbauplatten, Holzwolle-Leichtbauplatten; Gipsbauplatten und Gipsfaserplatten können geringe Mengen kunststoffhaltiger Klebstoffe und Imprägnierungen enthalten
Rückbaubarkeit der Schicht:	Rückbau in der Regel zerstörend und ohne Wiederverwendungsoption, raumseitig flächig angebrachte Materialien beeinträchtigen Trennbarkeit und Sortenreinheit

Innenverkleidung – Oberfläche

Aufgabe:	Raumgestaltung und Schutz der Wandschichten vor Abnutzung und Verschmutzung
Eigenschaften:	abriebfest, abwischbar, schlagfest, überstreichbar
Material:	Innenwandfarben: Dispersionsfarben, Silikatfarben (diffusionsoffen), Lehmfarben und Kalkfarben (diffusionsoffen, feuchtereulierend)

	Tapeten und Tapetenkleister: Papiertapeten, Vliestapeten, Vinyltapeten, Textiltapeten, Kleister auf Methylcellulosebasis, Stärkekleister, Kombinationskleister (Methylcellulose und Stärke), Spezial- oder Dispersionskleister Putz: Kalk- und Gipsputz oder Lehmputz auf Putzträgerplatten, Mineralputz Holzverkleidungen: Massivholzpaneele, Holzwerkstoffplatten
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	nein
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	Innenwandfarben: (traditionelle) Lehmfarben und Kalkfarben Tapeten und Tapetenkleister: Papiertapeten, Stärkekleister Putz: Kalk- und Gipsputz oder Lehmputz auf Putzträgerplatten, Mineralputz Holzverkleidungen: Massivholzpaneele, Holzwerkstoffplatten
Rückbaubarkeit der Schicht:	flächig angebrachte Materialien wie Innenwandfarben, Tapeten und Putze nicht zerstörungsfrei trennbar, je nach Material und Unterkonstruktion negative Auswirkung auf Recyclingfähigkeit des Untergrunds, Holzverkleidung gut vom Trägermaterial trennbar

9.5.3 Bewertung des schematischen Konstruktionsaufbaus

Mithilfe der Ergebnisse aus der Analyse des schematischen Aufbaus (siehe Kapitel 9.5.2 Analyse des schematischen Konstruktionsaufbaus) wird bewertet, ob und in welcher Form das Bauteil Steildach den Einsatz von Kunststoffen verlangt oder einen nahezu kunststofffreien Aufbau ermöglicht (siehe Tabelle 7).

Die Bewertung der einzelnen Schichten erfolgt anhand von 3 Kategorien:

- Der Einsatz kunststofffreier Materialien ohne Auswirkung auf die Konstruktion ist möglich.
- Der Einsatz nahezu¹ kunststofffreier Materialien ohne Auswirkung auf die Konstruktion ist möglich.
- Der Einsatz kunststofffreier Materialien mit Auswirkungen auf die Konstruktion ist möglich.
- Der Einsatz von kunststoffhaltigen Materialien ist notwendig.

Abschließend wird eine Aussage formuliert, ob ein nahezu kunststofffreies Bauteil möglich ist.

¹ Dabei wird ein nahezu kunststofffreies Material als eins mit einem Gehalt weniger als 1 M.-% an Kunststoffen in diesem Projekt definiert.

Bauteilschicht	Einsatz kunststofffreier Materialien ohne Auswirkung auf die Konstruktion möglich	Einsatz nahezu kunststofffreier Materialien ohne Auswirkung auf die Konstruktion möglich	Einsatz kunststofffreier bzw. nahezu kunststofffreie Materialien mit Auswirkungen auf die Konstruktion möglich	Einsatz von kunststoffhaltigen Materialien notwendig	Notiz
Dachdeckung	x				
Dachlattung / Konterlattung	x				
Unterspanndach				x	Bei entsprechendem Aufbau kann auf eine Unterspannfolie verzichtet werden (siehe Steildachkonstruktion 3, Kapitel 9.5.4 Vergleich von Steildachkonstruktionen).
Unterdach – Vollschalung	x				
Dämmung	x			x	
Tragende Konstruktion		x			
Dampfsperre				x	Bei entsprechendem Aufbau kann auf Kunststoff-Dampfsperren verzichtet werden (siehe Steildachkonstruktion 3, Kapitel 9.5.4 Vergleich von Steildachkonstruktionen).
Innenverkleidung – Bauplatten	x				
Innenverkleidung – Oberfläche	x				

Tabelle 7: Bewertung des schematischen Steildachkonstruktionsaufbaus hinsichtlich des Bedarfs an Materialien mit Kunststoffgehalten

Grundsätzlich kann das Bauteil Steildach nahezu kunststofffrei geplant und ausgeführt werden. Bei der Dachlattung und Konterlattung werden immer Materialien (Holzlatten) eingesetzt, die keine Kunststoffe beinhalten. Für die Materialschichten Dachdeckung, Unterdach/Vollschalung, Innenverkleidung/Unterkonstruktion und Innenverkleidung/Oberfläche gibt es alternative Materialien, die keine bzw. nahezu keine Kunststoffe beinhalten. Die Schichten Unterspanndach und Dampfsperre können nicht aus kunststofffreiem Material hergestellt werden. Diese Schichten können aber durch einen alternativen Konstruktionsaufbau, wie er im Kapitel 9.5.4 Vergleich von Steildachkonstruktionen gezeigt wird, vermieden werden. Allerdings muss dieser mit besonderer Sorgfalt und nur von fachkundigen Personen geplant werden, da es bei Planungsfehlern später zu Feuchteschäden im Bauteil kommen kann. Für die Dämmung gibt es kunststofffreie Alternativen für die Unter- und die Zwischensparrendämmung, jedoch nicht für die Aufsparrendämmung. Bei der Nutzung von

kunststofffreien Alternativen muss oft mit größeren Dämmdicken gerechnet werden, da diese meistens einen schlechteren Wärmedämmkoeffizienten haben. Dieser kann eine Anpassung der Konstruktion zur Folge haben.

9.5.4 Vergleich von Steildachkonstruktionen

Im Folgenden werden 3 Steildachkonstruktionen miteinander verglichen. Zwei der Konstruktionsbeispiele stellen in der Praxis gängige Aufbauten dar. Ein weiterer alternativer Aufbau enthält möglichst keine Materialien mit einem Kunststoffgehalt.

Zur Vergleichbarkeit wurden folgende Rahmenbedingungen angenommen:

- Wärmedurchgangskoeffizient: $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$, angelehnt an die Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes für das vereinfachte Verfahren (GEG 2020)
- Sparrenhöhe von 20 cm (statisch vergleichbare Aufbauten)
- Bezugsfläche: 1 m^2 Dachfläche
- Betrachtungszeitraum: 50 Jahre
- Informationen zu einzelnen Materialien (Rohdichte etc.) aus ÖKOBAUDAT (BBSR 2025 a) und WECOBIS (BBSR 2025 b)
- U-Wert-Berechnung und die Überprüfung des Feuchteschutzes mit Ubakus (u-wert.net GmbH 2025)
- Ökobilanzierung mit dem eLCA-Tool (BBSR 2025 c)
- Datengrundlage: ÖKOBAUDAT in der Version OBD_2023_I_A2 (BBSR 2025 d)
- Lebenszyklusphasen: Herstellung (A1-A3), Austausch (B4) und End of Life (C3, C4)
- Nutzungsdauer der Materialien: entspricht Tabelle „Nutzungsdauern für Bauteile“ (Stand: 2017) des Bundesinstituts für Bau-, Raum- und Stadtforschung entnommen (BBSR 2020). Anpassungen der jeweiligen Nutzungsdauer erfolgte bei Materialien, die in Gefachen eingebaut sind, meistens Dämmungen. Bei diesen wurde die Nutzungsdauer an die Nutzungsdauer der Konstruktion des Gefachs, also 50 Jahre, gesetzt.

Steildachkonstruktion 1 (gängig)

Für einen gängigen Aufbau einer Steildachkonstruktion wurden als Grundlage Beispielaufbauten aus dem „Konstruktionsatlas“ des BKI (BKI 2023: 484–485) und dem „Passivhaus-Bauteilkatalog: Neubau“ (IBO 2018: 134) gewählt (siehe Abbildung 13).

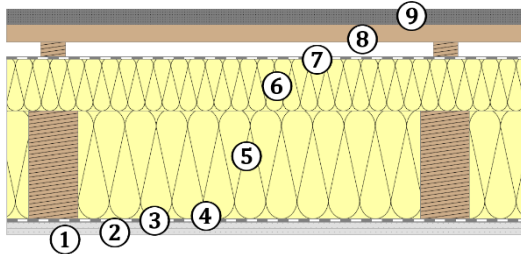


Abbildung 13: Bauteilaufbau Steildachkonstruktion 1 (gängig)

Pos.	Beschreibung	Material	Dicke [mm]	Kunststoffanteil [%]	Masse Kunststoffe [kg/m²]
1	Innerverkleidung – Oberfläche	Dispersionsfarbe ²	0,10	30	0,12
2	Innerverkleidung – Unterkonstruktion	Gipskartonplatte	12,50	-	-
3	Innerverkleidung – Unterkonstruktion	Gipskartonplatte	12,50	-	-
4	Dampfsperre	Dampfbremse PE	0,20	95	0,18
5.1	Tragende Konstruktion	Konstruktionsvollholz	200,00	0,10	0,02
5.2	Dämmung	Mineralwolle	200,00	8	0,38
6	Dämmung	Holzfaserdämmplatte (Aufsparren)	100,00	5	0,75
7	Unterspannbahn	Unterspannbahn PUR auf PET-Vlies	0,20	94	0,13
8	Dachlattung / Konterlattung	Holzlattung	30,00	-	-
9.1	Dachlattung / Konterlattung	Holzlattung	30,00	-	-
9.2	Dachdeckung	Dachziegel	30,00	-	-
gesamt					1,58

Tabelle 8: Steildachkonstruktion 1 (gängig) – Materialien und Kunststoffinhalte

Der in Tabelle 8 beschriebene Aufbau enthält 1,58 kg/m² Kunststoff. Die Masse des Kunststoffs in der Dampfsperre und der Unterspannbahn, die fast reine Kunststoffprodukte sind, beträgt 0,18 kg und 0,13 kg. Den höchsten Anteil haben die Dämmungen: Mineralwolle mit 0,38 kg und Holzfaserdämmung (Aufsparren) mit 0,75 kg. Das Konstruktionsvollholz hat durch die Verklebung der ineinandergreifenden keilförmigen Zinken eine relativ geringe Kunststoffmasse von 0,02 kg. Die Dispersionsfarbe hat eine Kunststoffmasse von 0,12 kg/m².

² Laut WECOBIS 400 g/m² (BBSR 2025 e)

Steildachkonstruktion 2 (gängig, PU-Dämmstoff)

Eine weitere Steildachkonstruktion (siehe Abbildung 14) wurde angelehnt an einen Konstruktionsaufbau aus einer Veröffentlichung des Industrieverbands Polyurethan-Hartschaum e. V. (IVPU 2024).

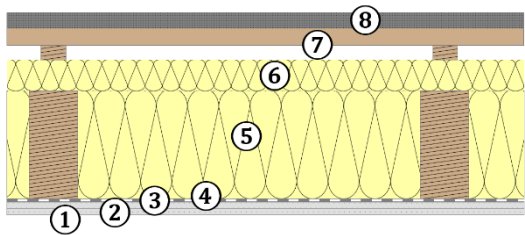


Abbildung 14: Bauteilaufbau der Steildachkonstruktion 2 (gängig, PU-Dämmstoff)

Pos.	Beschreibung	Material	Dicke [mm]	Kunststoff-anteil [%]	Masse Kunststoffe [kg/m²]
1	Innerverkleidung – Oberfläche	Dispersionsfarbe ³	0,10	30	0,12
2	Innerverkleidung – Unterkonstruktion	Gipskartonplatte	12,50	-	-
3	Innerverkleidung – Unterkonstruktion	Gipskartonplatte	12,50	-	-
4	Dampfsperre	Dampfbremse PE	0,20	95	0,18
5.1	Tragende Konstruktion	Konstruktionsvollholz	200,00	0,10	0,02
5.2	Dämmung	Holzfaserdämmplatte (Zwischensparren)	200,00	5	0,40
6	Dämmung	Hartschaum, PU-Dämmplatten	60,00	90	1,62
7	Dachlattung / Konterlattung	Holzlattung	30,00	-	-
8.1	Dachlattung / Konterlattung	Holzlattung	30,00	-	-
8.2	Dachdeckung	Dachziegel	30,00	-	-
gesamt					2,34

Tabelle 9: Steildachkonstruktion 2 (gängig, PU-Dämmstoff) – Materialien und Kunststoffinhalte

Die in Tabelle 9 beschriebene Steildachkonstruktion hat eine Kunststoffmasse von 2,34 kg/m². Davon sind 1,62 kg/m² in der PU-Dämmplatte enthalten. Bei dieser Konstruktion kann auf eine Unterspannbahn verzichtet werden, da die PU-Dämmplatte als undurchlässige Schicht gegen eintretendes Wasser und Schnee fungiert. Weitere 0,40 kg/m² Kunststoffe beinhaltet die Holzfaserdämmplatte (Zwischensparre). Die weiteren Materialien wie Konstruktionsholz und Dampfsperre sind auch in der Steildachkonstruktion 1 (gängig, Mineralwolle) verbaut.

³ Laut WECOBIS 400 g/m² (BBSR 2025 e)

Steildachkonstruktion 3 (alternativ, Schafwolle)

Beispielaufbauten aus dem „Konstruktionsatlas“ des BKI (BKI 2023: 484–485) und dem „Passivhaus-Bauteilkatalog: Neubau“ (IBO 2018: 134) dienen als Grundlage für die Steildachkonstruktion 3 (alternativ, Schafwolle) (siehe Abbildung 15).

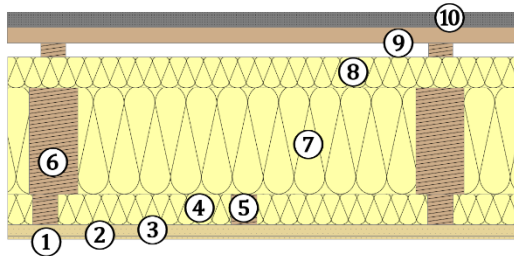


Abbildung 15: Bauteilaufbau der Steildachkonstruktion 3 (alternativ)

Pos.	Beschreibung	Material	Dicke [mm]	Kunststoff-anteil [%]	Masse Kunststoffe [kg/m²]
1	Innenverkleidung – Oberfläche	Kalkfarbe	0,10	-	-
2	Innenverkleidung – Unterkonstruktion	Lehmputz	6,00	-	-
3	Innenverkleidung – Unterkonstruktion	Lehm-Deckplatte	22,00	-	-
-	Dampfsperre	-	-	-	-
4.1	Lattung	Holzlattung	60,00		
4.2	Dämmung	Schafwoll-Dämmplatte	60,00		
5	Tragende Konstruktion	Konstruktionsvollholz	200,00	0,1	0,02
6	Dämmung	Schafwoll-Dämmplatte	200,00	-	-
7	Dämmung	Holzfaserdämmplatte, Nassverfahren	60,00	5	0,45
-	Unterspannbahn	-	-	-	-
8	Dachlattung / Konterlattung	Holzlattung	30,00	-	-
9.1	Dachlattung / Konterlattung	Holzlattung	30,00	-	-
9.2	Dachdeckung	Dachziegel	30,00	-	-
				gesamt	0,47

Tabelle 10: Steildachkonstruktion 3 (alternativ) – Materialien und Kunststoffinhalte

Der in Tabelle 10 beschriebene Steildachaufbau hat eine Kunststoffmasse von 0,47 kg/m². Damit ist die Steildachkonstruktion 3 (alternativ) derjenige Aufbau mit der geringsten Menge an verbauten Kunststoffen. Nur 2 Materialien beinhalten Kunststoffe: das Konstruktionsvollholz mit 0,02 kg/m² und die Holzfaserdämmplatte mit 0,45 kg/m². Auf Folien, wie die Dampfsperre und die Unterspannbahn, kann verzichtet werden, da der Aufbau nach außen hin diffusionsoffen geplant ist. Außerdem dient die Holzfaserdämmplatte (Aufsparrendämmung) nicht nur als Dämmung, sondern auch als Schutz vor Feuchte von außen und Schneeverwehungen. Als weitere

Dämmung wurde die Schafwollgedämmplatte ausgewählt, da diese ohne Kunststoffe auskommt. Der Innenausbau wurde mit Lehmbaustoffen und einem Kalkanstrich geplant, um auch an dieser Stelle Kunststoffe zu vermeiden.

Vergleich der 3 vorgestellten Steildachkonstruktionen

Im Folgenden werden die 3 vorgestellten Steildachkonstruktionen hinsichtlich der Masse der verbauten Kunststoffe und des Treibhausgasemissionspotenzials der gesamten Konstruktion untersucht.

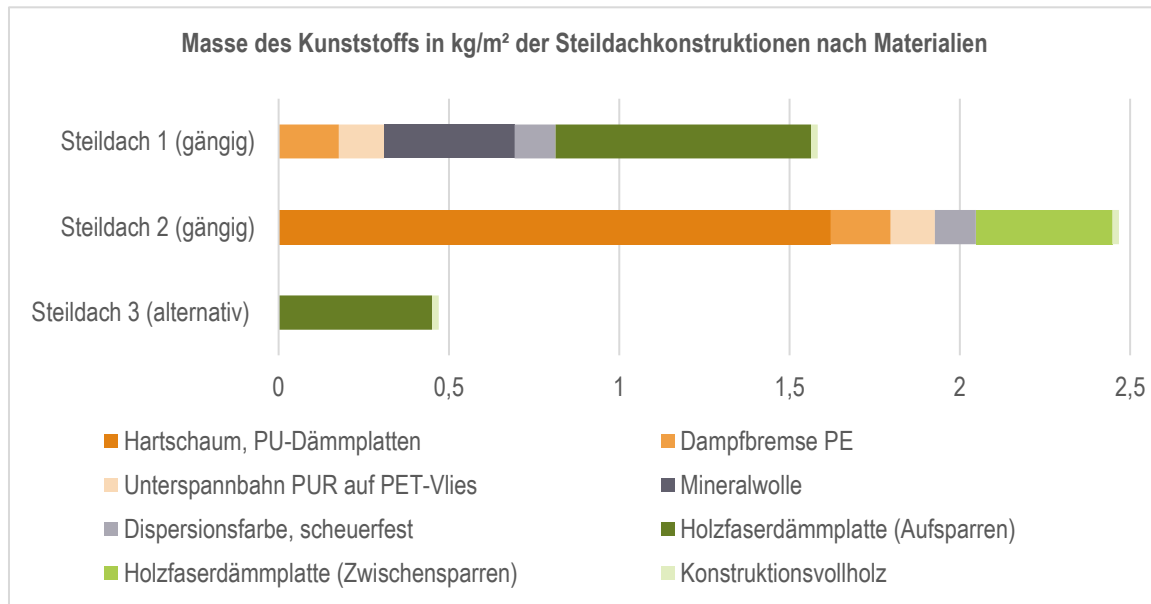


Abbildung 16: Balkendiagramme mit den Anteilen der Kunststoffgehalte der verschiedenen Materialien der 3 untersuchten Steildachkonstruktionen (eigene Darstellung)

Das Balkendiagramm in Abbildung 16 zeigt die Kunststoffanteile der verschiedenen Materialien in den untersuchten Steildachkonstruktionen. Die Steildachkonstruktion 2 (gängig) hat den höchsten Kunststoffgehalt mit 2,34 kg/m² und 5 Materialien der Konstruktion enthalten Kunststoffe. 69 % der Kunststoffmenge sind in der PU-Dämmplatte enthalten. Die Steildachkonstruktion 1 (gängig) hat eine Kunststoffmenge von 1,58 kg/m². Fast die Hälfte (47 %) der Kunststoffe beinhaltet die Holzfaserdämmplatte (Aufsparren). Insgesamt haben 6 Baustoffe der Steildachkonstruktion 1 (gängig) Kunststoffanteile. Die geringste Menge an Kunststoffen hat die Steildachkonstruktion 3 (alternativ) mit nur 0,47 kg/m². Dabei sind 96 % der Kunststoffe in der Holzfaserdämmplatte (Aufsparren) enthalten und nur ein weiteres Material (Konstruktionsvollholz) hat Kunststoffbestandteile.

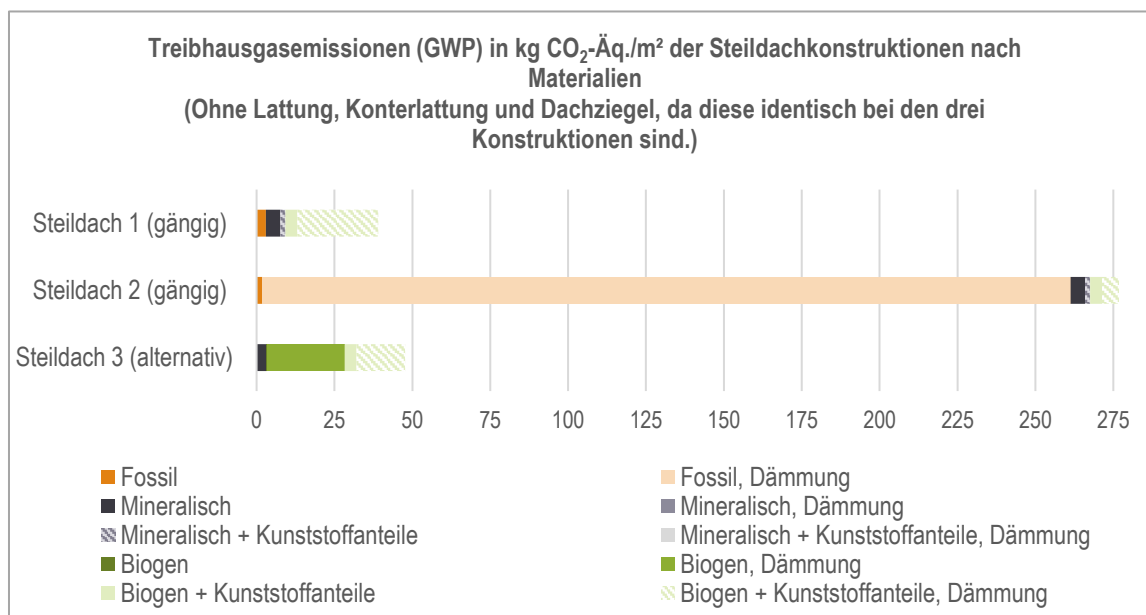


Abbildung 17: Balkendiagramme mit den Anteilen der Treibhausgasemissionen der verschiedenen Materialien für die Lebenszyklusphasen Herstellung (A1–A3), Austausch (B4) und End of Life (C3, C4) der 3 untersuchten Steildachkonstruktionen über 50 Jahre pro 1 m² Dachfläche (Annäherung: Flachsvlies statt Schafwollgedämmplatte) (eigene Darstellung)

In Bezug auf die Treibhausgasemissionen sticht klar die Steildachkonstruktion 2 (gängig, PU-Dämmstoff) heraus. Diese ist für 276,76 kg CO₂-Äq./m² Dachfläche verantwortlich. Davon entfallen 93 % auf die PU-Dämmplatten. Die Steildachkonstruktionen 1 (gängig) und 2 (alternativ) haben ein ähnlich hohes Treibhausgaspotenzial: Die gängige Variante ist für 46,54 kg CO₂-Äq./m² verantwortlich, die alternative für 47,71 kg CO₂-Äq./m². Bei der Steildachkonstruktion 3 (alternativ) wurde der kunststofffreie Dämmstoff aus Flachsvlies anstelle einer Schafwollgedämmung eingesetzt, da für diese in der Ökobaudat-Version OBD_2023_I_A2 kein Datensatz vorhanden ist. Die Dämmung ist für ca. 50 % der Treibhausgasemissionen verantwortlich. Die Verhältnisse zwischen den Steildachkonstruktionen sind nicht die gleichen wie bei den Werten der Kunststoffmassen, denn für die Analyse der Treibhausgasemissionen werden alle Materialien (also auch kunststofffreie) berücksichtigt.

9.5.5 Schlussfolgerungen

Im Bauteil Steildach sind viele der Schichten per se mit kunststofffreien Produkten, wie beispielsweise die verschiedenen Lattungen, möglich. Außerdem können beim Innenausbau und bei der Dacheindeckung kunststofffreie Materialien meistens ohne großen Aufwand eingesetzt werden. Auf die Folien im Schichtaufbau kann durch den diffusionsoffenen Aufbau und die Verwendung einer Holzfaserdämmung (Unterdeckdämmung) als Aufsparrendämmung verzichtet werden. Aber auch Holzfaserdämmungen enthalten Kunststoffe. Vor allem die Auswahl der Dämmstoffe wirkt sich auf den Kunststoffanteil im Steildach aus. Das im Steildach genutzte Konstruktionsvollholz hat einen sehr geringen Kunststoffanteil aufgrund der Verleimung.

Die Analyse der Treibhausgasemissionen ergab ebenfalls, dass vor allem Dämmstoffe zu erhöhten oder relativ hohen Treibhausgasemissionen führen können. Der PU-Dämmstoff hat ein besonders hohes Treibhausgaspotenzial im Vergleich zu den anderen Materialien.

Diese Analyse konzentrierte sich nur auf die Kunststoffgehalte und das Treibhausgaspotenzial der Konstruktionen. Nicht betrachtet wurden die Themen Schadstoffgehalt, Recyclingfähigkeit, Rückbaufähigkeit und Mikroplastikpotenzial.

Bei der Planung sollte immer eine Fachperson hinzugezogen werden, um spätere Baumängel und Feuchteschäden zu vermeiden.

9.6 Flachdach

Dächer, die eine Neigung von weniger als 10 % (etwa 5°) haben, gelten als Flachdächer. Da sie als horizontales Hüllbauteil den oberen Abschluss eines Gebäudes darstellen, ist mit einer besonderen Belastung zu rechnen: Lasten (Eigenlast, Verkehrslast, Schneelast) wirken rechtwinklig zur Hüllebene; Niederschlagswasser läuft nur langsam ab oder bleibt in Teilbereichen sogar stehen (Moro 2021: 676).

9.6.1 Aufbau eines Flachdachs

Das Flachdach kann in die Kostengruppe 360 Dächer in der dritten Kostengruppenebene eingeteilt werden (aus der DIN 276: 2018-12):

- 361 Dachkonstruktionen: tragende Konstruktionen von Dächern einschließlich Über- und Unterzügen, Abstützungen und füllender Teile (z. B. Dämmungen, Hohlkörper, Blindböden, Schüttungen),
- 363 Dachbeläge: Beläge auf Dachkonstruktionen von ungenutzten und genutzten Dachflächen einschließlich Schalungen, Lattungen, Gefälle-, Dichtungs-, Dämm-, Drän-, Schutz- und Nutzschichten sowie die Entwässerung der Dachflächen bis zum Anschluss an die Abwasseranlagen (einschließlich der in Klempnerarbeit hergestellten Rinnen und Fallrohre). Dazu gehören auch extensive und intensive Dachbegrünungen einschließlich aller Teile (z. B. Substrate, Pflanzen, Fertigstellungs- und Entwicklungspflege, Dünge- und Bewässerungsvorrichtungen),
- 364 Dachbekleidungen: Bekleidungen unter Dachkonstruktionen einschließlich Putz-, Dichtungs-, Dämm- und Schutzschichten, Licht- und Kombinationsdecken.

Flachdächer lassen sich in 3 (Haupt-)Ausführungsarten einteilen: das einschalige, nicht belüftete Dach (früher „Warmdach“ genannt), das Umkehrdach und das zweischalige, belüftete Dach (früher „Kaltdach“ genannt) (Brotrück 2018: 60–63).

Beim nicht belüfteten Dach bilden die Dachabdichtung, die Wärmedämmung und die Dampfsperre eine Einheit, die auf der tragenden Struktur aufliegt. Sie wird je nach Bedingungen von den darunterliegenden Räumen erwärmt und ist Wasserdampf ausgesetzt. Das nicht belüftete Dach kann in verschiedene Konstruktionsweisen ausgeführt werden.

Das Umkehrdach als Sonderentwicklung des nicht belüfteten Dachs ist ähnlich wie dieses aufgebaut, jedoch befindet sich die Wärmedämmschicht nicht zwischen der Dachabdichtung und der Dampfsperre, sondern oberhalb der Dachabdichtung. Das Hauptziel dieser Anordnung ist der Schutz der Abdichtung vor mechanischen Schäden und einer vorzeitigen Alterung. Diese Ausführung erfordert jedoch besondere Sorgfalt, da die Dämmschicht durchgehend Feuchte ausgesetzt ist.

Das belüftete Dach hingegen trennt die wärmegeämmte Fläche von der Dachhaut durch einen kalten Luftzwischenraum, durch den der Wasserdampf abgeleitet werden kann.

Am häufigsten wird die Ausführung des nicht belüfteten Dachs umgesetzt. Das belüftete Dach wird heutzutage kaum noch geplant. Daher werden nur folgende Konstruktionsweisen für das Flachdach betrachtet:

- Nicht belüftetes Dach
 - mit Stahlbetontragwerk,
 - mit Brettstapeldecke,
 - mit Gründach.

Variante 1 Nicht belüftetes Flachdach mit Stahlbetontragwerk

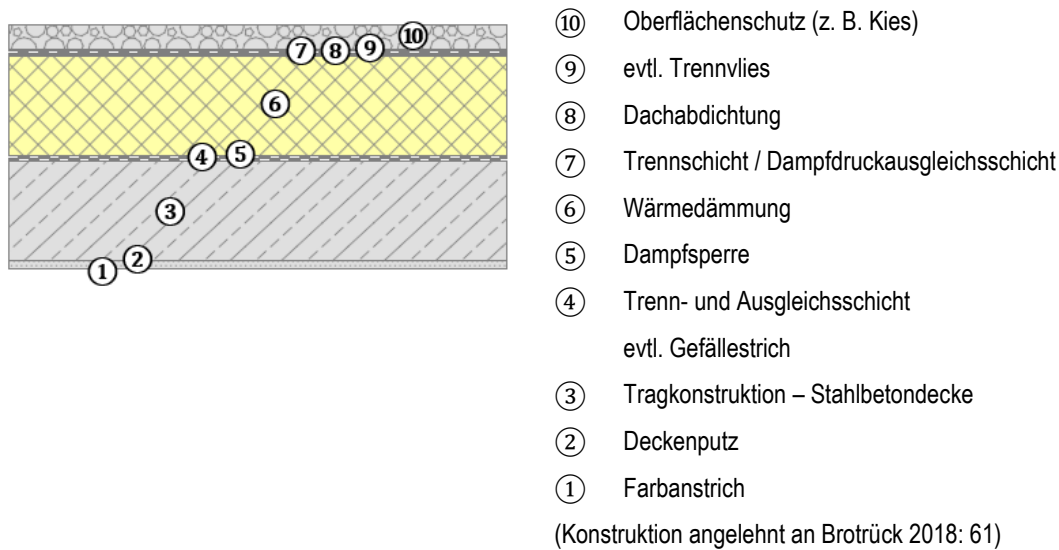


Abbildung 18: Flachdach: Nicht belüftetes Flachdach mit Stahlbetontragwerk

Das Warmdach (siehe Abbildung 18) besteht aus einer Tragkonstruktion, auf der alle erforderlichen Schichten des Dachaufbaus liegen. Oberhalb der Tragkonstruktion wird eine luftdichte, diffusionshemmende Schicht verlegt, gefolgt von der Wärmedämmung und der Dachabdichtung zum Schutz vor Niederschlagswasser. Der Wärmedämmwert sollte dabei nach außen zunehmen, um Temperaturschwankungen zu minimieren. Der Diffusionswiderstand sollte hingegen nach innen zunehmen, um den Wasserdampftransport zu reduzieren. Dieser wird oft mithilfe einer Dampfsperre erreicht.

Variante 2 Nicht belüftetes Dach mit Brettstapeldecke

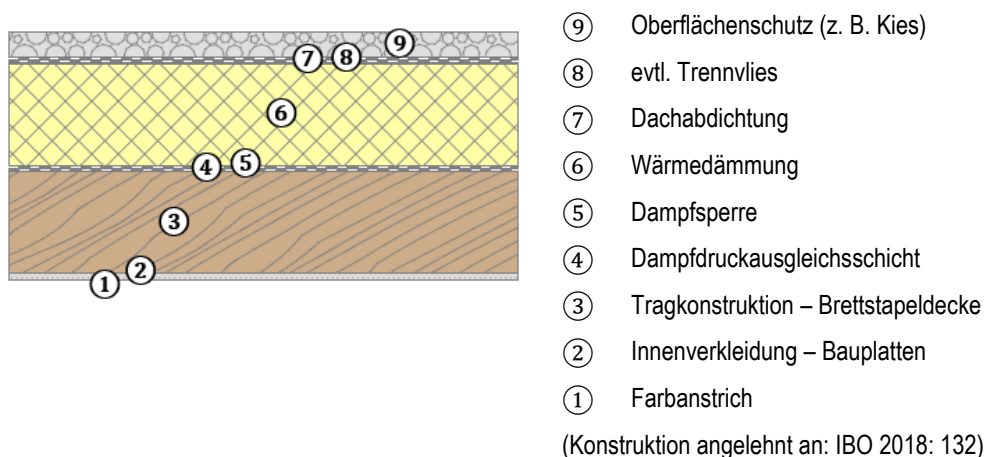
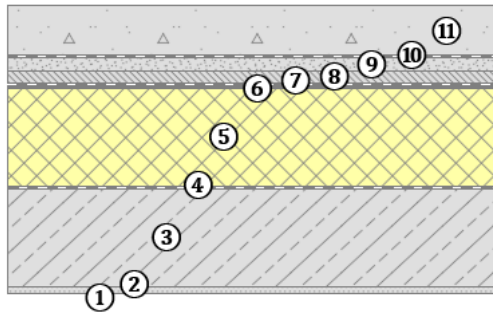


Abbildung 19: Flachdach: Nicht belüftetes Flachdach mit Brettstapeldecke

Variante 2 ist ein nicht belüftetes Dach mit einer Brettstapeldecke (siehe Abbildung 19). Beim Aufbau ist im Vergleich zur Variante 1 der Hauptunterschied die Tragkonstruktion.

Variante 3 Nicht belüftetes Dach mit Gründach



- ⑪ Vegetationsschicht (Oberflächenschutz)
- ⑩ Filtervlies (bzw. Filterschicht)
- ⑨ Dränschicht
- ⑧ Schutzlage (z. B. Estrich)
- ⑦ Trennvlies
- ⑥ Abdichtung (Oberlage wurzelfest)
- ⑤ Wärmedämmung
- ④ Dampfsperre
- ③ Tragkonstruktion – Stahlbetondecke
- ② Deckenputz
- ① Farbanstrich

(Konstruktion angelehnt an: Pech/Hubner/Zach 2021: 146)

Abbildung 20: Flachdach: Nicht belüftetes Flachdach mit Gründach

Die Art der Begrünung (intensive oder extensive) (siehe Abbildung 20) nimmt Einfluss auf die Dimensionierung des Aufbaus oberhalb der Schutzschicht. Außerdem müssen die Materialien (chemisch) zueinander passen, um Schäden zu vermeiden, beispielsweise das Risiko der Veränderung von Abdichtungen durch Weichmacher aus Recycling-Gummigranulatmatten (Pech/Hubner/Zach 2021: 146).

9.6.2 Analyse des schematischen Konstruktionsaufbaus

Baukonstruktionen sind komplexe Systeme, in denen die einzelnen Schichten für ein funktionsfähiges Bauteil zusammenspielen müssen. Daher ist bei einer Analyse und Bewertung der einzelnen Schichten zu betonen, dass eine Fachperson die Funktionsfähigkeit des Bauteils als Gesamtaufbau beurteilen muss.

In diesem Abschnitt werden die einzelnen Schichten hinsichtlich ihres Kunststoffgehalts und die Rückbaubarkeit im Bauteil bewertet.

Folgende Schichten werden für die zuvor gezeigten Aufbauten verwendet:

Oberflächenschutz

Aufgabe:	Schutz der Abdichtungen, Auflast
Eigenschaften:	Verringerung der Schadensanfälligkeit der Dachabdichtungen und des Wärmeschutzes, Eindämmung der thermischen Belastung der Schichten
Material:	Kiesschüttung, Vegetationsschicht (begrüntes Dach), Schiefersplitt, Plattenbeläge (Beton, Naturstein, Klinker etc.)
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	nein
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	in der Regel keine besonderen Maßnahmen erforderlich, Kunststoffvermeidung meistens problemlos möglich
Rückbaubarkeit der Schicht:	zerstörungsfrei und ohne Verunreinigungen aus angrenzenden Schichten rückbaubar, da meistens als Schüttung eingebaut

Filtervlies bzw. Filterschicht beim Gründach

Aufgabe:	Schutz vor Abwandern der Bodenfeinteile in die Dränschicht, Ableiten von Wasser
Eigenschaften:	nicht durchwurzelfest, verrottungsfest
Material:	Kunststoffvliese (PA, PES, PE, PP, Polyacrylnitril), Mineralfasern
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	ja
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	keine gebräuchlichen Materialien ohne Kunststoffe verfügbar, Kunststoffvermeidung in diesem Bereich derzeit nicht möglich
Rückbaubarkeit der Schicht:	gut trennbar, stoffliche oder energetische Verwertung

Dränschicht beim Gründach

Aufgabe:	Abfuhr von überschüssigem Niederschlagswasser, Wasser speichern
Eigenschaften:	nicht durchwurzelfest, verrottungsfest
Material:	Leichtgesteinskörnungen aus Blähschiefer, Blähton, Blähperlite, Blähglimmer oder Ziegelsplitt; Dränmatten aus Kunststoff (z. B. aus Polyamid), Dränplatten aus Kunststoff (z. B. aus EPS oder HDPE) oder Kombinationselemente (dient oft auch als Schutzschicht)
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	nein
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	Leichtgesteinskörnungen sind kunststofffrei
Rückbaubarkeit der Schicht:	gut trennbar, sortenrein rückbaubar, stoffliche oder energetische Verwertung, Wiederverwendungspotenzial bei Leichtgesteinskörnungen

Schutzschicht (Trennlagen und -vliese)

Aufgabe:	Trennung von Schichten, um Bewegungsübertragungen zu verhindern und um unterschiedliche Reaktionen auf thermische Einwirkungen voneinander zu separieren
Eigenschaften:	chemisch verträgliche Materialien
Material:	Lochglasvlies-Bitumenbahnen, Bitumen-Dachbahnen, Bitumen-Dachdichtungsbahnen, Rohglasvlies, Kunststoffvlies, Kunststofffolien, Kaschierlagen der Abdichtungsbahnen, Polyethylenfolie, Schaumstoffmatten, Gummigranulatmatten, Geotextilien etc. (Sedlbauer et al. 2010: 96; Pech/Hubner/Zach 2021: 41)
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	ja, auch Bitumenbahnen enthalten Kunststoffe (siehe Kapitel 8.3.1 Kunststoffarten)
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	keine gebräuchlichen Materialien ohne Kunststoffe verfügbar, Kunststoffvermeidung in diesem Bereich derzeit nicht möglich
Rückbaubarkeit der Schicht:	bei loser Verlegung ohne Verunreinigungen rückbaubar; ist das Produkt punkt- oder streifenweise auf der Dachabdichtung verklebt, ist die Trennbarkeit von der Dachabdichtung eingeschränkt; stoffliche oder energetische Verwertung

Schutzschicht (Trennlagen und -vliese)

Aufgabe:	Schutz der Konstruktion vor Niederschlagswasser, Wurzelschutz (bei Dachbegrünung) oder zusätzliche Wurzelschutzschicht
Eigenschaften:	Dauerhaft beständig gegenüber hohen Temperaturschwankungen, mechanischen Belastungen und durchwurzelungsfest; je nach Anforderung zwei- oder mehrlagig ausgeführt
Material:	Lochglasvlies-Bitumenbahnen, Bitumen-Dachbahnen, Bitumen-Dachdichtungsbahnen, Rohglasvlies, Kunststoffvlies, Kunststofffolien, Kaschierlagen der Abdichtungsbahnen, Polyethylenfolie, Schaumstoffmatten, Gummigranulatmatten, Geotextilien etc. (Sedlbauer et al. 2010: 96; Pech/Hubner/Zach 2021: 41)
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	ja, auch Bitumenbahnen enthalten Kunststoffe (siehe Kapitel 8.3.1 Kunststoffarten)
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	keine gebräuchlichen Materialien ohne Kunststoffe verfügbar, Kunststoffvermeidung in diesem Bereich derzeit nicht möglich
Rückbaubarkeit der Schicht:	bei loser Verlegung ohne Verunreinigungen rückbaubar; ist das Produkt punkt- oder streifenweise auf der Dachabdichtung verklebt, ist die Trennbarkeit von der Dachabdichtung eingeschränkt; stoffliche oder energetische Verwertung

Dachabdichtung

Aufgabe:	Schutz der Konstruktion vor Niederschlagswasser, Wurzelschutz (bei Dachbegrünung) oder zusätzliche Wurzelschutzschicht
Eigenschaften:	Dauerhaft beständig gegenüber hohen Temperaturschwankungen, mechanischen Belastungen und durchwurzelungsfest; je nach Anforderung zwei- oder mehrlagig ausgeführt
Material:	Bitumenbahnen, Polymerbitumenbahnen, Kunststoffbahnen, Elastomerbahnen, Flüssigkunststoffe, Abdichtung in Verbindung mit Gussasphalt (siehe DIN 18531-2)
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	ja, auch Bitumenbahnen enthalten Kunststoffe (siehe Kapitel 8.3.1 Kunststoffarten)
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	keine gebräuchlichen Materialien ohne Kunststoffe verfügbar, Kunststoffvermeidung in diesem Bereich derzeit nicht möglich
Rückbaubarkeit der Schicht:	abhängig von der Verlegeart und dem ausgewählten Material

Trennschicht / Dampfdruckausgleichsschicht / Ausgleichsschicht

Aufgabe:	Abführung von Wasserdampf und/oder Trennung von Schichten
Eigenschaften:	dauerhaft funktionsfähig und verträglich mit anliegenden Schichten
Material:	Bitumenbahnen, Polymerbitumenbahnen, Kunststofffolien, Elastomerbahnen, Verbundfolien
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	nein
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	Verzicht auf Trennschicht durch konstruktive Anpassungen, wie z. B. Nutzung von Mineralfaser-Dämmmaterialien bei denen der Dampfdruckausgleich in der Dämmung (ISOVER 2025) stattfindet oder von Schaumglasdämmung bei der die Dachabdichtung direkt auf Dämmung verklebt wird (FOAMGLAS 2025)
Rückbaubarkeit der Schicht:	abhängig von der Verlegeart und dem ausgewählten Material

Dämmung

Aufgabe:	Wärmeschutz, evtl. Herstellung des Gefälles
Eigenschaften:	wärmedämmend, je nach Material auch schalldämmend, brandsicher oder dampfsperrend
Material nicht belüftetes Dach:	Holzfaser, Kork, Mineralfaser (Glaswolle, Steinwolle), Schaumglas, expandiertes Polystyrol (EPS), extrudiertes Polystyrol (XPS), Phenolharz (Resolharz), Polyurethan- (PUR-)Hartschaum (Bauer et al. 2022)
Material Umkehrdach:	extrudiertes Polystyrol (XPS)
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	nein (nicht belüftetes Dach); ja (Umkehrdach)
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	Einsatz von kunststofffreien Alternativen wie Kork- oder Schaumglasdämmung beim nicht belüfteten Flachdach möglich
Rückbaubarkeit der Schicht:	abhängig von der Einbauart und dem ausgewählten Material (entweder lose verlegt oder geklebt)

Dampfsperre

Aufgabe:	verhindert Eindringen von Feuchtigkeit in die Dämmung, Kondensatschutz
Eigenschaften:	luftdicht, diffusionshemmend
Material:	Dampfsperrbahnen aus Kunststoff, Elastomeren, Bitumen oder Polymerbitumen; feuchtevariable Bahnen (Polyamidvlies), Verbundfolien, Aluminium-Verbunddampfsperren, Span- oder OSB-Platten
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	ja, aber Verzicht auf Dampfsperre möglich
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	Dampfsperrbahnen, Folien sowie Bitumenbahnen (siehe Kapitel 8.3.1 Kunststoffarten) und Span- bzw. OSB-Platten enthalten Kunststoffe, Verzicht auf Dampfsperre möglich bei Einsatz diffusionsdichter Dämmung wie Schaumglas (Sedlbauer et al. 2010: 102)
Rückbaubarkeit der Schicht:	abhängig von der Einbauart (entweder lose verlegt oder geklebt) und dem ausgewählten Material

Tragende Konstruktion

Aufgabe:	Primärtragkonstruktion
Eigenschaften:	tragfähig
Material:	Stahlbeton, Brettsper Holz
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	nein
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	Einsatz kunststofffreier Materialien möglich, bei Stahlbetondecken Verzicht auf Kunststoffabstandhalter durch Verwendung von Betonabstandshaltern, Bewehrung und Beton selbst enthalten meistens keine Kunststoffe, jedoch manchmal kunststoffhaltige Zusatzmittel im Beton, Verklebung von Holzwerkstoffplatten enthält Kunststoffe, Tragkonstruktion aus Vollholz vollständig kunststofffrei, Konstruktionsvollholz mit sehr geringem Kunststoffanteil (ca. 0,04 M.-%).
Rückbaubarkeit der Schicht:	Stahlbeton nicht zerstörungsfrei rückbaubar; Holzkonstruktionen je nach Verbindungsart gut rückbaubar

Innenverkleidung – Unterkonstruktion

Aufgabe:	Befestigungsgrundlage für Oberflächenmaterialien
Eigenschaften:	tragfähig, stabil, gute Haftung für Oberflächenmaterialien
Material:	Gipsbauplatten, Gipsfaserplatten, Putzträgerplatten (z. B. Holzwolle-Leichtbauplatten), Holzwerkstoffplatten (Spanplatten, MDF, OSB-Platten etc.), Lehmbauplatten, Massivholzplatten
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	nein
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	Nutzen von Lehmbauplatten oder Holzwolle-Leichtbauplatten; Gipsbauplatten und Gipsfaserplatten können relativ geringe Mengen an kunststoffhaltigen Klebstoffen und Imprägnierungen enthalten
Rückbaubarkeit der Schicht:	Rückbau in der Regel zerstörend und ohne Wiederverwendungsoption, raumseitig flächig angebrachte Materialien beeinträchtigen Trennbarkeit und Sortenreinheit

Innenverkleidung – Oberfläche

Aufgabe:	Raumgestaltung und Schutz der Wandschichten vor Abnutzung und Verschmutzung
Eigenschaften:	abriebfest, abwischbar, schlagfest, überstreichbar
Material:	Innenwandfarben: Dispersionsfarben, Silikatfarben (diffusionsoffen), Lehmfarben und Kalkfarben (diffusionsoffen, feuchteregulierend) Tapeten und Tapetenkleister: Papiertapeten, Vliestapeten, Vinyltapeten, Textiltapeten, Kleister auf Methylcellulosebasis, Stärkekleister, Kombinationskleister (Methylcellulose und Stärke), Spezial- oder Dispersionskleister Putz: Kalk- und Gipsputz oder Lehmputz auf Putzträgerplatten, Mineralputz Holzverkleidungen: Massivholzpaneele, Holzwerkstoffplatten
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	nein
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	Innenwandfarben: (traditionelle) Lehmfarben und Kalkfarben Tapeten und Tapetenkleister: Papiertapeten, Stärkekleister Putz: Kalk- und Gipsputz oder Lehmputz auf Putzträgerplatten, Mineralputz Holzverkleidungen: Massivholzpaneele, Holzwerkstoffplatten
Rückbaubarkeit der Schicht:	flächig angebrachte Materialien wie Innenwandfarben, Tapeten und Putze nicht zerstörungsfrei trennbar, je nach Material und Unterkonstruktion negative Auswirkung auf Recyclingfähigkeit des Untergrunds, Holzverkleidung gut vom Trägermaterial trennbar

9.6.3 Bewertung des schematischen Konstruktionsaufbaus

Aufgrund der Ergebnisse aus der Analyse des schematischen Aufbaus (siehe Kapitel 9.6.2 Analyse des schematischen Konstruktionsaufbaus) erfolgt die Bewertung, ob und in welcher Form das Bauteil Flachdach den Einsatz von Kunststoffen verlangt oder einen nahezu kunststofffreien Aufbau ermöglicht (siehe Tabelle 11).

Die Bewertung der einzelnen Schichten erfolgt anhand von 3 Kategorien:

- Der Einsatz kunststofffreier Materialien ohne Auswirkung auf die Konstruktion ist möglich.
- Der Einsatz nahezu⁴ kunststofffreier Materialien ohne Auswirkung auf die Konstruktion ist möglich.
- Der Einsatz kunststofffreier Materialien mit Auswirkungen auf die Konstruktion ist möglich.

⁴ Dabei wird ein nahezu kunststofffreies Material als ein Material mit weniger als 1 M.-% an Kunststoffen in diesem Projekt definiert.

- Der Einsatz von kunststoffhaltigen Materialien ist notwendig.

Abschließend wird eine Aussage formuliert, ob ein nahezu kunststofffreies Bauteil möglich ist.

Bauteilschicht	Einsatz kunststofffreier Materialien ohne Auswirkung auf die Konstruktion möglich	Einsatz nahezu kunststofffreier Materialien ohne Auswirkung auf die Konstruktion möglich	Einsatz kunststofffreier bzw. nahezu kunststofffreie Materialien mit Auswirkungen auf die Konstruktion möglich	Einsatz von kunststoffhaltigen Materialien notwendig	Notiz
Oberflächenschutz	x				
Filtervlies (bzw. Filterschicht) beim Gründach				x	
Dränschicht beim Gründach	x				
Schutzschicht				x	Es wird auf Materialien auf Basis von Bitumen mit geringerem Kunststoffgehalt ausgewichen.
Dachabdichtung				x	Es wird auf Materialien auf Basis von Bitumen mit geringerem Kunststoffgehalt ausgewichen.
Trennschicht / Dampfdruckausgleichsschicht / Ausgleichsschicht				x	Es wird auf Materialien auf Basis von Bitumen mit geringerem Kunststoffgehalt ausgewichen.
Dämmung	x				Beim Einsatz mit einer Korkdämmung muss auf einen bauphysikalisch funktionierenden Aufbau geachtet werden.
Dampfsperre	x				Es wird auf Materialien auf Basis von Bitumen ausgewichen.
Hilfsstoffe				x	Es wird auf Materialien auf Basis von Bitumen mit geringerem Kunststoffgehalt ausgewichen.
Tragende Konstruktion	x				
Innenverkleidung – Bauplatten	x				
Innenverkleidung – Oberfläche	x				

Tabelle 11: Bewertung des schematischen Flachdachkonstruktionsaufbaus hinsichtlich des Bedarfes an Materialien mit Kunststoffgehalten

Flachdächer sind aufgrund ihrer exponierten Lage ein besonders beanspruchtes Bauteil eines Gebäudes, sowohl hinsichtlich der Kräfte, die darauf wirken, als auch bezüglich der Anforderungen zum Schutz gegen eintretende Feuchte. Zudem bestehen vielfältige Möglichkeiten der Gestaltung eines Flachdachs. Je nach Wahl der Dachunterkonstruktion muss die Ausführung angepasst werden. Daher ist es schwierig, pauschale Aussagen zu kunststofffreien Lösungen zu formulieren. Um Kunststofffolien, die meistens zur Abdichtung oder als Trennschicht fungieren, zu vermeiden, kann auf bitumenhaltige Materialien zurückgegriffen werden. Diese basieren jedoch auch auf dem Rohstoff Erdöl. Die Bewertung in Tabelle 11 betrachtet jede Schicht für sich, aber um einen funktionierenden Flachdachaufbau zu planen, müssen die einzelnen Schichten aufeinander abgestimmt sein. Ein Flachdach dürfen nur fachkundige Personen mit besonderer Sorgfalt planen, da Schädigungen der Konstruktion durch Feuchteanfall bei Flachdächern gravierende Folgen nach sich ziehen.

9.6.4 Vergleich von Flachdachkonstruktionen

Im Folgenden wurden 3 Flachdachkonstruktionen miteinander verglichen.

Zur Vergleichbarkeit wurden folgende Rahmenbedingungen angenommen:

- Wärmedurchgangskoeffizient: $0,14 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, angelehnt an die Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes für das vereinfachte Verfahren (GEG 2020)
- Bezugsfläche: 1 m^2 Dachfläche
- Betrachtungszeitraum: 50 Jahre
- Informationen zu einzelnen Materialien (Rohdichte etc.) aus ÖKOBAUDAT (BBSR 2025 a) und WECOBIS (BBSR 2025 b)
- U-Wert-Berechnung und die Überprüfung des Feuchteschutzes mit Ubakus (u-wert.net GmbH 2025)
- Ökobilanzierung mit eLCA (BBSR 2025 c)
- Datengrundlage: ÖKOBAUDAT in der Version OBD_2023_I_A2 (BBSR 2025 d)
- Lebenszyklusphasen: Herstellung (A1-A3), Austausch (B4) und End of Life (C3, C4)
- Nutzungsdauer der Materialien: Tabelle „Nutzungsdauern für Bauteile“ (Stand: 2017) des Bundesinstituts für Bau-, Raum- und Stadtforschung entnommen (BBSR 2020)

Flachdachkonstruktion 1 (gängig)

Für einen gängigen Aufbau einer Steildachkonstruktion wurde als Grundlage ein Beispielaufbau aus dem „Konstruktionsatlas“ des BKI (BKI 2023: 444–445) gewählt (siehe Abbildung 21).

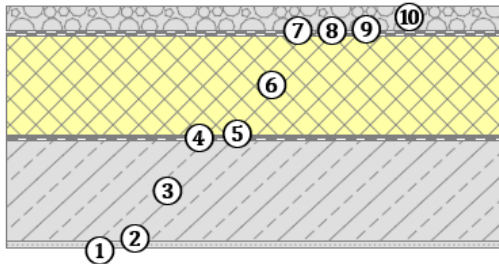


Abbildung 21: Bauteilaufbau Flachdachkonstruktion 1 (gängig)

Pos.	Beschreibung	Material	Dicke [mm]	Kunststoffanteil [%]	Masse Kunststoffe [kg/m²]
1	Innerverkleidung – Oberfläche	Dispersionsfarbe ⁵	0,10	30	0,12
2	Innerverkleidung – Unterkonstruktion	Gipsputz	10,00	-	-
3	Tragende Konstruktion	Stahlbeton	200,00	-	-
4	Dampfsperre	Aluminiumfolie	0,10	20	0,06
5	Trennlage (Schuttlage)	Polymerbitumen-Dichtungsbahn	4,00	10	0,44
6	Dämmung	PU-Dämmplatte	200,00	100	8,00
7	Dachabdichtung	Polymerbitumen-Dichtungsbahn	4,00	10	0,44
8	Dachabdichtung	Polymerbitumen-Dichtungsbahn	4,00	10	0,44
9	Trennlagen und -vliese (Schuttlage)	PE/PP-Vlies	1,30	96	0,75
10	Oberflächenschutz	Schotter	50,00	-	-
				gesamt	10,25

Tabelle 12: Flachdachkonstruktion 1 (gängig) – Materialien und Kunststoffinhalte

Der in Tabelle 12 beschriebene Aufbau hat 10,25 kg/m² Kunststoff verbaut. Den höchsten Anteil nimmt die Dämmung der PU-Dämmplatte mit 8 kg/m² ein. Die Dispersionsfarbe hat eine Kunststoffmasse von nur 0,12 kg/m². Der Anteil von eventuell eingesetzten Kunststoffabstandhaltern im Stahlbeton wird hier nicht berücksichtigt.

⁵ Laut WECOBIS 400 g/m² (BBSR 2025 e)

Flachdachkonstruktion 2 (Brettstapeldecke)

Eine weitere Steildachkonstruktion wurde angelehnt an einen Aufbau aus dem „Passivhaus-Bauteilkatalog: Neubau“ (IBO 2018: 132 f.) gewählt (siehe Abbildung 22).

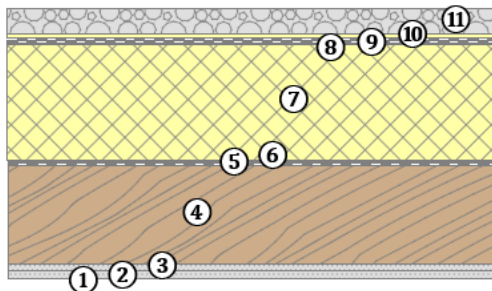


Abbildung 22: Bauteilaufbau Flachdachkonstruktion 2 (Brettstapeldecke)

Pos.	Beschreibung	Material	Dicke [mm]	Kunststoffanteil [%]	Masse Kunststoffe [kg/m²]
1	Innerverkleidung – Oberfläche	Dispensionsfarbe ⁶	0,10	30	0,12
2	Innerverkleidung – Unterkonstruktion	Gipskartonplatte	12,50	-	-
3	Innerverkleidung – Unterkonstruktion	Gipskartonplatte	12,50	-	-
4	Tragende Konstruktion	Brettstapeldecke (Brettschichtholz)	200,00	2	1,98
5	Dampfdruckausgleichsschicht	PE-Folie	0,10	79	0,08
6	Dampfsperre	Alu-Polymerbitumen-Dampfsperre	2,00	11	0,27
7	Dämmung	Mineralschaumplatte	240,00	-	-
8	Dachabdichtung	Polymerbitumen-Dichtungsbahn	4,00	10	0,44
9	Dachabdichtung	Polymerbitumen-Dichtungsbahn	4,00	10	0,44
9	Trennlagen und -vliese (Schutzlage)	Gummigranulatmatte	10,00	50	3,20
10	Oberflächenschutz	Schotter	50,00	-	-
				gesamt	6,53

Tabelle 13: Flachdachkonstruktion 2 (Brettstapeldecke) – Materialien und Kunststoffinhalte

Der in Tabelle 13 beschriebene Aufbau hat 6,53 kg/m² Kunststoff verbaut. Davon entfallen 3,2 kg/m² auf die Gummigranulatmatte, die als Schutzlage dient. Bei dieser Konstruktion wird als Dämmung eine Mineralschaumplatte ohne Kunststoffanteile eingesetzt, um so den Gesamtkunststoffanteil erheblich zu verringern. 1,98 kg/m² Kunststoffe beinhaltet die Brettstapeldecke aufgrund der kunststoffhaltigen Klebstoffe.

⁶ Laut WECOBIS 400 g/m² (BBSR 2025 e)

Flachdachkonstruktion 3 (alternativ, Kork)

Ein weiterer Beispielaufbau aus dem „Passivhaus-Bauteilkatalog: Neubau“ (IBO 2018: 134) dient als Grundlage für die Flachdachkonstruktion 3 (alternativ, Kork) (siehe Abbildung 23).

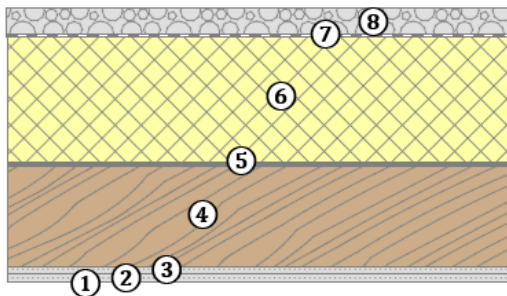


Abbildung 23: Bauteilaufbau der Flachdachkonstruktion 3 (alternativ, Kork)

Pos.	Beschreibung	Material	Dicke [mm]	Kunststoffanteil [%]	Masse Kunststoffe [kg/m²]
1	Innenverkleidung – Oberfläche	Kalkfarbe	0,010	-	-
2	Innenverkleidung – Unterkonstruktion	Gipskartonplatte	12,50	-	-
3	Innenverkleidung – Unterkonstruktion	Gipskartonplatte	12,50	-	-
4	Tragende Konstruktion	Brettstapeldecke (Brettschichtholz)	200,00	2	1,98
5	Dampfsperre	Dampfbremse PE	0,20	100	0,20
6	Dämmung	Kork	250,00	-	-
7	Dachabdichtung	EPDM-Abdichtung	1,10	79	1,04
8	Oberflächenschutz	Schotter	50,00	-	-
				gesamt	3,22

Tabelle 14: Flachdachkonstruktion 3 (alternativ, Kork) – Materialien und Kunststoffinhalte

Der in Tabelle 14 beschriebene Flachdachaufbau hat eine Kunststoffmasse von 3,22 kg/m². Damit ist die Flachdachkonstruktion 3 (alternativ, Kork) derjenige Aufbau mit den am wenigsten verbauten Kunststoffen bei den Flachdächern. Nur 3 Materialien beinhalten Kunststoffe: die Brettstapeldecke mit 1,98 kg/m², die Dachabdichtung mit 1,04 kg/m² und die Dampfsperre mit 0,20 kg/m². Für die Dämmung wurde Kork ausgewählt, der ohne Kunststoffanteile auskommt. Für den Innenausbau wurde ein Kalkanstrich geplant. Auch hier konnten Kunststoffe vermieden werden.

Vergleich der 3 vorgestellten Flachdachkonstruktionen

Im Folgenden werden die 3 vorgestellten Flachdachkonstruktionen hinsichtlich der Masse der verbauten Kunststoffe und des Treibhausgasemissionspotenzials der gesamten Konstruktion untersucht.

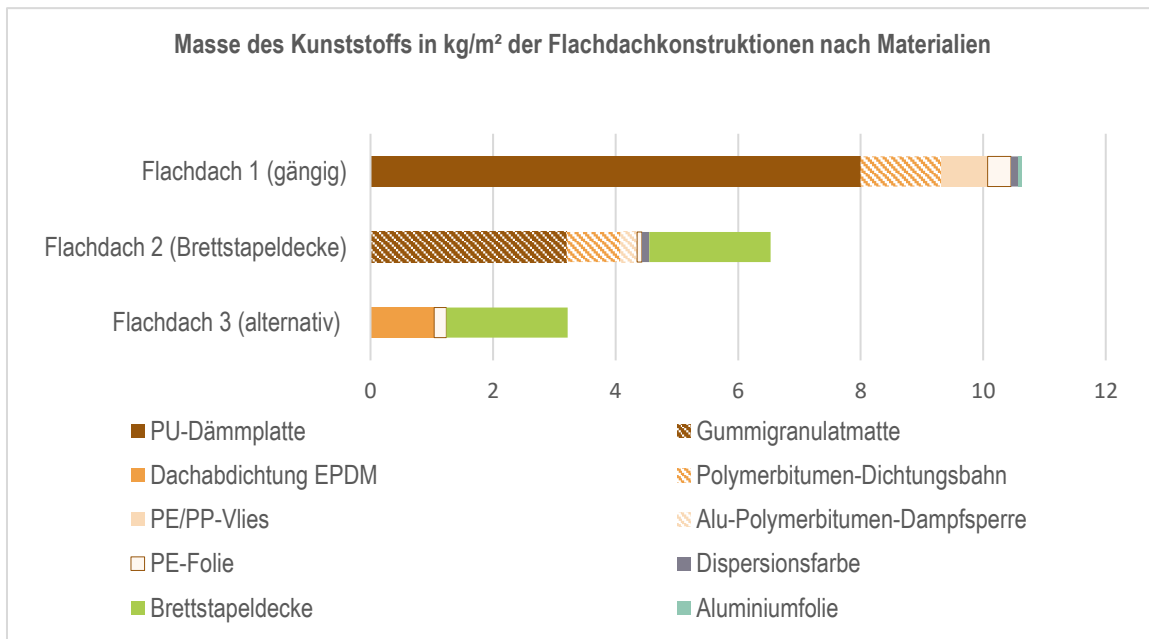


Abbildung 24: Balkendiagramme mit den Anteilen der Kunststoffinhalte der verschiedenen Materialien der 3 untersuchten Flachdachkonstruktionen (eigene Darstellung)

Das Balkendiagramm in Abbildung 24 zeigt die Kunststoffanteile der verschiedenen Materialien in den untersuchten Flachdachkonstruktionen. Die Flachdachkonstruktion 1 (gängig) hat den höchsten Kunststoffgehalt mit 10,25 kg und 6 Materialien der Konstruktion enthalten Kunststoffe. 77 % der Kunststoffmenge beinhaltet die PU-Dämmplatte. Die Flachdachkonstruktion 2 (Brettstapeldecke) hat eine Kunststoffmenge von 6,53 kg/m². 3,2 kg/m² sind dabei der Gummigranulatmatte, die als Trenn- und Schutzschicht dient, zuzuschreiben. Die Klebstoffe in der Brettstapeldecke sind für 1,98 kg/m² verantwortlich. Insgesamt haben 6 Baustoffe der Flachdachkonstruktion 2 (Brettstapeldecke) Kunststoffanteile. Die geringste Menge an Kunststoffen enthält die Flachdachkonstruktion 3 (alternativ, Kork) mit nur 3,22 kg/m². Dabei entfallen 62 % der Kunststoffe auf die Brettstapeldecke und es weisen nur 2 weitere Materialien (Dampfbremse PE, Dachabdichtung EPDM) Kunststoffbestandteile auf.

Bei der Ökobilanzierung der Bauteile werden folgende Annäherungen zugrunde gelegt: Es war kein Datensatz über Polymerbitumen zu ermitteln, weshalb der Datensatz „Bitumenbahnen G200S4“ genutzt wurde. Für die PU-Dämmplatte wurde aufgrund fehlender generischer oder Landesdurchschnitts-Datensätze der Datensatz „BauderPIR SDS / M / MF ohne BMB“ eingesetzt. Für die Gummigranulatmatte wurde auf den Datensatz PE/PP Vlies zurückgegriffen.

Betrachtet man die Treibhausgasemissionen, liegt auch in Bezug auf diese die Flachdachkonstruktion 1 (gängig) vorne (siehe Abbildung 25). Sie ist für die meisten Treibhausgasemissionen im Vergleich zu den betrachteten Konstruktionen verantwortlich, nämlich mit einem Wert von 282,56 kg CO₂-Äq./m². Davon entfallen 36 % auf die Stahlbetondecke, fast 32 % auf die PU-Dämmplatten und weitere 25 % auf die Polymerbitumendichtungsbahn. Die Flachdachkonstruktion 2 (Brettstapeldecke) ist verantwortlich für 159,08 kg CO₂-Äq./m² und die Flachdachkonstruktion 3 (alternativ, Kork) für 65,61 kg CO₂-Äq./m². Bei der Flachdachkonstruktion 2 (Brettstapeldecke) ist die Mineralschaumplatte für 32 % (50,8 kg CO₂-Äq./m²) der Treibhausgasemissionen verantwortlich, die Korkdämmung in der Flachdachkonstruktion 3 nur für 20 % (12,9 kg CO₂-Äq./m²).

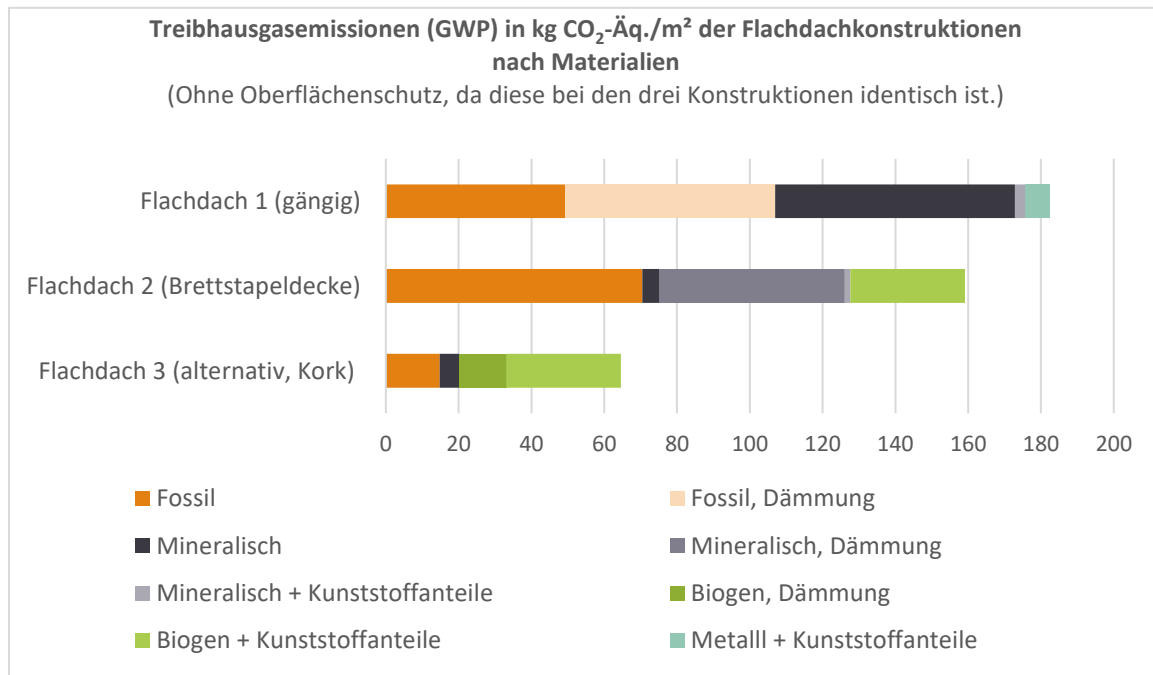


Abbildung 25: Balkendiagramme mit den Anteilen der Treibhausgasemissionen der verschiedenen Materialien für die Lebenszyklusphasen Herstellung (A1–A3), Austausch (B4) und End of Life (C3, C4) der 3 untersuchten Flachdachkonstruktionen über 50 Jahre pro 1 m² Dachfläche (eigene Darstellung)

9.6.5 Schlussfolgerungen

Die besonderen Anforderungen an das Flachdach vor allem hinsichtlich des Feuchteschutzes auf einer horizontalen Ebene führen dazu, dass kunststoffhaltige Abdichtungen und Dampfsperren notwendig sind. Aber auch hier könnte eine bedachte Auswahl der Baustoffe zu einem geringeren Kunststoffgehalt führen. Die Wahl der Dämmung übt zusätzlich einen großen Einfluss auf die Menge der verbauten Kunststoffe aus. Der Innenausbau kann kunststofffrei erfolgen.

Auch bei der Analyse der Treibhausgasemissionen zeigte sich, dass vor allem Dämmstoffe zu erhöhten oder relativ hohen Treibhausgasemissionen führen können. Der PU-Dämmstoff hat ein relativ hohes Treibhausgaspotenzial im Vergleich zu den anderen Materialien.

Das begrünte Dach wurde nur im schematischen Aufbau betrachtet. Dennoch ist erkennbar, dass durch erhöhte Anforderungen und den zusätzlichen Schichtaufbau vermehrt kunststoffhaltige Baustoffe eingesetzt werden. Für die Bauteilschicht „Filtervlies im Gründach“ konnte z. B. kein kunststofffreier Baustoff gefunden werden.

Diese Analyse konzentriert sich nur auf die Kunststoffgehalte und das Treibhausgaspotenzial der Konstruktionen. Nicht betrachtet wurden die Themen Schadstoffgehalt, Recyclingfähigkeit, Rückbaufähigkeit und Mikroplastikpotenzial.

Bei der Planung sollte immer eine Fachperson hinzugezogen werden, um spätere Baumängel und Feuchteschäden zu vermeiden.

9.7 Außenwand

Außenwände sind die vertikalen Hüllbauteile eines Gebäudes, die als tragende oder nicht tragende Konstruktionen ausgeführt sein können. Die verschiedenen Schichten einer Außenwand übernehmen vielfältige Aufgaben wie Lastabtragung, Wärmedämmung, Feuchteschutz, Schallschutz und Brandschutz (Moro 2021: 34). Darüber hinaus prägen sie das architektonische Erscheinungsbild eines Gebäudes.

9.7.1 Aufbau einer Außenwand

Die Außenwand kann gemäß DIN 276: 2018-12 den folgenden Kostengruppen der dritten Ebene zugeordnet werden:

- 331 Tragende Außenwände: tragende Außenwandkonstruktionen inklusive u. a. horizontaler Abdichtungen
- 335 Außenwandbekleidungen, außen: äußere Verkleidungen an Wänden und Stützen mit Putz-, Dichtungs-, Dämm- und Schutzschichten
- 33 Außenwandbekleidungen, innen: innere Verkleidungen an Wänden und Stützen mit Putz-, Dichtungs-, Dämm- und Schutzschichten

Außenwände können in verschiedene Konstruktionstypen unterteilt werden. Die Wahl der Konstruktion beeinflusst den Materialeinsatz sowie die Möglichkeiten zur Vermeidung von Kunststoffen. Tabelle 15 zeigt mögliche Konstruktionsaufbauten: eingeteilt in massive und leichte Wandkonstruktionen.

Wandtypen	Massive Wandkonstruktionen	Leichte Wandkonstruktionen
homogene Wand (einschalig)	Mauerziegelwände, Porenbetonmauerwerk	Massivholzwände
heterogene Wand (mehrschalig)	Mauerwerk zweischalig, Außenwärmedämmung verputzt, Außenwärmedämmung mit Hinterlüftung, Innenwärmedämmung	Massivholzwand gedämmt und verputzt, Massivholzwand gedämmt und hinterlüftet, Holzrahmenbau verputzt, Holzrahmenbau mit Hinterlüftung, Holzskelettbau, Hybridkonstruktionen

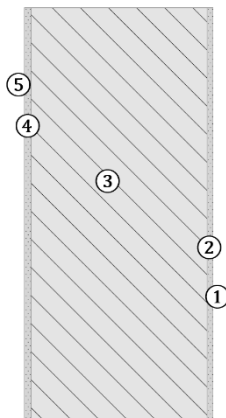
Tabelle 15: Übersicht verschiedener Konstruktionsaufbauten von Außenwänden (angelehnt an Ragonesi et al. 2022: 218–220)

In Deutschland wird für die Außenwand von Wohngebäuden am häufigsten die Ziegelbauweise genutzt, gefolgt von Porenbeton und Holz (Lohr/Sprengard/Holm 2022: 8). Folgende typische Konstruktionsweisen werden daher näher betrachtet:

- Porenbetonwand, einschalig,
- Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS),

- Holzrahmenbau mit hinterlüfteter Fassade.

Variante 1 Porenbetonwand, einschalig

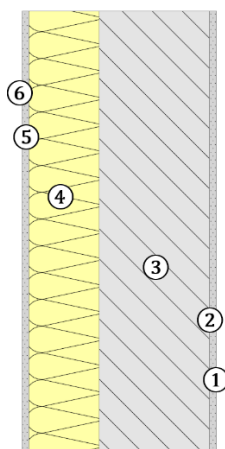


- ⑤ Fassadenfarbe
- ④ Außenputz
(Oberputz, evtl. Gittergewebeeinlage, Unterputz, Spritzbewurf als Haftgrund)
- ③ Tragkonstruktion
- ② Innenputz
- ① Innenwandfarbe
(Konstruktion angelehnt an: BKI 2023: 170 f.)

Abbildung 26: Außenwand: Porenbetonwand, einschalig

Die einschalige Porenbetonwand (siehe Abbildung 26) zeichnet sich durch seine Einfachheit aus. Die Tragkonstruktion übernimmt dabei sowohl die statischen Anforderungen als auch die Wärmedämmung. Der Außenputz dient als Feuchte- und Windschutz.

Variante 2 Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS)

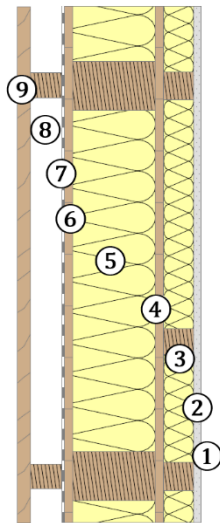


- ⑥ Fassadenfarbe
- ⑤ Außenputz
(Oberputz, evtl. Gittergewebeeinlage, Unterputz, Spritzbewurf als Haftgrund)
- ④ Wärmedämmung
- ③ Tragkonstruktion
- ② Innenputz
- ① Innenwandfarbe
(Konstruktion angelehnt an: Moro 2021: 696 f.)

Abbildung 27: Außenwand: Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS)

Das Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS), wie in Abbildung 27 dargestellt, besteht aus einer Tragkonstruktion, welche die statischen Anforderungen übernimmt, dem Außenputz als Feuchte- und Windschutz und der Wärmedämmung.

Variante 3 Holzrahmenbau mit hinterlüfteter Fassade



- ⑨ Wetterschutz
 - ⑧ Konterlattung und Hinterlüftung
 - ⑦ Winddichtigkeit
 - ⑥ Äußere Bekleidung / Beplankung
 - ⑤ Tragkonstruktion, Gefach gedämmt
 - ④ Dampfsperre
 - ③ Raumseitige Bekleidung (evtl. Installationsebene mit zweiter raumseitiger Bekleidung)
 - ② Innenverkleidung – Unterkonstruktion
 - ① Innenverkleidung – Oberfläche
- (Konstruktion angelehnt an: Moro 2021: 848 f.)

Abbildung 28: Außenwand: Holzrahmenbau mit hinterlüfteter Fassade

Der Holzrahmenbau (siehe Abbildung 28), aber auch der Skelettbau bestehen aus einer Tragkonstruktion und einer Wärmedämmung im Gefach. Der Wetterschutz erfolgt entweder durch eine vorgehängte Fassade oder ein Putzsystem (Schopbach et al. 2018: 275, 366).

9.7.2 Analyse des schematischen Konstruktionsaufbaus

Baukonstruktionen sind komplexe Systeme, in denen die einzelnen Schichten für ein funktionsfähiges Bauteil zusammenspielen müssen. Daher ist bei einer Analyse und Bewertung der einzelnen Schichten zu betonen, dass eine Fachperson die Funktionsfähigkeit des Bauteils als Gesamtaufbau beurteilen muss.

In diesem Abschnitt werden die Schichten einzeln hinsichtlich ihres Kunststoffgehalts und die Rückbaubarkeit im Bauteil bewertet.

Folgende Schichten werden für die zuvor gezeigten Aufbauten üblicherweise verwendet:

Fassadenfarben auf Verputzen

Aufgabe:	Gestaltung, Schutz gegen äußere Einflüsse
Eigenschaften:	regensicher, witterungsbeständig, UV-beständig
Material:	Dispersionsfarbe, Kunstharzfarbe, Silikatfarbe, Silikonharzfarbe
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	ja, bei WDVS; auf Putz nicht zwingend erforderlich
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	Einsatz kunststoffarmer und biozidfreier Fassadenfarben möglich, alternative Planung einer vorgehängten Fassade statt WDVS, bei Holzfassaden Verwendung kunststofffreier Lasuren und Farben wie z. B. Leinöl empfehlenswert
Rückbaubarkeit der Schicht:	Farben und Anstriche sind nicht vom Untergrund trennbar

(Wetter-)Schutzschicht

Aufgabe:	Windschutz, Feuchteschutz (bei Hinterlüftung ggf. zusätzliche Regensperre)
Eigenschaften:	regensicher, witterungsbeständig, feuerbeständig
Material:	Verputze (u. a. mineralischer Putz, Kunstharzputz, Silikonharzputz, Silikatputz, Zementputz) mit Bewehrung (u. a. Glasfasergewebe, Metallgewebe), Fassadenbekleidungen aus Metall, Faserzement, Holz, Naturschiefer, Naturstein, Textil, HPL-Schichtstoffplatten (engl. High Pressure Laminate), Verbundplatten, PV-Panels, Terrakotta, etc.
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	nein
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	Nutzen von rein mineralischen Putzen und Metallgewebe kunststofffrei (siehe Kapitel 8.5 Putze); hinterlüftete Fassaden gut geeignet mit Materialien wie Holz, Naturschiefer, Naturstein oder Terrakotta
Rückbaubarkeit der Schicht:	Verputze kaum von der darunterliegenden Schicht trennbar; vorgehängte Fassadenbekleidungen meistens gut trennbar

Konterlattung

Aufgabe:	Unterkonstruktion für die Fassade, Hinterlüftung
Eigenschaften:	tragfähig
Material:	Holzplatten
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	nein
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	Konterlattung vollständig kunststofffrei mit Vollholzplatten umsetzbar
Rückbaubarkeit der Schicht:	alle Bestandteile ohne Stör- und Fremdstoffe aus angrenzenden Schichten rückbaubar und recyclingfähig, Rückbau erfolgt meist zerstörend, Wiederverwendung in der Regel nicht möglich

Äußere Bekleidung / Beplankung (Holzrahmenbau mit Hinterlüftung)

Aufgabe:	Windichtigkeit, zweite wasserführende Ebene
Eigenschaften:	winddicht
Material:	Holzfaserdämmplatte, hydrophobierte MDF, Holzweichfaserplatten, diffusionsoffene Folien, Holzfaserplatten, zementgebundene Spanplatten, OSB-Platten, diffusionsoffene Unterdeckbahnen, spezielle Fassadenbahnen (Folien meistens aus Polyestervlies, PP, HDPE etc.), diffusionsoffene Unterspannbahnen
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	nein
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	Auswahl der Materialien (magnesitgebundene Holzwolleleichtbauplatte, zementgebundene Holzwolleleichtbauplatte, zementgebundene Spanplatten)
Rückbaubarkeit der Schicht:	Materialien abhängig von der Einbauart sortenrein rückgebaubar aber meistens zerstörend

Wärmedämmung

Aufgabe:	Wärmedämmung
Eigenschaften:	wärmedämmend
Material Außenwanddämmung hinter Bekleidung (WAB):	Flachs, Hanf, Holzfaserdämmstoff, Jute, Schafwolle, Stroh, Aerogel, Mineralfaser (Glaswolle, Steinwolle), expandiertes Polystyrol (EPS) (Bauer et al. 2022)
Material Außenwanddämmung unter Putz (WAP):	Hanf, Holzfaserdämmstoff, Kork, Aerogel, expandierter Perlit, Mineralschaum, Mineralfaser (Glaswolle, Steinwolle), expandiertes Polystyrol (EPS), extrudiertes Polystyrol (XPS), Phenolharz (Resolharz), Polyurethan-(PUR-)Hartschaum (Bauer et al. 2022)
Material Außenwanddämmung von Holzrahmen- und Holztafelbauweise (WH):	Flachs, Hanf, Holzfaserdämmstoff, Jute, Schafwolle, Stroh, Zellulose, Aerogel, Mineralfaser (Glaswolle, Steinwolle) (Bauer et al. 2022)
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	nein
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	für alle 3 Dämmungsarten kunststofffreie Materialien (u. a. Schafwolle, Stroh, Kork, Mineralschaum, Zellulose) vorhanden
Rückbaubarkeit der Schicht:	Trennbarkeit der Materialien abhängig von der Einbausituation, bei Holzrahmen- und Holztafelbauweise sind Dämmstoffe meist nur eingelegt und dadurch sortenrein rückbaubar

Tragende Konstruktion

Aufgabe:	Primärtragkonstruktion
Eigenschaften:	tragfähig
Material:	u. a. Beton, Mauerwerk (Backstein, Kalksandstein, Lehmstein, Zementstein), Holz und Holzwerkstoffe
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	nein
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	Beton und Bewehrung in der Regel kunststofffrei, jedoch häufig Kunststoffanteile in Abstandshaltern und Zusatzmitteln, ungefüllte Mauersteine kunststofffrei, die meisten Mörtel enthalten Kunststoffe – Ausnahme: Lehmmörtel, bei Holzkonstruktionen enthält Konstruktionsvollholz ca. 0,04 M.-% und Brettsperholz ca. 2 M.-% Kunststoffklebstoffe
Rückbaubarkeit der Schicht:	Rückbaubarkeit der Materialien ist abhängig von der Konstruktionsweise

Dampfsperre

Aufgabe:	Vermeidung des Eindringens von Feuchtigkeit in die Dämmung, Kondensatschutz
Eigenschaften:	luftdicht, diffusionshemmend
Material:	Dampfbremsbahnen aus Kunststoff, Elastomeren oder Bitumen, feuchtevariable Bahnen (Polyamidvlies), Dampfsperren aus Kunststoff- oder Bitumen-Aluminium-Verbund, OSB-Platten mit abgeklebten Stößen, Leinen- oder Hanfvlies mit Lehmkleber, Lehmbauplatten
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	ja, aber Verzicht auf Dampfsperre möglich
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	bei diffusionsoffenem Aufbau keine kunststoffhaltige Folie erforderlich, Kunststoffdampfbremsen ersetzbar durch Lehm-Textil-Vlies mit Lehmkleber oder

Lehmbauplatten, bauphysikalisches Zusammenspiel der Schichten beachten und fachliche Abstimmung empfohlen

Rückbaubarkeit der Schicht: nicht zerstörungsfrei rückbaubar, frei von Verunreinigungen aus angrenzenden Schichten, stoffliche oder energetische Verwertung

Innenverkleidung – Unterkonstruktion

Aufgabe: Befestigungsgrundlage für Oberflächenmaterialien

Eigenschaften: tragfähig, stabil, gute Haftung für Oberflächenmaterialien

Material: Gipsbauplatten, Gipsfaserplatten, Putzträgerplatten (z. B. Holzwolle-Leichtbauplatten), Holzwerkstoffplatten (Spanplatten, MDF, OSB-Platten etc.), Lehmbauplatten, Massivholzplatten

Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig: nein

Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung: Nutzen von Lehmbauplatten oder Holzwolle-Leichtbauplatten; Gipsbauplatten und Gipsfaserplatten können relativ geringe Mengen an kunststoffhaltigen Klebstoffen und Imprägnierungen enthalten

Rückbaubarkeit der Schicht: Rückbau in der Regel zerstörend und ohne Wiederverwendungsoption, raumseitig flächig angebrachte Materialien beeinträchtigen Trennbarkeit und Sortenreinheit

Innenverkleidung – Oberfläche

Aufgabe: Raumgestaltung und Schutz der Wandschichten vor Abnutzung und Verschmutzung

Eigenschaften: abriebfest, abwischbar, schlagfest, überstreichbar

Material: Innenwandfarben: Dispersionsfarben, Silikatfarben (diffusionsoffen), Lehmfarben und Kalkfarben (diffusionsoffen, feuchteregulierend)

Tapeten und Tapetenkleister: Papiertapeten, Vliestapeten, Vinyltapeten, Textiltapeten, Kleister auf Methylcellulosebasis, Stärkekleister, Kombinationskleister (Methylcellulose und Stärke), Spezial- oder Dispersionskleister

Putz: Kalk- und Gipsputz oder Lehmputz auf Putzträgerplatten, Mineralputz

Holzverkleidungen: Massivholzpaneele, Holzwerkstoffplatten

Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig: nein

Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung: Innenwandfarben: (traditionelle) Lehmfarben und Kalkfarben

Tapeten und Tapetenkleister: Papiertapeten, Stärkekleister

Putz: Kalk- und Gipsputz oder Lehmputz auf Putzträgerplatten, Mineralputz

Holzverkleidungen: Massivholzpaneele, Holzwerkstoffplatten

Rückbaubarkeit der Schicht: flächig angebrachte Materialien wie Innenwandfarben, Tapeten und Putze nicht zerstörungsfrei trennbar, je nach Material und Unterkonstruktion negative Auswirkung auf Recyclingfähigkeit des Untergrunds, Holzverkleidung gut vom Trägermaterial trennbar

9.7.3 Bewertung des schematischen Konstruktionsaufbaus

Mithilfe der Ergebnisse aus der Analyse des schematischen Aufbaus (siehe Kapitel 9.7.2 Analyse des schematischen Konstruktionsaufbaus) wird bewertet, ob und in welcher Form das Bauteil Außenwand den Einsatz von Kunststoffen verlangt oder einen nahezu kunststofffreien Aufbau ermöglicht (siehe Tabelle 16).

Die Bewertung der einzelnen Schichten erfolgt anhand von 3 Kategorien:

- Der Einsatz kunststofffreier Materialien ohne Auswirkung auf die Konstruktion ist möglich.
- Der Einsatz nahezu⁷ kunststofffreier Materialien ohne Auswirkung auf die Konstruktion ist möglich.
- Der Einsatz kunststofffreier Materialien mit Auswirkungen auf die Konstruktion ist möglich.
- Der Einsatz von kunststoffhaltigen Materialien ist notwendig.

Abschließend wird eine Aussage formuliert, ob ein nahezu kunststofffreies Bauteil möglich ist.

Bauteilschicht	Einsatz kunststofffreier Materialien ohne Auswirkung auf die Konstruktion möglich	Einsatz nahezu kunststofffreier Materialien ohne Auswirkung auf die Konstruktion möglich	Einsatz kunststofffreier bzw. nahezu kunststofffreie Materialien mit Auswirkungen auf die Konstruktion möglich	Einsatz von kunststoffhaltigen Materialien notwendig	Notiz
Fassadenfarben auf Verputze			x	x	
(Wetter-)Schutzschicht	x				
Konterlattung	x				
Äußere Bekleidung / Beplankung (Holzrahmenbau mit Hinterlüftung)	x				
Dämmung	x				evtl. höhere Dämmschichtendicken notwendig
Tragende Konstruktion		x			
Dampfsperre			x		Bei einem diffusionsoffenen Außenwandaufbau, kann oft auf Folien verzichtet werden (siehe Außenwandkonstruktion 4, Kapitel 9.7.4 Vergleich von Außenwandkonstruktionen).
Innenverkleidung – Unterkonstruktion	x				
Innenverkleidung – Oberfläche	x				

Tabelle 16: Bewertung des schematischen Steildachkonstruktionsaufbaus hinsichtlich des Bedarfs an Materialien mit Kunststoffgehalten

Grundsätzlich kann das Bauteil Außenwand nahezu kunststofffrei geplant und ausgeführt werden. Die hier untersuchten Fassadenfarben kommen nicht ohne Kunststoffanteile aus. Jedoch kann man auf sie verzichten. Beim Wetterschutz, also dem Putz oder der vorgehängten Fassade, oder der äußeren Bekleidung bzw. Beplankung beim Holzrahmenbau kann auf kunststofffreie Alternativen zurückgegriffen werden. Auch bei der

⁷ Dabei wird ein nahezu kunststofffreies Material als eins mit einem Gehalt weniger als 1 M.-% an Kunststoffen in diesem Projekt definiert.

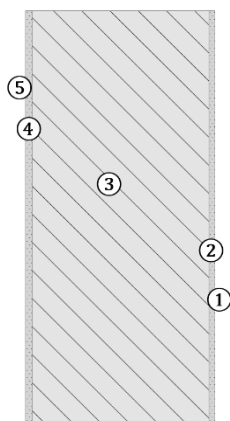
Dämmung können grundsätzlich kunststofffreie Alternativen genutzt werden, jedoch führen manche aufgrund eines schlechteren Wärmedämmkoeffizienten zu höheren Dämmstoffdicken. Das kann eine Anpassung der Konstruktion zur Folge haben. Die tragende Konstruktion kann bei Stahlbeton, sofern keine kunststoffhaltigen Abstandshalter erforderlich sind, kunststofffrei ausgeführt werden. Beim Mauerwerk sind ungefüllte Mauersteine auch kunststofffrei, aber Mörtel beinhalten meistens Kunststoffe. Eine Ausnahme ist der Lehm Mörtel oder die Stampflehmwand, bei der kein Mörtel benötigt wird. Beim Holzbau ist aufgrund der kunststoffhaltigen Klebstoffe mit geringen Anteilen an Kunststoffen zu rechnen. Beim Innenausbau kann auf Folien für die Dampfsperre verzichtet werden, sofern dieser diffusionsoffen geplant ist. Allerdings muss der Innenausbau mit besonderer Sorgfalt und nur von fachkundigen Personen geplant werden, da es bei Planungsfehlern später zu Feuchteschäden im Bauteil kommen kann.

9.7.4 Vergleich von Außenwandkonstruktionen

Im Folgenden wurden 4 Außenwandkonstruktionen miteinander verglichen. Drei der Konstruktionsbeispiele stellen in der Praxis gängige Aufbauten dar, ein weiterer Aufbau enthält möglichst keine Materialien mit Kunststoffgehalten.

Zur Vergleichbarkeit wurden folgende Rahmenbedingungen angenommen:

- Wärmedurchgangskoeffizient: $0,20 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, angelehnt an die Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes für das vereinfachte Verfahren (GEG 2020)
- Bezugsfläche: 1 m^2 Außenwandfläche
- Betrachtungszeitraum: 50 Jahre
- Informationen zu einzelnen Materialien (Rohdichte etc.) aus ÖKOBAUDAT (BBSR 2025 a) und WECOBIS (BBSR 2025 b)
- U-Wert-Berechnung und die Überprüfung des Feuchteschutzes mit Ubakus (u-wert.net GmbH 2025)
- Ökobilanzierung mit eLCA (BBSR 2025 c)
- Datengrundlage: ÖKOBAUDAT in der Version OBD_2023_I_A2 (BBSR 2025 d)
- Lebenszyklusphasen: Herstellung (A1-A3), Austausch (B4) und End of Life (C3, C4)
- Nutzungsdauer der Materialien: Tabelle „Nutzungsdauern für Bauteile“ (Stand: 2017) des Bundesinstituts für Bau-, Raum- und Stadtforschung entnommen (BBSR 2020). Anpassungen der Nutzungsdauer erfolgte bei Materialien, die in Gefachen eingebaut sind, meistens Dämmungen. Für diese wurde dieselbe Nutzungsdauer wie bei der Konstruktion des Gefachs, also 50 Jahre, angesetzt.

Außenwandkonstruktion 1 (Porenbetonwand, einschalig)

Für einen gängigen Aufbau einer Außenwandkonstruktion wurde als Grundlage ein Beispielaufbau aus dem „Konstruktionsatlas“ des BKI (BKI 2023: 168) gewählt (siehe Abbildung 29).

Abbildung 29: Bauteilaufbau Außenwandkonstruktion 1 (Porenbetonwand, einschalig)

Pos.	Beschreibung	Material	Dicke [mm]	Kunststoffanteil [%]	Masse Kunststoffe [kg/m²]
1	Innenverkleidung – Oberfläche	Dispersionsfarbe ⁸	0,10	30	0,12
2	Innenverkleidung – Unterkonstruktion	Gipsputz	15,00	-	-
3a	Tragende Konstruktion	Porenbeton (350 kg/m³)	425,00	-	-
3b	Tragende Konstruktion	Dünnbettmörtel (4,8 kg/m² ⁹ Mörtelbedarf)	-	3	0,14
4	Schutzschicht	Kalkzementputz	15,00	-	-
5	Fassadenfarbe	Dispersionsfarbe ¹⁰	0,10	30	0,12
				gesamt	0,38

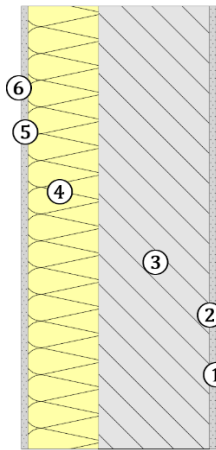
Tabelle 17: Außenwandkonstruktion 1 (Porenbetonwand, einschalig) – Materialien und Kunststoffinhalte

Der in Tabelle 17 beschriebene Aufbau hat 0,38 kg/m² Kunststoffe verbaut. Kunststoffanteile haben dabei die Dispersionsfarbe, innen und außen eingesetzt, und der Dünnbettmörtel.

⁸ Laut WECOBIS 400 g/m² (BBSR 2025 e)

⁹ 4,8 kg/m² (Xella Deutschland GmbH 2013)

¹⁰ Laut WECOBIS 400 g/m² (BBSR 2025 c).

Außenwandkonstruktion 2 (Mauerwerk mit WDVS)

Für den Aufbau einer Außenwandkonstruktion mit WDVS wurde als Grundlage ein Beispielaufbau aus dem „Passivhaus-Bauteilkatalog: Neubau“ (IBO 2018: 98 f.) gewählt (siehe Abbildung 30).

Abbildung 30: Bauteilaufbau Außenwandkonstruktion 2 (Mauerwerk mit WDVS)

Pos.	Beschreibung	Material	Dicke [mm]	Kunststoff- anteil [%]	Masse Kunststoffe [kg/m²]
1	Innenverkleidung – Oberfläche	Dispersionsfarbe ¹¹	0,10	30	0,12
2	Innenverkleidung – Unterkonstruktion	Kalkzementputz	15,00	-	-
3a	Tragende Konstruktion	Hochlochziegel	250,00 (Gefach 90,4 %)	-	-
3b	Tragende Konstruktion	Kalkzementmörtel	250,00 (Gefach 9,6 %)	3	1,35
4	Dämmung	EPS Hartschaum	150	100	3,00
5a	Schutzschicht	Silikatputz	15,00	5	1,30
5b	Schutzschicht	Glasfaserarmierung (angenommen 145 g/m²)	-	2	0,003
6	Fassadenfarbe	Silikonharzfarbe ¹²	0,1	30	0,12
				gesamt	5,89

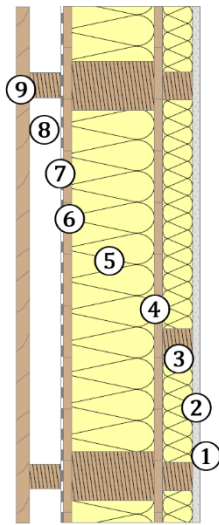
Tabelle 18: Außenwandkonstruktion 2 (Mauerwerk mit WDVS) – Materialien und Kunststoffinhalte

Der in Tabelle 18 beschriebene Aufbau hat 5,89 kg/m² Kunststoff verbaut. Den größten Anteil an Kunststoffen hat die EPS-Dämmung mit 3 kg/m². Der Kalkzementmörtel und der Silikatputz enthalten ca. 1,35 bzw. 1,3 kg/m² an Kunststoffen.

¹¹ Laut WECOBIS 400 g/m² (BBSR 2025 c).

¹² Laut WECOBIS 400 g/m² (BBSR 2025 e).

Außenwandkonstruktion 3 (Holzrahmenbau mit hinterlüfteter Fassade)



Für den Aufbau einer Außenwandkonstruktion mit einer Holzrahmenkonstruktion mit hinterlüfteter Fassade wurden als Grundlage Beispielaufbauten aus dem „Passivhaus-Bauteilkatalog: Neubau“ (IBO 2018: 78 f.) und dem „Konstruktionsatlas“ des BKI (BKI 2023: 250 f.) gewählt (siehe Abbildung 31).

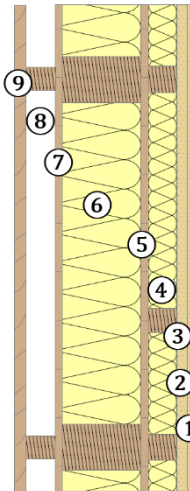
Abbildung 31: Bauteilaufbau Außenwandkonstruktion 3 (Holzrahmenbau mit hinterlüfteter Fassade)

Pos.	Beschreibung	Material	Dicke [mm]	Kunststoff- anteil [%]	Masse Kunststoffe [kg/m²]
1	Innenverkleidung – Oberfläche	Dispersionsfarbe ¹³	0,10	30	0,12
2	Innenverkleidung – Unterkonstruktion	Gipskartonplatte	12,50	-	-
3a	Innenverkleidung – Unterkonstruktion	Lattung – Fichte	60,00 (Gefach 10 %)	-	-
3b	Innenverkleidung – Unterkonstruktion	Mineralwolledämmplatte	60,00 (Gefach 90 %)	10	0,70
4	Beplankung	OSB-Platte	12,00	7	0,54
5a	Tragende Konstruktion	Holzrahmen – Konstruktionsvollholz	160,00 (Gefach 20 %)	0,1	0,01
5b	Tragende Konstruktion	Mineralwolledämmplatte	160,00 (Gefach 80 %)	10	1,66
6	Beplankung	Mittelharte Faserplatte, hydrophobiert	15,00	3	0,25
7	Winddichtigkeit	Unterspannbahn PE	0,40	79	0,32
8	Konterlattung	Lattung – Fichte	60,00	-	-
9	Wetterschutz	Holzschalung	25,00	-	-
				gesamt	3,60

Tabelle 19: Außenwandkonstruktion 3 (Holzrahmenbau mit hinterlüfteter Fassade) – Materialien und Kunststoffinhalte

Der in Tabelle 19 beschriebene Aufbau hat 3,60 kg/m² Kunststoff verbaut. Den größten Anteil an Kunststoffen haben die Mineralwolledämmplatten mit 2,36 kg/m². Die OSB-Platte enthält 0,54 kg/m² und die Unterspannbahn PE 0,32 kg/m². Das Konstruktionsvollholz enthält nur 0,011 kg/m² Kunststoffe.

¹³ Laut WECOBIS 400 g/m² (BBSR 2025 e).

Außenwandkonstruktion 4 (alternativ)

Die alternative Außenwandkonstruktion mit einer Holzrahmenkonstruktion und hinterlüfteter Fassade wurde angelehnt an einen Beispielaufbau aus dem „Passivhaus-Bauteilkatalog: Neubau“ (IBO 2018: 78 f.) (siehe Abbildung 32).

Abbildung 32: Bauteilaufbau Außenwandkonstruktion 4 (alternativ)

Pos.	Beschreibung	Material	Dicke [mm]	Kunststoff- anteil [%]	Masse Kunststoffe [kg/m²]
1	Innenverkleidung – Oberfläche	Kalkfarbe	0,10	-	-
2	Innenverkleidung – Unterkonstruktion	Lehmputz	10,00	-	-
3	Innenverkleidung – Unterkonstruktion	Lehmbauplatte	25,00	-	-
4a	Innenverkleidung – Unterkonstruktion	Lattung – Fichte	60,00 (Gefach 10 %)	-	-
4b	Innenverkleidung – Unterkonstruktion	Schafwolle	60,00 (Gefach 90 %)	-	-
5	Beplankung	OSB-Platte	12,00	7,0	0,54
5a	Tragende Konstruktion	Holzrahmen – Konstruktionsvollholz	160,00 (Gefach 20 %)	0,1	0,01
5b	Tragende Konstruktion	Mineralwollgedämmplatte	160,00 (Gefach 80 %)	-	-
6	Beplankung	Mittelmitteldichte Faserplatte (MDF), hydrophobiert	15,00	3,0	0,25
7	Konterlattung	Lattung – Fichte	60,00	-	-
8	Wetterschutz	Holzschalung	25,00	-	-
				gesamt	0,80

Tabelle 20: Außenwandkonstruktion 3 (Holzrahmenbau mit hinterlüfteter Fassade) – Materialien und Kunststoffinhalte

Der in Tabelle 20 beschriebene Aufbau hat 0,808 kg/m² Kunststoff verbaut. Den größten Anteil an Kunststoffen weist die OSB-Platte mit 0,543 kg/m² auf. Das Konstruktionsvollholz enthält nur 0,01 kg/m² Kunststoffe.

Vergleich der vier vorgestellten Außenwandkonstruktionen

Im Folgenden werden die 4 vorgestellten Außenwandkonstruktionen hinsichtlich der Masse der verbauten Kunststoffe und des Treibhausgasemissionspotenzials der gesamten Konstruktion untersucht.

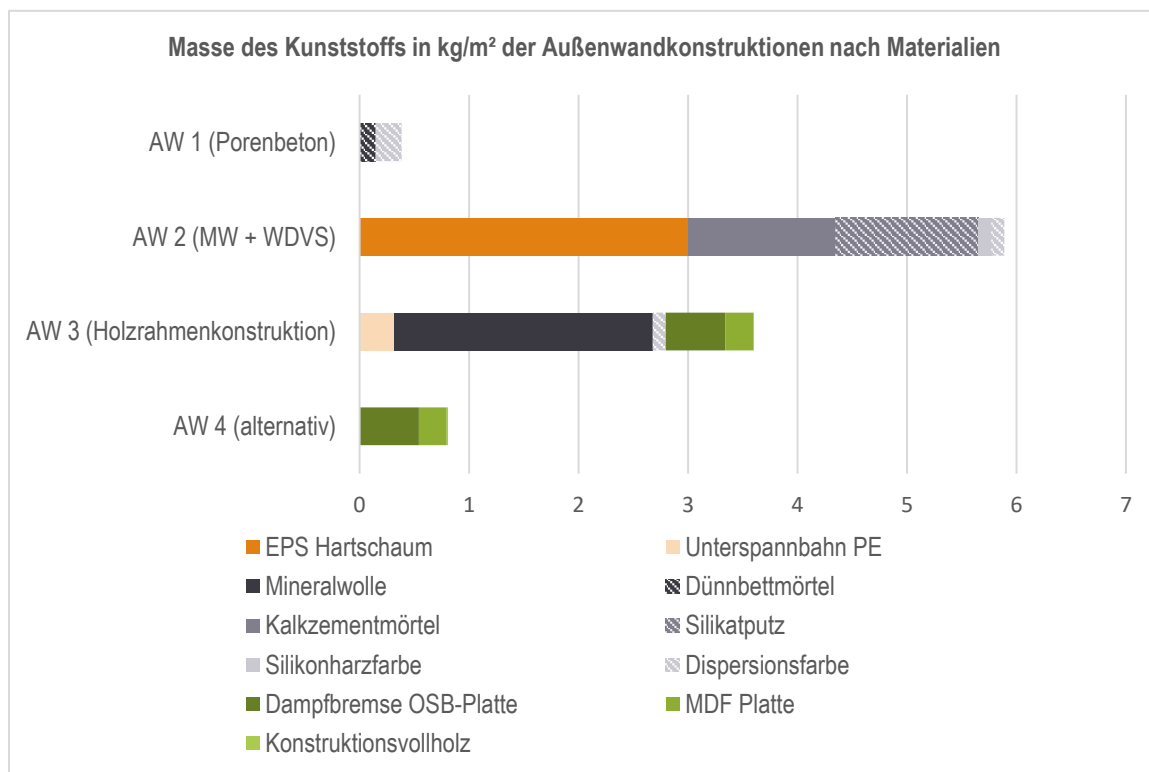


Abbildung 33: Balkendiagramme mit den Anteilen der Kunststoffgehalte der verschiedenen Materialien der 4 untersuchten Außenwandkonstruktionen (eigene Darstellung)

Das Balkendiagramm in Abbildung 33 zeigt die Kunststoffanteile der verschiedenen Materialien in den untersuchten Außenwandkonstruktionen. Die Außenwandkonstruktion 2 (AW 2, Mauerwerk mit WDVS) hat den höchsten Kunststoffgehalt mit 5,89 kg/m² und 6 Materialien der Konstruktion enthalten Kunststoffe. 51,9 % der Kunststoffmenge sind in der EPS-Hartschaum-Dämmung und weitere 22,9 % im Kalkzementmörtel enthalten. Die Außenwandkonstruktion 3 (AW 3 Holzrahmenkonstruktion) weist eine Kunststoffmenge von 3,6 kg/m² auf. 65 % der Kunststoffe beinhaltet die Mineralwollendämmung. Insgesamt haben 7 Baustoffe der AW 3 Kunststoffanteile. Die AW 4 (alternativ) hat einen relativ geringen Anteil an Kunststoffen (0,80 kg/m²), welche hauptsächlich in der OSB-Platte und in der MDF-Platte zu finden sind. Einen noch geringeren Anteil an Kunststoffen hat die AW 1 (Porenbeton) mit 0,38 kg/m². Dabei sind 37,5 % (0,14 kg/m²) der Kunststoffe im Dünnbettmörtel enthalten und es kommt nur ein weiteres Material (Dispersionsfarbe) aus Kunststoff vor.

Betrachtet man die Treibhausgasemissionen, sticht deutlich die Außenwand 1 (Porenbeton) heraus (siehe Abbildung 34). Sie weist die höchsten Treibhausgasemissionen von allen Varianten auf, nämlich 94,28 kg CO₂-Äq./m². Davon entfallen fast 84 % auf den Porenbeton. Die Außenwandkonstruktion 3 (Holzrahmen) und 4 (alternativ) bewegen sich hinsichtlich ihres Treibhausgaspotenzials auf einem ähnlichen Niveau. Die Außenwandkonstruktion 4 (alternativ) ist verantwortlich für 31,99 t CO₂-Äq./m² und die Außenwandkonstruktion 3 (Holzrahmen) für nur 31,90 t CO₂-Äq./m². Bei der Außenwandkonstruktion 4 (alternativ) wurde der kunststofffreie Dämmstoff Flachsvlies anstelle einer Schafwollendämmung eingesetzt, da für diese in der Ökobaudat-Version OBD_2023_I_A2 kein Datensatz vorhanden ist. Die Dämmung zeigt in Bezug auf ihre geringe Dicke (6 cm) relativ hohe Treibhausgasemissionen. Die Verhältnisse zwischen den Außenwandkonstruktionen sind nicht die gleichen wie bei den Werten der Kunststoffmassen. Bei der Analyse der Treibhausgasemissionen werden alle Materialien (also auch kunststofffreie) berücksichtigt.

Es mussten folgende Annäherungen getroffen werden: Kunstharzputz für Silikatputz, Fassadenfarbe Dispersionsfarbe statt Silikonharzfarbe, Flachsdämmung statt Schafwollämmung.

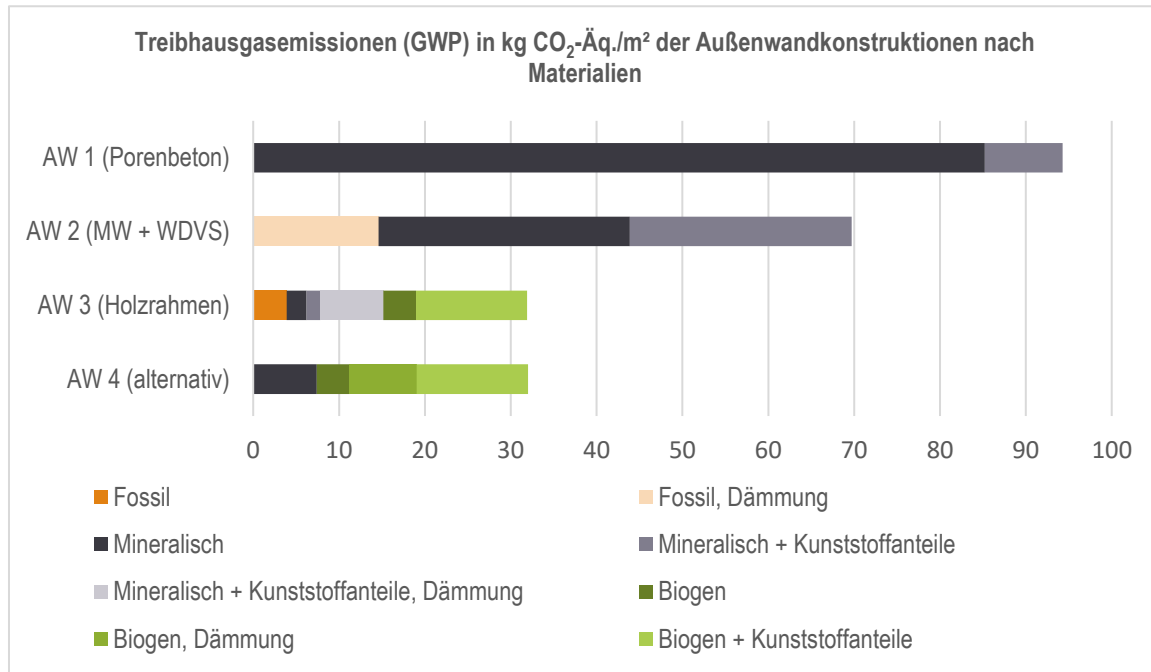


Abbildung 34: Balkendiagramme mit den Anteilen der Treibhausgasemissionen der verschiedenen Materialien für die Lebenszyklusphasen Herstellung (A1–A3), Austausch (B4) und End of Life (C3, C4) der 4 untersuchten Außenwandkonstruktionen über 50 Jahre pro 1 m² Dachfläche (eigene Darstellung)

9.7.5 Schlussfolgerungen

Im Bauteil Außenwand sind viele verschiedene Konstruktionen möglich. Den geringsten Anteil an Kunststoffen hat die Außenwand mit Porenbeton. Die Wahl der Dämmung kann die Kunststoffanteile der Konstruktion wesentlich beeinflussen. Nicht zu unterschätzen sind die Kunststoffanteile in Mörtel und in den Putzen. Hier sei ergänzt, dass auch bei den mineralischen Putzen und Mörtel darauf geachtet werden muss, welche Bestandteile in dem spezifischen Produkt enthalten sind. Oft werden auch dort Kunststoffe zugesetzt, die aber nicht deklariert werden müssen (siehe Kapitel 8.5.1 Kunststoffarten und Anwendungsbereiche).

Beim Innenausbau lassen sich kunststofffreie Materialien in der Regel problemlos einsetzen. Auf Folien im Schichtaufbau kann verzichtet werden, wenn stattdessen ein diffusionsoffener Aufbau mit beispielsweise einer MDF-Platte für den Außenbereich mit geringem Kunststoffanteil gewählt wird.

Die Analyse der Treibhausgasemissionen ergab, dass der Anteil der Kunststoffinhalte nicht ausschlaggebend für die Treibhausgasemissionen des Bauteils war. Den höchsten Anteil an Treibhausgasemissionen hat die Außenwand 1 (Porenbeton) mit dem geringsten Anteil an Kunststoffen.

Diese Analyse konzentriert sich nur auf die Kunststoffgehalte und das Treibhausgaspotenzial der Konstruktionen. Nicht betrachtet wurden die Themen Schadstoffgehalt, Recyclingfähigkeit, Rückbaufähigkeit und Mikroplastikpotenzial.

9.8 Außenwand erdberührt

Erdberührte Außenwände sind die vertikalen Hüllbauteile eines Gebäudes, die aufgrund ihrer Lage im Erdreich besondere Anforderungen erfüllen müssen. Meistens sind sie Teil des Primärtragwerks und müssen somit die

Auflast der aufliegenden Decken ableiten. Außerdem drückt das Erdreich rechtwinklig auf die Außenwand (Erddruck) und je nach Baugrund auch der hydrostatische Druck (drückendes Grundwasser). Zudem ist die erdberührte Außenwand einer ständigen Feuchtebelastung ausgesetzt (Moro 2021: 511, 708).

Je nach Anforderung an die Innenraumtemperatur wird die erdberührte Außenwand gedämmt.

9.8.1 Aufbau der erdberührten Außenwand

Die erdberührte Außenwand kann gemäß DIN 276: 2018-12 den folgenden Kostengruppen der dritten Ebene zugeordnet werden:

- 325 Abdichtungen und Bekleidungen: Bauwerksabdichtungen gegen Bodenfeuchte, drückendes und nicht drückendes Wasser
- 331 Tragende Außenwände: tragende Außenwandkonstruktionen inklusive u. a. horizontaler Abdichtungen
- 336 Außenwandbekleidungen, innen: innere Verkleidungen an Wänden und Stützen mit Putz-, Dichtungs-, Dämm- und Schutzschichten

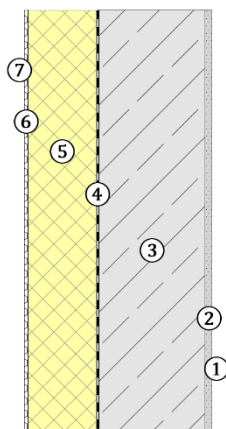
Ein zentraler Punkt bei erdberührten Außenwänden ist die gewählte Abdichtungsart. Sie hängt ab von der Art der Bauwerksnutzung, der Bodenbeschaffenheit, der Höhe des Bemessungswasserstands und den physikalischen Beanspruchungen (Moro 2022: 388). In der folgenden Analyse werden die Fälle „Bodenfeuchte und nichtdrückendes Wasser“ und „Beheizter Innenraum“ betrachtet.

Erdberührte Außenwände können in Bezug auf die Abdichtung grob in 3 verschiedene Arten unterteilt werden:

- Schwarze Wanne: Das Bauteil erhält gemäß DIN 18195 rundum eine flächige Abdichtung aus Bitumen oder Kunststoff.
- Weißer Wanne: Die Abdichtung erfolgt durch einen wasserundurchlässigen Beton (sogenannter WU-Beton). Prinzipiell benötigt die Weiße Wanne keine weiteren Abdichtungen. Eine Variante ist der zusätzliche Einsatz einer erdseitigen Frischbeton-Verbundfolie.
- Braune Wanne: Zusätzlich zu dem WU-Beton wird auf der wasserführenden Seite eine Abdichtungsebene aus Bentonit ausgeführt.

Zur Wärmedämmung sind Innendämmungen und Perimeterdämmungen geeignet. In diesem Projekt werden nur Aufbauten mit Perimeterdämmung untersucht, da diese am häufigsten vorkommen. Die Wahl der Konstruktion beeinflusst den Materialeinsatz sowie die Möglichkeiten zur Vermeidung von Kunststoffen. Im Folgenden wird der schematische Aufbau der Schwarzen Wanne und der Weißen Wanne untersucht, da diese üblicherweise umgesetzt werden.

Variante 1 Schwarze Wanne

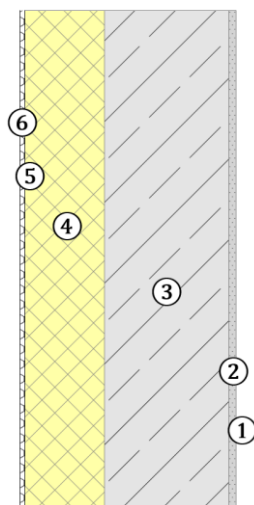


- ⑦ Filterschicht
 - ⑥ Sickerschicht
 - ⑤ Perimeterdämmung
 - ④ Abdichtungsschicht
 - ③ Tragkonstruktion
 - ② Innenputz
 - ① Innenwandfarbe
- (Konstruktion angelehnt an: DIN 18533-1)

Abbildung 35: Außenwand, erdberührt: Schwarze Wanne

Die Schwarze Wanne hat eine Tragstruktur, die an der Außenseite mithilfe von Abdichtungsbahnen oder flüssig zu verarbeitenden Abdichtungsstoffen gegen die Feuchtigkeit im Erdreich abgedichtet ist (siehe Abbildung 35).

Variante 2 Weiße Wanne



- ⑥ Filterschicht
 - ⑤ Sickerschicht
 - ④ Perimeterdämmung
 - ③ Tragkonstruktion, wasserundurchlässig
 - ② Innenputz
 - ① Innenwandfarbe
- (Konstruktion angelehnt an IBO 2018: 68)

Abbildung 36: Außenwand, erdberührt: Weiße Wanne

Bei der Weißen Wanne übernimmt der wasserundurchlässige WU-Beton die Abdichtung, weshalb auf eine zusätzliche Abdichtungsschicht verzichtet werden kann (siehe Abbildung 36).

9.8.2 Analyse des schematischen Konstruktionsaufbaus

Baukonstruktionen sind komplexe Systeme, in denen die einzelnen Schichten für ein funktionsfähiges Bauteil zusammenspielen müssen. Deshalb ist für die Analyse und Bewertung der einzelnen Schichten zu betonen, dass eine Fachperson die Funktionsfähigkeit des Bauteils als Gesamtaufbau beurteilen muss.

In diesem Abschnitt werden die Schichten einzelnen hinsichtlich ihres Kunststoffgehalts und die Rückbaubarkeit im Bauteil bewertet.

Folgende Schichten werden für die zuvor gezeigten Aufbauten verwendet:

Filterschicht (Dränschicht)

Aufgabe:	verhindert Ausschlämmen von Bodenteilchen
Eigenschaften:	wasserdurchlässig
Material:	Schüttung (Sand, Kiessand), Geotextilien (Filtervlies)
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	nein
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	mit Schüttung kunststofffreie Filterschicht möglich
Rückbaubarkeit der Schicht:	gut trennbar, sortenrein rückbaubar, stoffliche oder energetische Verwertung bei Geotextilien, Wiederverwendungspotenzial bei Leichtgesteinskörnungen

Sickerschicht (Dränschicht)

Aufgabe:	Entwässerung, Verringerung der Feuchtebelastung, kann als Schutzschicht dienen, kann kombiniert sein mit der Filterschicht
Eigenschaften:	wasserableitend, verwitterungsbeständig
Material:	Schüttung von Sand oder Kies, Schaumstoffplatten (Dränplatte), Geotextilien, Noppenbahnen, Dränsteine, spezielle Dämmung, eventuell zusätzliche Schutzschicht (meistens Noppenbahn) gemäß DIN 4095
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	ja
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	Kunststoffvermeidung in diesem Bereich derzeit nicht möglich, da auch bei mineralischer Schüttung als Sickerschicht ein Geotextil eingeplant wird (Ernesti/Spatz o. J.), keine gebräuchlichen Materialien ohne Kunststoffe verfügbar
Rückbaubarkeit der Schicht:	gut trennbar, sortenrein rückbaubar, stoffliche oder energetische Verwertung bei Geotextilien, Platten und Bahnen; Wiederverwendungspotenzial bei Schüttungen

Wärmedämmung

Aufgabe:	Wärmeschutz
Eigenschaften:	wärmedämmend, druckfest
Material:	Schaumglas, expandiertes Polystyrol (EPS), extrudiertes Polystyrol (XPS)
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	nein
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	Schaumglasdämmung als kunststofffreie Alternative möglich aber Verklebung meistens mit Kunststoffanteilen
Rückbaubarkeit der Schicht:	Trennbarkeit der Materialien abhängig von der Einbausituation

Abdichtungsschicht

Aufgabe:	Schutz der Konstruktion vor Feuchtigkeit und drückendem Wasser
Eigenschaften:	dichtend, dauerhaft und zuverlässig
Material:	Bitumenbahnen, Polymerbitumenbahnen, Kunststofffolien, Elastomerbahnen, polymermodifizierte Bitumendickbeschichtung (PMBC, engl. Polymer Modified Bituminous Coating), Asphaltmatrix, Gussasphalt, Bentonit, mineralische Dichtungsschlämmen (MDS), flexible polymermodifizierte Dickbeschichtung (FPD) gemäß DIN 18533-1
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	abhängig vom Konstruktionsaufbau; Einsatz einer Abdichtungsschicht bei WU-Beton nicht erforderlich
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	keine gebräuchlichen Materialien ohne Kunststoffe verfügbar, konstruktiv kann durch die Nutzung von WU-Beton auf die Abdichtungsschicht verzichtet werden
Rückbaubarkeit der Schicht:	abhängig von der Verlegeart und dem ausgewählten Material

Tragende Konstruktion

Aufgabe:	Primärtragkonstruktion
Eigenschaften:	dichtend, dauerhaft und zuverlässig
Material:	u. a. Beton, WU-Beton, Mauerwerk (Backstein, Kalksandstein, Zementstein)
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	nein
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	Beton und Bewehrung in der Regel kunststofffrei, jedoch häufig Kunststoffanteile in Abstandhaltern und Zusatzmitteln, ungefüllte Mauersteine kunststofffrei, die meisten Mörtel enthalten Kunststoffe
Rückbaubarkeit der Schicht:	Rückbaubarkeit der Materialien ist abhängig von der Konstruktionsweise

Innenputz und Innenwandfarbe

Aufgabe:	Raumgestaltung und Schutz der Wandschichten vor Abnutzung und Verschmutzung, je nach Trockenheit der Wand weitere Aufgaben wie Feuchteregulierung oder Feuchteresistenz
Eigenschaften:	abriebfest, abwischbar, schlagfest, überstreichbar, je nach Trockenheit der Wand weitere Eigenschaften
Material (abhängig von der Trockenheit der Wandoberfläche):	Innenwandfarben: Dispersionsfarben, Silikatfarben (diffusionsoffen), Lehmfarben und Kalkfarben (diffusionsoffen, feuchteregulierend) Putz: Kalk- und Gipsputz oder Lehmputz auf Putzträgerplatten, Mineralputz
Einsatz von Kunststoff- oder kunststoffhaltigen Bauprodukten notwendig:	nein
Möglichkeit zur Kunststoffvermeidung:	Innenwandfarben: (traditionelle) Lehmfarben und Kalkfarben Putz: Kalk- und Gipsputz oder Lehmputz auf Putzträgerplatten, Mineralputz
Rückbaubarkeit der Schicht:	flächig angebrachte Materialien wie Innenwandfarben, Tapeten und Putze nicht zerstörungsfrei trennbar, je nach Material und Unterkonstruktion negative Auswirkung auf Recyclingfähigkeit des Untergrunds

9.8.3 Bewertung des schematischen Konstruktionsaufbaus

Mithilfe der Ergebnisse aus der Analyse des schematischen Aufbaus (siehe Kapitel 9.8.2 Analyse des schematischen Konstruktionsaufbaus) wird bewertet, ob und in welcher Form das Bauteil erdberührte Außenwand den Einsatz von Kunststoffen verlangt oder einen nahezu kunststofffreien Aufbau ermöglicht (siehe Tabelle 21).

Die Bewertung der einzelnen Schichten erfolgt anhand von 3 Kategorien:

- Der Einsatz kunststofffreier Materialien ohne Auswirkung auf die Konstruktion ist möglich.
- Der Einsatz nahezu¹⁴ kunststofffreier Materialien ohne Auswirkung auf die Konstruktion ist möglich.
- Der Einsatz kunststofffreier Materialien mit Auswirkungen auf die Konstruktion ist möglich.
- Der Einsatz von kunststoffhaltigen Materialien ist notwendig.

Abschließend wird eine Aussage formuliert, ob ein nahezu kunststofffreies Bauteil möglich ist.

Bauteilschicht	Einsatz kunststofffreier Materialien ohne Auswirkung auf die Konstruktion möglich	Einsatz nahezu kunststofffreier Materialien ohne Auswirkung auf die Konstruktion möglich	Einsatz kunststofffreier bzw. nahezu kunststofffreie Materialien mit Auswirkungen auf die Konstruktion möglich	Einsatz von kunststoffhaltigen Materialien notwendig	Notiz
Filterschicht und Sickerschicht				x	Filterschicht und Sickerschicht werden zusammen als Dränschicht betrachtet.
Dämmung	x				
Abdichtung				x	
Tragende Konstruktion	x				
Innenputz und Innenwandfarbe	x				

Tabelle 21: Bewertung des schematischen erdberührten Außenwandkonstruktionsaufbaus hinsichtlich des Bedarfs an Materialien mit Kunststoffgehalten

Das Bauteil erdberührte Außenwand kann nicht kunststofffrei ausgeführt werden. Zwar könnte die Abdichtung mithilfe von WU-Beton entfallen, aber für die Dränschicht ist ein Geotextil, falls mit einer mineralischen Schüttung geplant wird, erforderlich. Als Dämmstoff können Schaumglasplatten dienen, doch dann muss auf den Einsatz von Klebstoffen geachtet werden, die meistens Kunststoffe beinhalten. Die Innenverkleidung kann ohne Kunststoffe auskommen.

¹⁴ Dabei wird ein nahezu kunststofffreies Material als eins mit einem Gehalt weniger als 1 M.-% an Kunststoffen in diesem Projekt definiert.

9.8.4 Vergleich von Außenwandkonstruktionen

Im Folgenden wurden 3 erdberührte Außenwandkonstruktionen miteinander verglichen. Zwei der Konstruktionsbeispiele stellen in der Praxis gängige Aufbauten dar. Ein weiterer Aufbau zeigt einen alternativen Aufbau, der möglichst keine Materialien mit Kunststoffgehalten nutzt.

Zur Vergleichbarkeit wurden folgende Rahmenbedingungen angenommen:

- Wärmedurchgangskoeffizient: $0,25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, angelehnt an die Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes für das vereinfachte Verfahren (GEG 2020)
- Ausnahme beim Wärmedurchgangskoeffizienten: Die Schaumglasfüllung in Wall Bags wird nur in einer Dicke von 45 cm angeboten. Daher liegt der U-Wert für diese Variante nicht bei ca. $0,25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, sondern bei ca. $0,20 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.
- Bezugsfläche: 1 m^2 Außenwandfläche
- Betrachtungszeitraum: 50 Jahre
- Informationen zu einzelnen Materialien (Rohdichte etc.) aus ÖKOBAUDAT (BBSR 2025 a) und WECOBIS (BBSR 2025 b)
- U-Wert-Berechnung und die Überprüfung des Feuchteschutzes mit Ubakus (u-wert.net GmbH 2025)
- Ökobilanzierung mit eLCA (BBSR 2025 c)
- Datengrundlage: ÖKOBAUDAT in der Version OBD_2023_I_A2 (BBSR 2025 d)
- Lebenszyklusphasen: Herstellung (A1-A3), Austausch (B4) und End of Life (C3, C4)
- Nutzungsdauer der Materialien: Tabelle „Nutzungsdauern für Bauteile“ (Stand: 2017) des Bundesinstituts für Bau-, Raum- und Stadtforschung entnommen (BBSR 2020)

Ierdberührte Außenwandkonstruktion 1 (Schwarze Wanne)

Für einen gängigen Aufbau einer erdberührten Außenwandkonstruktion wurde als Grundlage ein Beispielaufbau aus dem „Passivhaus-Bauteilkatalog: Neubau“ (IBO 2018: 70) gewählt (siehe Abbildung 37).

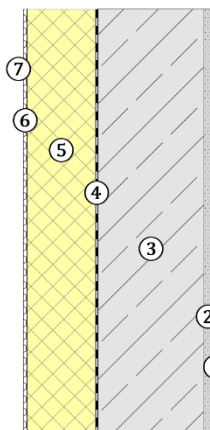


Abbildung 37: Bauteilaufbau der erdberührten Außenwandkonstruktion 1 (Schwarze Wanne)

Pos.	Beschreibung	Material	Dicke [mm]	Kunststoffanteil [%]	Masse Kunststoffe [kg/m²]
1	Innenverkleidung – Oberfläche	Silikatfarbe	0,10	3	0,004
2	Innenverkleidung – Unterkonstruktion	Kalkputz	15,00	-	-
3	Tragende Konstruktion	Stahlbeton	250,00	-	-
4	Abdichtung	Polymerbitumen	10,00	10	1,10

5	Wärmedämmung	XPS-Dämmung	160,00	100	6,08
6	Sickerschicht	Noppenbahn	1,25	79	0,99
7	Filterschicht	PP-Filtervlies	1,00	96	0,576
gesamt					8,75

Tabelle 22: Erdberührte Außenwandkonstruktion 1 (Schwarze Wanne) – Materialien und Kunststoffinhalte

Der in Tabelle 22 beschriebene Aufbau hat 8,75 kg/m² Kunststoff verbaut. Den höchsten Kunststoffanteil (69 %) weist die XPS-Dämmung auf. Aber auch die Abdichtung (12,6 %) und die Noppenbahn (11 %) verfügen über relativ große Kunststoffanteile.

Erdberührte Außenwandkonstruktion 2 (Weiße Wanne)

Für einen gängigen Aufbau einer erdberührten Außenwandkonstruktion wurde als Grundlage ein Beispielaufbau aus dem „Passivhaus-Bauteilkatalog: Neubau“ (IBO 2018: 70) gewählt (siehe Abbildung 38).

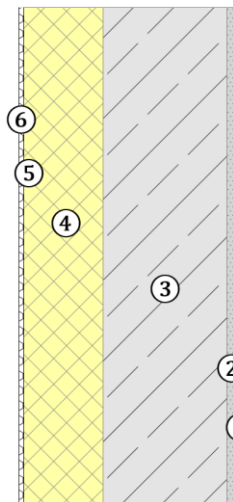


Abbildung 38: Bauteilaufbau der erdberührten Außenwandkonstruktion 2 (Weiße Wanne)

Pos.	Beschreibung	Material	Dicke [mm]	Kunststoff- anteil [%]	Masse Kunststoffe [kg/m ²]
1	Innerverkleidung – Oberfläche	Silikatfarbe	0,10	3	0,004
2	Innerverkleidung – Unterkonstruktion	Kalkputz	15,00	-	-
3	Tragende Konstruktion	Stahlbeton	300,00	-	-
4	Wärmedämmung	XPS-Dämmung	160,00	100	6,08
5	Sickerschicht	Noppenbahn	1,25	79	0,99
6	Filterschicht	PP-Filtervlies	1,00	96	0,58
gesamt					7,65

Tabelle 23: Erdberührte Außenwandkonstruktion 2 (Weiße Wanne) – Materialien und Kunststoffinhalte

Der in Tabelle 23 beschriebene Aufbau hat 7,65 kg/m² Kunststoff verbaut. Den höchsten Anteil (79 %) an Kunststoffen weist die XPS-Dämmung auf. Bei diesem Aufbau kann im Gegensatz zu der erdberührten

Außenwandkonstruktion 2 die Dichtungsschicht (1,1 kg/m² Kunststoffe) entfallen, da der WU-Beton die Aufgabe der Abdichtung übernimmt.

Erdberührte Außenwandkonstruktion 3 (alternativ)

Für einen alternativen Aufbau einer erdberührten Außenwandkonstruktion wurde als Grundlage ein Beispielaufbau aus dem „Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource“ (Hillebrandt et al. 2018: 161) gewählt (siehe Abbildung 39).

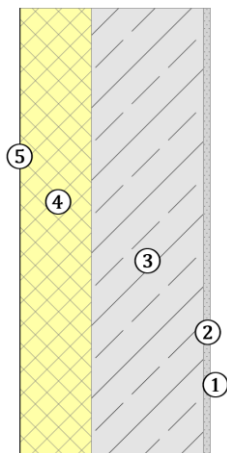


Abbildung 39: Bauteilaufbau erdberührte Außenwandkonstruktion 3 (alternativ)

Pos.	Beschreibung	Material	Dicke [mm]	Kunststoff- anteil [%]	Masse Kunststoffe [kg/m ²]
1	Innenverkleidung – Oberfläche	Kalkfarbe	0,01	-	-
2	Innenverkleidung – Unterkonstruktion	Kalkputz	15,00	-	-
3	Tragende Konstruktion	Stahlbeton	300,00	-	-
4	Wärmedämmung	Schaumglasfüllung in Wall Bags (Geotextil)	440,00	-	-
5	Wärmedämmung	Wall Bags (Annahme: 3- lagiges Geotextil, 100 % PP- Vlies)	5,00	96	1,90
				gesamt	1,90

Tabelle 24: Erdberührte Außenwandkonstruktion 3 (alternativ) – Materialien und Kunststoffinhalte

Der in Tabelle 24 beschriebene Aufbau hat 1,9 kg/m² Kunststoff verbaut. 100 % des Kunststoffanteils resultieren aus dem Geotextil der Big Bags. Die Wärmedämmung ist durch den Einsatz von Schaumglasschotter kunststofffrei und die Abdichtung konnte aufgrund des WU-Betons entfallen. Zudem konnte auf eine Verklebung verzichtet werden. Daher wurden Produkte mit Kunststoffanteilen vermieden und eine besseren Rückbaubarkeit erreicht (Hillebrandt et al. 2018: 47).

Vergleich der 3 vorgestellten erdberührten Außenwandkonstruktionen

Im Folgenden werden die 3 vorgestellten erdberührten Außenwandkonstruktionen hinsichtlich der Masse der verbauten Kunststoffe und des Treibhausgasemissionspotenzials der gesamten Konstruktion untersucht.

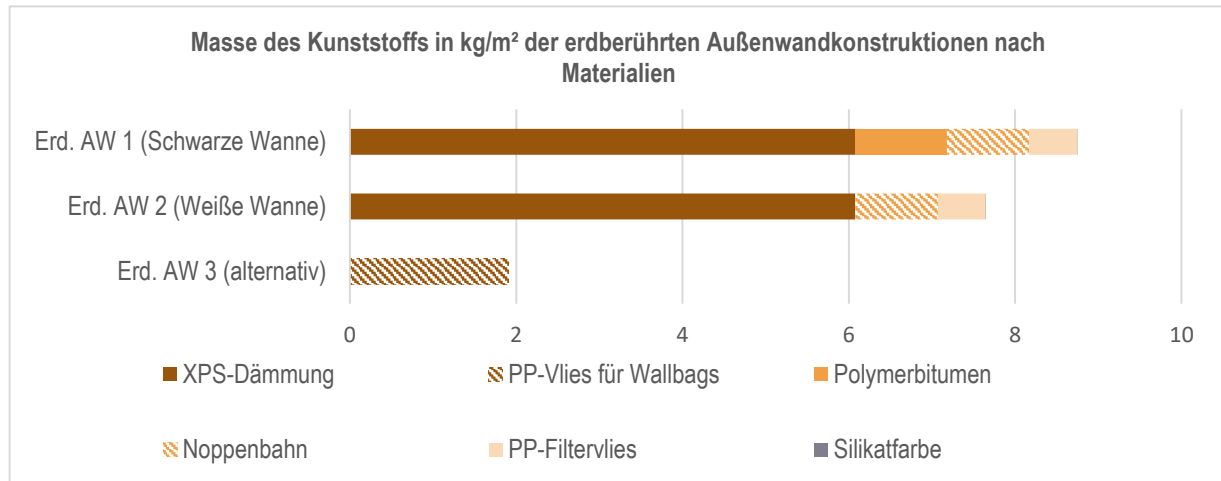


Abbildung 40: Kunststoffmasse der erdberührten Außenwandkonstruktionen nach Materialien in kg/m² (eigene Darstellung)

Abbildung 40 zeigt die Kunststoffanteile der verschiedenen Materialien in den untersuchten erdberührten Außenwandkonstruktionen. Variante 1 (Erd. AW 1, Schwarze Wanne) hat den höchsten Kunststoffgehalt mit 8,75 kg/m² und 4 Materialien der Konstruktion enthalten Kunststoffe. 69 % der Kunststoffmenge sind in der XPS-Dämmung und weitere 12,6 % in der Abdichtung (Polymerbitumen) zu finden. Variante 2 (Erd. AW 2, Weiße Wanne) hat eine Kunststoffmenge von 7,65 kg/m². 79 % der Kunststoffe beinhaltet die XPS-Dämmung. Bei Variante 3 (Erd. AW 3, alternativ) kommen in 3 Baumaterialien Kunststoffanteile vor. Da der WU-Beton die Abdichtung übernimmt, kann auf eine Polymerbeschichtung verzichtet und somit ein geringerer Kunststoffgehalt als in Erd. AW 1 erreicht werden. Die Erd. AW 3 (alternativ) zeigt einen deutlich geringeren Anteil an Kunststoffen als die beiden anderen Varianten (1,9 kg/m²), der nur in dem PP-Vlies der Big Bags für den Schaumglasschotter zu finden ist.

Bei den Treibhausgasemissionen zeichnet sich ein anderes Bild ab, wenngleich die Unterschiede nicht so gravierend sind wie bei der Betrachtung der Kunststoffgehalte. Erd. AW 1 hat die geringsten Treibhausgasemissionen mit 145,60 kg CO₂-Äq./m² und die Erd. AW 3 die höchsten mit 181,05 kg CO₂-Äq./m². Den größten Kunststoffanteil bei den 3 Varianten hat die Stahlbetonwand (Erd. AW 1: 56 %; Erd. AW 2: 64,5 %; Erd. AW 3: 55 %). Die Treibhausgasemissionen der Stahlbetonwand fallen bei Erd. AW 2 und Erd. AW 3 höher aus, da aufgrund der Anforderungen an WU-Beton eine im 5 cm größere Schichtdicke notwendig ist. Außerdem sind die Treibhausgasemissionen für die Dämmung aus Schaumglasschotter in Erd. AW 3 ungefähr doppelt so hoch wie die der XPS-Dämmung. Zum Teil liegt das daran, dass die Wall Bags mit Schaumglasschotter nur in 45 cm Dicke angeboten werden und daher der U-Wert für diese Variante nicht bei ca. 0,25 W/m²K, sondern bei ca. 0,20 W/m²K liegt. Eine Vergleichsberechnung mit einer auf einen U-Wert von 0,25 W/m²K angepassten Dämmstoffstärke von 35 cm führt zu einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen der Erd. AW 3 auf 24 CO₂-Äq./m².

Für die Analyse der Treibhausgasemissionen wurden alle Materialien (also auch kunststofffreie) berücksichtigt. Als Annäherung für den nicht vorhandenen Datensatz für Silikatfarbe wurde der Datensatz für Kalk-Innenwandfarbe genutzt.

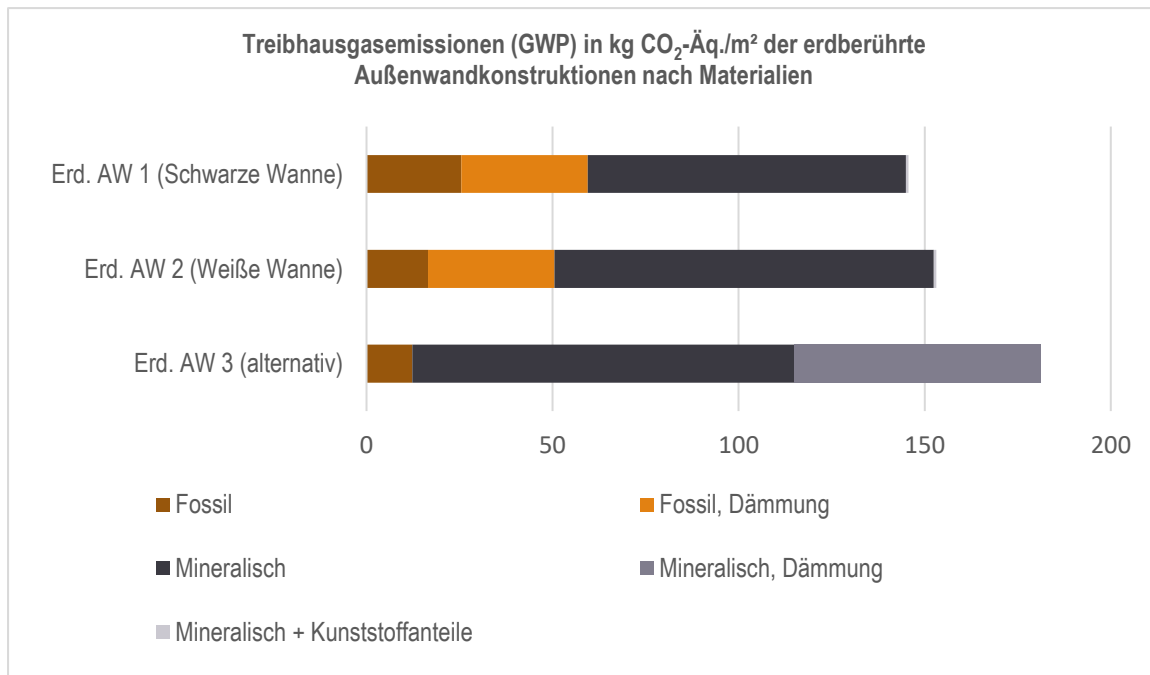


Abbildung 41: Balkendiagramme mit den Anteilen der Treibhausgasemissionen der verschiedenen Materialien für die Lebenszyklusphasen Herstellung (A1–A3), Austausch (B4) und End of Life (C3, C4) der 3 untersuchten erdberührten Außenwandkonstruktionen über 50 Jahre pro 1 m² Außenwandfläche (eigene Darstellung)

9.8.5 Schlussfolgerungen

Den geringsten Anteil an Kunststoffen hat die Erd. AW 3 (alternativ) mit Schaumglasschotter in Big Packs und einer Weißen Wanne. Die XPS-Dämmstoffe in den anderen Varianten bestehen aus 100 % Kunststoff und haben folglich einen großen Anteil am Kunststoffgehalt des gesamten Bauteils. Durch den Einsatz einer Weißen Wanne kann die Abdichtung entfallen, was zu einer zusätzlichen Reduzierung des Kunststoffgehalts führt. Der Innenausbau kann kunststofffrei erfolgen.

Bei der Analyse der Treibhausgasemissionen zeigte sich, dass der Kunststoffanteil nicht ausschlaggebend für die Treibhausgasemissionen des Bauteils war. Den höchsten Anteil an Treibhausgasemissionen hat die Erd. AW 3 (alternativ), trotz des geringsten Kunststoffanteils. Dafür verantwortlich ist der Schaumglasschotter, bei dessen Herstellung höhere Treibhausgasemissionen entstehen.

Diese Analyse konzentriert sich nur auf die Kunststoffgehalte und das Treibhausgaspotenzial der Konstruktionen. Nicht betrachtet wurden die Themen Schadstoffgehalt, Recyclingfähigkeit, Rückbaufähigkeit und Mikroplastikpotenzial.

Bei der Planung sollte immer eine Fachperson hinzugezogen werden, um später Baumängel und Feuchteschäden zu vermeiden.

9.9 Vergleich Steildach und Flachdach

Vergleicht man das Steildach mit dem Flachdach, ist klar zu erkennen (siehe Abbildung 42), dass die gängigen Aufbauten des Flachdachs (1, 2) einen höheren Anteil an Kunststoffen haben als die gängigen Aufbauten des Steildachs (1, 2). Bei den alternativen Aufbauten fallen die Unterschiede sehr deutlich aus. Der alternative Aufbau des Steildachs hat nur ein Viertel des Kunststoffgehalts im Vergleich zum alternativen Aufbau des Flachdachs. Diese Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass das Steildach das kunststofffreie Bauen mehr begünstigt als das Flachdach.

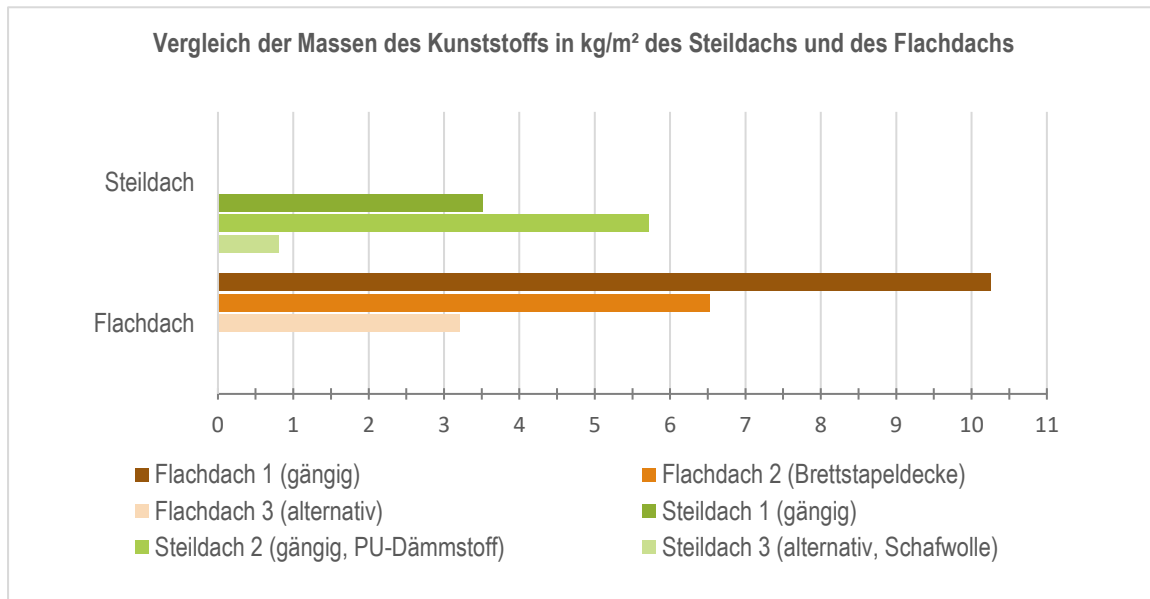


Abbildung 42: Vergleich der Massen in kg des Kunststoffs pro qm des Steildachs und des Flachdachs (eigene Darstellung)

9.10 Vergleich Wärmedämmverbundsystem und hinterlüftete Fassade

Im Folgenden werden die Außenwandbekleidungen untersucht, wobei die Aufbauten aus Kapitel 9.7.4 Vergleich von Außenwandkonstruktionen herangezogen werden. Der Vergleich berücksichtigt alle außenliegenden Schichten, die zur Erfüllung der Anforderungen an den Witterungs-, Feuchte- und Wärmeschutz der Außenwand erforderlich sind. Bei dem WDVS sind das die Schichten Dämmung, Putz und Fassadenanstrich. Bei der hinterlüfteten Fassade befindet sich die Dämmung in der Ausfächung der Konstruktionsebene (Holzrahmenbau). Um beides vergleichbar zu machen, wurde die Dämmung noch zu der Betrachtung hinzugenommen. In Abbildung 43 sind die Massen des Kunststoffinhalts der Bauprodukte in kg/m² dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass das WDVS einen deutlich höheren Anteil an Kunststoffen aufweist. Beide Varianten könnten auch mit einer kunststofffreien Dämmung ausgeführt werden, und dennoch würde das WDVS noch immer einen höheren Kunststoffanteil als die vorgehängte Fassade haben. Daraus ist zu schließen, dass eine vorgehängte Fassade das kunststofffreie Bauen begünstigt.

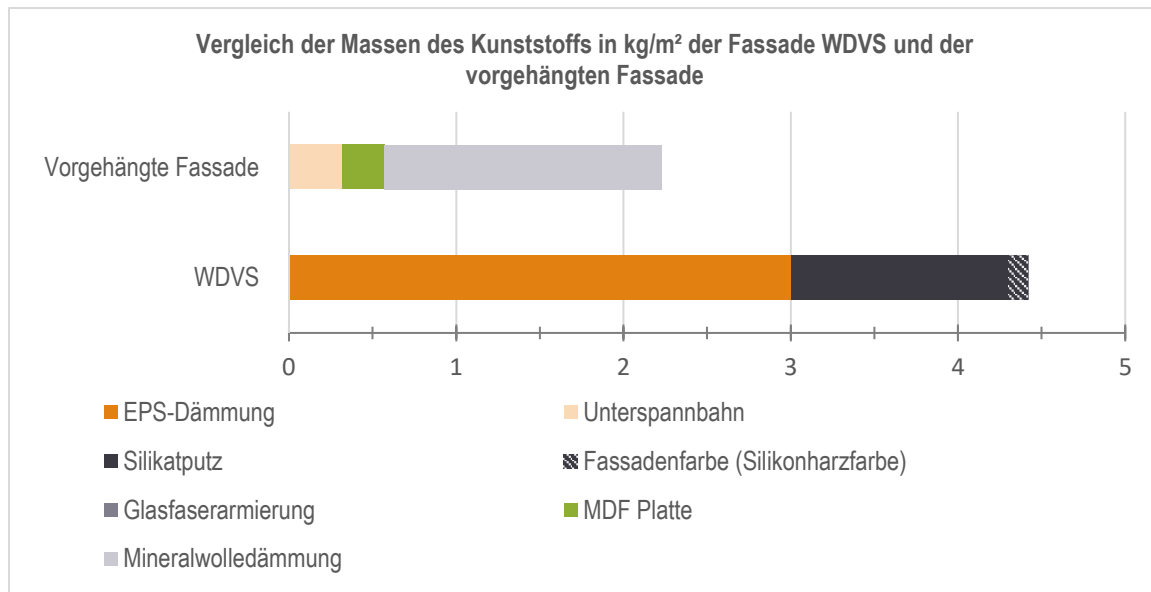


Abbildung 43: Vergleich der Massen in kg des Kunststoffs pro qm der WDVS-Fassade und der vorgehängten Fassade (eigene Darstellung)

9.11 Vergleich der erdberührten Außenwand mit der Außenwand zur Außenluft

Vergleicht man die Außenwand zur Außenluft mit der erdberührten, ist klar erkennbar (siehe Abbildung 44), dass die gängigen Aufbauten der erdberührten Außenwände (Erd. AW 1 und 2) einen deutlich höheren Anteil an Kunststoffen haben als die gängigen Aufbauten der Außenwand zur Außenluft (AW 1 bis 3). Betrachtet man die beiden alternativen Aufbauten, zeigt sich ein ähnliches Bild: Die Außenwand zur Außenluft (alternativ) weist einen geringeren Anteil an Kunststoffen auf. Daraus lässt sich schließen, dass die Außenwände zur Außenluft das kunststofffreie bzw. reduzierte Bauen begünstigen.

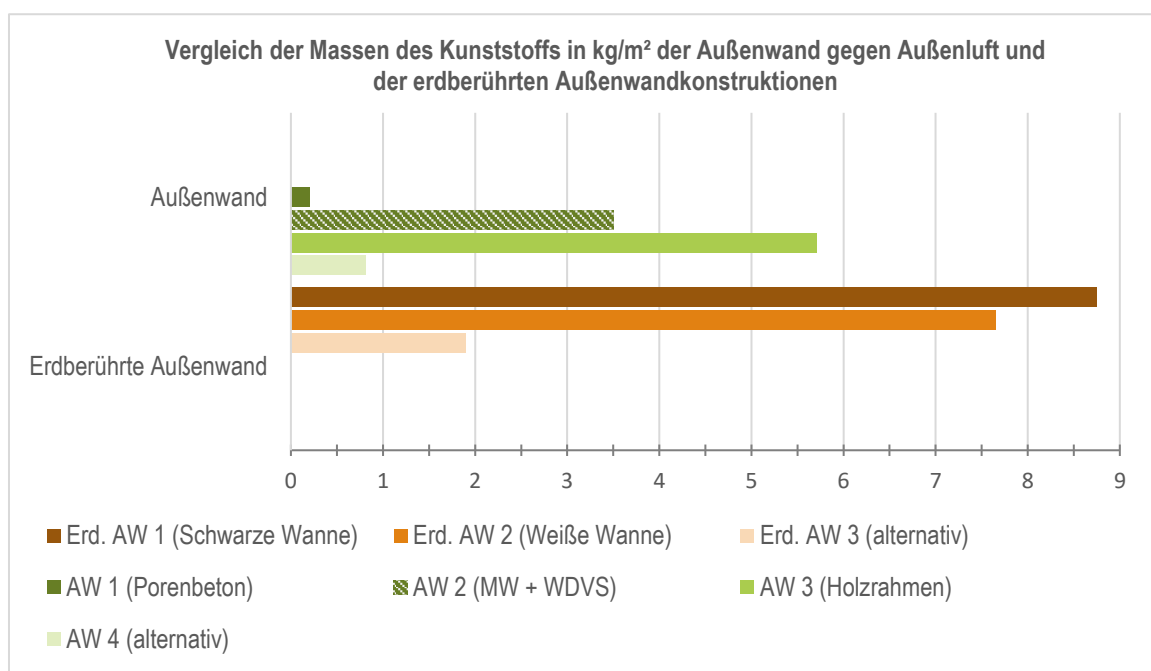


Abbildung 44: Vergleich der Massen in kg des Kunststoffs pro qm der Außenwand zur Außenluft und der erdberührten Außenwandkonstruktionen (eigene Darstellung)

9.12 Zusammenfassung und Fazit

Dieses Kapitel untersuchte den Einsatz von Kunststoffen in verschiedenen Bauteilen und Baukonstruktionen, insbesondere in Dächern, Außenwänden und erdberührte Außenwände. Es wurden verschiedene Konstruktionsvarianten – Steildächer, Flachdächer, erdberührte Wände sowie Außenwände zur Außenluft – hinsichtlich ihres Materialaufbaus, des verwendeten Kunststoffanteils und der daraus resultierenden Treibhausgasemissionen analysiert.

Wesentliche Erkenntnisse in Bezug auf den Kunststoffgehalt der Konstruktionen:

Bei Dächern

- Steildachkonstruktionen: Es werden gängige und alternative Varianten vorgestellt. Während klassische Aufbauten teilweise signifikante Mengen an Kunststoffen (z. B. in Dämmstoffen, Folien oder Klebeverbindungen) enthalten, zeigt der alternative Steildachaufbau einen deutlich reduzierten Kunststoffeinsatz.
- Flachdächer: Im Vergleich zu Steildächern weisen die Flachdachvarianten in der Regel einen höheren Kunststoffgehalt auf – insbesondere durch den Einsatz von PU-Dämmplatten, Dichtungsbahnen und Trennschichten.
- Der Vergleich beider Dacharten ergab, dass das Steildach eine kunststofffreie Bauweise eher begünstigt als ein Flachdach.

Bei Außenwänden

- Der alternative Wandaufbau (Außenwandkonstruktion 4) mit einer Holzrahmenkonstruktion, Zellulosedämmung und einer vorgehängten Fassade weist deutlich geringere Kunststoffmengen auf als der untersuchte gängige Mauerwerksaufbau mit WDVS.
- Bei erdberührten Außenwänden wird deutlich, dass aufgrund der speziellen Anforderungen an Abdichtung und Dränung oft unvermeidbare Kunststoffe (z. B. Geotextilien oder Polymerbitumen) zum Einsatz kommen. Hier ermöglicht die Weiße Wanne mit einer Schaumglasschotterdämmung deutlich geringere Kunststoffmengen als die Schwarze Wanne. Die Wahl der Dämmung spielt dabei eine große Rolle.

Zu den Treibhausgasemissionen

- Die Analyse des Treibhausgaspotenzials (GWP) zeigt, dass der Kunststoffgehalt nicht immer direkt mit den CO₂-Äquivalenten korreliert. So können Bauteile mit relativ geringen Kunststoffanteilen aufgrund anderer Materialien wie Beton oder bestimmte Dämmstoffe höhere Emissionen aufweisen als solche mit mehr Kunststoffen.

Fazit

In fast allen betrachteten Konstruktionen lassen sich mit gezielter Materialwahl und alternativen Aufbauten signifikante Einsparungen beim Kunststoffeinsatz erreichen. Allerdings sind in bestimmten Schichten (z. B. Abdichtungen, Dränlagen oder bei speziellen Dämmanforderungen) kunststoffhaltige Materialien oft technisch notwendig.

Die Rückbau- und Recyclingfähigkeit sowie weitere Nachhaltigkeitsaspekte wie der Schadstoffgehalt oder das Mikroplastikpotenzial wurden in dieser Analyse nicht berücksichtigt. Vor allem bei der Betrachtung von Konstruktionen ist das Thema Rückbaufähigkeit ein wichtiges, das in anderen Forschungsprojekten und Leitfäden (z. B. „Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource“ von Hillebrandt et al. 2018) gesondert untersucht wird.

10 ENTWICKLUNG VON INDIKATOREN

10.1 Einleitung

Die Literaturrecherche zeigte die Notwendigkeit auf, neben europäischen und nationalen gesetzlichen Vorgaben weitere Indikatoren zur Beurteilung von Kunststoffprodukten heranzuziehen. Dazu gehören Indikatoren für den Ressourcenverbrauch, das Vorhandensein kritischer Inhaltsstoffe, die Kreislauffähigkeit oder die Freisetzung von Mikro- und Makroplastik.

Als Indikator wird eine Kennzahl oder ein messbares Merkmal definiert, das verwendet wird, um bestimmte Zustände bzw. Eigenschaften eines Bauprodukts oder Bauteils zu beschreiben bzw. zu bewerten (ISO 21929-1).

Kriterien bezieht sich auf bestimmte Bedingungen, die dazu dienen, um Entscheidungen zu treffen, Bewertungen durchzuführen oder etwas zu beurteilen. Kriterien können auf Indikatoren angewandt werden.

Wenn eine ausreichende Datenverfügbarkeit gegeben ist, sollen im ersten Schritt bevorzugt Indikatoren verwendet werden. Der Indikator kann dann im nächsten Schritt – beispielsweise durch Festlegung eines Grenzwerts – Kriterien für die ökologische Baustoffwahl unterworfen werden. Hier ein Beispiel für einen Indikator und ein zugehöriges Kriterium:

- Indikator: Anteil an Kunststoffen im Produkt (Wert in M.-%)
- Kriterium: Die Produkte sollen max. x M.-% Kunststoff enthalten.

Für manche Eigenschaften von Kunststoffen ist die Erfassung als messbare Größe schwierig, da die genaue Menge nicht bekannt ist (z. B. exakter Anteil eines KMR-Stoffs in einem Produkt). Diese Schwierigkeit gilt vor allem für Risikofaktoren im Zusammenhang mit Kunststoffen. Daher erfolgt ihre Bewertung auf der Basis von Kriterien, also auf der Basis von Bedingungen, die ein vorteilhafter Baustoff zu erfüllen hat. Das Kriterium kann die beiden Zustände „erfüllt“ oder „nicht erfüllt“ einnehmen. Ein Beispiel: „Stoffe, die in Karzinogenität Kategorie 1A, 1B nach CLP-Verordnung 1272/2008 eingestuft sind, dürfen in Chemikalien und in Erzeugnissen zu maximal 0,1 Gew.-% enthalten sein.“

10.2 Indikatoren und Kriterien zur Beschreibung des Rohstoffeinsatzes und der Ressourceneffizienz

10.2.1 Volldeklaration der Einsatzstoffe

Motivation

Die Deklaration von Einsatzstoffen in Bauprodukten trägt zur Transparenz bei. Das Wissen über die Einsatzstoffe bietet sowohl Verbraucher:innen als auch Herstellern mehr Kontrolle und Auswahlmöglichkeiten und kann dadurch die Sicherheit sowie die Gesundheits- und Umweltverträglichkeit verbessern.

Indikatoren und Kriterien

Im Projekt wird als erster Schritt zur Volldeklaration eine freie Beschreibung der Einsatzstoffe als optionaler Indikator eingesetzt. Die natureplus-Anforderungen an die Volldeklaration analog zur EU-Kosmetik-VO (Europäische Union 2009) wird als Empfehlung angegeben.

Dabei werden die Einsatzstoffe nach abnehmendem Massenanteil aufgelistet. Einsatzstoffe aus Vorprodukten, die mit einem Gehalt von > 1 M.-% im Endprodukt verbleiben, müssen ebenfalls in der Volldeklaration berücksichtigt werden. Für die Benennung der Einsatzstoffe im Rahmen der Volldeklaration gilt Folgendes:

- Ab 1 M.-% Anteil im Produkt ist die Bezeichnung des Stoffs anzuführen.
- Unter 1 M.-% Anteil im Produkt genügt die Angabe der Funktionsbezeichnung.

Für die eingesetzten Kunststoffe sollen möglichst gebräuchliche Bezeichnungen verwendet werden. Zur Orientierung wird eine Auswahlliste typischer im Bauwesen vorkommender Kunststoffe vorgegeben:

- EPDM (Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk)
- EPS (Expandiertes Polystyrol)
- PA (Polyamid)
- PE (Polyethylen)
- PES (Polyester)
- PIB (Polyisobutylen)
- PP (Polypropylen)
- PUR (Polyurethan)
- PVC (Polyvinylchlorid)
- SBR (Styrol-Butadien-Kautschuk)
- XPS (Extrudiertes Polystyrol)

10.2.2 Zusammensetzung nach Rohstoffart

Motivation

Mit der Rohstoffart sind unterschiedliche charakteristische ökologische Wirkungen der Rohstoffgewinnung und -weiterverarbeitung verbunden. Die Zusammensetzung nach Rohstoffart ist ein leicht verständlicher Indikator. Sie hilft den Anwender:innen, die ökologische Identität des Produkts besser zu verstehen, vor allem wenn keine Volldeklaration vorhanden ist bzw. auch in Ergänzung zu einer Volldeklaration.

Der Indikator wird deshalb beispielsweise in WECOBIS auf jedem Baustoffdatenblatt unter dem Reiter „Rohstoffe“ angeführt (Bezeichnung in WECOBIS: „Zusammensetzung nach Rohstoffherkunft“). Ein Beispiel für Silikonharzfarbe ist in Abbildung 45 dargestellt.

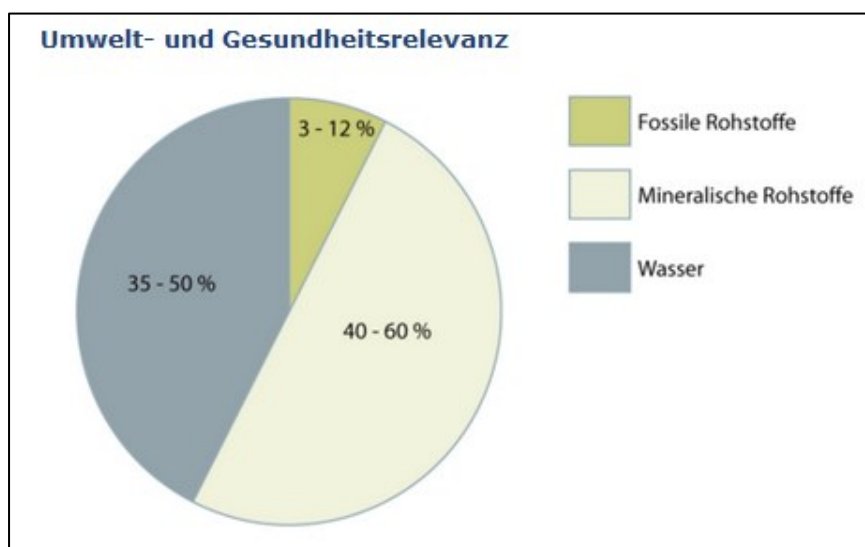


Abbildung 45: Beispiel der Darstellung der „Zusammensetzung nach Rohstoffherkunft“ anhand der Silikonharzfarbe auf www.wecobis.de

Indikatoren und Kriterien

Der Indikator „Zusammensetzung nach Rohstoffart“ beschreibt den Anteil an Einsatzstoffen unterschiedlicher Rohstoffarten am Gesamtgewicht des Produkts. Folgende Anteile sind anzugeben:

- Anteil an nachwachsenden Rohstoffen (außer Biokunststoffe) in M.-%,
- Anteil an Biokunststoffen in M.-%,
- Anteil an mineralischen Rohstoffen (außer Metallen) in M.-%,
- Anteil an metallischen Rohstoffen in M.-%,
- Anteil an Kunststoffen (inkl. Kunstharzen, organischen Chemikalien) in M.-%,
- Anteil an Bitumen in M.-%,
- Anteil an Wasser in M.-% (in Bauchemikalien).

Die Rohstoffart ist unabhängig davon, ob es sich um einen Primär- oder einen Sekundärrohstoff handelt, anzugeben. Der Anteil an Recyclingmaterialien wird in einem eigenen Indikator (Einsatz von Recyclingmaterialien) behandelt.

Bei Erzeugnissen beziehen sich die M.-% auf den endfeuchten (lufttrockenen) Zustand. Bei biogenen Rohstoffen wie beispielsweise Holz wird der mittlere Feuchtegehalt dem Anteil biogener Rohstoffe zugeordnet.

Bei Bauchemikalien wird die Gesamtmasse des Produkts bzw. werden die Rohstoffanteile an der Gesamtmasse am Gewicht im einbaufertigen Zustand (z. B. im Gebinde, pulverförmiger Mörtel inklusive Wasser) bemessen.

Werden im Produkt Vorprodukte eingesetzt, sind für diese ebenfalls die Rohstoffanteile – aufgeteilt nach Rohstoffherkunft – zu bestimmen.

10.2.3 Biokunststoffe

Motivation

„Biobasierte Kunststoffe“ (auch als „Biokunststoffe“ bezeichnet) bestehen zu einem wesentlichen Anteil oder vollständig aus biogenen Rohstoffen. Die biologische Abbaubarkeit ist kein zwingendes Kriterium für einen Biokunststoff, sondern lediglich eine spezielle Eigenschaft einiger Bio-, aber auch einiger petrochemischer Kunststoffe.

Als „biologisch abbaubar“ wird ein Kunststoff bezeichnet, sofern er durch Mikroorganismen unter Sauerstoffzufuhr in Kohlenstoffdioxid, Wasser, mineralische Salze und Biomasse bzw. ohne Sauerstoffzufuhr in Kohlenstoffdioxid, Methan, mineralische Salze und Biomasse umgewandelt werden kann. Dieser Vorgang hängt stark von dem Umgebungsmilieu ab. Um als „biologisch abbaubar“ zu gelten, muss der Kunststoff bzw. das Kunststoffprodukt entsprechend geprüft und zertifiziert werden.

Biologisch abbaubarer Kunststoff kann eine biogene Rohstoffbasis oder aber eine erdölbasierte Rohstoffbasis besitzen (Burgstaller et al. 2018: 29).

Ein wesentlicher ökologischer Nachteil von Kunststoffen, der zur Mikroplastikproblematik führt, ist ihre hohe Persistenz (Nichtabbaubarkeit) in der Umwelt. Biokunststoffe und/oder biologisch abbaubare Kunststoffe könnten zumindest theoretisch eine Chance im Kampf gegen die Anreicherung von Mikroplastik in der Umwelt sein (siehe detaillierte Informationen im Kapitel 7.2.2 Biobasierte und/oder biologisch abbaubare Kunststoffe).

Indikatoren und Kriterien

Der Gehalt an Biokunststoffen wird in M.-% angegeben (siehe Abschnitt 10.2.2 Zusammensetzung nach Rohstoffart).

Biologisch abbaubare Kunststoffe spielen aktuell (Stand: 2025) im Baubereich keine Rolle. Die Literaturrecherche und die Normenanalyse haben außerdem ergeben, dass biologisch abbaubare Kunststoffe keine Lösung des Plastikproblems in der Umwelt sind. Soziologische Studien legen nahe, dass ein Label über die Bioabbaubarkeit oder die Kompostierbarkeit dazu führt, dass derartige Kunststoffe leichter sorglos in der Umwelt entsorgt werden, da Menschen glauben, es werde dort tatsächlich abgebaut. Die Geschwindigkeit des biologischen Abbaus hängt aber stark von den Umgebungsbedingungen ab. Die gültigen Normen spiegeln die Bedingungen in natürlichen Umgebungen oder in Kompostierungsanlagen nicht ausreichend wider. In der Realität bauen sich biologisch abbaubare Kunststoffe üblicherweise kaum und nur sehr langsam ab. Die biologische Abbaubarkeit kann damit auch als Risiko für einen verstärkten Eintrag von Kunststoffen in die Umwelt betrachtet werden (weitere Details dazu siehe Kapitel 7.2.2 Biobasierte und/oder biologisch abbaubare Kunststoffe). Die biologische Abbaubarkeit ist daher kein Kriterium für die Bewertung eines Bauprodukts.

10.2.4 Ressourceneffizienz

Motivation

Die Weltwirtschaft verbraucht für die Herstellung und Nutzung von Waren, Dienstleistungen und die Infrastruktur immer größere Mengen an natürlichen Ressourcen wie Rohstoffe, Wasser und Land. Alleine das Bauwesen in Deutschland benötigt mehr als 300 Mio. t Rohstoffe pro Jahr. Mit ca. 22 M.-% ist das der höchste Rohstoffbedarf aller Wirtschaftssektoren. Im Gegensatz zum Klimaschutz gibt es bisher keine international verbindlichen Ziele für die nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen (Mostert et al. 2024).

Indikatoren und Kriterien

Vom BBSR wird aktuell die Erweiterung der für den Baubereich genormten Ökobilanzindikatoren um Indikatoren für den Ressourcenverbrauch vorangetrieben (Mostert et al. 2024). Dabei handelt es sich um den Primärrohstoffaufwand (RMI) und den Gesamtprimärmaterialaufwand (TMR), aufgeteilt in biotische und abiotische Rohstoffanteile. Sobald die Methodenbeschreibung und entsprechende Daten zur Verfügung stehen, können diese Indikatoren bei der Kunststoffbewertung berücksichtigt werden.

10.3 Indikatoren zur Beschreibung des Lebenszyklus und der Kreislauffähigkeit

10.3.1 Ökobilanzen

Motivation

Die Ökobilanz ist eine standardisierte Methode zur Erfassung von Umweltbelastungen durch ein Produkt bzw. einen Prozess über den Lebenszyklus (LCA, engl. Life Cycle Assessment). Grundlegende Normen sind ISO 14040/14044 sowie für den Baubereich EN 15804.

Ergebnisse von Ökobilanzen werden in Form von Umweltproduktdeklarationen (EPD, engl. Environmental Product Declaration)) kommuniziert.

Für das vorliegende Projekt werden Ökobilanzergebnisse dort, wo sinnvoll, berücksichtigt, aber nicht aktiv beforscht. Daten stehen in folgenden Datenbanken zur Verfügung:

- www.oekobaudat.de (für Deutschland),
- www.baubook.at (für Österreich).

Auf folgende Fragestellungen im Zusammenhang mit Ökobilanzergebnissen für Baukunststoffe sei hingewiesen:

- Baukunststoffe, z. B. Kunststoffdämmstoffe, schneiden häufig in einigen Ökobilanzindikatoren im Vergleich zu anderen Produkten gut ab. Dabei muss man beachten, dass in den Kernindikatoren für Ökobilanzen Gefahrstoffe nicht berücksichtigt werden. Die Ökobilanzen werden für den Normalbetrieb erstellt. Risiken durch Störfälle im Betrieb sind daher ebenfalls nicht enthalten. Die Kreislauffähigkeit von Produkten wird ungenügend abgebildet, da nur lineare Systeme betrachtet werden.
- Maßgeblich für den massiven Anstieg von CO₂ in der Atmosphäre ist die Verbrennung von fossilen Brennstoffen. Kunststoffe, die – nachdem sie zu Abfall geworden sind – verbrannt oder als Ersatzbrennstoffe für industrielle Feuerungen eingesetzt werden, tragen somit zum Anstieg des CO₂-Gehalts in der Atmosphäre bei. Wenn in Ökobilanzen gemäß EN 15804 für die Entsorgungsphase das Szenario „Sekundärbrennstoff“ gewählt wird, sind die Emissionen aus der Kunststoffverbrennung nicht im Modul C, sondern im Modul D (Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenze) abgebildet.
- Die Vollständigkeit der erfassten Prozesse ist nicht immer gegeben. Beispielsweise fehlen immer wieder VOC-Emissionen, die einen Beitrag zum photochemischen Ozonbildungspotenzial (POCP, engl. Photochemical Ozone Creation Potential) leisten würden.
- Ein kritischer Blick ist auf Ökobilanzmethoden wie das Biomassenbilanzverfahren zu werfen. Darin werden biogene Anteile im Stofffluss explizit einigen wenigen Produkten zugeordnet, die dann als „100 % biogen“ dargestellt werden, obwohl in der physikalischen Realität die (meistens geringen) biogenen Rohstoffanteile in allen Produkten zu finden sind.
- Die Europäische Union und die Vereinigten Staaten von Amerika verbrauchen zunehmend Kunststoffe, die in kohlebasierten Volkswirtschaften hergestellt werden. Die kohlebasierten Emissionen haben sich seit 1995 vervierfacht und verursachten 2015 fast die Hälfte der durch Kunststoffe verursachten Menge von CO₂ (Cabernard et al., 2022). Welche Kunststoffe für Bauprodukte von der Verlagerung der Produktion in kohlebasierten Volkswirtschaften betroffen sind, konnte im Rahmen des Projekts nicht erhoben werden. Die Bezugsquelle für die Kunststoffe könnte sich zukünftig aber als weiterer wichtiger Indikator herausstellen.

Indikatoren

Als Indikatoren werden grundsätzlich alle Ökobilanzindikatoren gemäß EN 15804 in Betracht gezogen.

10.3.2 Einsatz von Recyclingmaterialien

Motivation

Abfall ist eine der größten Herausforderungen für den Menschen und die Umwelt, die der Kunststoffverbrauch mit sich bringt. Allein in Österreich fällt jährlich rund 1 Mio. t Kunststoffabfall an. Diese Menge entspricht ungefähr der jährlich produzierten. Kunststoffabfälle sind ein maßgebliches Umweltproblem, denn sie gelangen aus verschiedensten Quellen umfangreich in die Umwelt und verursachen daher ökologische Schäden.

Hochwertiges Recycling von Kunststoffen erfolgt zurzeit (Stand: 2025) noch nicht. Mehr als 75 M.-% der anfallenden Kunststoffabfälle werden verbrannt, gemischte Kunststoffabfälle sogar zu etwa 95 M.-%. Recycelt werden hauptsächlich sortenreine Kunststoffe. Mehr als 80 M.-% der Kunststoffabfälle fallen aber in Form von gemischten Kunststoffabfällen an und deren Recyclingrate liegt bei ca. 3 M.-% (inklusive Downcycling als Reduktionsmittel in der Stahlindustrie).

Die unterschiedlichen, zum Teil schädlichen Zusatzstoffe in Altkunststoffen erschweren das Recycling zusätzlich. Beispielsweise darf Polystyrol, welches das Flammschutzmittel HBCD enthält, nicht recycelt werden. Abfälle aus altem Weich-PVC beinhalten oft Weichmacher aus bestimmten Phthalaten, die Reproduktionsstörungen verursachen können. Ebenso können andere Kunststoffabfälle in Kontakt mit altem PVC durch die enthaltenen Zusatzstoffe verunreinigt werden.

Indikatoren und Kriterien

Der Anteil an Recyclingkunststoffen in M.-% wird als Indikator herangezogen.

Der Einsatz eigener Produktionsabfälle zählt nicht zum Anteil an Recyclingmaterialien.

Der Anteil an Recyclingkunststoffen im Produkt kann als konkreter Wert, als Maximalwert oder als Wertebereich angegeben werden.

Ergänzend soll die Qualitätssicherung beim Einsatz von Rezyklaten beschrieben werden (freier Text).

10.3.3 Rückbaupotenzial von Baustoffen bzw. Bauelementen an ihrem Lebensende

Motivation

Eine gute Trennbarkeit auf der Rückbau-Baustelle ist die Basis für die Kreislaufführung. Voraussetzung dafür ist, dass die verbauten Baustoffe, Bauelemente bzw. Bauteile möglichst ohne Verunreinigungen und wenn möglich auch zerstörungsfrei zurückgewonnen werden.

Indikatoren und Kriterien

Die Indikatoren und Kriterien zum Rückbaupotenzial orientieren sich am Kriteriensteckbrief U.05 Kreislauffähigkeit¹⁵ des Bewertungssystem Nachhaltig Bauen.

Bei der Klassifizierung des Rückbaupotenzials der einzelnen Schichten werden die in Tabelle 25 angeführten 4 Kategorien unterschieden (Figl et al. 2024).

Grundlage für die Einstufung ist der aktuelle Stand der Technik (2025). Zukünftige Entwicklungen, z. B. kostengünstigere Demontagemöglichkeiten von Baustoffen mithilfe von Robotern oder aufgrund von geänderten wirtschaftlich-gesellschaftlichen Rahmenbedingungen, werden nicht berücksichtigt.

Das der Baustelle folgende Abfallbehandlungsverfahren zur Trennung von Stör- oder Fremdstoffen von den Baustoffen wird über die „Materialverträglichkeit“ abgebildet.

¹⁵ Ehemals: Kriteriensteckbrief 4.1.4 „Rückbau, Trennung Verwertung“

	Kategorie inklusive Kurzbeschreibung	Schlagwort	Beispiele (konventionelle Verbindung)	Charakterisierung Fügetechniken	Klasse
Element / Baustoff ohne Verunreinigungen aus angrenzenden Schichten	Baumaterialien, Baukomponenten bzw. Bauteile zerstörungsfrei rückbaubar (ohne Schädigung der Form- und Materialstruktur, grundsätzlich für Wiederverwendung geeignet)	zerstörungsfrei	Kiesschicht im Flachdach; geklemmte Dämmfilze; Türblätter	sehr leicht lösbare Fügung: Einhängen, Klemmen, Auflegen etc.	I
	Baumaterialien, Baukomponenten bzw. Bauteile weitgehend zerstörungsfrei rückbaubar (mit geringfügiger Schädigung der Form- und Materialstruktur; nach Instandsetzungsarbeiten für Wiederverwendung geeignet)	zerstörungsfarm	Holzwerkstoffplatte auf Holzunterkonstruktion, Holzdielen	lösbare Verbindung	II
	Baumaterialien und Baukomponenten zerstörend ohne Fremdstoffe rückbaubar (ohne Verunreinigungen aus angrenzenden Schichten, jedoch mit Beschädigung oder Zerstörung der Form- und Materialstruktur (keine Wiederverwendung möglich), zum Teil Materialverluste)	zerstörend, ohne Fremdstoffanhaftung	Estrich schwimmend verlegt mit trennbarem Fußbodenbelag	lösbare Verbindung	III
	Baumaterialien und Baukomponenten mit Fremdstoffen verunreinigt (mit Verunreinigungen aus angrenzenden Schichten; Trennung in Aufbereitungsanlage, zum Teil auch auf Baustelle; Beurteilung der Materialverträglichkeit erforderlich)	zerstörend, mit Fremdstoffanhaftung	Stahlbetonverbund, Mauerwerk	Nicht lösbare Verbindung	IV

Tabelle 25: Kategorien und Klassen zur Beschreibung des Rückbaupotenzials

10.3.4 Zirkularitätspotenzial am Lebensende

Motivation

Mit dem Zirkularitätspotenzial wird die Kreislauffähigkeit von unverbauten Baustoffen bzw. Bauelementen an ihrem Nutzungsende (EoL, engl. End of Life) kategorisiert und anschließend klassifiziert.

Indikatoren

Auf den 4 Verfahren zur Nachnutzung bzw. Abfallbehandlung von Baustoffabfällen (Abfallvermeidung, stoffliche Verwertung, thermische Behandlung und Deponierung) beruhen die folgenden EoL-Kategorien:

- WV → Wiederverwendung bzw. Vorbereitung zur Wiederverwendung von Baustoffen, Bauelementen und Bauteilen,
- CL → Closed Loop Recycling (Recycling im geschlossenen Kreislauf),
- RC → Recycling,
- SV → Sonstige stoffliche Verwertung bzw. Recycling mit minderer Qualität,
- EV → Energetische Verwertung bzw. Ersatzbrennstoff,
- EB → Energetische Beseitigung,
- Dep → Deponierung.

Bei den Kategorien Closed Loop Recycling, Recycling und Deponierung wird außerdem nach dem jeweiligen Aufbereitungsaufwand unterschieden in CL⁺ und CL⁻, RC⁺ und RC⁻, Dep⁺ und Dep⁻.

Die Kategorie Energetische Verwertung wird je nach Energiedichte und stofflicher Zusammensetzung weiter unterteilt in EV⁺ und EV⁻.

In Analogie zu den Abfallhierarchien des KrWG werden den EoL-Kategorien 7 EoL-Klassen zugeordnet (siehe Tabelle 26). Die EoL-Klasse A (WV, WV-V) stellt die beste, die EoL-Klasse G (EB, Dep⁻) die schlechteste Bewertung für den Neubau dar.

Klasse	A	B	C	D	E	F	G
Kategorie							
Abfallvermeidung	WV Wiederverwendung (Produkt)						
Kategorie	RC-Material				Abfall		
Stoffliche Verwertung	WV Vorbereitung zur Wiederverwendung	CL Closed-Loop-Recycling	RC ⁺ / CL ⁻ Recycling / CL mit Aufwand	RC ⁻ Recycling mit Aufbereitungsaufwand	SV RC mit minderer Qualität / sonstige stoffliche Verwertung		
Thermische Behandlung					EV ⁺ energetische Verwertung, schadstoffarm	EV ⁻ energetische Verwertung	EB energetische Beseitigung
Deponierung						Dep ⁺ Deponierung von Inertabfällen	Dep ⁻ Deponierung nach Aufbereitung

Tabelle 26: Zirkularitätspotenzial mit Kategorien zur Beschreibung der Zirkularität von Baustoffen („EoL-Kategorien“) und zugeordnete Klassen („EoL-Klassen“)

Die eingesetzten Baustoffe werden aufgrund ihrer nachgewiesenen Eigenschaften der entsprechenden Kategorie zugeordnet. Kriterien für Kunststoffe für die Einstufung sind:

- Sortenreinheit/Monomaterial,
- Schad- und Störstoffe,
- Recyclingverfahren,
- Rücknahme- und Sammelsystem.

10.3.5 Beständigkeit, Alterung, Nutzungsdauer, Lebensdauer

Im Rahmen des Projekts kann die Notwendigkeit zur Bewertung der Beständigkeit und Alterung von Kunststoffen und Baustoffen generell nur allgemein festgestellt werden. Für Indikatoren auf Baustoffebene fehlen messbare Grundlagen.

10.4 Indikatoren bzw. Kriterien zur Beschreibung von Risikofaktoren

10.4.1 Kunststofffreisetzung (Mikro-, Makro- und Nanoplastik)

Motivation

Mikroplastik und Nanoplastik entsteht im Bauwesen im gesamten Lebenszyklus von Bauprodukten unbeabsichtigt vor allem durch Abrieb, Zersetzung und Verschnitt. Dabei können nicht nur die Kunststoffpartikel potenzielle Risiken für die Umwelt nach sich ziehen, sondern diese Kunststoffpartikel beinhalten oftmals Schadstoffe, die damit in die Umwelt gelangen. Die genauen Mengen und Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit sind noch nicht abschließend erforscht. Doch Studien zeigen, dass sich Mikroplastikpartikel über Luft, Wasser und Boden verbreiten und durch Inhalation oder Nahrungsaufnahme in den menschlichen Körper gelangen können (siehe Kapitel 7.5.1 Makroplastik, Mikroplastik, Nanoplastik).

Indikatoren

Für Indikatoren auf Baustoffebene fehlen messbare Grundlagen. Im Rahmen des Projekts wird das Risiko zur Freisetzung von Kunststoffpartikeln und das Potenzial zu deren Vermeidung daher qualitativ eingeschätzt. Als Grundlagen dienen Literaturrecherche und Herstellerangaben.

Es wird differenziert nach den Lebenszyklusphasen Errichtungsphase, Nutzungsphase und Entsorgungsphase. Die Herstellungsphase kann im Rahmen des Projekts nicht berücksichtigt werden.

10.4.2 Kritische Inhaltsstoffe

Motivation

Baustoffe können kritische Inhaltsstoffe beinhalten oder Stoffe emittieren, welche Befindlichkeitsstörungen bis hin zu Krankheiten und/oder Umweltgefahren verursachen können. Additive verleihen Kunststoffen bestimmte Eigenschaften, die sie stabiler, weicher, bunter oder sicherer machen sollen. Allerdings können vor allem diese Zusatzstoffe oft toxisch und schwer abbaubar sein (siehe Kapitel 7.5.3 Schadstoffe in Kunststoffprodukten für das Bauwesen). Selbst im Mikroplastik sind sie noch vorhanden und können die Umwelt belasten. Die Toxizität hängt maßgeblich von der Art und Menge der Additive im Kunststoff ab.

Zu den industriell weitverbreiteten Additiven zählen u. a. Weichmacher, UV-Stabilisatoren und Flammschutzmittel.

Indikatoren und Kriterien

Zur Beurteilung des Einsatzes kritischer Inhaltsstoffe werden die Kriteriensteckbriefe des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB), des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude (QNG) und die österreichischen ÖkoBauKriterien herangezogen:

- Kriteriensteckbrief 1.1.6 „Risiken für die lokale Umwelt“ des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB_BN 1.1.6). Stand 28.09.2017 (bzw. demnächst in aktueller Fassung), Produktinformationen zum Kriteriensteckbrief siehe online unter: <https://www.baubook.at/bnb/>,
- Anhangdokument 313 des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude (QNG). Stand 22.09.2022 (bzw. demnächst in aktueller Fassung), Produktinformationen siehe online unter: <https://www.baubook.at/bnb/>,
- ÖkoBauKriterien – Ökologische Kriterien für den Neubau und die Sanierung von öffentlichen Gebäuden, siehe online unter: <https://www.baubook.at/oea>.

Die Kriteriensteckbriefe enthalten produktgruppenbezogenen Anforderungen zur

- Begrenzung von gefährlichen Inhaltsstoffe gemäß CLP-Einstufung wie SVHC, KMR-Stoffe und sonstige umwelt- oder gesundheitsgefährdende Stoffe,
- Begrenzung von spezifischen Stoffsubstanzen, z. B. Phthalate, Bisphenole, HBCD,
- Begrenzung von flüchtigen organischen Verbindungen, z. B. VOC-Gehalt, VOC-Emissionen.

Die Kriterien sind in der baubook-Datenbank abgebildet. Ein Beispiel zeigt Abbildung 46.

In diesen Kriterien nicht oder nur teilweise betrachtete kritische Inhaltsstoffe sind synthetische Nanomaterialien und hormonwirksame Stoffe (endokrine Disruptoren). Aktualisierungen sind in Arbeit. Zum Beispiel soll 2025 das Verbot von endokrinen Disruptoren in den ÖkoBauKriterien aufgenommen werden.

The screenshot shows a web application interface for selecting building products based on specific criteria. The top navigation bar includes links for 'Kriterien', 'Produkte', 'Firmen', 'Richtwerte', 'Favoriten', and a search icon. On the right, there are links for 'Home / Info / Kontakt', 'Impressum/§', and 'Anm...'. The main content area is titled 'PUR/PIR-Dämmplatten'. Below this title, there are two tabs: 'Produkte' and 'Relevante Kriterien'. The 'Relevante Kriterien' tab is active, showing a list of criteria. The left sidebar contains a hierarchical tree of building products, with 'PUR/PIR-Dämmplatten' highlighted under the 'Dämmstoffe' category.

Kriterien **Produkte** **Firmen** **Richtwerte** **Favoriten** **Home / Info / Kontakt** **Impressum/§** **Anm...**

PUR/PIR-Dämmplatten

Produkte **Relevante Kriterien**

Österreichische baubook-Plattformen

- 2. 2. 2. Grenzwerte für KMR-Stoffe in Dämmstoffen
- 2. 2. 3. Verbot von klimaschädlichen Substanzen
- 2. 2. 12. Verbot von akut toxischen Stoffen
- 2. 4. 2. Grenzwerte für halogenorganische Verbindungen
- 2. 4. 6. Grenzwert für flüchtige halogenorganische Verbindungen in Dämmstoffen
- 2. 4. 7. Vollständiger Ausschluss von halogenorganischen Stoffen
- 2. 7. 1. Verbot von kritischen Flammschutzmitteln
- 5. 1. 6. VOC- und SVOC-Grenzwerte für Dämmstoffe
- 7. 1. Produkte mit Umweltzeichen

BNB 1.1.6 & QNG 3.1.3 (Deutschland)

- 1. 1. 1. Deklaration besonders besorgniserregender Stoffe (SVHC)
- 1. 1. 3. Ausschluss von CMR-Stoffen der Kategorien 1A und 1B
- 1. 1. 5. Ausschluss akut toxischer Stoffe (Acute Tox)
- 1. 1. 6. Ausschluss toxischer Stoffe mit STOT SE 1 oder STOT RE 1
- 1. 2. 1. WDVS: Ausschluss von PBT-/ vPvB- Stoffen als Flammschutzmittel
- 1. 2. 3. WDVS: Ausschluss von umweltgefährlichen Stoffen als Flammschutzmittel
- 1. 4. 4. Ausschluss von Tris(2-chlorethyl)phosphat (TCEP)
- 1. 5. 2. Ausschluss von Phthalaten (Weichmacher)
- 1. 6. 1. Verbot von problematischen Pigmenten in Dämmstoffbeschichtungen
- 3. 1. 1. Einhaltung des AgBB-Bewertungsschemas
- 3. 3. 1. Dämmstoffe Innen: Grenzwerte VOC-Emissionen und Formaldehyd
- 5. 1. Ausschluss von halogenierten Treibmitteln
- 5. 2. Ausschluss von halogenierten organischen Verbindungen als Flammschutzmittel
- 5. 3. Ausschluss von halogenierten organischen Verbindungen
- 6. 1. 1. Deklaration biozider Wirkstoffe
- 6. 1. 3. Ausschluss von Bioziden in WDVS oder Innendämmungen
- 6. 1. 4. Verbot von Bioziden außer bestimmte Topfkonservierer

Abbildung 46: Kriteriensteckbriefe zu Schadstoffen in Bauprodukten von BNB, QNG und ÖkoBauKriterien („österreichische baubook-Plattformen“) am Beispiel der Produktgruppe PUR/PIR-Dämmplatten, abgebildet auf baubook.at/zentrale

10.4.3 Brandverhalten

Indikatoren und Kriterien

Je nach Kunststoffart kann das Brandverhalten erhebliche Folgen für den Brandverlauf haben (siehe Kapitel 7.6 Brandverhalten). Für Indikatoren auf Baustoffebene fehlen jedoch messbare Grundlagen.

10.4.4 Störfallrisiko

Indikatoren und Kriterien

Im Rahmen des Projekts kann das Störfallrisiko bei der Herstellung von Kunststoffen nur allgemein festgestellt werden. Für Indikatoren auf Baustoffebene fehlen messbare Grundlagen.

11 UMSETZUNG EINER BEWERTUNGSTOOLS

11.1 Einleitung

11.1.1 Motivation und Ziel

Planungsbeteiligten und Entscheidungsträger:innen ist oft nicht bewusst, wie viel Kunststoff in Bauprodukten enthalten ist, welches Risikopotenzial in ihnen steckt und welche Optimierungsmöglichkeiten es gibt, um den Kunststoffgehalt zu vermindern. Ein einfaches Tool, welches Bauprodukte nach den entwickelten Indikatoren darstellt und gegebenenfalls Ersatzbaustoffe bzw. -bauweisen vorschlägt, soll Abhilfe schaffen.

Das Bewertungstool „Kunststofffreies Bauen“ wird im Folgenden mit dem Arbeitstitel „KFB-Tool“ (von **K**unststoff**f**reies **B**auen) bezeichnet.

11.1.2 Aufgabenstellung

Die im Projekt abgeleiteten Indikatoren ergänzen die bisher in Baustoff- und Gebäudebewertungssystemen verwendeten Indikatoren um die Aspekte des potenziellen Eintrags von Kunststoffen in die Umwelt und der Gefahr, die von ihnen für Ökosysteme ausgeht. Diese den Indikatoren zugrunde liegenden Informationen über Kunststoffgehalt, Recyclingpotenzial und Gefahrenpotenzial des Baustoffs sollen in einer Datenbank zusammengeführt und in ein Bewertungstool für Planungsbeteiligte und Entscheidungsträger:innen, aber auch für Hersteller nutzbar aufbereitet werden.

Alle Inhalte sollen kostenlos für die Allgemeinheit zugänglich sein.

11.1.3 Vorgehensweise

1. Grundlagenermittlung

Im Rahmen des Projekts wurde ein Indikatorenset für Bauprodukte hinsichtlich des Kunststoffgehalts und der -eigenschaften entwickelt (siehe Kapitel 10 Entwicklung von Indikatoren).

Anhand der Anwendung dieser Indikatoren auf Beispielkonstruktionen im Arbeitspaket AP2 (siehe Kapitel 9) sowie auf Beispielgebäude im Arbeitspaket AP5 wurde eine Bewertungsmatrix entwickelt, die in das KFB-Tool integriert werden soll. Das KFB-Tool soll auch die Auswahl von Ersatzprodukten nach Möglichkeit unterstützen.

2. Pilotumsetzung in baubook und eco2soft und Übertragbarkeit

Bestehende Tools und Datenbanken sollen grundsätzlich genutzt werden können: Im Rahmen des Projekts soll und kann nicht alles neu erfunden werden, wofür es bereits bewährte Methoden und Tools gibt (z. B. Ökobilanzen, Massenbilanzen). Die Umsetzung in bestehenden Tools bringt den Zusatzvorteil mit sich, dass die Projektergebnisse über die Projektlaufzeit hinaus weiterhin gewartet und gepflegt werden müssen.

Das Prozessschema zur Einbindung bestehender Datenbanken und Tools wird am Beispiel der baubook-Datenbank und des eco2soft-Ökobilanzrechners gezeigt, wobei darauf geachtet wird, dass die Übertragbarkeit auf andere Datenbanken und Tools gegeben ist.

baubook-Datenbank

baubook ist ein Webportal, das eine Datenbank und Tools für ökologisches Bauen und Sanieren bietet. Im Zentrum stehen umweltrelevante Daten zu Bauprodukten, Bauteilen und Tools, die das ökologische und

gesundheitsverträgliche Bauen vereinfachen. Die inhaltlichen Schwerpunkte der Datenbank können gegliedert werden in

1. validierte generische und spezifische Baustoffdaten für die Berechnung von Energie- und Ökologiekennzahlen. Zur Verfügung stehen die für Österreich gültigen
 - Ökobilanzdaten auf Basis von ecoinvent,
 - bauphysikalische Daten auf Basis von ÖN B 8110 Wärmeschutz im Hochbau – Teil 7: tabellierte wärmeschutztechnische Bemessungswerte;
2. Produktinformationen zu baustoffrelevanten Anforderungen aus ökologischen Ausschreibungen, Gebäudezertifizierungen und Fördersystemen. Für das vorliegende Projekt relevant ist die Abbildung der Kriterien und Produktinformation zu folgenden Programmen:
 - ÖkoBauKriterien (<https://www.baubook.at/oea/>),
 - Produktinformationen zu BNB und QBG (<https://www.baubook.at/bnb/>);
3. beschreibende umweltrelevante Produktinformation: Darunter verstehen wir weiterführende Informationen, z. B. die Deklaration der Einsatzstoffe oder den Anteil an nachwachsenden Rohstoffen. Einige dieser Produktinformationen sind auch für das vorliegende Projekt nutzbar, jedoch war die Spezifizierung dieser Parameter bisher mangelhaft, weshalb eine Nachbesserung erforderlich ist.

eco2soft – Ökobilanz für Gebäude

„eco2soft – Ökobilanz für Gebäude“ auf dem baubook-Webportal (<https://www.baubook.at/eco2soft/>) ist ein Onlinewerkzeug der baubook GmbH, mit dem einfach und schnell Ökobilanzen für Gebäude erstellt und die Aufwände für Errichtung, Erneuerung und Entsorgung übersichtlich dargestellt werden können. Es gibt eine frei zugängliche Version, die nach kostenfreier Registrierung im baubook-Webportal genutzt werden kann.

3. Spezifizierung: Prozessschema

Ausgehend von den bestehenden Daten und Tools im baubook-Webportal wurde ein Prozessschema zur Integration des KFB-Tools erarbeitet. Es umfasst die Spezifizierung und Verortung der

- notwendigen Parameter und Indikatoren (bestehende und neue),
- Eingabeprozesse,
- Berechnungs- und Bewertungsalgorithmen,
- Darstellung und Dokumentation der Ergebnisse.

4. Implementierung in Datenbank und Tool

Die Implementierung in Datenbank und Tool erfolgt außerhalb des vorliegenden Projekts. Änderungen im Vergleich zum hier Beschriebenen können erfahrungsgemäß mit hoher Wahrscheinlichkeit daher noch auftreten.

Die jeweils aktuellen Dokumentationen zum Tool sind über diese Webseite zu finden:

<https://www.baubook.info/de/baubook/forschungsprojekte/kunststofffrei-bauen>.

11.2 Zusammenfassende Darstellung der inhaltlichen Grundlagen für das Bewertungstool

11.2.1 Liste der Indikatoren

Tabelle 27 gibt einen Überblick über die im Projekt abgeleiteten Indikatoren. Die Zellen sind je nach Stand der Forschung in unterschiedlichen Farben dargestellt. Die nicht eingefärbten Zellen enthalten Indikatoren, die im

KFB-Tool nicht bewertet werden können. Alle anderen Indikatoren sollen grundsätzlich für die Bewertung herangezogen werden. Die erst jüngst entwickelten, blau eingefärbten Indikatoren stellen noch eine Herausforderung hinsichtlich Datenverfügbarkeit dar.

Indikatoren und Kriterien zur Beschreibung des Rohstoffeinsatzes:

Deklaration der Einsatzstoffe / Rohstoffanteile / Kunststoffeinsatz im Produkt
Einsatz von Recyclingmaterialien (RC-Kunststoffen)
Einsatz von biobasierten Kunststoffen (Einsatz von „Biokunststoffen“)
Einsatz von biologisch abbaubaren Kunststoffen
Ressourceneffizienz (Raw Material Input, Total Material Requirement)

Indikatoren und Kriterien zur Beschreibung des Lebenszyklus und der Kreislauffähigkeit:

Ökobilanzen
Beständigkeit / Alterung / Nutzungsdauer / Lebensdauer
Rückbaupotenzial von Baustoffen bzw. Bauelementen am Lebensende
Zirkularitäts-Potenzial am Lebensende

Indikatoren und Kriterien zur Beschreibung von Risikofaktoren:

Kunststofffreisetzung (Mikro-, Makro- und Nanoplastik)
Kritische Inhaltsstoffe
Brandverhalten
Störfallrisiko

Legende

Standardisierte Methode
Methode vorhanden (in Ausarbeitung oder nicht standardisiert)
Methode / Daten Herausforderung – Schwerpunkt im Projekt
Methode / Daten Herausforderung – KEIN Schwerpunkt im Projekt

Tabelle 27: Überblick über die im Projekt abgeleiteten Indikatoren

11.2.2 Bewertungsmatrix für Kunststoffprodukte

Um Planungsbeteiligten und Entscheidungsträger:innen eine erste Übersicht über die Eigenschaften von Kunststoffprodukten zu geben, wurde eine Bewertungsmatrix entwickelt, welche die Indikatorwerte einer sechsstufigen Skala vom besten Ergebnis (5. Stufe) bis zum schlechtesten Ergebnis (0. Stufe) zuordnet. Die Bewertungsmatrix im Überblick ist Tabelle 28 zu entnehmen. Eine ausführlichere Darstellung mit Erläuterungen befindet sich im Anhang 3: Bewertungsmatrix für Kunststoffprodukte.

Außerdem wurde an der Darstellung der Ergebnisse aus der Bewertungsmatrix gearbeitet. Hierfür wurden auch die Rückmeldungen aus den Workshops aufgenommen. Dabei war es wichtig, dass die definierten Indikatoren und Kriterien gleichwertig dargestellt werden. Die Idee war es, die Ergebnisse wie in Abbildung 47 als Netzdiagramm und ergänzt um Interpretationstexte (siehe Anhang 3: Bewertungsmatrix für Kunststoffprodukte) darzustellen.

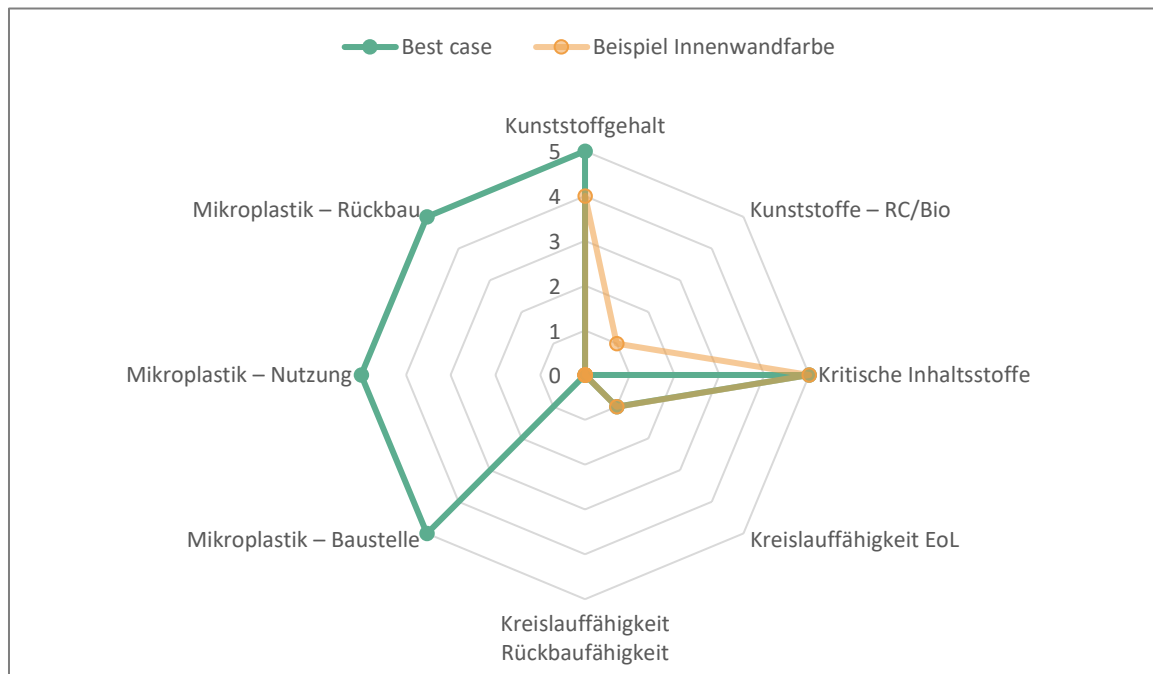


Abbildung 47: Darstellung der Ergebnisse aus der Bewertungsmatrix (eigene Darstellung)

Indikator	5	4	3	2	1	0
Kunststoffgehalt	≤ 1 M.-%	≤ 10 M.-%	≤ 50 M.-%	< 75 M.-%	> 75 M.-%	Keine Angaben zu Mengen oder zur Kunststoffart
Einsatz von RC- und Biokunststoffen	100 M.-% der Primärkunststoffe wurden durch Sekundärkunststoffe oder bioabbaubare und/oder biobasierte Kunststoffe ersetzt; die Kunststoffarten und Mengen sind deklariert.	≥ 60 M.-% der Primärkunststoffe wurden durch Sekundärkunststoffe oder bioabbaubare und/oder biobasierte Kunststoffe ersetzt; die Kunststoffarten und Mengen sind deklariert.	≥ 30 M.-% der Primärkunststoffe wurden durch Sekundärkunststoffe oder bioabbaubare und/oder biobasierte Kunststoffe ersetzt; die Kunststoffarten und Mengen sind deklariert.	Primärkunststoffe wurden teilweise durch Sekundärkunststoffe oder bioabbaubare und/oder biobasierte Kunststoffe ersetzt; die Kunststoffarten und Mengen sind deklariert.	Keine Sekundärrohstoffe oder bioabbaubaren oder biobasierten Kunststoffe werden eingesetzt; die Kunststoffarten und Mengen sind deklariert.	Keine Angaben zum Einsatz von Sekundärrohstoffen oder bioabbaubaren und/oder biobasierten Kunststoffen.
Kritische Inhaltsstoffe	Das Produkt ist mit einem anerkannten Umweltzeichen ausgezeichnet oder zusätzlich zu den Anforderungen der Stufe 4 liegt eine Volldeklaration (Art und Menge aller eingesetzten Stoffe) vor.	Das Produkt enthält keine SVHC und erfüllt die Anforderungen von QN5*) der BNB 1.1.6 Kriterien bzw. alle Standardkriterien der Öko-BauKriterien. *) Ab Herausgabe des neuen BNB-KSB: QN3	Das Produkt erfüllt die Anforderungen von QN5*) der BNB 1.1.6 Kriterien bzw. alle zutreffenden Standardkriterien der ÖkoBauKriterien. *) Ab Herausgabe des neuen BNB-KSB: QN3	Das Produkt erfüllt die Anforderungen von QN3*) der BNB 1.1.6 Kriterien. *) Ab Herausgabe des neuen BNB-KSB: QN2	Das Produkt erfüllt die Anforderungen von QN1 der BNB 1.1.6 Kriterien bzw. die Standardkriterien der ÖkoBauKriterien mit begründeten Ausnahmen.	Keine Angaben sind vorhanden oder Anforderungen werden nicht erfüllt.
Kreislauffähigkeit /EoL	Das Produkt kann wiederverwendet werden (EoL-Klasse A des Zirkularitätspotenzials, Nachweise vorhanden).	Das Produkt kann in einem geschlossenen Kreislauf (Infrastruktur vorhanden) recycelt werden (EoL-Klasse B des Zirkularitätspotenzials).	Das Produkt kann recycelt werden (EoL-Klasse C des Zirkularitätspotenzials).	Das Produkt kann mit Aufbereitungsaufwand recycelt werden (EoL-Klasse D des Zirkularitätspotenzials).	Das Produkt kann einer energetischen oder sonstigen stofflichen Verwertung zugeführt werden (EoL-Klasse E des Zirkularitätspotenzials)	Das Produkt kann weder stofflich noch energetisch verwertet werden (EoL-Klasse F oder G des Zirkularitätspotenzials).
Kreislauffähigkeit /Rückbaufähigkeit	Das Produkt ist zerstörungsfrei rückbaubar (Klasse I des Rückbaupotenzials).	Das Produkt ist weitgehend zerstörungsfrei rückbaubar (Klasse II des Rückbaupotenzials).	Das Produkt ist nicht zerstörungsfrei, aber ohne Stör- und Fremdstoffe rückbaubar (Klasse III des Rückbaupotenzials).		Das Produkt ist nur mit Fremd- und Störstoffen verunreinigt rückbaubar (Klasse IV des Rückbaupotenzials), enthält aber keine Störstoffe der Kategorie S3 oder S4.	Das Produkt ist nur mit Fremd- oder Störstoffen rückbaubar, die das hochwertige Recycling der angrenzenden Schichten erschweren (S3) oder verhindern (S4).

Mikroplastik – Baustelle	Das Bauprodukt muss auf der Baustelle nicht geschnitten, geschliffen, lose eingebracht oder flüssig angebracht werden (z. B. Fertigteile).		Das Produkt wird auf der Baustelle verarbeitet und staubarm zugeschnitten und/oder mechanisch verbunden (geschraubt, geheftet) (z. B. Folien, Rohre, Bauplatten).	Das Produkt wird auf der Baustelle verarbeitet und flüssig aufgetragen, lose eingebracht, geschliffen oder mit erhöhtem Staubaukommen zugeschnitten, aber es gibt ein Maßnahmenpaket zur Vermeidung von Mikroplastik.	Das Produkt wird auf der Baustelle verarbeitet und flüssig aufgetragen, lose eingebracht, geschliffen oder mit erhöhtem Staubaukommen zugeschnitten, es gibt kein Maßnahmenpaket zur Vermeidung von Mikroplastik.
Mikroplastik – Nutzungsphase	Es handelt sich um kein Oberflächenmaterial mit Kunststoffgehalt; Mikroplastikfreisetzung ist nicht möglich.	Es handelt sich um ein Oberflächenmaterial mit Kunststoffgehalt, aber es ist keine Mikroplastikfreisetzung z. B. infolge von Abrieb, Abwaschung, Bewitterung (Sonneneinstrahlung, Windlasten, Hagel-, Regenereignisse etc.) möglich.	Es handelt sich um ein Oberflächenmaterial mit Kunststoffgehalt mit Nachweisen, dass die Mikroplastikfreisetzung begrenzt ist.	Es handelt sich um Teppiche, Textilien, Farben oder Lacke, Kunststoffbahnen oder Bodenbeläge mit Kunststoffinhalten mit Nachweisen, dass die Mikroplastikfreisetzung begrenzt ist.	Es handelt sich um Teppiche, Textilien, Farben oder Lacke, Kunststoffbahnen oder Bodenbeläge mit Kunststoffinhalten ohne Nachweise zur Begrenzung der Mikroplastikfreisetzung.
Mikroplastik – Rückbau	Das Bauprodukt ist weitgehend zerstörungsfrei rückbaubar und beim Rückbau des Bauprodukts wird nachweislich kein Mikroplastik freigesetzt (Kunststoff fest im Produkt eingebunden).		Das Bauprodukt ist weitgehend zerstörungsfrei rückbaubar und es gibt ein Maßnahmenpaket, das sicherstellt, dass kein Mikroplastik beim Rückbau freigesetzt wird.	Das Bauprodukt ist nicht zerstörungsfrei rückbaubar, kann aber vollständig von anderen Baustoffen getrennt werden und ein Maßnahmenpaket zur Vermeidung von ist Mikroplastik vorhanden.	Beim Rückbau kann Mikroplastik freigesetzt werden oder Keine Informationen zur Thematik sind vorhanden.

Tabelle 28: Überblick über die Bewertungsmatrix für Kunststoffprodukte

11.2.3 Identifikation der erforderlichen Parameter

Für die Berechnung der Indikatoren und der Stufen gemäß der Bewertungsmatrix müssen die erforderlichen Parameter spezifiziert werden, die in der Datenbank und im Tool zur Verfügung stehen sollen.

11.3 Prozessschema

Im Folgenden wird der Workflow für die Bewertung von Gebäuden bzw. Bauteilen mit dem KFB-Tool dargestellt. Für die Erfassung des Gebäudes wird das Tool „eco2soft – Ökobilanz für Gebäude“ auf dem baubook-Webportal genutzt. Abbildung 48 zeigt die wesentlichen Teilprozesse.

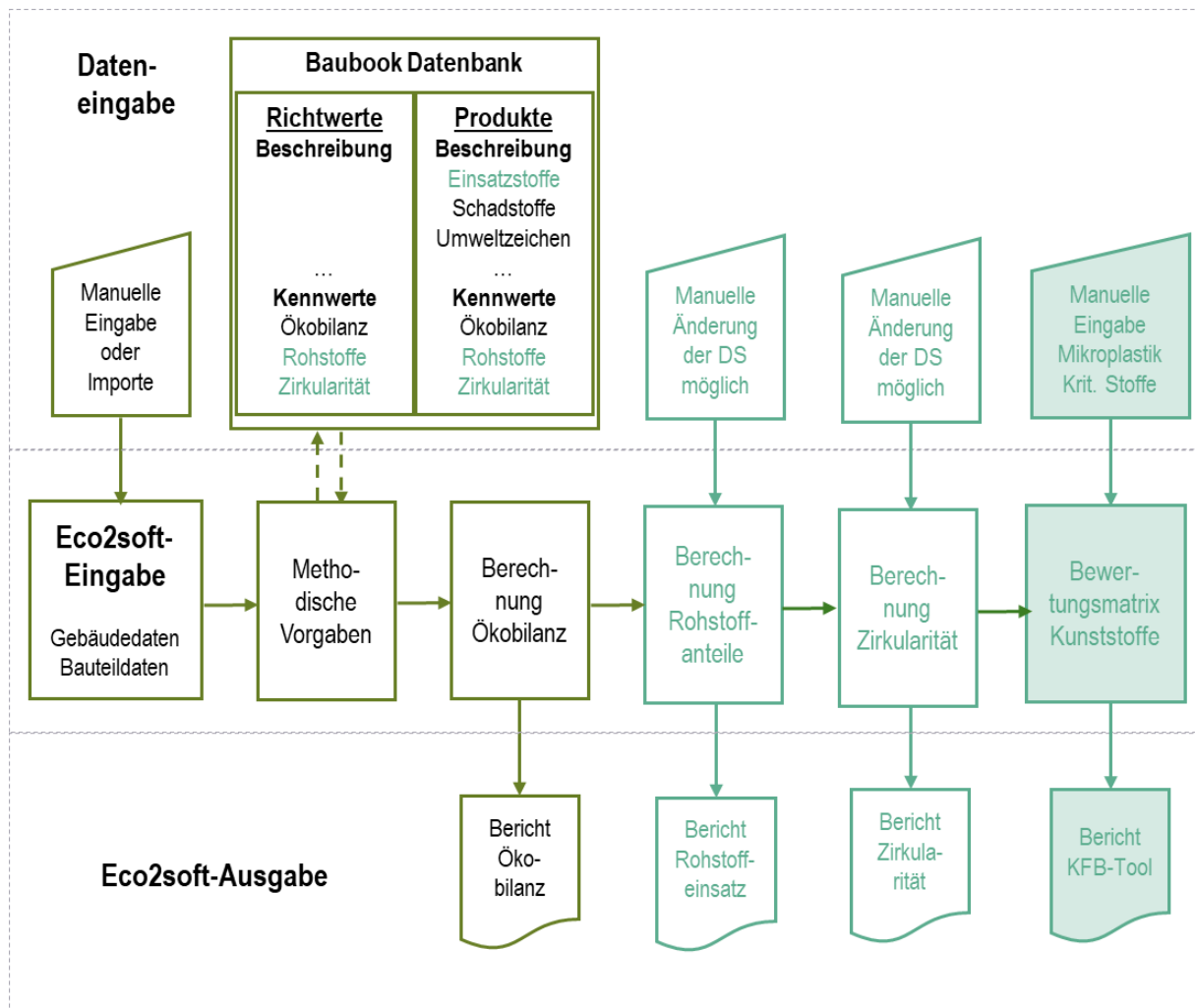


Abbildung 48: Prozessschema des KFB-Tools. Es baut auf den bestehenden Daten und Algorithmen des baubook-Webportals auf (schwarzer Text). Neue Parameter und Algorithmen wurden in der Datenbank und im „eco2soft – Ökobilanz für Gebäude“-Rechner angelegt (blauer Text). Die blau schattierten Formen stellen das eigentliche KFB-Tool dar.

11.3.1 baubook-Datenbank

In der baubook-Datenbank stehen bereits Daten zur Verfügung, die im KFB-Tool genutzt werden können: entweder generische Daten („Richtwerte“) oder produktspezifische Daten. Weitere Parameter bzw. Indikatoren müssen neu angelegt bzw. bestehende Parameter entsprechend der entwickelten Methode überarbeitet werden (grüne Texte in Abbildung 48).

11.3.2 eco2soft-Eingabe

Für die Ökobilanzberechnung in eco2soft werden zunächst die Gebäude- und Bauteildaten eingegeben und die methodischen Vorgaben gewählt. Die Berechnung der Ökobilanz und die Ausgabe des Ökobilanzberichts folgen den üblichen Schritten. Die erforderlichen Informationen zu kritischen Schadstoffen werden direkt aus der baubook-Datenbank in eco2soft angezeigt (siehe Abbildung 49).

The screenshot displays the eco2soft software interface. The top navigation bar includes tabs: Kriterien, Produkte, Firmen, Richtwerte, Schnellsuche, and Favoriten. The 'Produkte' tab is active, showing a search for 'Lehmputz' under the 'Hersteller' and 'Beschreibung' categories. The search results show 'Lehmputz Mineral' and 'Lehmputz Sanf'.

The main content area displays detailed information for 'Lehmputz Mineral':

- Produktgruppen:** Lehmputze
- Einsatzbereich (Putze):** Sanierung
- Beschreibung des Einsatzbereiches:** Lehmputzmörtel als Lehmwerkmörtel. Erdfeucht. Anwendung: Ein- oder mehrlagiger Grund- und Deckputz im Innenbereich. Hand- oder Maschinenputz auf Mauerwerk, Massivbaustoffen, Schilfrohr u.ä.
- Produktbeschreibung des Herstellers:** Ein- oder mehrlagiger Grund- und Deckputz im Innenbereich. Lehmputz Mineral ist Grund- und Deckputz in einem Produkt. Sein kantig gebrochener Sand sorgt für Festigkeit. Nach dem Auftrag zieht der Mörtel sehr schnell an und kann schon bald weiterbearbeitet werden. Als Grundputz ist er für alle groben und feinen Claytec-Lehmdeckputze geeignet, z.B. YOSIMA. Als rauer oder auch glatter Deckputz mit mineralischer, strohfreier Oberflächentextur wird er mit dem Clayfix Lehmanstrichstoff-System gestrichen.
- Produktbilder:** Three images showing the product packaging and application.
- Einsatzstoffe:** Natur-Baulehm bis 5 mm, gemischtkörniger gewaschener oder gebrochener Sand 0 -2,8 mm. Korngruppe, Überkorngröße nach DIN 0/4, < 5 mm.
- Nachwachsende Rohstoffe ("Nawaro"):** 0 Gew%
- Mineralische Rohstoffe (außer Metalle):** 100 Gew%
- Fossile Rohstoffe:** 0 Gew%
- Recyclinganteil:** 0 Gew%

Below the product information, there is a section titled 'Zertifizierungs-, Ausschreibungs- und Förderkriterien' which lists various criteria for certification, including:

- 2. 1. 3. Grenzwert für Kunststoffgehalt in mineralischen Produkten
- 2. 1. 5. Verputz mit maximal 6% Kunststoffanteil, Kleber zementgebunden
- 2. 2. 1. Grenzwerte für KMR-Stoffe
- 2. 2. 4. Grenzwerte für gewässergefährdende Stoffe
- 2. 2. 5. Verbot von Alkylphenoethoxylaten (APEO)
- 2. 2. 11. Verbot von SVHC
- 2. 2. 12. Verbot von akut toxischen Stoffen
- 2. 2. 16. Verbot von flüchtigen aromatischen Kohlenwasserstoffen
- 2. 5. 2. VOC- und SVOC-Grenzwerte für Innenputze
- 2. 6. 1. Grenzwerte für Biozide
- 2. 6. 2. Grenzwert für freien Formaldehyd
- 3. 2. 1. Anforderung an die Natürlichkeit von Lehmputzen
- 3. 2. 2. Produkte aus natürlichen Materialien
- 3. 2. 3. Anforderung an die Natürlichkeit von Lehmprodukten
- 7. 1. Produkte mit Umweltzeichen

A legend at the bottom indicates that green checkmarks mean 'Das Kriterium ist relevant und erfüllt.' and grey minus signs mean 'Das Kriterium ist relevant, die Erfüllung des Kriteriums ist aber nicht nachgewiesen.'

Abbildung 49: Auszug aus der baubook-Datenbank der Informationen zu kritischen Schadstoffen an einem Beispielprodukt zeigt.

Eingabe der Rohstoffanteile und der Zirkularitätseigenschaften

Für die Eingabe der Rohstoffanteile und der Zirkularitätseigenschaften soll es zukünftig 2 neue Eingabebereiche geben (siehe schematische Darstellung in Abbildung 48). Die baubook-Datenbank liefert Vorgabe-Werte, die mit eigenen Daten überschrieben werden können (gekennzeichnet durch grüne Schrift).

Eingabe der fehlenden Daten für die KFB-Bewertungsmatrix

Die Parameter zum „Kunststoffanteil“, „Biokunststoffanteil“, „Recyclingkunststoffanteil“, „Zirkularitätspotenzial“ und „Rückbaupotenzial“, die für die Einstufungen gemäß der im Rahmen des Projekts entwickelten Bewertungsmatrix („KFB-Matrix“) erforderlich sind, stehen somit zur Verfügung.

Für die Auswertung gemäß KFB-Matrix ist außerdem die Eingabe von Informationen zur Freisetzung von Mikroplastik auf der Baustelle, in der Nutzung und beim Rückbau erforderlich. Diese Parameter sind derzeit (Stand: 2025) noch nicht so weit ausspezifiziert, dass sie in der baubook-Datenbank angelegt werden können. Die Abschätzung des Risikopotenzials hängt zudem stark vom konkreten Anwendungsfall ab. Die Eingabe erfolgt somit direkt in eco2soft im neuen Bereich „Kunststoffbewertung“. Für jede Lebensphase wird ein Auswahlfeld bereitstehen, in dem Anwender:innen die zutreffende Stufe der Bewertungsmatrix wählen können. Im Datenfeld „Nachweis“ ist der entsprechende Nachweis zu nennen.

Informationen zum Bewertungskriterium „Kritische Schadstoffe“ stehen in der baubook-Datenbank zur Verfügung und werden direkt in eco2soft bei jedem produktspezifischen Datensatz angezeigt (siehe Abbildung 50). Für die in baubook deklarierten Produkte können diese Informationen als Grundlage für die Einstufung in die KFB-Matrix dienen. Wie bei den Bewertungskriterien für Mikroplastik wählen die Anwender:innen direkt in der Eingabemaske die erreichte Stufe und benennen die jeweilige Nachweisquelle.

Eingabemaske für allgemeine Daten und Rohstoffanteile

Bauteil bearbeiten

Allgemeine Daten

0 Bezeichnung: AW I03_a
 0 Menge: 212 m²
 0 Einheit: m²
 0 Bemerkung: keine Bemerkung

Nr.	Schicht (von innen nach aussen)	Schichtdicke [cm]	Dichte [kg/m ³]	Flächengew. [kg/m ²]	Mineralisch [%]	Metallisch [%]	Biogen [%]	Biokunststoff [%]	Kunststoff [%]	Bitumen [%]	Summe [%]	RC-Material [%]	RC-Kunststoffe [%]	KS bioabbaubar [%]
1	Lehmputz erdfeucht	1,50	1 700	25,50	99,0 %	0,0 %	1,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
2	magnesitgebunden	5,00	350	17,50	30,0 %	0,0 %	70,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
3	OSB-Platten (650 kg/m ³)	1,80	650	11,70	0,0 %	0,0 %	93,0 %	0,0 %	7,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
4.1	56,3 cm (90 %) Hanffaserdämmstoff	20,00	41	8,20	10,0 %	0,0 %	80,0 %	0,0 %	10,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
4.2	6,3 cm (10 %) Nutzholz (z.B. Fichte)	20,00	475	95,00	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
5	Befestigungen (Stahl)	0,01	7 800	0,78	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
6	Fichte/Tanne)	2,40	475	11,40	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
7	Kleber mineralisch	1,00	1 800	18,00	95,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	5,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
8	Hanffaserdämmplatten für WDVS	12,00	100	12,00	10,0 %	0,0 %	80,0 %	0,0 %	10,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
9	Putzgrund (Silikat)	0,01	1 800	0,18	95,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	5,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
10	Silikatputz mit Kunstharzzusatz	0,19	1 800	3,42	95,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	5,0 %	0,0 %	100,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %

Eingabemaske für die Zirkularitätseigenschaften

Nr.	Schicht (von innen nach aussen)	Schichtdicke [cm]	Dichte [kg/m³]	Flächengew. [kg/m²]	Zirkularitätspotenzial unverbaut		Rückbaupotenzial		Materialverträglichkeit (Charakterisierung Stör- / Fremdstoffe)							Zirkularitätspotenzial verbaut	
					EoL-Klasse final	EoL-Punkte final	Klasse Rückbau	Punkte Rückbau	Störstoff 1	Erläuterung	Störstoff 2	Erläuterung	Störstoff 3	Erläuterung	Neueinstufung	EoL-Klasse	EoL-Punkte
1	Lehputz erdfeucht	1,50	1 700	25,50	B	95	III	50								C	80
2	magnetitgebunden	5,00	350	17,50	B	95	III	50								B	95
3	OSB-Platten (650 kg/m³)	1,80	650	11,70	E	30	III	50								D / E	30
4.1	56,3 cm (90 %) Hanffaserdämmstoff	20,00	41	8,20	B	95	I	100								C	80
4.2	6,3 cm (10 %) Nutzholz (zB Fichte)	20,00	475	95,00	E/F	0	II	75								E / F	0
5	Befestigungen (Stahl)	0,01	7 800	0,78	C	80	IV	0			S2					C	80
6	Fichte/Tanne	2,40	475	11,40	E/F	0	IV	0	S1 Metallteile		S3 WDVS					E / F	0
7	Kleber mineralisch	1,00	1 800	18,00	B	95	IV	0								C	80
8	Hanffaserdämmplatten für WDVS	12,00	100	12,00	E/F	0	IV	0	S2 Holz		S3 Putz					E / F	0
9	Putzgrund (Silikat)	0,01	1 800	0,18	F	-20	IV	0								F	-20
10	Silikatputz mit Kunstharzzusatz	0,19	1 800	3,42	B	-50	IV	0	S3 Dämmstoff							C	80

Abbildung 50: Schematische Darstellung der Eingabemaske für die Rohstoffanteile und die Zirkularitätseigenschaften

11.3.3 eco2soft-Ausgabe

Die Ergebnisse der Ökobilanz können als PDF-Datei dokumentiert und als CSV-Datei exportiert werden. Diese Möglichkeiten stehen auch für die neuen Bereiche „Rohstoffanteile“, „Zirkularität“ und „Kunststofffrei Bauen“ zur Verfügung.

11.4 Überprüfung des Tools – Fallstudien

Das entwickelte Tool wurde im Arbeitspaket 5 anhand von Fallstudien bestehender Bauprojekte auf seine Anwendbarkeit hin geprüft. Dabei wurden die Baukonstruktionen und verwendeten Baustoffe detailliert analysiert, um Einsparpotenziale für Kunststoffanteile zu identifizieren und alternative Lösungen aufzuzeigen.

3 repräsentative Gebäude, die den aktuellen Baustandard widerspiegeln, dienten als Fallstudien. Untersucht wurden zentrale Bauteile wie Dach, Außenwände und erdberührte Außenwände im Hinblick auf ihre Kunststoffanteile, ihre Schadstoffbelastung, ihre Kreislauffähigkeit und die Gefahr hinsichtlich des Eintrags von Mikroplastik in die Umwelt. Die Informationen zu den Bauteilen wurden anhand von Bauplänen, Angeboten, Rechnungen, Interviews und Vor-Ort-Besichtigungen ermittelt. Die Ergebnisse wurden als Beispiele im KFB-Tool hinterlegt.

Das Tool wurde an 3 Stellen in der Entwicklung anhand der Fallstudien überprüft:

- Stufe 1: Entwurf des Tools. Die Systematik und der Aufbau wurden das erste Mal anhand der Fallstudien überprüft. Die Auffälligkeiten und Unstimmigkeiten im Tool bei der Überprüfung wurden bei der Weiterentwicklung berücksichtigt und verbessert.
- Stufe 2: Weiterentwicklung des Tools. Bevor das Tool als Web-Tool umgesetzt wurde, wurde es anhand der Fallstudien überprüft.
- Stufe 3: Umsetzung als Web-Tool. Nach der Umsetzung als Web-Tool wurde das Tool nochmals anhand der Fallstudien überprüft und diese dann als Beispiele hinterlegt.

Die Beschreibung der Fallstudien ist im Anhang 4 hinterlegt.

11.5 Ausblick auf die Anwendung

Folgende Punkte sind wesentlich für die Anwendung der im Projekt entwickelten Bewertungstool:

- Dokumentation der Parameter zur Integration in Datenbanken und Tools und freier Download,
- Freie Zugänglichkeit des pilotierten KFB-Tools auf eco2soft (Voraussetzung: kostenfreie Registrierung),
- Datenverfügbarkeit: Im Tool sind die generischen Daten („Richtwerte“) und die produktspezifischen Daten aus der baubook-Datenbank hinterlegt. Die Hersteller der deklarierten Bauprodukte werden zu einer Nachdeklaration der neuen Indikatoren und Parameter animiert. Die im Rahmen des Projekts recherchierten Daten zu den neuen Indikatoren und Parametern werden als Download zur Verfügung stehen.

Die wertvollen Informationen des ökologischen Baustoffinformationssystems WECOBIS sollen außerdem im nächsten Schritt im KFB-Tool angedockt werden.

12 STRATEGIEN

Die Branchen mit dem größten Kunststoffverbrauch sind das Verpackungs- und das Bauwesen. Die weit verbreitete Verwendung von Kunststoffen zieht Entsorgungsprobleme nach sich, für die noch wenig Lösungskompetenz vorhanden ist. Aus den Forschungsergebnissen kristallisieren sich diese 3 Strategien

- Kunststoffvermeidung und Materialalternativen
- Kreislaufwirtschaft
- Kompetenzaufbau und Wissenstransfer

als Lösungsansätze für Planungsbeteiligte und Entscheidungsträger:innen heraus. Die Strategien werden nachfolgend beschrieben und mit Maßnahmen zur Implementierung in den Alltag ergänzt.

12.1 Kunststoffvermeidung und Materialalternativen

Eine informierte, auf den jeweiligen Einsatzbereich angepasste Materialwahl ist Voraussetzung zur Reduktion von Kunststoffen im Bauwesen. Ein einfach nachzuvollziehender Ansatz ist die Vermeidung von Bauprodukten aus Kunststoffen oder mit Kunststoffanteilen. Neben traditionellen Konstruktions- und Verarbeitungsweisen aus der Zeit vor dem großflächigen Einsatz von Kunststoffen stehen heute auch neue Produkte und Techniken zur Verfügung, die auf weitgehend unveränderten mineralischen und nachwachsenden Rohstoffen basieren – etwa Lehmbauplatten oder Stroheinblasdämmungen. Wo eine Vermeidung auf Produktebene nicht möglich scheint, wie etwa bei Feuchtigkeitsabdichtungen oder Elektroinstallationen, ist eine Minimierung des Verbrauchs anzudenken. Dazu müssen Bauweisen sowohl hinsichtlich der Materialien als auch in den Abläufen adaptiert werden, denn viele Kunststoffzusätze dienen zur Verkürzung der Bauzeit. Andererseits müssen auch die positiven Eigenschaften von Kunststoffen wie etwa gute Dämmwirkung bei geringem Gewicht oder Feuchteabdichtung anerkannt und bautechnische, wirtschaftliche und ökologische Vorteile der gewählten Material- und Konstruktionsalternativen einander gegenübergestellt werden.

Biobasierte Kunststoffe bieten das Potenzial, fossile Kunststoffe in verschiedenen Bauprodukten zu ersetzen und so den Einsatz fossiler Rohstoffe zu reduzieren. Dennoch spielen sie derzeit (Stand: 2025) im Baubereich nur eine untergeordnete Rolle. Erste Anwendungen finden sich beispielsweise in PLA-Stützfasern für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen oder in stärkebasierten Bindemitteln für Mineralwolle. Zudem ist der Einsatz biobasierter Kunststoffe nicht automatisch nachhaltiger. Entscheidend ist, ob sie tatsächlich zu einer Reduktion der Umweltbelastung beitragen. Dabei müssen Aspekte wie der Zusatz von Additiven, die Kreislauffähigkeit und die biologische Abbaubarkeit und Freisetzungspotenziale berücksichtigt werden, um zu vermeiden, dass dieselben Problematiken wie bei fossilen Kunststoffen entstehen. Für eine sinnvolle Etablierung biobasierter, bioabbaubarer Kunststoffe im Bauwesen sind klare Standards und Definitionen notwendig, die ihre tatsächliche Umweltwirkung bewerten. Transparenz kann durch gezielte Informationskampagnen sowie detaillierte Produktangaben verbessert werden, um fundierte Entscheidungen für eine nachhaltige Materialwahl zu ermöglichen.

Die Auswahl von Materialien und die Planung und Umsetzung von kunststofffreien oder kunststoffarmen Konstruktionen wird durch folgende Maßnahmen unterstützt.

Kunststoffvermeidung durch vorausschauende Konstruktionsplanung und Materialwahl

- (Versteckte) Kunststoffe vermeiden: Kunststofffreie Produkte und dazugehörige Hilfsmittel einsetzen. Produkte mit versteckten Kunststoffen wie Klebstoffe, Farben, Putze oder Spachtelmassen auf Kunststoffbasis möglichst durch alternative Produkte ersetzen.

- Kunststofffreie oder -reduzierte Konstruktionen und Bauteilanschlüsse planen: Informationen dazu können aus den Forschungsergebnissen des Kapitels 9 Kunststoffeinsatz in Konstruktionen entnommen werden. Außerdem können Bauteilkataloge und Datenbanken zum ökologischen und rückbau- und recyclingoptimierten Bauen genutzt werden.
- Verpackungskunststoffe reduzieren: Wo möglich, auf Verpackung verzichten oder auf Lieferungen in BigBags, kunststoffbeschichteten Papiersäcken oder Siloware zurückgreifen. Dies bietet sich beispielsweise bei pulverförmigen Produkten oder Schüttmaterialien an. Verarbeitungsfertige, pastöse Produkte werden hingegen oft in Kunststoffgebinden angeboten.

Kontrollierter Einsatz von Kunststoffprodukten

- Einsatzbereiche gezielt auswählen: Kunststoffprodukte nur dort nutzen, wo sie einen technischen oder ökologischen Mehrwert bringen. Eine gute Rückbaubarkeit und Recyclingfähigkeit ist die Voraussetzung für den Einsatz von Kunststoffen. Dies gilt auch für biobasierte Kunststoffe, die außerdem bioabbaubar sein sollten.
- Rezyklathaltige Bauprodukte bevorzugen: Bei Ausschreibung und Beschaffung auf Produkte mit hohem Rezyklatanteil achten (z. B. Rohre, Dämmstoffe, Fensterprofile mit Sekundärkunststoffen)
- Kritische Prüfung der Umweltbilanz: Alternativen zu Kunststoffprodukten aus oder mit fossilen Rohstoffen sind nicht automatisch nachhaltiger. Die gesamte Lebenszyklusanalyse (LCA, engl. Life Cycle Assessment,) mit Parametern wie CO₂-Fußabdruck, Wasserverbrauch und Landnutzung ist zu berücksichtigen und gegenüber anderen Faktoren wie Rückbau- und Recyclingfähigkeit abzuwägen.
- Transparenz über Produktbestandteile fordern: Planende sollten auf klare Deklarationen der Kunststoffarten und -mengen achten. Häufig sind die Kunststoffarten bei Produkten mit „versteckten Kunststoffen“ nicht eindeutig deklariert. Gleiches gilt für Rezyklat- und biogene Anteile. Als „biobasiert“ deklarierte Produkte müssen nicht zwangsläufig vollständig aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen.

Funktionalität, Schadstofffreiheit und Kreislauffähigkeit beachten

- Materialeigenschaften vergleichen: Kunststoffe mit biobasierten oder Recyclinganteilen sollten hinsichtlich mechanischer Belastbarkeit, Witterungsbeständigkeit, Brandschutzanforderungen und Langzeitstabilität geprüft werden.
- Untersuchung von Additiven und Schadstoffen: Ein kritischer Blick auf Inhaltsstoffe und Emissionen ist notwendig, da problematische Zusatzstoffe enthalten sein können (z. B. Weichmacher, Flammschutzmittel), die sich negativ auf die Gesundheit und die Umwelt auswirken können. Das gilt auch für biobasierte Kunststoffe oder Recycling-Produkte.
- Zertifizierte Produkte bevorzugen: Umweltlabel wie der Blaue Engel, das natureplus Qualitätszeichen und das Österreichische Umweltzeichen haben hohe Anforderungen an die Einsatzstoffe und setzen schadstofffreie oder -arme Bestandteile voraus. Auch Umweltwirkungen und Emissionen in der Nutzung sind produktgruppenabhängig berücksichtigt sein. Gütesiegel wie DIN CERTCO (biobasiert) oder OK biobased (TÜV Austria) helfen, Produkte mit definierten biogenen Anteilen zu identifizieren.
- Recyclingfähigkeit und Rückbauaufwand berücksichtigen: siehe Kreislaufwirtschaft

12.2 Kreislaufwirtschaft

Im Verständnis der Kreislaufwirtschaft sind Kunststoffe als Rohstoffe zu betrachten, denn ihre Wiederverwendung verlängert die Dauer des in ihnen gespeicherten Kohlenstoffs. Wie bei jedem anderen Material oder Gegenstand muss auch bei Kunststoffprodukten ein Szenario für das Ende eines Lebenszyklus entwickelt werden. Kunststoffe sind auch im Bauwesen für gewöhnlich nicht auf eine relativ lange Lebensdauer ausgelegt. Eine Wiederverwendung

von Profilen, Rohren oder Bodenbelägen als Produkt ist unüblich, doch eine Wiederverwertung in reinen Stoffströmen wird von einige Herstellern angeboten. Werkstoffliches und chemisches Recycling haben ihre Grenzen. Sammelquoten sind relativ gering und Verluste relativ groß. Insbesondere Kunststoffe, die in Bautenfarben oder Putzen enthalten sind, können nicht wiedergewonnen werden.

Für reine Kunststoffprodukte oder solche deren Trennung von anderen Materialien wie Metall (z. B. bei Kabeln) möglich ist, kann die Kreislaufwirtschaft eine Strategie sein. Eine Einschränkung der Kunststoffmodifikationen sowie ein Produktdesign, das sortenreine Trennungen befördert, würde die Kreislaufwirtschaft erleichtern.

Konstruktive Maßnahmen für eine bessere Wiederverwertung setzen

- Sortenreine Bauweise umsetzen: Bauprodukte so wählen, dass sie am Lebensende leichter getrennt und recycelt werden können.
- Trennbare Schichten statt Verklebungen: Mechanische Befestigungen bevorzugen (z. B. Schrauben, Klammern, Stecksysteme), um spätere Demontage zu erleichtern.
- Modulares Bauen fördern: Bauteile so gestalten, dass sie wiederverwendet oder repariert werden können, statt sie als Einwegprodukte zu behandeln.

Rückbau- und Recyclingfähigkeit von Gebäuden mitdenken

- Selektiven Rückbau planen: Schon in der Planung berücksichtigen, dass Baustoffe am Ende ihrer Lebensdauer möglichst wenig beschädigt werden und wiederverwendet werden können.
- Digitale Materialpässe nutzen: Dokumentation der verwendeten Materialien für spätere Sanierung oder Rückbau (z. B. über Building Information Modeling (BIM) oder Materialdatenbanken).
- Produktrücknahmesysteme einplanen: Systeme für den Rückbau mit Herstellern abstimmen (z. B. PVC-Fenster-Recycling durch Rewindo).
- Lebenszykluskosten und Umweltwirkungen bewerten: Nicht nur Anschaffungskosten, sondern auch Entsorgungskosten und Umweltwirkungen mit einbeziehen.

12.3 Kompetenzaufbau und Wissenstransfer

Das Wissen um die Eigenschaften von Kunststoffen und die Problematik, die mit ihrer Verwendung einhergeht, ist der Schlüssel zur Reduktion des Verbrauchs und der Vermeidung von Umweltbelastungen. Daher ist es notwendig, ein Bewusstsein dafür zu schaffen, wo genau im Bauwesen Kunststoffe eingesetzt werden und welche Alternativen es gibt. Kunststofffreie Produkte und Konstruktionen erfordern oft Verarbeitungsweisen, die mehr Zeit benötigen, deren Instandhaltung möglich, aber vielleicht auch öfter notwendig ist. Auch ist deren Aussehen und Alterungsverhalten anders als bei Kunststoffprodukten. Die Bereitschaft eventuelle Mehraufwände beim kunststofffreien Bauen in Kauf zu nehmen, um zukünftige Probleme durch Mikroplastik- und Schadstoffemissionen zu vermeiden, bedarf auch der gesellschaftlichen Akzeptanz. Informationsmaterialien für einen sorgsamen Umgang mit kunststoffhaltigen Produkten und Konstruktionen sind für alle Beteiligten wie Planungsbeteiligte und Entscheidungsträger:innen, Ausführende und FacilityManager, Vermieter:innen und Benutzer:innen dringend zu empfehlen.

Kompetenzen aufbauen und Wissen kommunizieren

- Schulungen und Weiterbildungen wahrnehmen: Wissen zu zirkulärem Bauen vertiefen, etwa durch Kurse zu Urban Mining, Rückbau und Recyclingstrategien.
- Netzwerke nutzen: Austausch mit Initiativen wie Circular Economy Bau, Urban Mining Collective oder BauKarussell, die sich für kreislauffähiges Bauen engagieren.

- Erfahrungen aus Pilotprojekten nutzen: Austausch mit Unternehmen oder Planenden, die bereits biobasierte Kunststoffe im Bauwesen eingesetzt haben, um Best Practices zu identifizieren.
- Akzeptanz schaffen
- Sensibilisierung in der Branche vorantreiben: Weiterbildungsmöglichkeiten zu kunststofffreiem Bauen (z. B. materialbezogene Fragestellungen, Bewertungs- und Ausschreibungssysteme etc.) wahrnehmen und das Thema in Fachveranstaltungen und Projekten platzieren.
- Bewusstseinsbildung bei Bauherr:innen und Investor:innen: Vorteile und Herausforderungen alternativer Materialien und Konstruktionen transparent kommunizieren und eine fundierte Entscheidungsgrundlage bieten.
- Stakeholder sensibilisieren: Investoren, Bauherr:innen und Nutzer:innen über die Vorteile von Recycling und kreislauffähigen Gebäuden informieren.

Förderung durch Nachfrage

- Klare Nachhaltigkeitsanforderungen formulieren: Bei Ausschreibungen Anforderungen an die Kunststoffart, den maximalen Kunststoffanteil, den Mindestanteil von Recycling- oder biobasierter, bioabbaubarer Kunststoffe festlegen.
- Vergleich mit fossilen Kunststoffen einfordern: Ausschreibungen so gestalten, dass auch die Abfrage von Umweltwirkungen (z. B. CO₂-Emissionen, Primärenergiebedarf, Wasser- und Landverbrauch) und der Kreislauffähigkeit zum festen Bestandteil der Materialbewertung werden.
- Recyclingmaterialien und biobasierte Alternativen aktiv nachfragen: Hersteller und Lieferanten dazu ermutigen, Alternativen anzubieten, um den Markt für nachhaltige Bauprodukte zu fördern.
- Zirkuläres Bauen in kommunalen und privaten Projekten umsetzen: Bei der Planung öffentlicher Gebäude oder nachhaltiger Stadtquartiere auf eine Kreislaufwirtschaftsstrategie setzen.

12.4 Standardisieren von Entscheidungsprozessen

Die Entscheidung, welche Produkte eingesetzt werden sollten oder könnten oder zu vermeiden sind, kann nicht allein auf Produktebene getroffen werden, sondern muss im Zusammenhang mit der gewünschten oder technisch erforderlichen Konstruktion gefällt werden. Die Substitutions- bzw. Anpassungsmöglichkeiten müssen erörtert, daraus resultierende Produkt- oder Konstruktionsänderungen sowie die baulichen, wirtschaftlichen und ökologischen Rahmenbedingungen gegenübergestellt und die möglichen Konsequenzen der gewählten Produkt- und Konstruktionsvarianten berücksichtigt werden. Ein Flussdiagramm (siehe Abbildung 51) kann zur Standardisierung des Entscheidungs- und Auswahlprozesses beitragen.

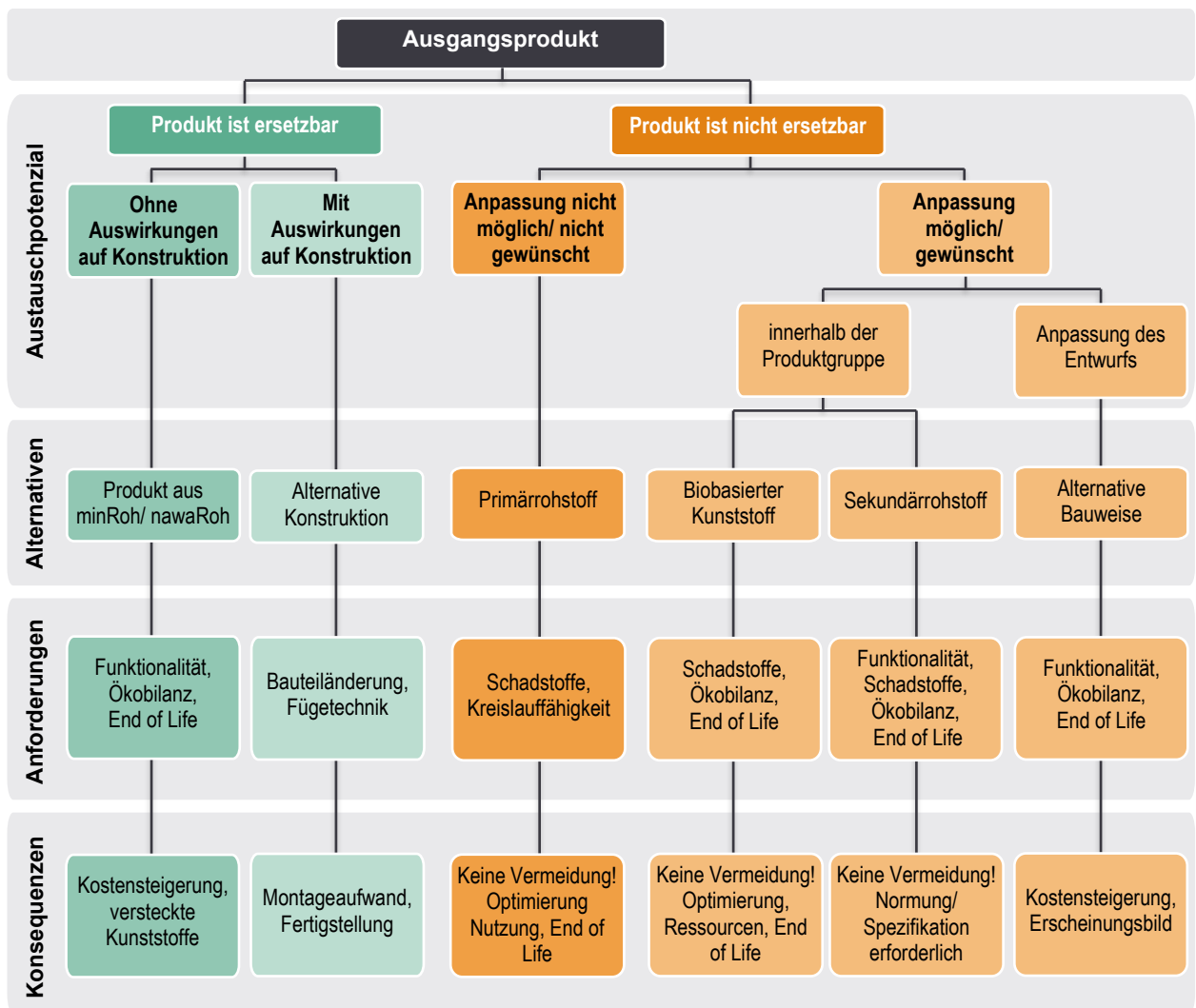


Abbildung 51: Entscheidungsbaum zur Vermeidung von Kunststoffen in Konstruktionen

13 SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK

Die Forschungsergebnisse zeigen, dass Kunststoffe im Bauwesen nicht nur in reinen Kunststoffprodukten wie Dämmstoffen oder Dichtungsbahnen, sondern auch in vielen anderen Bauprodukten als Zusatzmittel oder funktionale Bestandteile vorkommen. Diese „versteckten“ Kunststoffe finden sich als Bindemittel in Farben, Putzen oder Holzwerkstoffen, als Zusatzmittel in Betonen, Estrichen und Bauplatten oder als Stützfasern in Dämmstoffen. Die Kunststoffanteile variieren je nach Produktgruppe erheblich: von unter 1 M.-% in Estrichen bis zu 30 M.-% in Dispersionsfarben und Spachtelmassen. Häufig werden die exakten Mengen unter Berufung auf das Betriebsgeheimnis nicht offengelegt, wodurch eine vollständige Transparenz fehlt. Derzeit (Stand: 2025) wird der Großteil des Kunststoffabfalls im Baubereich energetisch verwertet, während mechanisches Recycling nur einen vergleichsweise geringen Anteil ausmacht. Rezyklate stammen meistens aus dem Verpackungssektor oder aus Produktionsabfällen, während Materialien aus dem Gebäuderückbau kaum genutzt werden.

Kunststoffe gelangen in allen Lebensphasen von Bauprodukten in die Umwelt, doch eine präzise Quantifizierung ist aufgrund unzureichender Daten kaum möglich. Mikroplastik entsteht unbeabsichtigt durch Abrieb, Zersetzung und Verschnitt und verbreitet sich über Luft, Wasser und Boden. Dabei können nicht nur die Kunststoffpartikel negative Folgen in der Umwelt nach sich ziehen, sondern diese Kunststoffpartikel transportieren oftmals Schadstoffe, die zusammen mit ihnen in die Umwelt gelangen.

Auf Grundlage der Untersuchung wurden Indikatoren für den Ressourcenverbrauch, für kritische Inhaltsstoffe, für die Kreislauffähigkeit sowie für die Mikro- und Makroplastikfreisetzung entwickelt und in eine Bewertungstool integriert. Diese ermöglicht Planungsbeteiligten und Entscheidungsträger:innen eine fundierte Entscheidung zur Reduktion des Kunststoffeinsatzes im Bauwesen.

Zudem übt die Wahl der Bauweise Einfluss auf das kunststofffreie oder kunststoffreduzierte Bauen aus. Insbesondere bei Steildächern und Holzrahmenkonstruktionen fällt die Wahl von kunststofffreien Materialien leichter als bei Flachdächern und erdberührten Bauteilen, die oft Kunststoffe erfordern. Außerdem zeigt die Analyse der Treibhausgasemissionen, dass ein geringer Kunststoffanteil nicht zwangsläufig eine bessere Umweltbilanz bedeutet, da auch andere Materialien wie Beton oder bestimmte Dämmstoffe hohe CO₂-Emissionen verursachen können.

Um den Kunststoffeinsatz langfristig zu reduzieren, sind gezielte Sensibilisierungsmaßnahmen, die Vermeidung unnötiger Kunststoffe, eine konsequente Kreislaufwirtschaft sowie effektive Rücknahmesysteme und sortenreine Trennverfahren erforderlich. Technologische Innovationen wie biobasierte und/oder bioabbaubare Kunststoffe bieten dafür Potenzial, müssen jedoch hinsichtlich ihres Schadstoffgehalts und des Risikos, Mikroplastik freizusetzen, als kritisch bewertet werden.

Forschungslücken bestehen insbesondere beim Kunststoffeinsatz in der Inneneinrichtung, Gebäudetechnik, Baustelleneinrichtung und bei Bauprodukten für den Außenbereich. Zudem liegen keine belastbaren Daten zum Umwelteintrag und zum Verhalten von Mikro- und Nanoplastik aus dem Baubereich vor.

Oft fehlt die Transparenz über den Einsatz von Kunststoffen in Produkten, die eine gezielte Materialbewertung erleichtern könnte. Regulatorische Maßnahmen wie verpflichtende Inhaltsstoffangaben würden hier Klarheit schaffen.

LITERATUR

- Abts, G., 2020: Kunststoff-Wissen für Einsteiger. Grundlagen, Eigenschaften und Recycling polymerer Werkstoffe. Carl Hanser Verlag, 4. Auflage, München, ISBN 978-3-446-46291-5.
- Abts, G., 2019: Einführung in die Kautschuktechnologie. Carl Hanser Verlag, 2., neu bearbeitete Auflage, München.
- Adams, K.; Corbey, S.; Tate, L.; Broad, R.; Harrison, J.; John, H.; Bianchi, D.; Costello, C.; Duong, T.; Potter, L.; King, J., 2022: Zero avoidable packaging waste in construction: Report on findings of key products and packaging, waste management routes, barriers and enablers and current best practice. ASBP The Alliance of Sustainable Building Products. Zugriff: <https://asbp.org.uk/project/zap-project> [abgerufen am 26.04.2023]
- AIR, 2021: Richtwerte für Methylmethacrylat in der Innenraumluft
Mitteilung des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR). Bundesgesundheitsblatt 2021 (64): 126-135.
Zugriff: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00103-020-03251-3> [abgerufen am 11.02.2025]
- alwitra GmbH, 2024: Umweltproduktdeklaration, EVALON® EVA-Dach- und Dichtungsbahnen, S-P-11689.
Herausgeber: EPD International AB. Zugriff:
<https://alwitra.de/service/downloads/umweltproduktdeklarationen-epd> [abgerufen am 03.02.2025]
- Aneke, F. I.; Shabangu, C., 2021: Green-efficient masonry bricks produced from scrap plastic waste and foundry sand. Case Studies in Construction Materials. Vol. 14. e00515,
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00515>.
- Arnold, A., 2023: Stoffstrombild PVC in Deutschland 2021. News, 17. Januar 2023. Zugriff: <https://www.aktion-pvc-recycling.de/stoffstrombild-pvc-in-deutschland-2021/> [abgerufen am 13.02.2025]
- Paul Bauder GmbH & Co. KG. [Bauder], 2022 a: Umwelt-Produktdeklaration, PVC-P Dach- und Dichtungsbahnen, BauderTHERMOFOL U, BauderTHERMOFOL M. Herausgeber: Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU).
Zugriff: <https://www.bauder.de/de/flachdach/downloads/umwelt-produktdeklarationen-epd.html>
[abgerufen am 22.01.2025]
- Paul Bauder GmbH & Co. KG. [Bauder], 2022 b: Umwelt-Produktdeklaration, BauderTHERMOPLAN. Paul Bauder GmbH & Co. KG., Herausgeber: Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU). Zugriff:
https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/resource/sources/f67a3c6a-b373-470a-ab41-155b3172bf95/BauderTHERMOPLAN_14587.pdf?version=00.02.000 [abgerufen: 3. Oktober 2024]
- Bauer, B.; Dolezal, F.; Enzenberger, G.; Scharnhorst, A.; Steiner, T.; Buschbacher, G.; Lems, E.; Altmann-Mavaddat, N.; Höllrigl, J.; Strimitzer, L.; Weiss, S., 2022: Dämmstoffe richtig eingesetzt. Eignung, Anwendung und Umweltverträglichkeit von Dämmstoffen. IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie; Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. Wien. Zugriff: https://www.umweltberatung.at/download/?id=daemmstoffe_1092-bmk-klimaaktiv.pdf [abgerufen am 01.01.2025].
- Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern [BKI], 2023: Konstruktionsatlas KA1. Bauteile mit Ökobilanzen, CO₂-Äquivalenten und Baupreisen. BKI Verlag. Stuttgart, ISBN 9783481046736
- Belmokaddem, M.; Mahi, A.; Senhadji, Y.; Pekmezci, B. Y., 2020: Mechanical and physical properties and morphology of concrete containing plastic waste as aggregate. Construction and Building Materials. Vol. 257. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119559>.

- Bendix, P.; Berg, H.; Sebestyén, J.; Ritthoff, M.; Perschel, L.; Eckert, D.; Kocina, R.; Achenbach, H., 2021: Förderung einer hochwertigen Verwertung von Kunststoffen aus Abbruchabfällen sowie der Stärkung des Rezyklateinsatzes in Bauprodukten im Sinne der europäischen Kunststoffstrategie. Texte 151/2021. Herausgeber: Umweltbundesamt. Dessau. Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/foerderung-einer-hochwertigen-verwertung-von> [abgerufen am 06.06.2023]
- Bernhardt, A.; Kral, U.; Neubauer, Ch.; Oliva, J.; Stoifl, B.; Walte, B., 2022: Ausgewählte Kunststoffströme. Sammlung, Aufkommen und Behandlung sowie relevante EU-Regelungen für Einweggeschirr und -besteck, Altreifen, Hartkunststofffolien, Kunststofffolien und Agrarfolien. Materialien zum Bundes-Abfallwirtschaftsplan, Rep-0749. Herausgeber: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien. Zugriff: https://www.umweltbundesamt.at/studien-reports/publikationsdetail?pub_id=2427&cHash=98d67594e68ee9785b51b62ac74b44fc [abgerufen am 23.01.2025]
- Bertling, J.; Bertling, R.; Hamann, L., 2018: Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik: Ursachen, Mengen, Umweltschicksale, Wirkungen, Lösungsansätze, Empfehlungen. Kurzfassung der Konsortialstudie. Herausgeber: Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik. Oberhausen. Zugriff: <https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/97906872-d1ee-401e-a639-492f3c239952> [abgerufen am 14.10.2024]
- Blauer Engel, 2011: Elastische Fußbodenbeläge DE-UZ 120. Ausgabe Februar 2011, Version 12. Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Zugriff: <https://www.blauer-engel.de/de/produktwelt/bodenbelaege-und-sockelleisten-elastisch-bis-12-2025> [abgerufen am 09.10.2024]
- Blauer Engel, 2019: Emissions- und schadstoffarme Lacke DE-UZ 12a. Informationen für Hersteller und Händler. Ausgabe Jan 2019, Version 9. Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Zugriff: <https://www.blauer-engel.de/de/zertifizierung/vergabekriterien#UZ12a-2019> [abgerufen am 09.10.2024]
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft [BMLFUW], 2002: Behandlungs- und Verwertungswege für PVC-Abfälle. Gesamtbericht. Zugriff: https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:1761bd18-5531-46ac-a42e-2a05e3f6be72/PVC_Studie.pdf [abgerufen am 29.12.2023]
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz [BMUV], 2009: Deponieverordnung vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), die zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 3. Juli 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 225) geändert worden ist. Zugriff: https://www.gesetze-im-internet.de/depv_2009/index.html [abgerufen am 01.03.2025]
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz [BMUV], 2017: Verordnung über die Getrenntsammlung und Überwachung von nicht gefährlichen Abfällen mit persistenten organischen Schadstoffen (POP-Abfall-Überwachungs-Verordnung). Zugriff: <https://www.bmu.de/gesetz/verordnung-ueber-die-getrenntsammlung-und-ueberwachung-von-nicht-gefaehrlichen-abfaellen-mit-persistenten-organischen-schadstoffen> [abgerufen am 17.01.2025]
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz [BMUV], 2024: Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie. Zugriff: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/nationale_kreislaufwirtschaftsstrategie_bf.pdf [abgerufen am 9.01.2025]

- Bergs, L.; Dobers, K.; Feil, A.; Fricke, C.; Hülsmann, T.; Koller, M.; Kopka, J.-P.; Mohmeyer, S.; Netsch, N.; Ritthoff, M.; Santorius, I.; Simons, M.; Stapf, D.; Walter, G.; Wendler, K., 2020: KUBA – Nachhaltige Kunststoffwertschöpfungskette: Pilotfall Kunststoffe in Bauwirtschaft und Gebäuden: Schlussbericht zum BMBF-Verbundvorhaben. Zugriff: https://dechema.de/Forschung/Projekte/KUBA/_/BMBF_FKZ_033R214A-F_KUBA_Schlussbericht.pdf [abgerufen am 02.02.2025].
- Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen [BNB], 2015: Steckbriefe BNB-BN - Neubau V2015, 1.1.6 Risiken für die lokale Umwelt. Herausgeber: Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen. Berlin. Zugriff: <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/bewertungssystem/buerogebaeude/> [abgerufen am 09.10.2024]
- BiRN – Bau-Institut für Ressourceneffizientes und Nachhaltiges Bauen GmbH [BiRN], 2024 Gebäudeakte, Nutzerhandbuch, Ressourcenpass 4.2.1. Neubau Wohngebäude. BNK | BNG V2.0. Zugriff: https://bau-irn.com/wp-content/uploads/2024/06/4.2.1_Gebaeudeakte_Nutzerhandbuch_Ressourcenpass_V2.0_240525.pdf [abgerufen am 25.02.2025].
- Bonnet M., 2016: Kunststofftechnik, Grundlagen, Verarbeitung, Werkstoffauswahl und Fallbeispiele, Herausgeber: Springer Vieweg. 3. Auflage. Wiesbaden
- Boobis, A.; Cassee, F.; Gouin, T.; Koelmans, B.; Price, S.; Wagener, S.; Wright, S., 2022: Dietary and inhalation exposure to nano- and microplastic particles and potential implications for human health. World Health Organization. Geneva. Zugriff: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240054608> [abgerufen 24.09.2024]
- Bradney, L.; Wijesekara, H.; Palansooriya, K.N.; Obadamudalige, N.; Bolan, N.S.; Ok, Y.; Rinklebe, J.; Kim, K.; Kirkham, M.B., 2019: Particulate plastics as a vector for toxic trace-element uptake by aquatic and terrestrial organisms and human health risk. Environment International, Volume 131, 2019, 104937. Zugriff: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412018329349> [abgerufen am 20.01.2025]
- Briehl, H., 2014: Chemie der Werkstoffe, Herausgeber: Springer Vieweg, 1. Auflage, Wiesbaden
- Brotrück, T., 2018: Basics Konstruktion – Dachkonstruktion. Bert Bielefeld, Basel, ISBN 978-3-0356-1662-0
- Brown, E.; MacDonald, A.; Allen, S.; Allen, D., 2023: The potential for a plastic recycling facility to release microplastic pollution and possible filtration remediation effectiveness, Journal of Hazardous Materials Advances, Volume 10, 2023, 100309. Zugriff: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772416623000803> [abgerufen am 23.01.2025]
- Brynzak-Schreiber, E.; Schögl, E.; Bapp, C.; Cseh, K.; Kopatz, V.; Jakupec, M.A.; Weber, A.; Lange, T.; Toca-Herrera, J.L.; del Favero, G.; Wadsak, W.; Kenner, L.; Pichler, V., 2024: Microplastics role in cell migration and distribution during cancer cell division, Chemosphere, Volume 353, 2024, 141463. Zugriff: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653524003564> [abgerufen am 23.01.2025]
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung [BBSR], 2020: Informationsportal Nachhaltiges Bauen: Baustoff- und Gebäudedaten – Nutzungsdauern von Bauteilen. Zugriff: <https://www.nachhaltigesbauen.de/de/baustoff-und-gebaeuedaten/nutzungsdauern-von-bauteilen.html> [abgerufen am 03.04.2020].
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung [BBSR], 2025 a: ÖKOBAUDAT. Zugriff: <https://www.oekobaudat.de/> [abgerufen am 04.01.2025].

- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung [BBSR], 2025 b: WECOBIS – Ökologisches Baustoffinformationssystem. Zugriff: <https://www.wecobis.de/> [abgerufen am 04.01.2025].
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung [BBSR], 2025 c: eLCA. Zugriff: <https://www.bauteileditor.de/> [abgerufen am 04.01.2025].
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung [BBSR], 2025 d: eLCA – OBD_2023_I_A2 Datenbanken. Zugriff: <https://www.bauteileditor.de/processes#!/processes/databases/?id=84> [abgerufen am 04.01.2025].
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung [BBSR], 2025 e: Dispersionsfarben – WECOBIS – Ökologisches Baustoffinformationssystem. Zugriff: <https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/oberflaechenbehandlungen-pg/farben-lacke-lasuren-pg/wand-deckenfarben-innen-aussen-pg/dispersionsfarben-pg.html> [abgerufen am 24.02.2025].
- Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen [BMWSB], 2023: Schadstoffvermeidung in Baumaterialien. Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG). Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen. Zugriff: https://www.qng.info/app/uploads/2023/11/QNG_Handbuch_Anlage-3_Anhang-313_Schadstoffe_v1-3-korr-14.09.2023.pdf [abgerufen am 25.01.2025].
- Burgstaller, M.; Potrykus, A.; Weißenbacher, J.; Kabasci, S.; Merrettig-Bruns, U.; Sayder, B., 2018: Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe. Texte 57/2018. Herausgeber: Umweltbundesamt Dessau. Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/gutachten-zur-behandlung-biologisch-abbaubarer> [abgerufen am 13.02.2025]
- Burhardt M., 2017: Informationen über chemische Durchwurzelungsschutzmittel in Bitumenbahnen - Stand 2017, Herausgeber: Bundesamt für Umwelt BAFU Abteilung Luftreinhaltung und Chemicalien. Zugriff: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/chemikalien/publikationen-studien/studien.html>, [abgerufen am 21.01.2025]
- Burkhardt, M.; Haag, R.; Schmid, P.; Hean, S.; Boller, M., 2009: Mecoprop (MCP) Auswaschungen aus Polymerbitumenbahnen. In: Dachabdichtung Dachbegrünung. Teil 6: Abdichtungen. Herausgeber: Eigenverlag dicht+grün, 1. Auflage, Pullach: 67-70
- Burkhardt, M.; Rohr, M.; Tietje, O.; Klingler, M.; Savi D.; Junghans, M., 2020: Niederschlagswasser von Kunststoffdachbahnen – Auslaugung von Stoffen und deren Ökotoxizität für aquatische Organismen. KW - Korrespondenz Wasserwirtschaft, 2020 (13) Nr. 8: 418-424. Zugriff: https://www.researchgate.net/publication/344258231_Niederschlagswasser_von_Kunststoffdachbahnen_-_Auslaugung_von_Stoffen_und_derer_Okotoxizitat_fur_aquatische_Organismen [abgerufen am 21.01.2025]
- Burkhardt M.; Rohr, M.; Tietje, O.; Klingler, M.; Savi, D.; Junghans, M., 2021: Entwicklung einer emissionsbasierten Bauproduktebewertung - Anwendung des Konzepts für Dachbahnen und Fassadenputze, Schlussbericht. Herausgeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Ökonomie und Innovation. Zugriff: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/suche.html#Entwicklung%20einer%20emissionsbasierten%20Bauproduktebewertung> [abgerufen am 17.01.2025]
- Cabernard, L.; Pfister, S.; Oberschelp, C.; Hellweg, S., 2022: Growing environmental footprint of plastics driven by coal combustion. Nat Sustain 5, 139–148 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00807-2>. Zugriff: <https://www.nature.com/articles/s41893-021-00807-2#citeas> [abgerufen am 13.02.2025]

- Cao, Z.; Guan, D.; Wu, X., 2021: Two fatal cases of acetone cyanohydrin poisoning: case report and literature review. *Forensic Sci Med Pathol* 17, 700–705. Zugriff: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34665394/>
<https://doi.org/10.1007/s12024-021-00425-6> [abgerufen am 12.02.2025]
- CARLISLE Construction Materials GmbH, 2021: Umwelt-Produktdeklaration, RESITRIX® SK W Full Bond, RESITRIX® SW und RESITRIX® SK Partial Bond, Herausgeber: Institut Bauen und Umwelt e. V. (IBU). Zugriff: <https://www.baubook.at/m/PHP/Produktdatei.php?ID=149968&SW=5> [abgerufen am 21.1.2025]
- Chemie Technik, 2021: Sicherheit und Umwelt, Explosion in Leverkusen: neuer Zwischenbericht erhärtet mögliche Ursache. Zugriff: <https://www.chemietechnik.de/sicherheit-umwelt/explosion-in-leverkusen-gutachten-nennt-moegliche-ursache-124.html> [abgerufen am 13.02.2025]
- Chemie.de, o. J.: Masterbatch. Zugriff: <https://www.chemie.de/lexikon/Masterbatch.html> [abgerufen am 23.01.2025]
- Chen, L.; Zhang, Y.; Chen, Z.; Dong, Y.; Jiang, Y.; Hua, J.; Liu, Y.; Osman, A. I.; Farghali, M.; Huang, L.; Rooney, D. W.; Yap, P.-S., 2024: Biomaterials technology and policies in the building sector: a review. *Environmental Chemistry Letters*, Vol. 22, No. 2, DOI:10.1007/s10311-023-01689-w.
- Cirino, E.; Curtis, S.; Wallis, J.; Thys, T.; Brown, J.; Rolsky, C.; Erdle, L. M., 2023: Assessing benefits and risks of incorporating plastic waste in construction materials. *Frontiers in Built Environment*, Vol. 9, DOI:10.3389/fbuil.2023.1206474.
- Die Chemie-Schule, 2025 a: Polyolefine. Zugriff: <https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Polyolefine> [abgerufen am 17.01.2025]
- Die Chemie-Schule, 2025 b: Polyisobutylen, Zugriff: <https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Polyisobutylen> [abgerufen am 17.1.2025]
- Chen, H.; Qin, Y.; Huang, H.; Xu, W., 2020: A Regional Difference Analysis of Microplastic Pollution in Global Freshwater Bodies Based on a Regression Model. *A Regional Difference Analysis of Microplastic Pollution in Global Freshwater Bodies Based on a Regression Model*. *Water*. 12. (7), 1889. Zugriff: https://www.researchgate.net/publication/342728812_A_Regional_Difference_Analysis_of_Microplastic_Pollution_in_Global_Freshwater_Bodies_Based_on_a_Regression_Model od. <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/7/1889> [abgerufen am 20.01.2025]
- Circular Flooring, 2025. New Products from Waste PVC Flooring and Safe End-of-Life Treatment of Plasticisers. Zugriff: <https://www.circular-flooring.eu/circular-flooring-project/> [abgerufen am 13.02.2025]
- Circular Foam, 2025. Welcome to CIRCULAR FOAM. Zugriff: <https://circular-foam.eu/> [abgerufen 13.02.2025]
- Conversio Market & Strategy, 2018: Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2017: Zahlen und Fakten zum Lebensweg von Kunststoffen. Kurzfassung. Zugriff: <https://plasticseurope.org/de/knowledge-hub/kurzfassung-stoffstrombild-kunststoffe-in-deutschland-2017/> [abgerufen am 14.10.2024]
- Conversio Market & Strategy, 2022 a: Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2021: Zahlen und Fakten zum Lebensweg von Kunststoffen. Kurzfassung. Zugriff: <https://plasticseurope.org/de/knowledge-hub/stoffstrombild-kunststoffe-in-deutschland-2021/> [abgerufen am 14.10.2024]
- Conversio Market & Strategy, 2022 b: Sonderbetrachtung "Pelletverluste" - Weiterentwicklung des Modells „Kunststoffe in der Umwelt“, im Auftrag von BKV GmbH Frankfurt. Zugriff: <https://bkv-gmbh.de/nachrichtenleser/bkv-veranstaltung-kunststoffe-in-der-umwelt-im-fokus-pelletverluste.html> [abgerufen am 29.11.2024]

- Conversio Market & Strategy, 2023: "Vom Land ins Meer" - Weiterentwicklung des Modells zur Erfassung landbasierter Kunststoffabfälle, 5. Berichtsaufgabe. Zugriff: <https://www.bkv-gmbh.de/1160-marine-litter-bericht-und-handbuch-zum-modell-vom-land-ins-meer-5-auflage.html> [abgerufen am 13.01.2025]
- Conversio Market & Strategy, 2024: Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2023: Zahlen und Fakten zum Lebensweg von Kunststoffen. Kurzfassung. Zugriff: <https://plasticseurope.org/de/knowledge-hub/stoffstrombild-kunststoffe-in-deutschland-2023/> [abgerufen am 07.01.2025]
- Cuffe, G., 2022: Housing association builds 'first plastic-free development in Europe'. Zugriff: <https://www.insidehousing.co.uk/news/housing-association-builds-first-plastic-free-development-in-europe-76973> [abgerufen am 03.01.2025].
- Dahlmann, R.; Haberstroh, E.; Menges, G., 2022: Menges Werkstoffkunde Kunststoffe. 7. Aufl. München, Hanser, ISBN 978-3-446-45801-7.
- Dhamija, A.; Joshi, S.. 2024: Plastic Polymers and Their Impact on the Environment: An Assessment. In: Soni, R.; Debbarma, P.; Suyal, D. C.; Goel, R. (Hrsg.): Advanced Strategies for Biodegradation of Plastic Polymers, Cham, Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-55661-69>. Cham: 349-364.
- Deilmann, C.; Reichenbach, J.; Krauß, N.; Gruhler, K., 2017: Materialströme im Hochbau, Potenziale für eine Kreislaufwirtschaft. Zukunft Bauen: Forschung für die Praxis, Band 06. Herausgeber: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Berlin. Zugriff: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/zukunft-bauen-fp/2017/band-06.html> [abgerufen am 19.07.2023]
- Deutsche Fensterbau, 2025: Fensteraufbau. Fenster-Bestandteile einfach erklärt. Zugriff: <https://www.deutsche-fensterbau.de/aufbau-fenster/#kunststofffenster> [abgerufen am 13.02.2025]
- Deutsche FOAMGLAS GmbH [FOAMGLAS], (2025). Keine Kompromisse – Wie man baut. Zugriff: <https://www.foamglas.com/de-de/campaign-activity-roofs/how-to-build> [abgerufen am 18.01.2025]
- Deutsches Institut für Normung e. V. [DIN 4095], 1990: DIN 4095: Dränung zum Schutz baulicher Anlagen. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin.
- Deutsches Institut für Normung e. V., 2000: Anforderungen an die Verwertung von Verpackungen an die Verwertung von Verpackungen durch Kompostierung und biologischen Abbau: DIN EN 13432. Zugriff: <https://www.dinmedia.de/de/norm/din-en-13432/32115376>
- Deutsches Institut für Normung e. V. [DIN 18533-1], 2017: 18533-1: Abdichtung von erdberührten Bauteilen. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin.
- Deutsches Institut für Normung e. V. [DIN 18531-2], 2017: DIN 18531-2: Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin.
- Deutsches Institut für Normung e. V. [DIN 276], 2018: DIN 276 – Kosten im Bauwesen. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin.
- Deutsches Institut für Normung e. V., 2021: DIN SPEC 91446 Klassifizierung von Kunststoff-Rezyklaten durch Datenqualitätslevels für die Verwendung und den internetbasierten Handel. Zugriff: <https://www.dinmedia.de/de/technische-regel/din-spec-91446/346496956> [abgerufen am 12.09.2024]
- Deutsches Institut für Normung e. V., 2024: DIN SPEC 91481 Klassifizierung von Kunststoff-Rezyklaten auf Polyamid-Basis durch Datenqualitätslevel für die Verwendung und den internetbasierten Handel. DIN

- Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin. Zugriff: <https://www.dinmedia.de/de/technische-regel/din-spec-91481/375901933> [abgerufen am 12.09.2024]
- Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e. V. [DGNB], 2023: Kriterienkatalog Gebäude Neubau. Version 2023. 3. Aufl. Zugriff: <https://www.dgnb.de/?elD=dumpFile&t=f&download=1&f=7428&token=ebf0aa983399d003d4e7ad12341cb7d343e3c9e4> [abgerufen am 25.02.2025].
- DGNB Navigator, o. J.: Produktdatenbank. Zugriff: <https://www.dgnb-navigator.de/produktdatenbank> [abgerufen am 13.02.2025]
- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), 2022: DGUV Information 201-062, Epoxidharze in der Bauwirtschaft. Zugriff: <https://publikationen.dguv.de/regelwerk/dguv-informationen/4522/epoxidharze-in-der-bauwirtschaft> [abgerufen am 24.02.2025]
- die bitumenbahn GmbH, 2025: Herstellung von Bitumen und Bitumenbahnen, Zugriff: <https://www.derdichtebau.de/werkstoffkunde/herstellung-von-bitumen/> [abgerufen am 21.01.2025]
- DIN CERTO, 2024: Zertifizierungsprogramm Produkte aus recyceltem Material nach DIN EN ISO 14021 ggf. in Verbindung mit DIN EN 15343. Stand Juli 2024. Herausgeber: DIN CERTCO Berlin. Zugriff: <https://www.dincertco.de/din-certco/de/main-navigation/products-and-services/certification-of-products/verpackungswesen/products-made-from-recycled-materials/> [abgerufen am 09.10.2024]
- Dong, D.; Guo, Z.; Yang, X.; Dai, Y., 2024: Comprehensive understanding of the aging and biodegradation of polystyrene-based plastics. Environmental pollution, 2024 (Vol. 342), DOI: 10.1016/j.envpol.2023.123034.
- Dürkop, J.; Horn, W.; Englert, N.; Plehn, W., 2007: Building Products, Determining and avoiding pollutants and odours, Results from a research project. Herausgeber: Umweltbundesamt Dessau. Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/building-products-determining-avoiding-pollutants> [abgerufen am 13.02.2025]
- Edike, U. E.; Ameh, O. J.; Dada, M. O., 2023: Performance of polymer bricks produced with plastic waste. Innovative Infrastructure Solutions, Vol. 8, DOI: 10.1007/s41062-022-01021-5.
- Ernesti, W; Spatz, W. o. J.: Dränung zum Schutz baulicher Anlagen. Baupraktische Hinweise zur DIN 4095. Fachverband Hoch- und Massivbau im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes (FHMB), Berlin. Zugriff: https://www.bausachverstaendigenbuero-mueller.de/cms/upload/mod_texte/bautechnik_3_merkblatt_draenung.pdf [abgerufen am 21.02.2025].
- European Chemicals Agency [ECHA], 2019 a: Annex XV restriction report, Proposal for a restriction, intentionally added microplastics, Version number 1.2, 22 August 2019. Zugriff: <https://echa.europa.eu/de/registry-of-restriction-intentions/-/dislist/details/0b0236e18244cd73> [abgerufen am 20.01.2025]
- European Chemicals Agency [ECHA], 2019 b: Plastic additives initiative Supplementary Information on Scope and Methods, 15.02.2019. Zugriff: <https://echa.europa.eu/de/plastic-additives-initiative> [abgerufen am 16.01.2025]
- European Chemicals Agency [ECHA], 2023: Leitlinien zu Monomeren und Polymeren, Version 3.0, Februar 2023. Zugriff: <https://echa.europa.eu/de/-/guidance-for-monomers-and-polymers> [abgerufen am 13.02.2025]
- European Chemicals Agency [ECHA], o. J. a: Substance Infocard 2,2',6,6'-tetrabromo-4,4'-isopropylidenediphenol, Zugriff: <https://www.echa.europa.eu/web/guest/substance-information/-/substanceinfo/100.001.125> [abgerufen am 13.02.2025]

- European Chemicals Agency [ECHA], o. J. b: Wissenschaftliche Themen in der Diskussion, Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS). Zugriff: <https://echa.europa.eu/de/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas> [abgerufen am 02.02.2025]
- European Chemicals Agency [ECHA], o. J. c: Substance Infocard Hexabromocyclododecane (HBCDD), Zugriff: <https://echa.europa.eu/de/substance-information/-/substanceinfo/100.239.157> [abgerufen am 13.02.2025]
- European Chemicals Agency [ECHA], o. J. d: Liste der für eine Zulassung in Frage kommenden besonders besorgniserregenden Stoffe. Zugriff: <https://echa.europa.eu/de/candidate-list-table> [abgerufen am 13.02.2025]
- European Chemicals Agency [ECHA], o. J. e: SCIP. Zugriff: <https://echa.europa.eu/de/scip> [abgerufen am 13.02.2025]
- European Chemicals Agency [ECHA], o. J. f: Substance Infocard Tris(2-chloro-1-methylethyl) phosphate, Zugriff: <https://echa.europa.eu/de/substance-information/-/substanceinfo/100.033.766> [abgerufen am 13.02.2025]
- European Chemicals Agency [ECHA], o. J. g: Substance Infocard Octabenzon, Zugriff: <https://echa.europa.eu/de/substance-information/-/substanceinfo/100.000.978> (Abgerufen: 3. Oktober 2024)
- European Chemicals Agency [ECHA], o. J. h: Mapping Exercise – Plastic Additives Initiative. Zugriff: <https://echa.europa.eu/de/mapping-exercise-plastic-additives-initiative>, abgerufen am 16.1.2025
- European Chemicals Agency [ECHA], o. J. i: Substances restricted under REACH. Diisobutyl phthalate (DIBP); Dibutyl phthalate (DBP); Benzyl butyl phthalate (BBP); Bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP). Entry 51. Zugriff: <https://echa.europa.eu/de/substances-restricted-under-reach/-/dislist/details/0b0236e1807e2d0d> [abgerufen am 27.03.2025]
- EPA - United States Environmental Protection Agency [EPA], 2014: Flame retardant alternatives for Hexabromocyclododecane (HBCD) - Final Report. EPA Publication 740R14001. Zugriff: https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-06/documents/hbcd_report.pdf [abgerufen am 23.02.2022]
- EPD International AB, 2023: Environmental Product Declaration, Vi-Pro EPDM Membrane External, Proventuss Polska Sp. Z o.o., S-P-090. Zugriff: <https://proventuss.eu/wp-content/uploads/2024/05/EPDM-EPD-Environmental-Product-Declaration.pdf> [abgerufen am 18.01.2025]
- epsotech Holding GmbH, o. J.: ABS Kunststoff: Eigenschaften, Anwendungen und ABS-Blends. Zugriff: <https://epsotech.com/de/glossar-details/abs-kunststoff.html> [abgerufen am 27.03.2025]
- European PVC Window Profile and related Building Products Association (EPPA ivzw), 2018: Kunststoff-Fensterprofilsysteme mit Rezyklatanteil. Zugriff: https://www.gkfp.de/fileadmin/user_upload/News_WirinderPresse/2018/EPPA_Positionspapier_Recyclinganteil.pdf [abgerufen am 14.01.2024]
- European Single Ply Waterproofing Association (ESWA), 2022: Position Paper. Are plastic roof waterproofing sheets applied in different roof systems subject to a release of micro-plastics? Zugriff: <https://www.eswa-synthetics.org/post/eswa-position-paper-about-micro-plastics> (Abgerufen: 3. Oktober 2024)
- Europäische Kommission, 2018: Mitteilung der Europäischen Kommission. Eine europäische Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft. COM (2018) 28 final. Zugriff: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:52018DC0028> [abgerufen am 13.02.2025]

- Europäische Kommission, 2020 a: Mitteilung der Europäischen Kommission: Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa. Zugriff: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=COM:2020:98:FIN> [abgerufen am 01.01.2025].
- Europäische Kommission, 2020 b: Mitteilung der Europäischen Kommission: Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit. Für eine schadstofffreie Umwelt. COM (2020) 667 final: Brüssel, den 14.10.2020. Zugriff: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0667> [abgerufen am 13.02.2025]
- Europäische Union, 2006. Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Chemikalienagentur, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission. Zugriff: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02006R1907-20241010> [abgerufen am 13.02.2025]
- Europäische Union, 2008: Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen (CLP)-Verordnung. Zugriff: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A32008R1272> [abgerufen am 04.03.2025]
- Europäische Union, 2009: Verordnung (EG) Nr. 1223/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. November 2009 über kosmetische Mittel (Neufassung). Zugriff: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/ALL/?uri=CELEX%3A32009R1223> [abgerufen am 04.03.2025]
- Europäische Union, 2011: Verordnung (EU) Nr. 494/2011 der Kommission vom 20. Mai 2011 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) hinsichtlich Anhang XVII (Cadmium). Zugriff: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011R0494> [abgerufen am 13.02.2025]
- Europäische Union, 2012. Richtlinie 2012/18/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 zur Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen, zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinie 96/82/EG. Zugriff: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A32012L0018> [abgerufen am 13.02.2025]
- Europäische Union, 2019: Verordnung (EU) 2019/1021 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 über persistente organische Schadstoffe, Zugriff: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A32019R1021> [abgerufen am 13.2.2025]
- Europäische Union, 2023: Verordnung (EU) 2023/923 der Kommission vom 3. Mai 2023 zur Änderung des Anhangs XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates in Bezug auf Blei und seine Verbindungen in PVC. Zugriff: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/923/oj?locale=de> [abgerufen am 13.02.2025]
- Europäische Union (EU) 2024 a: Verordnung (EU) 2024/1781 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juni 2024 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte, zur Änderung der Richtlinie (EU) 2020/1828 und der Verordnung (EU) 2023/1542 und zur Aufhebung der Richtlinie 2009/125/EG. Zugriff: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=OJ:L_202401781 [abgerufen am 13.02.2025]

- Europäische Union, 2024 b: Verordnung EU 2024/573 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 7. Februar 2024 über fluoridierte Treibhausgase, zur Änderung der Richtlinie (EU) 2019/1937 und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 517/2014. Zugriff: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/573/oj?eliuri=eli%3Areg%3A2024%3A573%3Aoj&locale=de> [abgerufen am 17.01.2025]
- Europäische Union, 2024 c: Verordnung (EU) 2024/3110 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. November 2024 zur Festlegung harmonisierter Vorschriften für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 305/2011. Zugriff: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32024R3110> [abgerufen am 13.2.2025]
- European Bioplastics, 2018: What are bioplastics? Material types, terminology, and labels – an introduction. Zugriff: <https://www.european-bioplastics.org/what-are-bioplastics/> [abgerufen am 19.09.2024]
- European Bioplastics, 2022: BIOPLASTICS facts and figures. Berlin. Zugriff: https://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP_Facts_and_figures.pdf [abgerufen am 20.01.2025]
- European Bioplastics, 2023: Bioplastics - Industry Standards & Labels. Berlin. Zugriff: <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics-industry-standards-labels/> [abgerufen am 20.01.2025]
- Evonik, 2017: Klassenbester: Evonik entwickelt effizientestes Verfahren zur Herstellung von Methylmethacrylat. Zugriff: <https://publications.evonik.com/de/presse/pressemitteilungen/corporate/klassenbester-evonik-entwickelt-effizientestes-verfahren-zur-herstellung-von-methylmethacrylat-105506.html> [abgerufen am 12.02.2025]
- European Waterproofing Association AISBL (EWA), 2021: Umwelt-Produktdeklaration, Bitumenbahnen für die Dachabdichtung - Produktgruppen EPD, Version 2021/07/082021, Zugriff: <https://www.bauder.de/de/flachdach/downloads/umwelt-produktdeklarationen-epd.html> [abgerufen am 21.01.2025]
- Edelényi, A.; Mostaccio, A., 2023: Stellungnahme des Europäische Wirtschafts- und Sozialausschuss, Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen – EU-Politikrahmen für biobasierte, biologisch abbaubare und kompostierbare Kunststoffe. COM (2022) 682 final. Zugriff: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=PI_EESC:EESC-2022-06068-AC [abgerufen am 30.08.2024]
- FDT Flachdach Technologie, 2023: Rhepanol ® hfk – Dachbahn für alle Verlegearten - Nachhaltigkeitsdatenblatt. Zugriff: https://www.fdt.de/wp-content/uploads/2023/07/202307_FDT_Nachhaltigkeitsdatenblatt_A4_Web.pdf [abgerufen: 17.01.2025]
- FDT Flachdach Technologie, 2023: Umwelt-Produktdeklaration, Rhepanol hfk, Rhepanol hfk-bs. Herausgeber: Institut Bauen und Umwelt e. V. (IBU). Zugriff: https://www.fdt.de/wp-content/uploads/2024/09/202409_Rhepanol-hfk-Rhepanol-hfk-bs_d.pdf [abgerufen: 17.01.2025]
- FDT Flachdach Technologie, 2024: Umweltproduktdeklaration, Rhenofol CV, Rhenofol CG. Herausgeber: Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU). Zugriff: https://www.fdt.de/wp-content/uploads/2024/09/202409_Rhenofol-CV-Rhenofol-CG_d.pdf [abgerufen am 22.01.2025]
- FFG, 2025. FFG Projektdatenbank. DPP4Plastics, A Digital Product Passport for PlasticsZugriff: <https://projekte.ffg.at/projekt/5126451> [abgerufen am 13.02.2025]
- Figl, H.; Fellner, M.; Thurner, C.; Dolezal, F.; Nemeth, I.; Schneider-Marin, P., 2024: Fortentwicklung und Evaluierung des BNB-Kriteriensteckbriefes 4.1.4 Rückbau, Trennung, Verwertung: Endbericht. SWD

- 10.08.17.7-20.36. Herausgeber Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Berlin. Zugriff: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/zb/Auftragsforschung/2NachhaltigesBauenBauqualitaet/2020/fortentwicklung-bnb-rueckbau/01-start.html;jsessionid=C2492AC85AB807F3886CEECEBC124721.live21321> [abgerufen am 14.10.2024]
- Figl, H.; Pichlmeier, F.; Sintzel, B.; Thurner, C.; Gmeiner, H.; Maucher, M.; Sutter, Ch., 2022: Projektbericht „Wohngesund“: Integratives und gemeinsames Projekt zur Analyse, Harmonisierung und Weiterentwicklung der Standards für die Planung und Bewertung von gesunden und ökologischen Wohnbauten in der Bodenseeregion. Zugriff: <https://www.energieinstitut.at/media/2022-projektbericht-wohngesund-1.pdf> [abgerufen am 10.11. 2023].
- Figl, H.; Scharnhorst, A.; Thurner, C.: Chancen und Risiken im Kunststoffrecycling für den Baubereich, Endbericht, 2022, Wien. Herausgeber: IBO GmbH.
- Fuhr, L.; Buschmann, R.; Freund, J., 2019: Plastikatlas. Herausgeber: Heinrich-Böll-Stiftung sowie Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland. Zugriff: <https://www.boell.de/de/plastikatlas> [abgerufen am 06.06.2023]
- FPX, 2025: XPS-Circular, FPX Recyclingservice für XPS-Dämmstoffe. Fachvereinigung Extruderschaum e. V., Zugriff: <https://xps-spezialdaemmstoff.de/xps-circular/> [abgerufen am 13.02.2025]
- Gautam, B.; Qureshi, A.; Gwasikoti, A.; Kumar, V.; Gondal, M. 2024: Global Scenario of Plastic Production, Consumption, and Waste Generation and Their Impacts on Environment and Human Health. In: Soni, R.; Debbarma, P.; Suyal, D. C.; Goel, R. (Hrsg.): Advanced Strategies for Biodegradation of Plastic Polymers, Cham, Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-55661-69>. Cham: 1-34.
- Gaylarde, C.C.; Neto, J.A.B.; Monteiro da Fonseca, E., 2021: Paint fragments as polluting microplastics: A brief review. Marine Pollution Bulletin, 2021 (162) 111847. Zugriff: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X20309656> [abgerufen am 13.02.2025]
- Gebäudeenergiegesetz [GEG] vom 8. August 2020 (BGBl. I S. 1728), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 16. Oktober 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 280)
- Gerflor GmbH, 2025: Nachhaltigkeit - Second Life. Zugriff: <https://www.gerflor.at/seite/second-life> [abgerufen am 13.02.2025]
- Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV), o. J.: Kunststoffe. Eigenschaften, Brandverhalten, Brandgefahren. VdS 2516:2000-12. Zugriff: <https://shop.vds.de/de/publikation/vds-2516> [abgerufen am 26.03.2025]
- Greenpeace, 2004. Die Kunststoffpyramide erklärt. Zugriff: <https://www.yumpu.com/de/document/view/3720766/greenpeace-giftigkeit-von-kunststoffen-isybe> [abgerufen am 3.10.2024]
- Grewell, D., 2023: Overview of Bioplastics. In: Grewell D (ed) Bioplastics and Biocomposites: A Practical Introduction. La Vergne: RSC, pp. 63–71. Zugriff: https://www.researchgate.net/publication/375629157_Overview_of_Bioplastics
- Hann, S.; Sherrington, C.; Jamieson, O.; Hickman, M.; Kershaw, P.; Bapasola, A.; Cole, G., 2018: Investigating options for reducing releases in the aquatic environment of microplastics emitted by (but not intentionally added in) products, Final report. Herausgeber: ICF London. Zugriff: <https://eunomia.eco/reports/investigating-options-for-reducing-releases-in-the-aquatic-environment-of-microplastics-emitted-by-products/> [abgerufen am 10.01.2025]

- Hartmann, N.B.; Hüffer, T.; Thompson, R.C.; Hassellöv, M.; Verschoor, A.; Daugaard, A.E.; Rist, S.; Karlsson, T.; Brennholt, N.; Cole, M.; Herrling, M.P.; Hess, M.C.; Ivleva, N.P.; Lusher, A.L.; Wagner M., 2019: Are We Speaking the Same Language? Recommendations for a Definition and Categorization Framework for Plastic Debris. *Environ. Sci. Technol.* 2019, 53, 3, 1039–1047. Zugriff: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.8b05297> [abgerufen am 17.01.2025]
- Heine, K., 2021: Abschlussbericht In-Vitro-Testung der hautsensibilisierenden Wirkstärke von Inhaltsstoffen aus Epoxidharzsystemen mit Schwerpunkt der Testung sogenannter Präpolymere. Herausgeber: Forschungs- und Beratungsinstitut Gefahrstoffe GmbH, Freiburg. Zugriff: https://www.bgbau.de/fileadmin/Gisbau/DGUV-FP451_BERICHT_FoBiG.pdf [abgerufen am 24.02.2025]
- Heine, K.; Kalberlah, F.; Hassauer, M.; Geier, J.; Lessmann, H., 2012: Ranking von Stoffen in Epoxidharzsystemen aufgrund ihrer sensibilisierenden Wirkstärken. Herausgeber: Forschungs- und Beratungsinstitut Gefahrstoffe GmbH, Freiburg. Zugriff: <https://www.bgbau.de/fileadmin/Gisbau/Gesamtbericht.pdf> [abgerufen am 24.02.2025]
- Hillebrandt, A.; Riegler-Floors, P.; Rosen, A.; Seggewies, J., 2018: Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource. Detail Business Information GmbH, München, ISBN 978-3-95553-415-8.
- Hornek-Gausterer, R.; Oberacher, H. Reinstadler, V.; Hartmann, C.; Liebmann, B.; Lomako, I.; Scharf, S.; Posautz, A.; Kübber-Heiss, A (2021). A preliminary study on the detection of potential contaminants in the European brown hare (*Lepus europaeus*) by suspect and microplastics screening. *Environmental Advances* 4, 100045. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100045>.
- IfBB Institute for Bioplastics and Biocomposites, 2024: Biopolymers facts and statistics. Zugriff: <https://www.ifbb-hannover.de/en/facts-and-statistics.html> [abgerufen am 20.01.2025]
- Industrieverband Hartschaum e. V. [IVH], 2025 a: EPS Cycle, Recycling von EPS-Hartschaum. Industrieverband Hartschaum e. V., Zugriff: <https://www.ivh.de/umwelt/recycling/> [abgerufen am 13.02.2025]
- Industrieverband Hartschaum e. V. [IVH], 2025 b: Null Granulatverlust. Zugriff: <https://www.ivh.de/umwelt/null-granulat-verlust/> [abgerufen am 13.02.2025]
- Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e. V. [IVPU], 2024: Steildach nachweisfrei und sicher. Steildachaufbauten mit PU-Dämmung nach DIN 4108-3. Zugriff: https://daemmt-besser.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Publikationen/IVPU_Planungshilfe_24-01_Nachweisfreie_Steildachaufbauten_DIN4108-3_210x297_ONLINE_DS.pdf [abgerufen am 01.11.2024].
- International EPD System, 2022: Environmental Product Declaration, EPD-IES-0006563:001. Zugriff: <https://data.environdec.com/datasetdetail/process.xhtml?uuid=30bd5b92-8e79-4c61-7186-08da598ce856&version=07.00.020&stock=Environdata&lang=en> [abgerufen am 12.03.2025]
- International EPD System, 2023: Environmental Product Declaration, EPD 11873, Constivap 18 Plus. Zugriff: <https://www.environdec.com/library/epd11873> [abgerufen am 23.01.2025]
- International EPD System, 2024: Environmental Product Declaration, EPD 9689. Polypropylene staple fibres. Zugriff: <https://www.environdec.com/library/epd9689> [abgerufen am 23.01.2025]
- International Organization for Standardization [ISO 21929-1], 2011: ISO 21929-1 – Nachhaltigkeit von Bauwerken – Nachhaltigkeitsindikatoren – Teil 1: Rahmenwerk zur Entwicklung von Indikatoren und einer Kernliste. International Organization for Standardization, Genf.

- Innenraumlufthygiene-Kommission [IRK], 2011: Richtwerte für zyklische Dimethylsiloxane in der Innenraumluft. Mitteilung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Bundesgesundheitsblatt 2011 (54) 388–400. Zugriff: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00103-010-1218-5> [abgerufen am 13.02.2025]
- Jang, M.; Shim, W.J.; Han, G.M.; Rani, M.; Song, Y.K.; Hong, S.H., 2017: Widespread detection of a brominated flame retardant, hexabromocyclododecane, in expanded polystyrene marine debris and microplastics from South Korea and the Asia-Pacific coastal region. *Environmental Pollution*, 2017 (231), 785-794. Zugriff: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749117316494>
- Jepsen, D.; Zimmermann, T.; Spengler, L.; Rödig, L.; Bliklen, Wagner, J.; Struck, K.; Hiestermann, L.; Schulz, H., 2020: Kunststoffe in der Umwelt – Erarbeitung einer Systematik für erste Schätzungen zum Verbleib von Abfällen und anderen Produkten aus Kunststoffen in verschiedenen Umweltmedien. Abschlussbericht. Texte 198/2020. Herausgeber: Umweltbundesamt. Dessau. Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kunststoffe-in-der-umwelt-erarbeitung-einer> [abgerufen am 06.06.2023]
- Jonas, Hans (1993). Das Prinzip Verantwortung. Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation. 3rd ed. Frankfurt am Main, Suhrkamp, ISBN: 3518220055.
- Kawecki, D.; Nowack, B., 2020: A proxy-based approach to predict spatially resolved emissions of macro- and microplastic to the environment. *Science of The Total Environment*, 2020 (748) 141137. Zugriff: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720346660> [abgerufen am 23.01.2025]
- Kleiber, M.; Watorowski, J., 2022: Zentrale Melde- und Auswertestelle für Störfälle und Störungen in verfahrenstechnischen Anlagen (ZEMA). Jahresbericht 2020. Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/zema-jahresbericht-2020> [abgerufen am 04.03.2025]
- Knappe, F.; Reinhardt, J.; Kauertz, B.; Ritthoff, M.; Wilts, H.; Lehmann, M.; Oetjen-Dehne, R.; Buschow, N., 2021: Technische Potenzialanalyse zur Steigerung des Kunststoffrecyclings und des Rezyklateinsatzes, Texte 92/2021. Herausgeber Umweltbundesamt. Dessau. Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/technische-potenzialanalyse-zur-steigerung-des> [abgerufen am 06.06.2023]
- Kopatz, V.; Wen, K.; Kovács, T.; Keimowitz, A.S.; Pichler, V.; Widder, J.; Vethaak, A.D.; Hollóczki, O.; Kenner, L., 2023: Micro- and Nanoplastics Breach the Blood-Brain Barrier (BBB): Biomolecular Corona's Role Revealed. *Nanomaterials* (Basel). 2023 Apr 19;13(8):1404. doi: 10.3390/nano13081404 Zugriff: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37110989/> [abgerufen am 23.01.2025]
- Kopp, E.; Fromme, H., 2010: Vorkommen und gesundheitliche Bewertung von Siloxanen. 10.4126/38m-003903616. Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit. Erlangen. Zugriff: <https://repository.publisso.de/resource/fri%3A3903616> [abgerufen am 13.02.2025]
- Koyama, M.; Kawakami, T.; Okazoe, T.; Nozaki, K., 2019: Cyanide-Free One-Pot Synthesis of Methacrylic Esters from Acetone. *Chemistry – A European Journal* Volume 25 (46), 10913-10917. Zugriff: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31148251/> [abgerufen am 12.02.2025]
- Kozicki, M.; Guzik, K.; Deptuła, H.; Tomaszewska, J., 2021: Leaching and VOC Emission Tests of Polymer Composites Produced from Post-Consumer Waste in Terms of Application in the Construction Sector. *Materials*, 2021 (14) 3518. Zugriff: https://www.researchgate.net/publication/352731993_Leaching_and_VOC_Emission_Tests_of_Polymer

_Composites_Produced_from_Post-

Consumer_Waste_in_Terms_of_Application_in_the_Construction_Sector [abgerufen am 21.02.2024]

Kramm, J.; Völker, C.; Haider, T.; Kerber, H.; Sattlegger, L.; Zimmermann, L., 2020: Sozial-ökologische Forschung zu Plastik in der Umwelt, Ergebnisse der Forschungsgruppe PlastX. Herausgeber: Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH. Zugriff: http://www.isoe-publicationen.de/en/publications/publication-detail/?tx_refman_pi1%5Brefman%5D=2164&tx_refman_pi1%5Bcontroller%5D=Refman2164&tx_refman_pi1%5Baction%5D=detail2164&cHash=21fdbfea73a6a774b16a470da9253d36 [abgerufen am 22.02.2025]

Krenauer A., 2023: Pollutant investigations in the Austrian building sector within the existing legal framework and derivation of improvement potentials. Zugriff: <https://pub.technikum-wien.at/obvftwhsmmig/content/titleinfo/9747878> [abgerufen am 22.02.2025]

Kunststoffrohrverband e.V. [KRV], 2025: Rohr-Recycling. Zugriff: <https://www.krv.de/wissen/rohr-recycling> [abgerufen am 13.02.2025]

Lackner, M.; Mukherjee, A.; Koller, M., 2023: What Are “Bioplastics”? Defining Renewability, Biosynthesis, Biodegradability, and Biocompatibility. Herausgeber: MDPI Basel. Zugriff: <https://www.mdpi.com/2073-4360/15/24/4695> [abgerufen am 20.01.2025]

Lamberti, F.M.; Román-Ramírez, L.A.; Wood, J., 2020: Recycling of Bioplastics: Routes and Benefits. J Polym Environ 2020 (28), 2551-2571. Zugriff: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-020-01795-8> [abgerufen am 20.01.2025]

Landrigan, P. J.; Raps, H.; Cropper, M.; Bald, C.; Brunner, M.; Canonizado, E. M.; Charles, D.; Chiles, T. C.; Donohue, M. J.; Enck, J.; Fenichel, P.; Fleming, L. E.; Ferrier-Pages, C.; Fordham, R.; Gozt, A.; Griffin, C.; Hahn, M. E.; Haryanto, B.; Hixson, R.; Ianelli, H.; James, B. D.; Kumar, P.; Laborde, A.; Law, K. L.; Martin, K.; Mu, J.; Mulders, Y.; Mustapha, A.; Niu, J.; Pahl, S.; Park, Y.; Pedrotti, M.-L.; Pitt, J. A.; Ruchirawat, M.; Seewoo, B. J.; Spring, M.; Stegeman, J. J.; Suk, W.; Symeonides, C.; Takada, H.; Thompson, R. C.; Vicini, A.; Wang, Z.; Whitman, E.; Wirth, D.; Wolff, M.; Yousuf, A. K.; Dunlop, S., 2023: The Minderoo-Monaco Commission on Plastics and Human Health, Annals of global health. 2023; 89(1): 23, 1–215. DOI: <https://doi.org/10.5334/aogh.4056>

Lara-Topete, G.O.; Castanier-Rivas, J.D.; Bahena-Osorio, M.F.; Krause, S.; Larsen, J.R.; Loge, F.J.; Mahlnecht, J.; Gradilla-Hernández, M.S.; González-López, M.E., 2024: Compounding one problem with another? A look at biodegradable microplastics, Science of The Total Environment, 2024 (944), 173735. Zugriff: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969724038828> [abgerufen am 25.01.2025]

Laugwitz, Ch.; Eckes, M.; Eckhardt, T.; Balzer, Ch.; Botsch, S.; Baudrit, B.; Kraus, E.; Hochleitner, G., o. J: Schweißen von Polyethylen-Folien mit hohem Rezyklatanteil (CircularWeld). Forschungsbericht. Vorhabenummer: 01IF21737N. Herausgeber: SKZ – Das Kunststoff-Zentrum. Zugriff: <https://www.skz.de/forschung/projekt/schweissbarkeit-von-pe-folien-mit-rezyklatanteil> [abgerufen am 23.01.2025]

Lehner, M.; Bauer, M.; Hofer, W., 2016: Prozesskette zum stofflichen Recycling von Kunststoffabfällen. BHM Berg- und hüttenmännische Monatshefte. Zugriff: <https://pure.unileoben.ac.at/de/publications/prozesskette-zum-stofflichen-recycling-von-kunststoffabf%C3%A4llen> od. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00501-016-0482-6> [abgerufen am 21.09.2023]

- Leslie, H.A.; van Velzen, M.J.M.; Brandsma, S.H.; Vethaak, A.D.; Garcia-Vallejo, J.J.; Lamoree, M.H., 2022: Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood, *Environment International*, 2022 (163) 0160-4120. Zugriff: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199> [abgerufen am 22.01.2025]
- Linden, W.; Witten, J., 2024: *Ökologisches Baustoff-Lexikon, Bauprodukte · Chemikalien · Schadstoffe · Ökologie · Innenraum · Nachhaltigkeit*, 5. überarbeitete und erweiterte Auflage, VDE Verlag GmbH, Berlin Offenbach
- LIP Bygningsartikler A/S, 2022: Environmental Product Declaration, LIP Folie G3, EPD-Kiwa-EE-000371-EN. Herausgeber: Kiwa-Ecobility Experts. Zugriff: <https://www.kiwa.com/de/de/veroeffentlichte-epds/> [abgerufen am 22.02.2025]
- Lohr, K.; Sprengard, C.; Holm, A., 2023: Kurzstudie zum Anteil des Ziegelgebäudeec über die Baualtersklassen des deutschen Gebäudebestands. FO-2023/05. Zugriff: https://ziegel.de/sites/default/files/2024-03/FIW_Kurzstudie%20Anteil%20an%20Ziegelbauweise%20je%20Baualtersklasse_03_2024.pdf [abgerufen am 12.02.2025].
- Lühr, H.P., 2020: Einsatz von Kunststoffdichtungsbahnen im Tunnelbau. KA Korrespondenz Wasser Abfall, 67. Jg. (1) 67, 43-51. Zugriff: <https://www.hanspeterluehr.de/downloads/downloads-publikationen/> [abgerufen 12.02.2025]
- Darabi Mahboub, M. J.; Dubois, J.-L.; Cavani, F.; Rostamizadeh, M.; Patience G. S., 2018: Catalysis for the synthesis of methacrylic acid and methyl methacrylate. *Chemistry – A European Journal* Volume 25 (46): 10913-10917. Zugriff: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30211916/> [abgerufen am 12.02.2025]
- Manhart, A., Öko-Institut e.V., Freiburg: Digitales Forum „Kunststoffe von morgen – Kreislaufwirtschaft ohne Erdöl“, 23.09.2024. Zugriff: <https://www.oeko.de/publikation/zirkulaere-kunststoffwirtschaft-herausforderungen-ansatze-und-weichenstellungen/> [abgerufen am 09.10.2024]
- Martens, H.; Goldmann, D., 2016: *Recyclingtechnik: Fachbuch für Lehre und Praxis*, 2. Auflage, Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden
- Medizinische Universität Wien, 2023. Winzige Plastikpartikel gelangen auch ins Gehirn. Zugriff: <https://www.meduniwien.ac.at/web/ueber-uns/news/2023/default-34fee72b1e/winzige-plastikpartikel-gelangen-auch-ins-gehirn/> [abgerufen am 13.02.2025]
- Medizinische Universität Wien, 2024. Mikro- und Nanoplastik im Körper wird bei Zellteilung weitergegeben. Zugriff: <https://www.meduniwien.ac.at/web/ueber-uns/news/2024/news-im-maerz-2024/mikro-und-nanoplastik-im-koerper-wird-bei-zellteilung-weitergegeben/medizin-wissenschaft/> [abgerufen 13.02.2025]
- Meissner, M.; Orth, D.; Bauer, B.; Fellner, M.; Fulterer, A.M., 2024: BUILD RE-USE – 100 % Re-Use und Recycling bei Gebäuden mit kurzen Nutzungszyklen: Bauteile rückgewinnen. Herausgeber: Projektkonsortium von BuildReUse. Wien. Zugriff: <https://www.ibo.at/meldungen/detail/data/build-re-use-bauprodukte-und-bauteile-wiederverwenden> [abgerufen am 14.10.2024]
- metallbau, 2025: metallbau Konstruktion, Ausführung und Fertigung, Fenster- und Türenmarkt. Sanierungspotenzial in Deutschland. Zugriff: https://www.metallbau-magazin.de/artikel/mb_fenster-_und_tuerenmarkt-2351661.html [abgerufen am 31.01.2024]
- Moens, E. K. C.; De Smit, K.; Marien, Y. W.; Trigilio, A. D.; Van Steenberge P. H. M.; Van Geem, K. M.; Dubois, J. L.; D'hooge, D. R., 2020: Progress in Reaction Mechanisms and Reactor Technologies for Thermochemical Recycling of Poly(methyl methacrylate). *Polymers*. 2020 12 (8):1667. Zugriff: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32727004/> [abgerufen am 12.02.2025]

- Moro, J., 2021: Baukonstruktion – vom Prinzip zum Detail. Band 1: Grundlagen. 3. Auflage. Springer-Verlag GmbH, Berlin/Heidelberg, ISBN 978-3-662-64154-5.
- Moro, J., 2022: Baukonstruktion - vom Prinzip zum Detail. Band 3: Umsetzung. 3. Auflage. Springer-Verlag GmbH, Berlin/Heidelberg, ISBN 978-3-662-64994-7.
- Mostert, C., Glanz, D.; Weishaar, H.G.; Sameer, H.; Bringezu, S., 2024: Kumulierter Rohstoffaufwand - Anwendbarkeit von Indikatoren für den Kumulierten Rohstoffaufwand im BNB und QNG. Projekt im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Zukunft Bau SWD 10.08.17.7–21.56 (ID271). Zugriff: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/zb/Auftragsforschung/2NachhaltigesBauenBauqualitaet/2021/indikator-kumulierter-rohstoffaufwand/endbericht.html> [abgerufen am 04.03.2025]
- Müller, R.; Wiesemann E.; Hermann, A.; Dieroff, J.; Betz, J.; Bulach, W., 2021: Beschaffung von Kunststoffprodukten aus Post-Consumer-Rezyklaten - Handreichung für den öffentlichen Einkauf, Texte 130/2021. Herausgeber: Umweltbundesamt Dessau. Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/beschaffung-von-kunststoffprodukten-aus-post> [abgerufen am 06.06.2023]
- natureplus Qualitätszeichen [natureplus], 2022 a: Richtlinie 0101 - Dämmstoffe aus Hanf. Ausgabe: 22-05, 23. September 2022, Herausgeber: natureplus e.V. Zugriff: <https://www.natureplus-label.org/vergaberichtlinien> [abgerufen am 09.10.2024]
- natureplus Qualitätszeichen [natureplus], 2022 b: Richtlinie 5001 - Chemikalienrichtlinie. Ausgabe 22-05, 18. Juli 2022, Herausgeber: natureplus e.V. Zugriff: <https://www.natureplus-label.org/vergaberichtlinien> [abgerufen am 09.10.2024]
- natureplus Qualitätszeichen [natureplus], 2022 c: Richtlinie 5001 - Chemikalienrichtlinie. Ausgabe 22-05, 18. Juli 2022, Herausgeber: natureplus e.V. Zugriff: <https://www.natureplus-label.org/vergaberichtlinien> [abgerufen am 09.10.2024]
- Neroth, G.; Vollenschaar, D., 2011: Wendehorst Baustoffkunde: Grundlagen – Baustoffe – Oberflächenschutz. 27. vollständig überarbeitete Auflage. Vieweg + Teubner. Wiesbaden
- Niu, Y.; Pan, F.; Shen, K.; Yang, X.; Niu, S.; Xu, X.; Zhou, H.; Fu, Q.; Li, X., 2024: Status and Enhancement Techniques of Plastic Waste Degradation in the Environment: A Review, Sustainability 2024 (16), <https://doi.org/10.3390/su16219395>.
- Noorimotlagh, Z.; Hopke, P. K.; Abbas Mirzaee, S., 2024: A systematic review of airborne microplastics emissions as emerging contaminants in outdoor and indoor air environments, Emerging Contaminants, 2024 (4) Volume 10, 100372. Zugriff: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405665024000738> [abgerufen am 22.01.2025]
- Norddeutscher Rundfunk, 2024: Keine Einigung auf UN-Plastikabkommen. tagesschau.de, 1. Dezember. Zugriff: <https://www.tagesschau.de/ausland/plastikabkommen-ohne-einigung-100.html> [abgerufen am 02.01.2025].
- NWE Secretariat „Les Arcuriales“, Herausgeber, 2025: CHARM – Circular Housing Asset Renovation & Management. Zugriff: <https://vb.nweurope.eu/projects/project-search/charm-circular-housing-asset-renovation-management/#tab-1> [abgerufen am 03.01.2025].
- Oberti, I.; Paciello, A., 2022: „Bioplastic as a Substitute for Plastic in Construction Industry“, Encyclopedia, Vol. 2, No. 3, DOI:10.3390/encyclopedia2030095.

- OECD, 2022 a: Global Plastics Outlook, Paris, OECD Publishing. Zugriff: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2022/06/global-plastics-outlook_f065ef59/aa1edf33-en.pdf [abgerufen am 26.03.2025]
- OECD, 2022 b: Distribution of total global macro-and microplastics leakage to the environment in 2019, Statista GmbH. Zugriff: <https://www.statista.com/statistics/1327885/share-of-plastic-leakage-into-the-environment/> [abgerufen am 31.12.2024]
- OECD, 2022 c: Annual plastic leakage to the environment from the European Union from 2019 to 2060 (in million metric tons), Statista GmbH. Zugriff: <https://www.statista.com/statistics/1341691/plastic-waste-leakage-to-the-environment-from-the-eu/> [abgerufen am 31.12.2024].
- OECD, 2023: Per- and Polyfluoroalkyl Substances and Alternatives in Coatings, Paints and Varnishes (CPVs): Hazard Profile. OECD Series on Risk Management of Chemicals, OECD Publishing, Paris. Zugriff: <https://doi.org/10.1787/c60c42d5-en> [abgerufen am 13.02.2025]
- ÖKOBAUDAT, 2020: Umwelt-Produktdeklaration, EPDM-Dach- und Dichtungsbahnen EVALASTIC® V, VG, VGSK, EPD-ALW-20190186-IBAC-DE, alwitra GmbH. Zugriff: https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/resource/sources/2c0dafb0-0610-40ad-b90b-d1c47b1f63e5/EPDM-Dach-_und_Dichtungsbahnen_EVALASTICV_VG_VSGK_12525.pdf?version=00.03.000 [abgerufen am 18.01.2025]
- ÖKOBAUDAT, 2023: Prozess-Datensatz: Bitumenverträgliche Polyisobutylen (PIB) Kunststoffdachbahn. UUID 91412f3f-6077-44d4-9c9d-95c543bcb419. Herausgeber: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) Zugriff: https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=91412f3f-6077-44d4-9c9d-95c543bcb419&version=20.24.070&stock=OBD_2024_I&lang=de [abgerufen am 17.01.2025]
- ÖKOBAUDAT 2024: Umwelt-Produktdeklaration, Kunststoff Dach- und Dichtungsbahn Polyfin® 3020, EPD-POL-20230126-IBA1-DE, Polyfin AG. Zugriff: https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/resource/sources/313df8f6-97ed-4d15-bb08-909c2c5302fd/Kunststoff_Dach-_und_Dichtungsbahn_Polyfin_3020_18534.pdf?version=00.02.000 [abgerufen am 03.10.2024]
- Olatunji, O. 2022: Microplastics: Emerging Issues in Emerging Urbanization. In: Plastic and Polymer Industry by Region. Springer, Singapore: 177–199
- Österreichischer Arbeitskreis Kunststoffrohrrecycling [OEAKR], 2025: Was ist der Österreichische Arbeitskreis Kunststoffrohr Recycling? Zugriff: <https://www.oekr.at/> [abgerufen am 13.02.2025]
- Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie [IBO], 2018: Passivhaus-Bauteilkatalog: Neubau. Birkhäuser Verlag GmbH, 4. Auflage, Basel, ISBN 978-3-0356-1686-6.
- Österreichisches Umweltzeichen. Richtlinie UZ 41 Bauprodukte aus Kunststoff. Version 7.0. Ausgabe vom 1. Jänner 2024 a. Zugriff: <https://www.umweltzeichen.at/de/zertifizierung/richtlinien/> [abgerufen am 13.02.2025]
- Österreichisches Umweltzeichen. Richtlinie UZ 79 Wärmedämmverbundsysteme. Version 2.1. Ausgabe vom 1. Juli 2024 b. Zugriff: <https://www.umweltzeichen.at/de/zertifizierung/richtlinien/> [abgerufen am 13.02.2025]
- Owen, M. M.; Achukwu, E. O.; Romli, A. Z.; Abdullah, A. H. B.; Ramlee, M. H.; Shuib, S. B., 2023: Thermal and mechanical characterization of composite materials from industrial plastic wastes and recycled nylon

- fibers for floor paving tiles application. Waste Management, 2023 (Vol. 166), <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.04.038>, S. 25–34.
- Paruta, P.; Pucino, M.; Boucher, J., 2021: Plastic Paints the Environment, A global assessment of paint's contribution to plastic leakage to Land Ocean & Waterways. Herausgeber: EA – Environmental Action, Lausanne, Switzerland. Zugriff: <https://www.e-a.earth/plastic-paints-the-environment/> [abgerufen am 06.06.2023]
- Paumann, R. et al., 2022: Aktionsplan Mikroplastik 2022-2025. Herausgeber: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. Zugriff: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/kunststoffe/publikationen/aktionsplan-mikroplastik.html [abgerufen am 05.12.2023]
- Pech, A; Hubner, W.; Zach, F., 2021: Flachdach. Birkhäuser Verlag GmbH, 2., erweiterte Auflage, Basel, ISBN 978-3-0356-2329-1.
- Plas, C.; Neumayer, S.; Lindner, C.; Schmitt, J.; Rechberger, H.; Grabuschnig, L., 2022: "Facts Matter" Ergebnisse in den Bereichen Kunststoffstrom in Österreich 2019. Im Auftrag von ecoplus Wirtschaftsagentur NÖ und Plastics Europe Austria. Zugriff: https://www.wko.at/oe/industrie/publikationen#heading_Studien [abgerufen am 15.09.2023]
- Plastics Europe, 2019: Plastics – the Facts 2019 An analysis of European plastics production, demand and waste data. A project of the German plastics industry under the leadership of PlasticsEurope Deutschland e.V. and Messe Düsseldorf. Zugriff: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2019/> [abgerufen am 24.11.2022]
- Plastics Europe, 2023: Plastics – the Facts 2023. Zugriff: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2023/> [abgerufen am 21.01.2025]
- Plastics Europe, 2024 a: Weltweite und europäische Kunststoffproduktion in den Jahren von 1950 bis 2023 (in Millionen Tonnen), Statista. Zugriff: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167099/umfrage/weltproduktion-von-kunststoff-seit-1950/> [abgerufen am 30.12.2024].
- Plastics Europe, 2024 b: Plastics – the fast Facts 2024. Zugriff: <https://plasticseurope.org/de/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2024/> [abgerufen am 23.01.2025]
- Plastics Industry Association 2021: Operation Clean Sweep®. Zugriff: <https://www.opcleansweep.eu/> [abgerufen am 13.02.2025]
- Polcher, A.; Potrykus, A.; Schöpel, M.; Weißenbacher, J.; Zotz, F., 2020: Sachstand über die Schadstoffe in Kunststoffen und ihre Auswirkungen auf die Entsorgung. Forschungskennzahl UM19 34 5080. Herausgeber: BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Bonn. Zugriff: <https://www.bmu.de/forschungsbericht/sachstand-ueber-die-schadstoffe-in-kunststoffen-und-ihre-auswirkungen-auf-die-entsorgung> [abgerufen am 06.06.2023].
- Porto, M.; Caputo, P.; Loise, V.; Eskandarsefat, S.; Teltayev, B.; Oliviero Rossi, C., 2019: Bitumen and Bitumen Modification: A Review on Latest Advances. Applied Sciences 2019, 9 (4): 742. Zugriff: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/4/742> [abgerufen am 24.01.2025]
- Prasittisopin, L.; Ferdous W.; Kamchoom V.; 2023: Microplastics in construction and built environment. Developments in the Built Environment, 2023 (15) 100188. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666165923000704?via%3Dihub>

PVCH - Arbeitsgemeinschaft der Schweizer PVC-Industrie [PVCH], o. J.: Herstellung von PVC. Zugriff: <https://pvch.ch/Wissen/Herstellung> [abgerufen am 22.01.2025]

Ab Rani Plast Oy, 2016: Environmental Product Declaration, RaniMoBar. NEPD-1230-387-EN. Herausgeber: The Norwegian EPD Foundation. Zugriff: <https://media.bluestonepim.com/9056b428-dfaf-419e-92db-cd75e7ff9831/4034e156-d8af-4820-aa0b-afb35ae93817/Zc74aUHGYYLI7MyL56s4EUaiC/gzODhSDqAuCz9xqlXaqdzGfli.pdf> [abgerufen am 03.02.2025]

Ragonesi, M.; Paulus, A.; Plüss, I.; Notter, G.; Ettlin, M.; Burkhardt, D.; Miloni, R.; Lenel, S.; Scandone, J.; Schüller, E.; Wolfisberg, U.; Zurfluh, B., 2022: Bautechnik der Gebäudehülle. 3. Auflage. Vdf Hochschulverlag AG, Zürich, ISBN 978-3-7281-4129-3.

Ragusa, A.; Svelato, A.; Santacroce, C.; Catalano, P.; Notarstefano, V.; Carnevali, O.; Papa, F.; Rongioletti, M.; Ciro, A.; Baiocco, F.; Draghi, S.; D'Amore, E.; Rinaldo, D.; Matta, M.; Giorgini, E., (2021). Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. Environment international 146, 106274. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106274>.

RecyClass, 2025. Get Certified. Zugriff: <https://recyclclass.eu/get-certified/> [abgerufen 13.02.2025]

Renolit SE, 2017: Environmental Product Declaration, Flexible sheet for waterproofing - Alkorte A (1,5 mm), Renolit, S-P-01182. Herausgeber: EPD International AB. Zugriff: https://www.renolit.com/fileadmin/renolit/waterproofing_roofing/Documents/ALKORTEC/EN_epd-1182-renolit-alkortec-a-1_5-mm.pdf [abgerufen am 03.02.2025]

Republik Österreich 1993. Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über das Verbot von halogenierten Biphenylen, Terphenylen, Naphthalinen und Diphenylmethanen, BGBl. Nr. 210/1993. Zugriff: <https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/Bundesnormen/NOR12136459/NOR12136459.html> [abgerufen am 13.02.2025]

Republik Österreich, 2008: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien (Deponieverordnung 2008 – DVO 2008), BGBl. II Nr. 218/2008. Zugriff: <https://www.ris.bka.gv.at/eli/bgbl/II/2008/39> [abgerufen am 9.01.2025]

Republik Österreich, 2020. Verordnung der Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie über ein Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnisverordnung 2020), BGBl. II Nr. 409/2020. Zugriff: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20011285> [abgerufen am 22.01.2025]

Rewindo GmbH, o. J.: Kunststofffensterrecycling. Zugriff: <https://rewindo.de/> [abgerufen am 01.03.2025]

SaarGummi Construction Deutschland GmbH, 2018: Umwelt-Produktdeklaration, EPDM Dach- und Dichtungsbahnen NOVOPROOF® DA, FA, DA-F, DA-K, DA-S, DA-G, DA-FG, DA-SK. EPD-DUR-20180034-IBD1-DE. Herausgeber: Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU). Zugriff: <https://construction.saargummi.com/de/downloads-neu> [abgerufen am 18.01.2025]

Safiki, A.; Okello, T.; Twinemukama, J.; Bazairwe, A., 2021: Utilisation of plastifying and fluxing wastes of plastics and eggshell powder in manufacture of eco-friendly floor tiles. Journal of Civil Construction and Environmental Engineering. 6 (1), S. 13-20, DOI: 10.11648/j.jccee.20210601.13

SAINT-GOBAIN ISOVER G+H AG [ISOVER], (2025). Dampfdruckausgleichsschicht. Zugriff: <https://www.isover.de/ratgeber/dampfdruckausgleichsschicht> [abgerufen am 18.01.2025]

- Salim, K.; Houssam, A.; Belaid, A.; Brahim, H., 2019: Reinforcement of building plaster by waste plastic and glass. *Procedia Structural Integrity*, Vol. 17, S. 170–176, <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.08.023>.
- Sau, D.; Shiuly, A.; Hazra, T., 2023: Utilization of plastic waste as replacement of natural aggregates in sustainable concrete: effects on mechanical and durability properties. *International Journal of Environmental Science and Technology*, S. 1–36, DOI:10.1007/s13762-023-04946-1.
- Schaefer, C.E.; Kupwade-Patil, K.; Ortega, M.; Soriano, C.; Büyüköztürk, O.; White, A.E.; Short, M.P., 2018: Irradiated recycled plastic as a concrete additive for improved chemo-mechanical properties and lower carbon footprint. *Waste Management*, 2018 (71), 426-439. Zugriff: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17306992> [abgerufen am 23.01.2025]
- Schopbach, H.; Neuenhagen, H.; Marpe, P.; Volkmann, J.; Mette, E.; Fletting, R., 2018: Grundwissen moderner Holzbau. *Praxishandbuch für den Zimmerer*. Bundesbildungszentrum des Zimmerer- und Ausbaugewerbes (Hrsg.), Bruderverlag Albert Bruder GmbH & Co. KG, 3. Auflage, Köln, ISBN 978-3-87104-236-2.
- Schweizerische Eidgenossenschaft, 2005: Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung, ChemRRV). SR 814.81. Zugriff: <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2005/478/de> [abgerufen am 13.02.2025]
- Schwitalla, C.; Schwerd, R.; Trettenhann, A.; Lehmann-Brauns, S., 2023: Ressourcen der Zukunft für Dämmsysteme, Putze und Mörtel: Detaillierte wissenschaftliche Darstellung des Status Quo zu Rückbau, Recycling, Kreislaufverhalten der Produktgruppen der VDPM-Mitgliedsunternehmen. IBP-Bericht UHS-041/2023. Herausgeber: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP. Zugriff: <https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/fc9c1611-c9c6-49e4-af15-a5584dc7e519> [abgerufen am 14.10.2024]
- Sedlbauer, K.; Schunck, E.; Barthel, R.; Künzel, H., 2010: Flachdach Atlas. Werkstoffe, Konstruktionen, Nutzungen. Institut für Internationale Architektur-Dokumentation. München, ISBN 9783034615648.
- Sentinel Holding Institut [Sentinel], o. J.: Produktgruppen für nachhaltiges Bauen. Zugriff: <https://www.sentinel-holding.eu/de/suche?term=&type=Pim> [abgerufen am 13.02.2025]
- Shen, M.; Hu, T.; Huang, W.; Song, B.; Qin, M.; Yi, H.; Zeng, G.; Zhang, Y. 2021: Can incineration completely eliminate plastic wastes? An investigation of microplastics and heavy metals in the bottom ash and fly ash from an incineration plant. *Science of The Total Environment*, 2021 (779). Zugriff: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721015965> [abgerufen 21.11.2023].
- Sieker, H.; Steyer, R.; Büter, B.; Leßmann, D.; von Tils, R.; Becker, C.; Hübner, D., 2019: Untersuchung der Potentiale für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung in Städten. *Texte 111/2019*. Herausgeber: Umweltbundesamt Dessau. Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/untersuchung-der-potentiale-fuer-die-nutzung-von>, [abgerufen am 16.1.2025]
- Sika Deutschland GmbH, 2021: Sikaplan® G, Herausgeber: Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU). Zugriff: <https://deu.sika.com/dam/dms/deaddconst01/h/EPD-Sikaplan-G.pdf> [abgerufen am 22.01.2025]
- Skoczinski, P.; Carus, M.; Tweddle, G.; Ruiz, P.; Hark, N.; Zhang, A.; de Guzman, D.; Ravenstijn, J.; Käb, H.; Raschka, A., 2024: Shares of Produced bio-based polymers in different market segments. Zugriff: <https://renewable-carbon.eu/publications/product/shares-of-produced-bio-based-polymers-in-different-market-segments-png/> [abgerufen 29.08.2024]

- Stadt Berlin, 2013: Handlungsempfehlungen zur Vermeidung der Umweltbelastung durch die Freisetzung des Herbizids Mecoprop aus wurzelfesten Bitumenbahnen. Herausgeber: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt und Landesamt für Gesundheit und Soziales Berlin. Zugriff: https://www.berlin.de/sen/sbw/_assets/service/rundschreiben/leitfaeden-und-arbeitshilfen/handlungsempfehlungen.pdf [abgerufen am 22.02.2025]
- Stapleton, M.J.; Ansari, A.J.; Ahmed, A.; Hai, F.I., 2023: Evaluating the generation of microplastics from an unlikely source: The unintentional consequence of the current plastic recycling process. *Science of the Total Environment*, 2023 (902) 166090. Zugriff: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723047150> [abgerufen am 23.01.2025]
- Steger, S.; Ritthoff, M.; Bulach, W.; Schüler, D.; Kosińska, I.; Degreif, S.; Dehoust, G.; Bergmann, T.; Krause, P.; Oetjen-Dehne, R., 2019: Stoffstromorientierte Ermittlung des Beitrags der Sekundärrohstoffwirtschaft zur Schonung von Primärrohstoffen und Steigerung der Ressourcenproduktivität, Abschlussbericht. Herausgeber: Umweltbundesamt Dessau. Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/stoffstromorientierte-ermittlung-des-beitrags-der> [abgerufen am 31.05.2023]
- SundaHus, o.J.: SundaHus Material Data. Zugriff: <https://ibinder.com/sundahus/en/services/sundahus-material-data/> [abgerufen am 13.02.2025]
- Tarkett Holding GmbH, o. J.: Recycling von Bodenbelag mit dem Restart® Recycling-Programm. Zugriff: https://boden.objekt.tarkett.de/de_DE/node/restart-10166 [abgerufen am 13.02.2025]
- Technische Regeln für Gefahrstoffe [TRGS 521], 2008: TRGS 521 Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten mit alter Mineralwolle. Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). Zugriff: https://www.bgbau-medien.de/handlungshilfen_gb/daten/tr/trgs521/titel.htm [abgerufen am 27.03.2025]
- The Alliance for Sustainable Building Products, 2021: Reducing Plastics in Construction – The Alliance for Sustainable Building Products. Zugriff: <https://asbp.org.uk/group/plastics-in-construction> [abgerufen am 03.01.2025].
- The Alliance for Sustainable Building Products, 2022: CHARM virtually plastic free homes – The Alliance for Sustainable Building Products. Zugriff: <https://asbp.org.uk/case-studies/charm-virtually-plastic-free-homes> [abgerufen am 03.01.2025].
- Thiam, M.; Fall, M., 2021: Mechanical, physical and microstructural properties of a mortar with melted plastic waste binder. *Construction and Building Materials*, Vol. 302, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124190>.
- Thiam, M.; Fall, M.; Diarra, M. S., 2021: Mechanical properties of a mortar with melted plastic waste as the only binder: Influence of material composition and curing regime, and application in Bamako. *Case Studies in Construction Materials*, Vol. 15, e00634, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00634>.
- Tommen Gram Folie AS, 2015: Environmental Product Declaration, Gram Dampsperr. NEPD-341-230-NO. Herausgeber: The Norwegian EPD Foundation. Zugriff: <https://bewi.com/products/gram-vapor-barrier-sucarcane/> [abgerufen am 03.02.2025]
- Tul Muntaha, S., Keitsch, M., 2024: A pathway for plastic waste in construction materials. *Sustainable Development*, <https://doi.org/10.1002/sd.3099>.
- u-wert.net GmbH, 2025: ubakus. Zugriff: <https://www.ubakus.de> [abgerufen am 04.01.2025].

- Umweltbundesamt [UBA], 2007: PHTHALATE - Die nützlichen Weichmacher mit den unerwünschten Eigenschaften. Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/phthalate> [abgerufen am 22.01.2025]
- Umweltbundesamt [UBA], 2021: Hexabromcyclododecan (HBCDD). Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/persistente-organische-schadstoffe-pop/hexabromcyclododecan-hbccd> [abgerufen am 13.02.2025]
- Umweltbundesamt [UBA], 2022: Wie werden HBCD-haltige Dämmstoffe abfallrechtlich eingestuft? Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/wie-werden-hbcd-haltige-daemmstoffe-abfallrechtlich> [abgerufen am 13.02.2025]
- United Nations Environment Assembly (2022). End plastic pollution: Towards an international legally binding instrument (UNEP/EA.5/RES.14). United Nations Environment Programme. Zugriff: <https://digitallibrary.un.org/record/3999257?ln=en&v=pdf> [abgerufen am: 22.02.2025].
- United Nations Environment Programme and Secretariat of the Basel, Rotterdam and Stockholm Conventions [UNEP], 2023: Chemicals in plastics: a technical report. Geneva. Zugriff: <https://www.unep.org/resources/report/chemicals-plastics-technical-report> [abgerufen am 24.02.2025]
- Van Dijk, J.; Reichenecker, A., 2019. Leitfaden für die Sammlung und Vorbehandlung von EPS-Hartschaumabfällen von Abbruch-Baustellen. 3. Redaktionelle Bearbeitung und Aktualisierung, 01.08.2023. Zugriff: <https://www.psloop.eu/downloads> [abgerufen 13.02.2025]
- Verein zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau e. V. [NaWoh], 2024: Qualitätssiegel Nachhaltiger Wohnungsbau NaWoh. Version 4.0. NaWoh V4.0 / 2.1.3-AA. Zugriff: https://www.nawoh.de/uploads/pdf/Steckbriefsatz_NaWoh_4.0-QNG_240905.pdf [abgerufen am 25.02.2025].
- Villarrubia-Gómez, P.; Carney Almroth, B.; Eriksen, M.; Ryberg, M.; Cornell, S. E., 2024: Plastics pollution exacerbates the impacts of all planetary boundaries, *One Earth*, 7 Jg. (12), S. 2119–2138. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.10.017>.
- VinylPlus, 2025. PVC-Recycling funktioniert. Zugriff: <https://www.vinylplus.de/pvc-recycling/> [abgerufen am 13.02.2025]
- Vogel, J.; Krüger, F.; Fabian, M., 2020: Chemisches Recycling. Herausgeber: Umweltbundesamt. Juli 2020. Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/chemisches-recycling> [abgerufen am 23.12.2021]
- Wagner, S.; Schlummer, M., 2020: Legacy additives in a circular economy of plastics: Current dilemma, policy analysis, and emerging countermeasures. *Resources, Conservation and Recycling* 2020 (158) 104800. Zugriff: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092134492030121X> [abgerufen am 23.02.2022]
- Wecobis, o. J. a: Kunststoffbahn – Abdichtungsbahnen. Zugriff: <https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/abdichtungen-pg/abdichtungsbahnen-pg/kunststoffbahn-pg.html> [abgerufen am 03.10.2024]
- Wecobis, o. J. b: Alkydharzlackfarben. Zugriff: <https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/oberflaechenbehandlungen-pg/farben-lacke-lasuren-pg/lacke-lasuren-pg/alkydharzlackfarben-pg.html> [abgerufen am 13.02.2025]
- Wecobis, o. J. c: Epoxidharze. Zugriff: <https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/grundstoffe-gs/kunststoffe-gs/epoxidharze-gs.html> [abgerufen am 24.02.2025]

- Wecobis, o. J. d: Polyesterfaser-Dämmstoffe (PES). Zugriff: <https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/daemmstoffe-pg/daemmstoffe-synthetisch-pg/pes-pg.html> [abgerufen am 24.02.2025]
- Wecobis, o. J. e: Polyvinylchlorid. Zugriff: <https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/grundstoffe-gs/kunststoffe-gs/polyvinylchlorid-gs.html> [abgerufen am 24.02.2025]
- Wecobis, o. J. f: Styrol-Butadien-Blockcopolymere (SBS). Zugriff: <https://www.wecobis.de/service/lexikon/sbs.html> [abgerufen am 24.02.2025]
- Wecobis, o. J. g: Dämmstoffe. Zugriff: <https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/daemmstoffe-pg.html> [abgerufen am 24.02.2025]
- Wecobis, o. J. h: Anwendungsbereiche Farben, Lacke und Lasuren. Zugriff: <https://www.wecobis.de/service/farben-lacke-lasuren-anw.html> [abgerufen am 24.02.2025]
- Wicke, D.; Rouault, P.; Rohr, M.; Burkhardt, M., 2021: Ökologisch Nachhaltiges Bauen zum Schutz von Gewässern - Vermeidung von Belastungen im Regenabfluss von Gebäuden. Steckbrief 1: Grundsätze für die Planung von Dächern. Herausgeber: Umweltbundesamt Dessau. Zugriff: [abgerufen am 13.02.2025]
- Wicke, D.; Tatis-Muvdi, R.; Rouault, P.; Zerball-van Baar, P.; Dünnbier, U.; Rohr, M.; Burkhardt, M., 2022: Bauen und Sanieren als Schadstoffquelle in der urbanen Umwelt. Texte 155/2021. Herausgeber: Umweltbundesamt Dessau. Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/bauen-sanieren-als-schadstoffquelle-in-der-urbanen> [abgerufen am 03.10.2024]
- Wilts, H.; von Gries, N.; Dehne, I.; Oetjen-Dehne, R.; Buschow, N.; Sanden, J., 2016: Entwicklung von Instrumenten und Maßnahmen zur Steigerung des Einsatzes von Sekundärrohstoffen – mit Schwerpunkt Sekundärkunststoffe. Herausgeber: Umweltbundesamt Dessau. Texte 65/2016. Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-von-instrumenten-massnahmen-zur> [abgerufen am 13.2.2025]
- Xella Deutschland GmbH, 2013: Ytong Porenbeton Allgemeine Einführung in die Verarbeitung. Zugriff: <https://technik.xella.de/media/ressources/ytong/verarbeitungshinweise/ytong-porenbeton-allgemeine-einfuehrung-in-die-verarbeitung.pdf> [abgerufen am 16.02.2025].
- Yang, Z.; Lü, F.; Zhang, H.; Wang, W.; Shao, L.; Ye, J.; He, P. (2021). Is incineration the terminator of plastics and microplastics? Journal of hazardous materials 401, 123429. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123429>.
- Yanga, Z.; Lü, F.; Zhang, H.; Wang, W.; Shao, L.; Ye, J.; He, P., 2021: Is incineration the terminator of plastics and microplastics?. Journal of Hazardous Materials, 2021 (401) 123429. Zugriff: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389420314187> [abgerufen am 23.01.2025].
- Yu, S.; Yarlagadda, B.; Siegel, J.E.; Zhou, S.; Kim, S., 2020: The role of nuclear in China's energy future: Insights from integrated assessment, Energy Policy, 2020 (139) 111344. Zugriff: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421520301014> [abgerufen am 13.02.2025]
- Yuk, H.; Jo, H. H.; Nam, J.; Kim, Y. U.; Kim, S., 2022: „Microplastic: A particulate matter (PM) generated by deterioration of building materials“, Journal of hazardous materials, Vol. 437, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129290>.
- Zaragoza-Benzal, A.; Ferrández, D.; Atanes-Sánchez, E.; Saiz, P., 2023: Dissolved recycled expanded polystyrene as partial replacement in plaster composites, Journal of Building Engineering, 2023 (65) 105697. Zugriff: <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.105697> [abgerufen a, 13.02.2025]

Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks e. V. 2025: Kreislaufwirtschaft Berlin 2025. Zugriff:
<https://www.dachdecker-technik.de/kreislaufwirtschaft> [abgerufen am 13.02.2025]

Zhu, L.; Xie, C.; Chen, L.; Dai, X.; Zhou, Y.; Pan, H.; Tian, K., 2023: Transport of microplastics in the body and interaction with biological barriers, and controlling of microplastics pollution. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2023 (255) 114818. Zugriff:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651323003226> [abgerufen am 23.01.2025]

ABKÜRZUNGEN

ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol
APEO	Alkylphenoethoxylate
APP	Ataktisches Polypropylen
AW	Außenwand
BauPVO	Europäische Bauprodukteverordnung
BBP	Benzylbutylphthalat
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BKI	Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern
BMWSB	Stadtentwicklung und Bauwesen
BNB	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen
BNK/BNG	Bewertungssystem Nachhaltiger Kleinwohnungsbau und Bewertungssystem Nachhaltige Gebäude
CL	Recycling im geschlossenen Kreislauf (engl. Closed Loop Recycling)
CLP	Classification, Labelling and Packaging
CP	Chlorparaffine
DBP	Dibutylphthalat
DecaBDE	Decabromdiphenylether
DEHP	Diethylhexylphthalat
Dep	Deponierung
DGNB	Deutsche Gesellschaft nachhaltiges Bauen
DIBP	Diisobutylphthalat
DIDP	Diisodecylphthalat
DIN	Deutsches Institut für Normung
DNOP	Di-n-octylphthalat
DINP	Diisononylphthalat
DPP	Digitaler Produktpass
EB	Energetische Beseitigung
ECHA	European Chemicals Agency
EN	Europäische Norm: Standardisierte Normen zur Harmonisierung von Qualitäts- und Sicherheitsstandards.
EoL	Ende der Nutzungsdauer (engl. End of Life)
EPD	Umweltproduktdeklaration (engl. Environmental Product Declaration)
EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk
EPS	Expandiertes Polystyrol
Erd.	Erdberührt
EU	Europäische Union
EV	Energetische Verwertung
EVA	Ethylen-Vinylacetat-Copolymer
EWSA	Europäische Wirtschafts- und Sozialausschuss
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
FDP	Flexible polymermodifizierte Dickbeschichtung
FPO	Flexible Polyolefine
GEG	Gebäudeenergiegesetz

Gew.-%	Gewichtsprozent (Verwendung im Zusammenhang mit Konzentrationen gemäß Chemikalienrecht / REACH-Grenzwerten)
GFK	Glasfaserverstärkung
GISCODE	Gefahrstoff-Informationssystem-Code
GWP	Global Warming Potential
HBCD	Hexabromcyclododecan
HCl	Chlorwasserstoff
HDPE	Hart-Polyethylen (engl. High Density Polyethylen)
HFCKW	Teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe
HFKW	Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe
HPL	
IfBB	Institut für Bioplastik und Biokomposite
KFB	Kunststofffreies Bauen
KMR	Karzinogen (K), mutagen (M) und reproduktionstoxisch (R)
kt	Kilotonne = 1.000 Tonnen
LCA	Lebenszyklusanalyse, Ökobilanz (engl. Life Cycle Assessment)
LCCP	Langkettige Chlorparaffine
LDPE	Weich-Polyethylen (engl. Low Density Polyethylen)
M.-%	Massenprozent
MCCP	Mittelkettige Chlorparaffine
MDF	Mitteldichte Faserplatte (engl. Medium Density Fiberboard)
MDI	Methylendiphenyldiisocyanat
MDS	Mineralische Dichtungsschlämme
MF	Melamin-Formaldehydharz
MMA	Methylmethacrylat
MUF	Melamin-Harnstoff-Formaldehydharz (engl. Melamine-Urea-Formaldehyde)
NaWoh	Qualitätsisgel Nachhaltiger Wohnungsbau
NMP	Nano- und Mikroplastik
NPEO	Nonylphenoethoxylate
o.J.	ohne Jahr
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OSB	Ausgerichtete Spanplatte (engl. Oriented Strand Board)
PA	Polyamid
PBDE	Polybromierte Diphenylether
PBB	Polybromierte Biphenyle
PBT	Persistent, Bioakkumulierbar und Toxisch
PC	Polycarbonat
PCR	Post-Consumer-Rezyklat
PE	Polyethylen
PES	Polyester
PET	Polyethylenterephthalat
PE-HD	Polyethylen hoher Dichte (engl. High Density)
PE-LD	Polyethylen geringer Dichte (engl. Low Density)
PE-MD	Polyethylen mittlerer Dichte (engl. Middle Density)
PF	Phenol-Formaldehyd-Harz

PFAS	Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen
PFHxS	Perfluorhexansulfonsäure
PFOA	Perfluoroctansäure (engl. Perfluorooctanoic Acid)
PFOS	Perfluoroctansulfonsäure
pFR	Polymeres Flammschutzmittel (engl. poly Flame Retardant)
PIB	Polyisobutylen
PIR	Polyisocyanurat
PLA	Polylactid
PMBC	Polymermodifizierte Bitumendickbeschichtung (engl. Polymer Modified Bituminous Coating)
PMDI	Polymeres Diphenylmethandiisocyanat
PMMA	Polymethylmethacrylat
POCP	Photochemisches Ozonbildungspotenzial (engl. Photochemical Ozone Creation Potential)
POP	Persistente organische Schadstoffe (engl. Persistent Organic Pollutant)
PP	Polypropylen
PS	Polystyrol
PUR	Polyurethan (spezifische Bezeichnung für gehärtetes Polyurethan)
PVA	Polyvinylacetat
PVC	Polyvinylchlorid
PVC-U	Hart-Polyvinylchlorid
PVC-P	Weich-Polyvinylchlorid
QNG	Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude
RC	Recycling
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals
RMI	Primärrohstoffaufwand (engl. Raw Material Input)
SAN	Styrol-Acrylnitril-Copolymer
SBR	Styrol-Butadien-Kautschuk (engl. Styrol-Butadien-Rubber)
SBS	Styrol-Butadien-Styrol
SCIP	Substances of Concern In Products
SCCP	Kurzkettige Chlorparaffine
SV	Sonstige stoffliche Verwertung
SVHC	Besonders besorgniserregenden Stoffe (engl. Substances of Very High Concern)
SVOC	Mittel- und schwerflüchtige organische Verbindungen (engl. Semi Volatile Organic Compounds)
TBBPA	Tetrabrombisphenol A
TBT	Tributylzinn
TCPP	Tris(2-chlorisopropyl)phosphat
TDI	Toluoldiisocyanat
TEP	Triethylphosphat
TMR	Gesamtprimärmaterialaufwand (engl. Total Material Requirement)
TPO	Thermoplastische Polyolefine
UF	Harnstoff-Formaldehydharz
Vol.-%	Volumenprozent

VOC	Flüchtige organische Verbindungen (engl. Volatile Organic Compounds)
vPvB	sehr persistent, sehr bioakkumulierend (engl. very Persistent, very Bioaccumulative)
WAB	Außendämmung der Wand hinter Bekleidung
WAP	Außendämmung der Wand unter Putz
WDVS	Wärmedämmverbundsystems
WH	Wärmedämmschichten in Holzrahmen- und Holztafelbauweise
WHO	Weltgesundheitsorganisation
WU-Beton	Wasserundurchlässiger Beton
WV	Wiederverwendung
XPS	Extrudiertes Polystyrol

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Fassadenaufbau mit hohem Kunststoffanteil: u.a. XPS-Dämmung im Sockelbereich, PU-Schaum, Mineralwolle mit kunststoffhaltigem Bindemittel als Fassadendämmung, Kunststoffhalter zur Befestigung von der Dämmung (Bild: IBO GmbH)	13
Abbildung 2: Dacheindeckung mit Kunststoffanteilen: u.a. Kunststofffolien, EPDM-Abdichtung und Kunststoffverpackungen für Tonziegel, (Bild: Hochschule München).....	13
Abbildung 3: Branchenanteile an der Kunststoffverarbeitung in Deutschland nach Conversio Market & Strategy (2018: 15), Conversio Market & Strategy (2022 a: 25), Conversio Market & Strategy (2024: 13) und Österreich nach Facts Matter (2019: 32)	23
Abbildung 4: Verarbeitete Kunststoffarten (Rezyklat und Neuware) in Deutschland 2023 nach Conversio Market & Strategy (2024: 14).....	24
Abbildung 5: Verbaute Kunststoffarten im Bauwesen in Deutschland ohne Bitumen nach Bendix et al. (2021: 42) ...	25
Abbildung 6: Kunststoffabfälle in Mio. t nach Verwertungs- und Entsorgungsweg in Deutschland 2021 und 2023 (Conversio Market & Strategy 2022 a: 32; Conversio Market & Strategy 2024: 17).....	32
Abbildung 7: Verfahrenswege des werkstofflichen Kunststoffrecyclings nach Martens/Goldmann (2016: 272)	35
Abbildung 8: Verfahrenswege des rohstofflichen Kunststoffrecyclings nach Martens/Goldmann (2016: 272)	35
Abbildung 9: Im Rahmen des Projekts „Build Re-Use“ entwickeltes Bewertungsprinzip zur Wiederverwendung von Bauprodukten und Bauteilen (Meissner et al. 2024).....	39
Abbildung 10: Verbleib von Mikroplastik in der Umwelt in Deutschland 2018. Bau-, abbruch- und abfallbezogene Prozesse in g/(cap a) nach Bertling/Bertling/Hamann (2018: 10 f.).....	56
Abbildung 11: Verschiedene Ausführungen vom Aufbau eines Gebäudes (eigene Darstellung)	97
Abbildung 12: Warmdach: Holzsparren – Vollsparrendämmung	98
Abbildung 13: Bauteilaufbau Steildachkonstruktion 1 (gängig).....	105
Abbildung 14: Bauteilaufbau der Steildachkonstruktion 2 (gängig, PU-Dämmstoff)	106
Abbildung 15: Bauteilaufbau der Steildachkonstruktion 3 (alternativ).....	107
Abbildung 16: Balkendiagramme mit den Anteilen der Kunststoffgehalte der verschiedenen Materialien der 3 untersuchten Steildachkonstruktionen (eigene Darstellung).....	108
Abbildung 17: Balkendiagramme mit den Anteilen der Treibhausgasemissionen der verschiedenen Materialien für die Lebenszyklusphasen Herstellung (A1–A3), Austausch (B4) und End of Life (C3, C4) der 3 untersuchten Steildachkonstruktionen über 50 Jahre pro 1 m² Dachfläche (Annäherung: Flachsvlies statt Schafwollgedämmplatte) (eigene Darstellung)	109
Abbildung 18: Flachdach: Nicht belüftetes Flachdach mit Stahlbetontragwerk.....	111
Abbildung 19: Flachdach: Nicht belüftetes Flachdach mit Brettstapeldecke	111
Abbildung 20: Flachdach: Nicht belüftetes Flachdach mit Gründach.....	112
Abbildung 21: Bauteilaufbau Flachdachkonstruktion 1 (gängig)	119
Abbildung 22: Bauteilaufbau Flachdachkonstruktion 2 (Brettstapeldecke)	120
Abbildung 23: Bauteilaufbau der Flachdachkonstruktion 3 (alternativ, Kork).....	121
Abbildung 24: Balkendiagramme mit den Anteilen der Kunststoffinhalte der verschiedenen Materialien der 3 untersuchten Flachdachkonstruktionen (eigene Darstellung).....	122

Abbildung 25: Balkendiagramme mit den Anteilen der Treibhausgasemissionen der verschiedenen Materialien für die Lebenszyklusphasen Herstellung (A1–A3), Austausch (B4) und End of Life (C3, C4) der 3 untersuchten Flachdachkonstruktionen über 50 Jahre pro 1 m ² Dachfläche (eigene Darstellung)	123
Abbildung 26: Außenwand: Porenbetonwand, einschalig	125
Abbildung 27: Außenwand: Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS)	125
Abbildung 28: Außenwand: Holzrahmenbau mit hinterlüfteter Fassade	126
Abbildung 29: Bauteilaufbau Außenwandkonstruktion 1 (Porenbetonwand, einschalig)	132
Abbildung 30: Bauteilaufbau Außenwandkonstruktion 2 (Mauerwerk mit WDVS)	133
Abbildung 31: Bauteilaufbau Außenwandkonstruktion 3 (Holzrahmenbau mit hinterlüfteter Fassade)	134
Abbildung 32: Bauteilaufbau Außenwandkonstruktion 4 (alternativ)	135
Abbildung 33: Balkendiagramme mit den Anteilen der Kunststoffgehalte der verschiedenen Materialien der 4 untersuchten Außenwandkonstruktionen (eigene Darstellung)	136
Abbildung 34: Balkendiagramme mit den Anteilen der Treibhausgasemissionen der verschiedenen Materialien für die Lebenszyklusphasen Herstellung (A1–A3), Austausch (B4) und End of Life (C3, C4) der 4 untersuchten Außenwandkonstruktionen über 50 Jahre pro 1 m ² Dachfläche (eigene Darstellung)	137
Abbildung 35: Außenwand, erdberührt: Schwarze Wanne	139
Abbildung 36: Außenwand, erdberührt: Weiße Wanne	139
Abbildung 37: Bauteilaufbau der erdberührten Außenwandkonstruktion 1 (Schwarze Wanne)	143
Abbildung 38: Bauteilaufbau der erdberührten Außenwandkonstruktion 2 (Weiße Wanne)	144
Abbildung 39: Bauteilaufbau erdberührte Außenwandkonstruktion 3 (alternativ)	145
Abbildung 40: Kunststoffmasse der erdberührten Außenwandkonstruktionen nach Materialien in kg/m ² (eigene Darstellung)	146
Abbildung 41: Balkendiagramme mit den Anteilen der Treibhausgasemissionen der verschiedenen Materialien für die Lebenszyklusphasen Herstellung (A1–A3), Austausch (B4) und End of Life (C3, C4) der 3 untersuchten erdberührten Außenwandkonstruktionen über 50 Jahre pro 1 m ² Außenwandfläche (eigene Darstellung)	147
Abbildung 42: Vergleich der Massen in kg des Kunststoffs pro qm des Steildachs und des Flachdachs (eigene Darstellung)	148
Abbildung 43: Vergleich der Massen in kg des Kunststoffs pro qm der WDVS-Fassade und der vorgehängten Fassade (eigene Darstellung)	149
Abbildung 44: Vergleich der Massen in kg des Kunststoffs pro qm der Außenwand zur Außenluft und der erdberührten Außenwandkonstruktionen (eigene Darstellung)	149
Abbildung 45: Beispiel der Darstellung der „Zusammensetzung nach Rohstoffherkunft“ anhand der Silikonharzfarbe auf www.wecobis.de	152
Abbildung 46: Kriteriensteckbriefe zu Schadstoffen in Bauprodukten von BNB, QNG und ÖkoBauKriterien („österreichische baubook-Plattformen“) am Beispiel der Produktgruppe PIR/PUR-Dämmplatten, abgebildet auf baubook.at/zentrale	161
Abbildung 47: Darstellung der Ergebnisse aus der Bewertungsmatrix (eigene Darstellung)	165
Abbildung 48: Prozessschema des KFB-Tools. Es baut auf den bestehenden Daten und Algorithmen des baubook-Webportals auf (schwarzer Text). Neue Parameter und Algorithmen wurden in der Datenbank und im	

„eco2soft – Ökobilanz für Gebäude“-Rechner angelegt (blauer Text). Die blau schattierten Formen stellen das eigentliche KFB-Tool dar.	168
Abbildung 49: Auszug aus der baubook-Datenbank der Informationen zu kritischen Schadstoffen an einem Beispielprodukt zeigt.	169
Abbildung 50: Schematische Darstellung der Eingabemaske für die Rohstoffanteile und die Zirkularitätseigenschaften.....	172
Abbildung 51: Entscheidungsbaum zur Vermeidung von Kunststoffen in Konstruktionen.....	178
Abbildung 52: Umfrageergebnis: Anzahl der Hersteller nach Vertriebsländern der Kunststoffprodukte.....	214
Abbildung 53: Umfrageergebnis: Anzahl der Hersteller nach Art der verarbeiteten Kunststoffe.....	214
Abbildung 54: Eindrücke vom Workshop 1 „Wegweiser kunststofffreies Bauen – Stärken und Schwächen von Bauprodukten mit Kunststoffanteilen“, 25. Juli 2023, München.....	215
Abbildung 55: Eindrücke vom Workshop 2 „Kunststofffreies Bauen? – Indikatoren zur Bewertung und Arbeitshilfen“, 7. März 2024, München.....	216
Abbildung 56: Eindrücke vom Workshop 3 „Wegweiser kunststofffreies Bauen – von der Forschung in die Praxis“, 3. Dezember 2024, München.....	218
Abbildung 57: Doppelhaushälfte in Buchloe (Bild: Pfefferle).....	233
Abbildung 58: Baustelle des Neubaus (Bild: Guggenbichler und Wagenstaller).....	234
Abbildung 59: Baustelle der Bestandssanierung (Bild: Fröhlich).....	234

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Im Bauwesen verwendete typische Kunststoffe nach Kunststoffart mit Kunststoffkürzel gemäß International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) und Anwendungsbeispiele	26
Tabelle 2: Gegenüberstellung der Kunststoffverarbeitung von Neuware und Rezyklat nach Einsatzbereichen nach Conversio Market & Strategy (2024: 13)	33
Tabelle 3: Gegenüberstellung von Kunststoffverbrauch und Abfallaufkommen nach Conversio Market & Strategy (2024: 20)	34
Tabelle 4: Ausgewählte Grundstoffe, ihre Anwendungsbereiche und von ihnen ausgehende Gesundheits- und Umweltgefahren gemäß CLP-Verordnung (Europäische Union 2008)	62
Tabelle 5: Stoffgruppen, ihre gesetzlichen Anforderungen und Anforderungen in ausgewählten öffentlichen Beschaffungssystemen und Umweltzeichen	67
Tabelle 6 Durchschnittliche Zusammensetzung von PVC-Produkten (gemäß BMLFUW, 2002). *) z. B. Buntpigmente, Gleitmittel oder Flammschutzmittel.....	83
Tabelle 7: Bewertung des schematischen Steildachkonstruktionsaufbaus hinsichtlich des Bedarfs an Materialien mit Kunststoffgehalten	103
Tabelle 8: Steildachkonstruktion 1 (gängig) – Materialien und Kunststoffinhalte	105
Tabelle 9: Steildachkonstruktion 2 (gängig, PU-Dämmstoff) – Materialien und Kunststoffinhalte	106
Tabelle 10: Steildachkonstruktion 3 (alternativ) – Materialien und Kunststoffinhalte	107
Tabelle 11: Bewertung des schematischen Flachdachkonstruktionsaufbaus hinsichtlich des Bedarfes an Materialien mit Kunststoffgehalten	117
Tabelle 12: Flachdachkonstruktion 1 (gängig) – Materialien und Kunststoffinhalte	119
Tabelle 13: Flachdachkonstruktion 2 (Brettstapeldecke) – Materialien und Kunststoffinhalte	120
Tabelle 14: Flachdachkonstruktion 3 (alternativ, Kork) – Materialien und Kunststoffinhalte	121
Tabelle 15: Übersicht verschiedener Konstruktionsaufbauten von Außenwänden (angelehnt an Ragonesi et al. 2022: 218–220)	124
Tabelle 16: Bewertung des schematischen Steildachkonstruktionsaufbaus hinsichtlich des Bedarfs an Materialien mit Kunststoffgehalten	130
Tabelle 17: Außenwandkonstruktion 1 (Porenbetonwand, einschalig) – Materialien und Kunststoffinhalte	132
Tabelle 18: Außenwandkonstruktion 2 (Mauerwerk mit WDVS) – Materialien und Kunststoffinhalte	133
Tabelle 19: Außenwandkonstruktion 3 (Holzrahmenbau mit hinterlüfteter Fassade) – Materialien und Kunststoffinhalte	134
Tabelle 20: Außenwandkonstruktion 3 (Holzrahmenbau mit hinterlüfteter Fassade) – Materialien und Kunststoffinhalte	135
Tabelle 21: Bewertung des schematischen erdberührten Außenwandkonstruktionsaufbaus hinsichtlich des Bedarfs an Materialien mit Kunststoffgehalten	142
Tabelle 22: Erdberührte Außenwandkonstruktion 1 (Schwarze Wanne) – Materialien und Kunststoffinhalte	144
Tabelle 23: Erdberührte Außenwandkonstruktion 2 (Weiße Wanne) – Materialien und Kunststoffinhalte	144
Tabelle 24: Erdberührte Außenwandkonstruktion 3 (alternativ) – Materialien und Kunststoffinhalte	145
Tabelle 25: Kategorien und Klassen zur Beschreibung des Rückbaupotenzials	157

Tabelle 26: Zirkularitätspotenzial mit Kategorien zur Beschreibung der Zirkularität von Baustoffen („EoL-Kategorien“) und zugeordnete Klassen („EoL-Klassen“)	158
Tabelle 27: Überblick über die im Projekt abgeleiteten Indikatoren	164
Tabelle 28: Überblick über die Bewertungsmatrix für Kunststoffprodukte	167

ANHANG

Anhang 1: Interviews und Herstellerumfrage

Im Rahmen dieses Projekts wurden zwischen Oktober und Dezember 2023 Interviews mit 3 in Deutschland und Österreich vertretenen Bauproduktherstellern geführt. Die Befragung konzentrierte sich auf die Produktgruppen Farben, Putze, Klebe- und Spachtelmassen, da diese zu den Produkten mit „versteckten“ Kunststoffen zählen, für die bisher nur wenige bzw. stark schwankende Angaben zu den Kunststoffgehalten vorliegen. Anhand der Antworten der Interviewpartner:innen konnten Informationen aus der Online- und Literaturrecherche stichprobenartig verifiziert, widerlegt bzw. um herstellerindividuelle und Brancheninformationen ergänzt werden. Auf die Frage, wie das Unternehmen zu einer umfassenden Deklaration der Produktbestandteile, insbesondere von Kunststoffanteilen, stehe, äußerten sich die befragten Vertreter:innen der Unternehmen kritisch. Produktzusammensetzungen seien ein Betriebsgeheimnis und würden aufgrund der Wettbewerbssituation generell nicht bekannt gegeben.

Basierend auf den Interviews und den in den Recherchen aufgedeckten Datenlücken wurde dann eine Umfrage, wahlweise online, telefonisch oder per PDF-Datei für Bauprodukthersteller entwickelt und durchgeführt. Es sollten die bereits vorliegenden generischen und Produktdaten um bisher nicht dokumentierte Indikatoren, insbesondere Angaben zu (Recycling-)Kunststoffanteilen, Kunststofffreisetzung und End-of-Life-Szenarien, ergänzt werden. Angeschrieben wurden Hersteller in Deutschland und Österreich, die durch ihre Teilnahme an Zertifizierungen, Deklaration in der Datenbank baubook oder als Projektpartner:in eine prinzipielle Bereitschaft zur Fragenbeantwortung gezeigt hatten.

Die Umfrage konzentrierte sich auf Fragen zu mineralischen Bauprodukten, Holz und Holzwerkstoffen, Folien und Abdichtbahnen, Dämmstoffe und Bodenbeläge und wurde an über 400 Adressat:innen versendet. Die Rücklaufquote betrug mit 23 auswertbaren Fragebögen knappe 6 % und brachte folgende Erkenntnisse:

- Die Vertriebsländer sind Deutschland, Österreich, Schweiz, Italien sowie andere EU-Länder (Abbildung 52).
- Entsprechend der abgefragten Produktgruppen werden für Dämmstoffe typische Kunststoffe wie Polystyrol, Polyurethan und Phenolharz sowie Kautschuk, Polyolefine, Polyester sowie Melaminharze eingesetzt (Abbildung 53).
- Eintragswege von Kunststoffpartikeln in die Umwelt sind den Produzent:innen außerhalb ihres direkten Einflussbereichs (Produktionsstätte) weniger bewusst, insbesondere bei Produkten mit „versteckten“ Kunststoffen. Eine Ausnahme sind beispielsweise Hersteller von Dämmstoffen, die in ihren Verarbeitungsrichtlinien auf einen möglichst emissionsfreien Zuschnitt hinweisen und teils Rücknahmesysteme für Verschnitt aufgebaut haben.
- Der mengenmäßige Einsatz von Sekundärrohstoffen hängt von der schwankenden Verfügbarkeit und Qualität ab.
- Kritische Substanzen wie halogenorganische Verbindungen (z. B. in Flammschutzmitteln) oder KMR-Stoffe (z. B. in Kleberkomponenten) können enthalten sein.
- Produkt- und Stoffinformationen sind oft vorhanden, werden geprüft und deklariert.

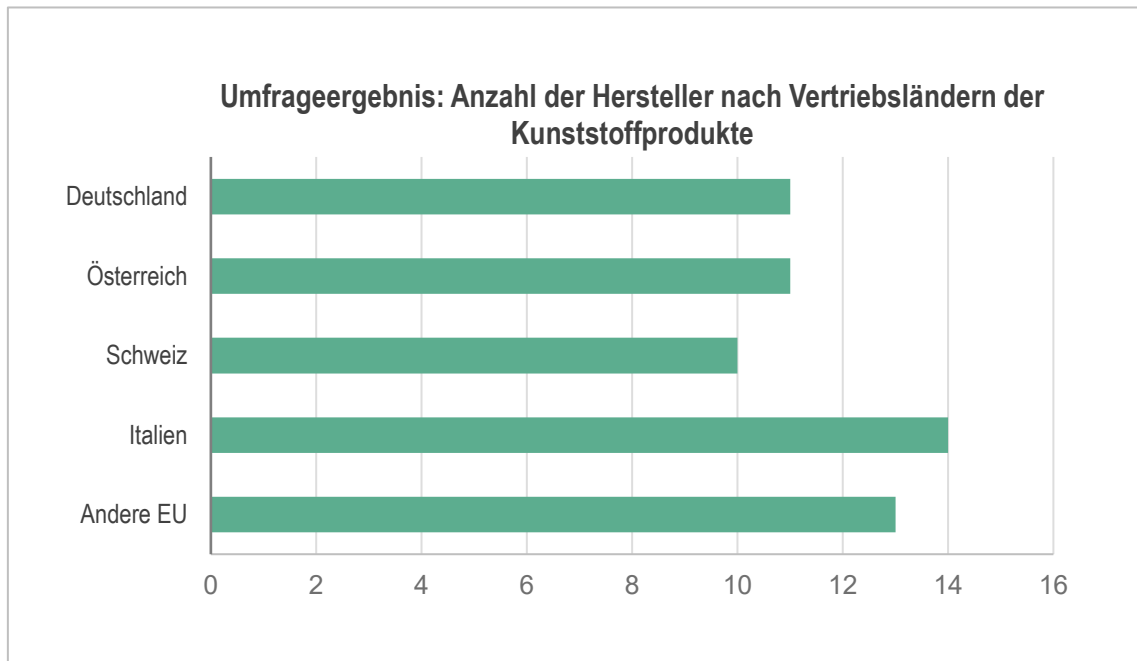


Abbildung 52: Umfrageergebnis: Anzahl der Hersteller nach Vertriebsländern der Kunststoffprodukte

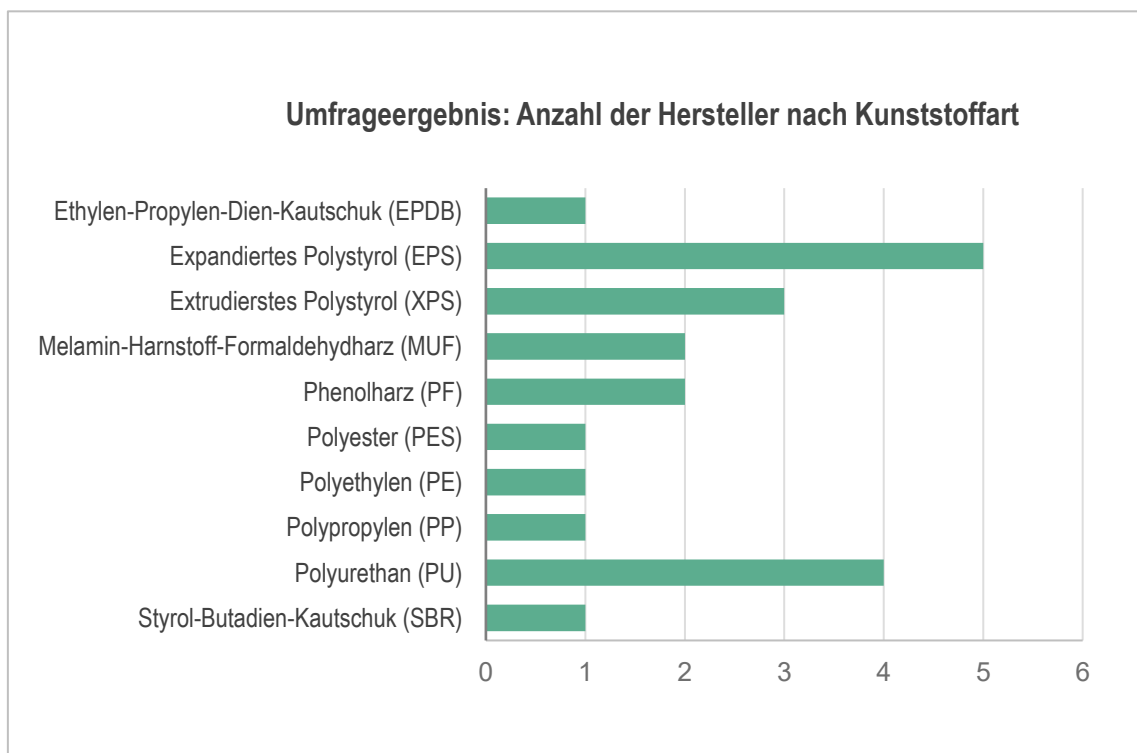


Abbildung 53: Umfrageergebnis: Anzahl der Hersteller nach Art der verarbeiteten Kunststoffe

Anhang 2: Workshops

Workshop 1 „Kunststofffreies Bauen? – Stärken und Schwächen von Bauprodukten mit Kunststoffanteilen“

Am 25. Juli 2023 fand an der Hochschule München der erste Workshop des Forschungsprojekts „Wegweiser kunststofffreies Bauen“ statt (Abbildung 54). Sein Ziel war es, die Stärken und Schwächen von Bauprodukten mit Kunststoffanteilen zu analysieren und ihre Relevanz für die Umwelt zu bewerten. Die Veranstaltung brachte Expert:innen aus Forschung, Industrie und Planung zusammen, um Impulse für das Projekt zu sammeln und eine strukturelle Vernetzung zu fördern.

Stärken und Schwächen von Bauprodukten mit Kunststoffanteilen

- Stärken: Leichtigkeit, Anpassungsfähigkeit, optische Vielseitigkeit und Effizienz in der Verarbeitung wurden als Hauptvorteile identifiziert. Insbesondere bei Feuchteabdichtungen und Bauchemikalien spielen Kunststoffprodukte eine bedeutende Rolle.
- Schwächen: Kritische Punkte umfassen u. a. das Brandverhalten, die Alterung, die Umweltbelastungen bei der Herstellung und Entsorgung sowie die Kreislauffähigkeit. Bauprodukte mit Kunststoffanteilen sind in Bereichen wie Lehm- und Holzbau, Denkmalsanierungen und Grundkonstruktionen weniger geeignet.

Indikatoren zur Bewertung der Umweltrelevanz

- Die Teilnehmenden definierten zentrale Indikatoren wie Kreislauffähigkeit, Schadstofffreiheit und Rückbaufreundlichkeit. Herausforderungen zur Bewertung der Umweltrelevanz wurden in der Datenverfügbarkeit und Vergleichbarkeit dieser identifiziert. Der Wunsch der Teilnehmenden war es, dass die Ergebnisse in einen Leitfaden für die Praxis einfließen.

Feedback und Handlungsempfehlungen

Die Diskussion offenbarte den Bedarf an weiteren Analysen von Bauprodukten wie Dämmstoffen, Verbundmaterialien und Produkten mit „versteckten“ Kunststoffanteilen. Zudem wurde die Wichtigkeit von Weiterbildung und Sensibilisierung von Planungsbeteiligten und Verarbeiter:innen betont.

Fazit und Ausblick

Der Workshop ermöglichte einen produktiven Austausch und legte eine solide Basis für die weiteren Arbeitspakete des Projekts. Die Erkenntnisse flossen direkt in die Entwicklung von Leitlinien und Handlungsempfehlungen ein. Zukünftige Workshops werden auf diesen Ergebnissen aufbauen, um praxisnahe Lösungen für ein kunststofffreies Bauen zu erarbeiten.



Abbildung 54: Eindrücke vom Workshop 1 „Wegweiser kunststofffreies Bauen – Stärken und Schwächen von Bauprodukten mit Kunststoffanteilen“, 25. Juli 2023, München

Workshop 2 „Kunststofffreies Bauen? – Indikatoren zur Bewertung und Arbeitshilfen“

Der zweite Workshop des Forschungsprojekts „Wegweiser kunststofffreies Bauen“ fand am 7. März 2024 an der Hochschule München statt (Abbildung 55). Ziel war es, Indikatoren zur Bewertung der umweltrelevanten Auswirkungen von Bauprodukten mit Kunststoffgehalten zu entwickeln und die Praxistauglichkeit der Arbeitshilfen, u. a. des Bewertungstools, zu erproben. Vertreter:innen aus Wissenschaft, Praxis und Industrie diskutierten die Chancen und Herausforderungen eines nachhaltigen Umgangs mit Kunststoffen im Bauwesen.

Indikatoren zur Bewertung

Die Teilnehmenden identifizierten zentrale Indikatoren wie Kreislauffähigkeit, Schadstoffreduktion, Langlebigkeit und Umweltwirkungen. Sie betonten vor allem die Notwendigkeit von Transparenz in der Lieferkette und von Daten zur Recyclingfähigkeit. Herausforderungen bestehen bei der Deklaration von Kunststoffanteilen, der Messung von Mikroplastik und der Qualität von Recyclingkunststoffen.

Praxistauglichkeit von Arbeitshilfen

Es wurde ein Bewertungsansatz diskutiert, der sowohl detaillierte Informationen als auch einfache Abschätzung bietet. Wichtige Anforderungen an das Bewertungstool umfassen:

- Niederschwellige Zugänglichkeit für verschiedene Zielgruppen,
- Integration in bestehende Tools wie WECOBIS und UBAKUS (U-Wert-Rechner),
- Entwicklung einer Entscheidungsmatrix mit spezifischen Gewichtungen der Indikatoren.

Zudem wurden praktische Beispiele herangezogen, um die Anwendbarkeit des Bewertungstools zu testen und Verbesserungsvorschläge zu erarbeiten.

Feedback und Handlungsempfehlungen

Die Teilnehmenden regten an, den Fokus auf großvolumige Bauprodukte wie Dämmstoffe und Bodenbeläge zu legen. Sie betonten, dass die Transparenz der Inhaltsstoffe entscheidend für eine fundierte Bewertung sei und die Komplexität durch einfache und zielgerichtete Arbeitshilfen reduziert werden sollte.

Fazit und Ausblick

Der Workshop förderte einen intensiven Austausch und zeigte die Bedeutung interdisziplinärer Zusammenarbeit auf. Die Ergebnisse sind in die Entwicklung von Leitlinien und Praxisbeispielen eingefloßen, um eine breite Anwendbarkeit der Erkenntnisse sicherzustellen.



Abbildung 55: Eindrücke vom Workshop 2 „Kunststofffreies Bauen? – Indikatoren zur Bewertung und Arbeitshilfen“, 7. März

2024, München

Workshop 3 „Kunststoffreies Bauen? – Von der Forschung in die Praxis“

Der Workshop am 3. Dezember 2024 in der Hochschule München bot eine Plattform für interdisziplinären Austausch zwischen Forschenden, Architekt:innen, Vertreter:innen der Bauwirtschaft und der öffentlichen Hand (Abbildung 56). Das Forschungsteam hat die wichtigsten Erkenntnisse in Zahlen, Fakten und Herausforderungen des Einsatzes von Kunststoffen im Bauwesen vorgestellt. Außerdem haben verschiedene Expert:innen Praxisbeispiele präsentiert und ihre Erfahrungen geteilt. Ziel des Workshops war es, die entwickelten Arbeitshilfen zum nachhaltigen Umgang mit Kunststoffen im Bauwesen vorzustellen und ein Feedback von den Expert:innen aus der Praxis zu erhalten.

Impulsvorträge externer Expert:innen

In seinem Vortrag „Radikal ökologisch“ stellte Michael Sedlmeier (architekturei) verschiedene Bauprojekte vor, die nahezu ausschließlich aus natürlichen Materialien bestehen, darunter ein Strohballenhaus und eine Holzjurte. Er betonte die Bedeutung lokaler und nachwachsender Baustoffe wie Lehm und Hanf sowie die Herausforderung, vollständig auf Beton und Kunststoffe zu verzichten. Sedlmeier zeigte anhand von Details wie Fensteranschlüssen und Dämmmaterialien, wie ökologisches Bauen in der Praxis umgesetzt werden kann, und inspirierte mit der Vision radikal nachhaltiger Bauweisen.

Gabriele Götz (Ziegelei Götz) stellte in ihrem Vortrag „Lehm als Kunststoffersatz“ Einsatzbereiche vor, in denen Alternativen mit Lehm eine Option zu kunststoffhaltigen Produkten sind. Dabei stellte sie anspruchsvolle Planungsaufgaben wie den Umgang im erdberührten Wandbereich (Kellerabdichtung und braune Wanne) ebenso vor wie Lösungen für den kunststofffreien Aufbau einer Fußboden- oder Wandheizung. Ihre Erfahrungen mit Lehmkleber als Fliesenkleber und sogar Lehm als Außenputz zeigten die Breite der Anwendungsmöglichkeiten von Lehmprodukten auf. Ihr Einblick in die Praxis legte einen Schwerpunkt auf den Ersatz von kunststoffhaltigen Bauprodukten durch regionale und kreislauffähige Lehmprodukte.

Mit seinem Vortrag „Es ist ganz einfach, aber enorm schwierig“ beleuchtete Peter Kummermehr (kummermehrARCHITEKTUR) die Ambivalenz des kunststofffreien Bauens. Er hob hervor, dass viele nachhaltige Baustoffe technische Herausforderungen mit sich bringen und Zielkonflikte, etwa zwischen Funktionalität und Ästhetik, häufig auftreten. Anhand von Projekten wie einem Wohnhaus, das weitgehend ohne petrochemische Materialien realisiert wurde, veranschaulichte er die Machbarkeit solcher Ansätze.

Indikatoren und Bewertungstool

Das Forschungsteam stellte die finalen Indikatoren und Kriterien zum Bewerten kunststoffhaltiger Bauprodukte vor. Aufbauend auf diese Indikatoren und Kriterien hat das Team ein Bewertungstool für Planungsbeteiligte und Entscheidungsträger:innen erarbeitet. Die Anwendung des Bewertungstools wird anhand von Dachaufbauten der im Projekt untersuchten Fallstudien vorgestellt.

Das Bewertungstool für kunststoffhaltige Produkte wurde hinsichtlich seiner Funktionalität und Praxistauglichkeit diskutiert. Wichtige Punkte waren:

- Differenzierbarkeit: Das Tool sollte nicht nur die Menge, sondern auch die Art der Kunststoffe bewerten können.
- Die Bewertung sollte auch auf der Bauteilebene erfolgen.
- Kritik: Es besteht die Gefahr, dass durch das Tool Verantwortung diffundiert, die Hersteller sollten nicht aus der Verantwortung genommen werden.
- Daten und Transparenz: Verlässliche Daten und Transparenz seitens der Hersteller sind essenziell.

- Strategische Ansätze: Investor:innen müssen stärker eingebunden werden.
- Zukunftsperspektiven: Die Vernetzung von Informationen ist entscheidend, um nachhaltige Alternativen zu etablieren.

Diese Diskussion unterstreicht die Notwendigkeit von Transparenz, effektiver Datenbereitstellung und einer breiten Zusammenarbeit aller Beteiligten.



Abbildung 56: Eindrücke vom Workshop 3 „Wegweiser kunststofffreies Bauen – von der Forschung in die Praxis“, 3. Dezember 2024, München

Anhang 3: Bewertungsmatrix für Kunststoffprodukte

Diese Bewertungsmatrix beschreibt die Überführung der Indikatoren in Kriterien mit Grenzen für 5 Stufen. Sie ist die Grundlage für die Umsetzung eines Onlinetools, welches Bauprodukte nach den entwickelten Indikatoren darstellt und gegebenenfalls Ersatzbaustoffe bzw. -bauweisen vorschlägt.

Damit soll eine Sensibilisierung für das Thema Kunststoffanteile in Bauprodukten, welches Risikopotenzial in den Baustoffen steckt und welche Optimierungsmöglichkeiten es gibt, erreicht werden.

Die Abschnitte sind immer in der gleichen Systematik aufgebaut:

- Einleitungstext: Zu Beginn werden das Thema und die Inhalte des Kriteriums beschrieben.
- Bewertung: Das Produkt wird hinsichtlich der 5 Stufen bewertet. Der Text gibt an auf welcher Stufe das Produkt eingestuft ist und was die höchste Stufe (5) und die niedrigste Stufe (0) bedeuten. Im Text werden Platzhalter (XX) für die Einstufung und weitere Daten bzw. der Begründungstext, der mit der Einstufung zusammenhängt, platziert. Außerdem wird die Tabelle mit den Einstufungen und den Texten angegeben.
- Verbesserungspotenzial: Es wird kurz das Verbesserungspotenzial beschrieben und auf die weiteren Informationsseiten des Forschungsprojekts „Wegweiser kunststofffreies Bauen“ für vertiefte Informationen verwiesen.

Überblick über die Bewertungsmatrix für Kunststoffprodukte

Indikator	5	4	3	2	1	0
Kunststoffgehalt	≤ 1 M.-%	≤ 10 M.-%	≤ 50 M.-%	< 75 M.-%	> 75 M.-%	Keine Angaben zu Mengen oder zur Kunststoffart
Einsatz von RC- und Biokunststoffen	100 M.-% der Primärkunststoffe wurden durch Sekundärkunststoffe oder bioabbaubare und/oder biobasierte Kunststoffe ersetzt; die Kunststoffarten und Mengen sind deklariert.	≥ 60 M.-% der Primärkunststoffe wurden durch Sekundärkunststoffe oder bioabbaubare und/oder biobasierte Kunststoffe ersetzt; die Kunststoffarten und Mengen sind deklariert.	≥ 30 M.-% der Primärkunststoffe wurden durch Sekundärkunststoffe oder bioabbaubare und/oder biobasierte Kunststoffe ersetzt; die Kunststoffarten und Mengen sind deklariert.	Primärkunststoffe wurden teilweise durch Sekundärkunststoffe oder bioabbaubare und/oder biobasierte Kunststoffe ersetzt; die Kunststoffarten und Mengen sind deklariert.	Keine Sekundärrohstoffe oder bioabbaubaren oder biobasierten Kunststoffe werden eingesetzt; die Kunststoffarten und Mengen sind deklariert.	Keine Angaben zum Einsatz von Sekundärrohstoffen oder bioabbaubaren und/oder biobasierten Kunststoffen.
Kritische Inhaltsstoffe	Das Produkt ist mit einem anerkannten Umweltzeichen ausgezeichnet oder zusätzlich zu den Anforderungen der Stufe 4 liegt eine Volldeklaration (Art und Menge aller eingesetzten Stoffe) vor.	Das Produkt enthält keine SVHC und erfüllt die Anforderungen von QN5*) der BNB 1.1.6 Kriterien bzw. alle Standardkriterien der Öko-BauKriterien. *) Ab Herausgabe des neuen BNB-KSB: QN3	Das Produkt erfüllt die Anforderungen von QN5*) der BNB 1.1.6 Kriterien bzw. alle zutreffenden Standardkriterien der ÖkoBauKriterien. *) Ab Herausgabe des neuen BNB-KSB: QN3	Das Produkt erfüllt die Anforderungen von QN3*) der BNB 1.1.6 Kriterien. *) Ab Herausgabe des neuen BNB-KSB: QN2	Das Produkt erfüllt die Anforderungen von QN1 der BNB 1.1.6 Kriterien bzw. die Standardkriterien der ÖkoBauKriterien mit begründeten Ausnahmen.	Keine Angaben sind vorhanden oder Anforderungen werden nicht erfüllt.
Kreislauffähigkeit /EoL	Das Produkt kann wiederverwendet werden (EoL-Klasse A des Zirkularitätspotenzials, Nachweise vorhanden).	Das Produkt kann in einem geschlossenen Kreislauf (Infrastruktur vorhanden) recycelt werden (EoL-Klasse B des Zirkularitätspotenzials).	Das Produkt kann recycelt werden (EoL-Klasse C des Zirkularitätspotenzials).	Das Produkt kann mit Aufbereitungsaufwand recycelt werden (EoL-Klasse D des Zirkularitätspotenzials).	Das Produkt kann einer energetischen oder sonstigen stofflichen Verwertung zugeführt werden (EoL-Klasse E des Zirkularitätspotenzials)	Das Produkt kann weder stofflich noch energetisch verwertet werden (EoL-Klasse F oder G des Zirkularitätspotenzials).
Kreislauffähigkeit /Rückbaufähigkeit	Das Produkt ist zerstörungsfrei rückbaubar (Klasse I des Rückbaupotenzials).	Das Produkt ist weitgehend zerstörungsfrei rückbaubar (Klasse II des Rückbaupotenzials).	Das Produkt ist nicht zerstörungsfrei, aber ohne Stör- und Fremdstoffe rückbaubar (Klasse III des Rückbaupotenzials).		Das Produkt ist nur mit Fremd- und Störstoffen verunreinigt rückbaubar (Klasse IV des Rückbaupotenzials), enthält aber keine Störstoffe der Kategorie S3 oder S4.	Das Produkt ist nur mit Fremd- oder Störstoffen rückbaubar, die das hochwertige Recycling der angrenzenden Schichten erschweren (S3) oder verhindern (S4).

Mikroplastik – Baustelle	Das Bauprodukt muss auf der Baustelle nicht geschnitten, geschliffen, lose eingebracht oder flüssig angebracht werden (z. B. Fertigteile).		Das Produkt wird auf der Baustelle verarbeitet und staubarm zugeschnitten und/oder mechanisch verbunden (geschraubt, geheftet) (z. B. Folien, Rohre, Bauplatten).		Das Produkt wird auf der Baustelle verarbeitet und flüssig aufgetragen, lose eingebracht, geschliffen oder mit erhöhtem Staubaufkommen zugeschnitten, aber es gibt ein Maßnahmenpaket zur Vermeidung von Mikroplastik.	Das Produkt wird auf der Baustelle verarbeitet und flüssig aufgetragen, lose eingebracht, geschliffen oder mit erhöhtem Staubaufkommen zugeschnitten, es gibt kein Maßnahmenpaket zur Vermeidung von Mikroplastik.
Mikroplastik – Nutzungsphase	Es handelt sich um kein Oberflächenmaterial mit Kunststoffgehalt; Mikroplastikfreisetzung ist nicht möglich.	Es handelt sich um ein Oberflächenmaterial mit Kunststoffgehalt, aber es ist keine Mikroplastikfreisetzung z. B. infolge von Abrieb, Abwaschung, Bewitterung (Sonneneinstrahlung, Windlasten, Hagel-, Regenereignisse etc.) möglich.	Es handelt sich um ein Oberflächenmaterial mit Kunststoffgehalt mit Nachweisen, dass die Mikroplastikfreisetzung begrenzt ist.		Es handelt sich um Teppiche, Textilien, Farben oder Lacke, Kunststoffbahnen oder Bodenbeläge mit Kunststoffinhalten mit Nachweisen, dass die Mikroplastikfreisetzung begrenzt ist.	Es handelt sich um Teppiche, Textilien, Farben oder Lacke, Kunststoffbahnen oder Bodenbeläge mit Kunststoffinhalten ohne Nachweise zur Begrenzung der Mikroplastikfreisetzung.
Mikroplastik – Rückbau	Das Bauprodukt ist weitgehend zerstörungsfrei rückbaubar und beim Rückbau des Bauprodukts wird nachweislich kein Mikroplastik freigesetzt (Kunststoff fest im Produkt eingebunden).		Das Bauprodukt ist weitgehend zerstörungsfrei rückbaubar und es gibt ein Maßnahmenpaket, das sicherstellt, dass kein Mikroplastik beim Rückbau freigesetzt wird.		Das Bauprodukt ist nicht zerstörungsfrei rückbaubar, kann aber vollständig von anderen Baustoffen getrennt werden und ein Maßnahmenpaket zur Vermeidung von ist Mikroplastik vorhanden.	Beim Rückbau kann Mikroplastik freigesetzt werden oder Keine Informationen zur Thematik sind vorhanden.

Kunststoffgehalt

Neben offensichtlichen Kunststoffprodukten wie beispielsweise synthetischen Dämmstoffen, elastischen Bodenbelägen, Rohren, Dichtungsbahnen, Dampfbremsen usw. sind Kunststoffe auch in anderen Bauprodukten als funktionsgebende Komponente oder als Zusatzmittel enthalten. Diese „versteckten“ Kunststoffe dienen als Bindemittel in Farben, Putzen oder Holzwerkstoffen, als verarbeitungs- oder nutzungsoptimierende Zusatzmittel in Betonen, Estrichen, Bauplatten, Farben, Putzen oder (werkseitigen) Oberflächenbeschichtungen von Bodenbelägen, Fenstern und Türen oder als Bindemittel oder Stützfaser in Faserdämmstoffen. Die Art und Menge der eingesetzten Kunststoffe variiert je nach Produktgruppe und Funktion. Angegeben wird der gesamte Kunststoffanteil ohne Berücksichtigung von Recyclingkunststoffanteilen oder biobasierten Kunststoffanteilen in M.-%. Diese Einheit dient dabei der Veranschaulichung auf Produktebene. Ebenso wichtig ist aber der nominale Wert in kg der verbauten Menge in einem Bauteil bzw. im gesamten Gebäude. Die Mengen werden informativ angegeben. Produkte mit einem hohen Kunststoffanteil können Vorteile bei anderen Indikatoren wie der Recyclingfähigkeit haben. Deshalb wird dieser Indikator „Kunststoffgehalt“ nicht separiert von den weiteren Indikatoren betrachtet. Um in Zukunft den Umgang mit Kunststoffen in Bauprodukten zu optimieren, ist es wichtig, dass Informationen zu den eingesetzten Kunststoffen und deren Mengen ausgewiesen werden.

Eine Volldeklaration umfasst analog der EU-Kosmetik-VO¹⁶ zumindest eine Nennung der im Produkt verbleibenden Einsatzstoffe < 1 M % nach abnehmendem Massenanteil.

Bewertung

Dieses Produkt enthält XX % Kunststoffe und die Kunststoffarten werden deklariert. Damit erreicht das Produkt die XX. Bewertungsstufe von 5 Stufen, wobei die 5. Stufe bei einem Kunststoffgehalt ≤ 1 % erreicht wird. Die Stufe 0 wird vergeben, wenn keine Angaben zu Mengen und Kunststoffarten vorhanden sind.

Stufe	5	4	3	2	1	0
	≤ 1 M.-%	≤ 10 M.-%	≤ 50 M.-%	< 75 M.-%	> 75 M.-%	Keine Angaben zu Mengen oder zur Kunststoffart

Verbesserungspotenzial

In unserer Produktliste finden Sie weitere Produkte, die entweder einen relativ geringeren Kunststoffgehalt haben oder in denen Primärkunststoffe durch Recyclingkunststoffe oder bioabbaubare und/oder biobasierte Kunststoffe ersetzt wurden.

¹⁶ Verordnung (EG) Nr. 1223/2009 des Europäischen Parlaments und des Rats vom 30. November 2009 über kosmetische Mittel. Online unter: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:342:0059:0209:de:PDF> (zuletzt abgerufen am 17.03.2025).

Einsatz von RC- und Biokunststoffen

Als Recycling (RC)-Kunststoffe werden solche Kunststoffe bezeichnet, die aus der Aufbereitung und dem Post-Consumer-Rezyklat (PCR) von Kunststoffabfällen hergestellt werden. Nicht berücksichtigt wird das Pre-Consumer-Recycling (synonym: Post-Industrial Recycling) von beispielsweise Kunststoffverschnitten in derselben Produktion.

Die Abkürzung Bio steht hier für biobasierte Kunststoffe. Biobasierte Kunststoffe werden ganz oder teilweise aus erneuerbaren, nicht fossilen Rohstoffen hergestellt (z. B. Mais, Zuckerrohr, Proteine, Keratin, Chitin). Sie können biologisch abbaubar sein, müssen es aber nicht.

Biologisch abbaubare (bioabbaubare) Kunststoffe sind dagegen Kunststoffe, die durch Mikroorganismen in natürliche Bestandteile wie Wasser und CO₂ (oder Methan) zerlegt werden können. Informationen zur Problematik der Bioabbaubarkeit von Kunststoffen sind im Forschungsbericht zu finden. Die Bioabbaubarkeit ist in diesem System kein Kriterium für die Bewertung eines Bauprodukts.

Der Ersatz von auf fossilen Rohstoffen basierten Kunststoffen (Primärkunststoffen) kann Ressourcen, vor allem fossile Rohstoffe, und oft auch Herstellungenergie einsparen. Trotzdem müssen auch RC-Kunststoffe und bioabbaubare und/oder biobasierte Kunststoffe auf ihre Nachhaltigkeit hin überprüft werden. Es bestehen vergleichbare Risiken, z. B. der Schadstoffverschleppung, des Eintrags von Mikroplastik oder anderen kritischen Bestandteilen und Inhaltsstoffen in die Umwelt.

Wichtig ist auch bei RC-Kunststoffen und bioabbaubaren und/oder biobasierten Kunststoffen, dass Informationen zu den eingesetzten Kunststoffarten und der eingesetzten Menge im Produkt verfügbar sind. Empfehlenswert ist eine Volldeklaration, welche analog der EU-Kosmetik-VO¹⁷ zumindest eine Nennung der im Produkt verbleibenden Einsatzstoffe < 1 M % nach abnehmendem Massenanteil umfasst.

Bewertung

Dieses Produkt erreicht die Stufe **XX** von 5, da **XX**

Stufe	5	4	3	2	1	0
	100 M.-% der Primärkunststoffe durch Sekundärkunststoffe oder bioabbaubare und/oder biobasierte Kunststoffe ersetzt wurden und die Kunststoffarten und Mengen deklariert sind.	≥ 60 M.-% der Primärkunststoffe durch Sekundärkunststoffe oder bioabbaubare und/oder biobasierte Kunststoffe ersetzt wurden und die Kunststoffarten und Mengen deklariert sind.	≥ 30 M.-% der Primärkunststoffe durch Sekundärkunststoffe oder bioabbaubare und/oder biobasierte Kunststoffe ersetzt wurden und die Kunststoffarten und Mengen deklariert sind.	Primärkunststoffe teilweise durch Sekundärkunststoffe oder bioabbaubare und/oder biobasierte Kunststoffe ersetzt wurden und die Kunststoffarten und Mengen deklariert sind.	keine Sekundärrohstoffe oder bioabbaubaren oder biobasierten Kunststoffe eingesetzt werden und die Kunststoffarten und Mengen deklariert sind.	keine Angaben zum Einsatz von Sekundärrohstoffen oder bioabbaubaren und/oder biobasierten Kunststoffen vorhanden sind.

¹⁷ Verordnung (EG) Nr. 1223/2009 des Europäischen Parlaments und des Rats vom 30. November 2009 über kosmetische Mittel. Online unter: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:342:0059:0209:de:PDF> (zuletzt abgerufen am 17.03.2025).

Die 5. Stufe wird erreicht, wenn 100 % der Primärkunststoffe durch Sekundärkunststoffe oder bioabbaubare und/oder biobasierte Kunststoffe ersetzt und die Kunststoffarten und Mengen deklariert wurden. Die unterste Stufe wird vergeben, wenn keine Angaben zum Einsatz von Sekundärrohstoffen oder bioabbaubaren und/oder biobasierten Kunststoffe vorhanden sind.

Verbesserungspotenzial

In unserer Produktliste finden Sie weitere Materialien, die entweder einen geringeren Kunststoffgehalt haben oder in denen Primärkunststoffe durch Recyclingkunststoffe oder bioabbaubare und/oder biobasierte Kunststoffe ersetzt wurden.

Kritische Inhaltsstoffe

Baustoffe können kritische Inhalts- und Ausgangsstoffe beinhalten oder Stoffe emittieren, welche Befindlichkeitsstörungen bis hin zu Krankheiten und/oder Umweltgefahren verursachen können. Die Verarbeitung von reaktiven Ausgangsstoffen wie Isocyanaten oder Epoxidharzen geht oft mit Gesundheitsgefährdungen einher. Additive verleihen Kunststoffen bestimmte Eigenschaften, die sie stabiler, weicher, bunter oder sicherer machen sollen. Allerdings können vor allem diese Zusatzstoffe in Kunststoffen oft toxisch und schwer abbaubar sein. Auch im Mikroplastik sind sie noch vorhanden und belasten die Umwelt weiterhin. Die Toxizität hängt maßgeblich von der Art und Menge der Additive im Kunststoff ab. Zu den industriell weitverbreiteten Additiven zählen u. a. Weichmacher, UV-Stabilisatoren und Flammschutzmittel. Insbesondere bromierte Flammschutzmittel stehen aufgrund ihres hohen gesundheitsschädlichen Potenzials in der Kritik.

Dieses Kriterium verweist auf zwei Kriterienkataloge zur Vermeidung von Bauprodukten, die aufgrund ihrer Schadstoffgehalte oder Schadstofffreisetzungen ein Risikopotenzial für die Umwelt oder gesundheitliche Beeinträchtigungen bei der Verarbeitung auf der Baustelle oder in der Nutzungsphase verursachen können:

- BNB-Kriteriensteckbrief 1.1.6 „Risiken für die lokale Umwelt“
- ÖkoBauKriterien

Anerkannte Umweltzeichen sind vor allem Typ I Label, deren Kriterien wissenschaftsbasiert entwickelt und regelmäßig aktualisiert werden, den Lebenszyklus berücksichtigen und deren Einhaltung von Dritten überprüft wird, z. B. der Blaue Engel oder natureplus.

Eine Volldeklaration umfasst analog der EU-Kosmetik-VO¹⁸ zumindest eine Nennung der im Produkt verbleibenden Einsatzstoffe < 1 M % nach abnehmendem Massenanteil.

Bewertung

Dieses Produkt wird mit **XX** von 5 Punkten bewertet, da **XX**

¹⁸ Verordnung (EG) Nr. 1223/2009 des Europäischen Parlaments und des Rats vom 30. November 2009 über kosmetische Mittel. Online unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/ALL/?uri=CELEX%3A32009R1223> (zuletzt abgerufen am 17.03.2025).

Stufe	5	4	3	2	1	0
	das Produkt mit einem anerkannten Umweltzeichen ausgezeichnet ist oder zusätzlich zu den Anforderungen der Stufe 4 eine Volldeklaration (Art und Menge aller eingesetzten Stoffe) vorliegt.	das Produkt keine SVHC enthält und die Anforderungen von QN5*) der BNB 1.1.6 Kriterien bzw. alle Standardkriterien der Öko-BauKriterien erfüllt. *) Ab Herausgabe des neuen BNB-KSB: QN3	das Produkt die Anforderungen von QN5*) der BNB 1.1.6 Kriterien bzw. alle zutreffenden Standardkriterien der ÖkoBauKriterien erfüllt. *) Ab Herausgabe des neuen BNB-KSB: QN3	das Produkt die Anforderungen von QN3*) der BNB 1.1.6 Kriterien erfüllt. *) Ab Herausgabe des neuen BNB-KSB: QN2	das Produkt die Anforderungen von QN1 der BNB 1.1.6 Kriterien bzw. die Standardkriterien der ÖkoBauKriterien mit begründeten Ausnahmen erfüllt.	keine Angaben vorhanden sind oder Anforderungen nicht erfüllt werden.

5 Punkte werden vergeben, wenn das Produkt mit einem anerkannten Umweltzeichen ausgezeichnet ist oder zusätzlich zu den Anforderungen der Stufe 4 eine Volldeklaration (Art und Menge) aller eingesetzten Stoffe) vorliegt. Die unterste Stufe wird angewendet, wenn keine Angaben vorhanden oder die Anforderungen der BNB 1.1.6 Kriterien bzw. die Standardkriterien der ÖkoBauKriterien auch mit begründeten Ausnahmen nicht erfüllt sind.

Verbesserungspotenzial

Baubook stellt einen Katalog von Bauprodukten mit Informationen zu Schadstoffen und kritischen Inhaltsstoffen zur Verfügung: (BNB Anforderungen: <https://www.baubook.at/bnb> bzw. Ökobaukriterien: <https://www.baubook.at/oea/>) Bauprodukte mit Umweltzeichen Typ I wie etwa Blauer Engel, Österreichisches Umweltzeichen oder natureplus sind auf die Einhaltung von Schadstoffgrenzwerten hin geprüft.

Kreislauffähigkeit – EoL

Ziel ist es, Kunststoffe möglichst im Kreislauf zu führen, um so Rohstoffe und Energie einzusparen. Aktuell ist die Kreislaufführung von Kunststoffen aus dem Rückbau marginal. Viele Recyclingverfahren zeichnen sich durch Downcycling (z. B. Aufbereitung von EPS-Granulat als zementgebundene Schüttung) oder durch Verschleppen von Altlasten (z. B. Cadmiumstabilisatoren beim PVC-Recycling) aus. Insbesondere versteckte Kunststoffe im Bauwesen werden am Ende des Lebenszyklus aufgrund der schweren Trennbarkeit meistens nur thermisch verwertet oder deponiert. Hier gibt es noch viel Potenzial, um Produkte zu verbessern und Kreisläufe zu schließen.

Für den Zirkularitätsindex (BBSR/IBO) wurde eine Systematik zur Bewertung der Zirkularität von Gebäuden, Konstruktionen und Baustoffen entwickelt. Ein wesentliches Bewertungskriterium ist die Kreislauffähigkeit der unverbauten Baustoffe bzw. Bauelemente am Nutzungsende (End-of-Life, EoL). Die EoL-Kategorien basieren auf den 4 Verfahren zur Nachnutzung bzw. Abfallbehandlung von Baustoffabfällen (Abfallvermeidung, stoffliche Verwertung, thermische Behandlung und Deponierung) und unterteilen diese weiter:

Klasse	A	B	C	D	E	F	G
Kategorie							
Abfall-vermeidung	WV Wiederverwen- dung (Produkt)						
Kategorie	RC-Material				Abfall		
Stoffliche Verwertung	WV Vorbereitung zur Wiederverwen- dung	CL Closed-Loop- Recycling	RC ⁺ / CL ⁻ Recycling / CL mit Aufwand	RC ⁻ Recycling mit Aufbereitungsaufwand	SV RC mit minderer Qualität / sonstige stoffliche Verwertung		
Thermische Behandlung					EV ⁺ energetische Verwertung, schadstoffarm	EV ⁻ energetische Verwertung	EB energetische Beseitigung
Deponierung						Dep ⁺ Deponierung von Inertabfällen	Dep ⁻ Deponierung nach Aufbereitung

Legende zur Tabelle:

WV	Wiederverwendung sowie Vorbereitung zur Wiederverwendung von Bauprodukten und -elementen („Re-Use“)
CL ⁺	Closed-Loop-Recycling (Recycling mit geschlossenen Kreisläufen)
CL ⁻ (minus)	Closed-Loop-Recycling mit hohem Aufwand
RC ⁺	Recycling (offene Kreisläufe)
RC ⁻ (minus)	Recycling (offene Kreisläufe) mit hohem Aufwand
SV	Recycling mit minderer Qualität und sonstige stoffliche Verwertung
EV ⁺	Energetische Verwertung (schadstoffarm, mit hoher Energiedichte)
EV ⁻ (minus)	Energetische Verwertung (geringer Schadstoffgehalt oder mittlere Energiedichte)
EB ⁻ (minus)	Energetische Beseitigung (hoher Schadstoffgehalt oder niedrige Energiedichte)
Dep ⁺	Deponierung von Inertabfällen
Dep ⁻ (minus)	Deponierung nach Aufbereitung (z. B. mechanisch biologische Aufbereitung)

Bewertung

Dieses Produkt wird in die Stufe **XX** von 5 Stufen eingeordnet, da **XX**

Stufe	5	4	3	2	1	0
	das Produkt wiederverwendet werden kann (EoL-Klasse A des Zirkularitätspotenzials, Nachweise vorhanden).	das Produkt in einem geschlossenen Kreislauf (Infrastruktur vorhanden) recycelt werden kann (EoL-Klasse B des Zirkularitätspotenzials).	das Produkt recycelt werden kann (EoL-Klasse C des Zirkularitätspotenzials).	das Produkt mit Aufbereitungsaufwand recycelt werden kann (EoL-Klasse D des Zirkularitätspotenzials).	das Produkt einer energetischen oder sonstigen stofflichen Verwertung zugeführt werden kann (EoL-Klasse E des Zirkularitätspotenzials)	das Produkt weder stofflich noch energetisch verwertet werden kann (EoL-Klasse F oder G des Zirkularitätspotenzials).

Die 5. Stufe wird erreicht, wenn das Produkt wiederverwendet werden kann. Die unterste Stufe wird vergeben, wenn das Produkt weder stofflich noch energetisch verwertet werden kann.

Verbesserungspotenzial

In unserer Produktliste finden Sie eine Übersicht über Produkte, die bezüglich ihres Recyclingpotenzials bewertet wurden.

Kreislauffähigkeit – Rückbaufähigkeit

Ziel ist es, Kunststoffe möglichst im Kreislauf zu führen und so Rohstoffe und Energie einzusparen. Aktuell ist die Kreislaufführung von Kunststoffen aus dem Rückbau marginal (siehe Ausführungen unter dem Kriterium Kreislauffähigkeit – EoL).

Für den Zirkularitätsindex (BBSR/IBO) wurde eine Systematik zur Bewertung der Zirkularität von Gebäuden, Konstruktionen und Baustoffen entwickelt.

Damit ein Bauprodukt überhaupt wiederverwendet oder hochwertig rezykliert werden kann, ist eine gute Rückbaubarkeit notwendig. Dabei werden die Baumaterialien möglichst zerstörungsfrei und ohne Verunreinigungen aus angrenzenden Baumaterialien rückgebaut. Besonders Verunreinigungen aus angrenzenden Materialien können die Recyclingfähigkeit beeinträchtigen. Im Kriteriensteckbrief werden im Besonderen „Stör- oder Schadstoffe“ (Kategorie S3) und „unverträgliche Störstoffe“ (Kategorie S4) hervorgehoben. Das Rückbaupotenzial wird von Klasse I (zerstörungsfrei rückbaubar) bis Klasse IV (zerstörend, mit Fremdstoffanhaftungen) eingestuft.

Bewertung

Dieses Produkt wird in die Stufe **XX** von 5 Stufen eingeordnet, da **XX**

5	4	3	2	1	0
das Produkt zerstörungsfrei rückbaubar ist (Klasse I des Rückbaupotenzials).	das Produkt weitgehend zerstörungsfrei rückbaubar ist (Klasse II des Rückbaupotenzials).	das Produkt nicht zerstörungsfrei, aber ohne Stör- und Fremdstoffe rückbaubar ist (Klasse III des Rückbaupotenzials).	– das Produkt nur mit Fremd- und Störstoffen verunreinigt rückbaubar ist (Klasse IV des Rückbaupotenzials), aber keine Störstoffe der Kategorie S3 oder S4 enthält.	das Produkt nur mit Fremd- oder Störstoffen rückbaubar ist, die das hochwertige Recycling der angrenzenden Schichten erschweren (S3) oder verhindern (S4).	

Die 5. Stufe wird erreicht, wenn das Produkt zerstörungsfrei rückbaubar ist (Klasse I, sehr leicht lösbare Fügung, Re-Use-Potenzial). Die unterste Stufe wird vergeben, wenn das Produkt nur mit Fremd- oder Störstoffen, die das Recycling der angrenzenden Schichten verschlechtert oder verunreinigt, rückbaubar ist.

Verbesserungspotenzial

In unserem Bauteilkatalog, in dem wir verschiedene Baukonstruktionen hinsichtlich ihrer Kunststofffreiheit bewerten, finden Sie andere Lösungen, die konstruktiv Kunststoffe vermeiden oder eine bessere Trennbarkeit aufweisen.

Mikroplastik – Baustelle

Als „Mikroplastik“ bezeichnet man kleine Kunststoffteilchen mit einem Durchmesser von unter 5 mm. Primäres Mikroplastik wird schon in dieser Größe erzeugt, sekundäres Mikroplastik entsteht bei der Zersetzung von Kunststoffen (Makroplastik).

Mikroplastik kann negative Auswirkungen auf die Umwelt und auf den Menschen haben. Außerdem dient das Mikroplastik als Träger für kritische Inhaltsstoffe und trägt so dazu bei, dass Schadstoffe in die Umwelt und in den menschlichen Körper transportiert werden können. Der Eintrag von Mikroplastik in die Umwelt sollte verhindert werden.

Nach der Studie „Umsicht“ des Fraunhofer-Instituts sind Bautätigkeiten der sechstgrößte Mikroplastikeintragsweg (Bertling/Bertling/Hamann 2018).

Flüssige, lose oder poröse Produkte sowie solche, die zugeschnitten, verschraubt, geschliffen oder flüssig eingebaut werden müssen, sind anfälliger für Mikroplastikemissionen als solche, die einbaufertig auf die Baustelle geliefert werden. Ausschlaggebend sind aber vor allem die mit dem Einbau während Errichtung, Wartung, Instandhaltung und Renovierung verbundenen Tätigkeiten: Auf der Baustelle können Kunststoffteile und -partikel durch die Bearbeitung (schneiden, schleifen, flüssig anbringen etc.), die Lagerung von Bauprodukten, die (unsachgemäße) Entsorgung von Produktresten und die Reinigung von Arbeitsgeräten und Werkzeugen in die Umwelt gelangen. Maßnahmen zur Vermeidung von Mikroplastik

beim Einbau, z. B. staubarmer Zuschnitt, Verwendung von Absaugtechniken, Sammelsysteme für Verschnitt und Überschussmaterial, sorgfältige Baustellenreinigung usw., können die Eintragsmengen von Mikroplastik signifikant reduzieren. Wird vonseiten der Hersteller beispielsweise in Verarbeitungsrichtlinien oder Produktdatenblättern auf solche Maßnahmen hingewiesen, fließt dies positiv in die Bewertung ein. Außerdem sollte auch darauf geachtet werden, dass keine Kunststoffe aus temporären Schutzmaßnahmen (Gerüstnetze, Schutzfolien) oder durch Kunststoffverpackungen in die Umwelt gelangen.

Bewertung

Dieses Produkt wird in die Stufe **XX** von 5 Stufen eingeordnet, da **XX**

Stufe	5	4	3	2	1	0
	das Bauprodukt auf der Baustelle nicht geschnitten, geschliffen, lose eingebracht oder flüssig angebracht werden muss (z. B. Fertigteile).	–	das Produkt auf der Baustelle verarbeitet und staubarm zugeschnitten und/oder mechanisch verbunden wird (geschraubt, geheftet) (z. B. Folien, Rohre, Bauplatten).	–	das Produkt auf der Baustelle verarbeitet und flüssig aufgetragen, lose eingebracht, geschliffen oder mit erhöhtem Staubaufkommen zugeschnitten wird, aber es gibt ein Maßnahmenpaket zur Vermeidung von Mikroplastik.	das Produkt auf der Baustelle verarbeitet und flüssig aufgetragen, lose eingebracht, geschliffen oder mit erhöhtem Staubaufkommen zugeschnitten wird und es kein Maßnahmen-paket zur Vermeidung von Mikroplastik gibt.

Die 5. Stufe wird erreicht, wenn das Produkt nicht auf der Baustelle geschnitten, geschliffen, lose eingebracht oder flüssig angebracht werden muss. Die unterste Stufe wird vergeben, wenn das Produkt auf der Baustelle verarbeitet und flüssig aufgetragen, lose eingebracht, geschliffen oder mit erhöhtem Staubaufkommen zugeschnitten werden muss.

Verbesserungspotenzial

In unserer Produktliste finden Sie eine Übersicht über Produkte, die bezüglich ihres Risikos auf die Freisetzung von Kunststoffen bewertet wurden.

Mikroplastik – Nutzungsphase

Als „Mikroplastik“ bezeichnet man kleine Kunststoffteilchen mit einem Durchmesser von unter 5 mm. Primäres Mikroplastik wird schon in dieser Größe erzeugt, sekundäres Mikroplastik entsteht bei der Zersetzung von Kunststoffen (Makroplastik). Mikroplastik kann negative Auswirkungen auf die Umwelt und auf den Menschen haben. Außerdem dient das Mikroplastik als Träger für kritische Inhaltsstoffe und trägt so dazu bei, dass Schadstoffe in die Umwelt und in den menschlichen Körper transportiert werden können. Der Eintrag von Mikroplastik in die Umwelt sollte verhindert werden. Nach der Studie „Umsicht“ des Fraunhofer-Instituts sind Bautätigkeiten der sechstgrößte Mikroplastikeintragsweg (Bertling/Bertling/Hamann 2018).

In der Nutzungsphase gelangen Kunststoffe durch Abrieb, Beschädigung oder Auswaschung des Produkts in die Umwelt. Dies wird durch Bewitterung, Nutzung (Begehung) oder Reinigung verursacht. Davon betroffen sind Oberflächenmaterialien, z. B. Putze, Farben und andere Oberflächenbeschichtungen, Bodenbeläge oder Dacheindeckungen, wobei horizontale Flächen tendenziell stärker beansprucht sind als vertikale. Die Faser- und Partikelfreisetzung aus Teppichen, Textilien Farben und Lacken, Kunststoffbahnen sowie Bodenbelägen aus Kunststoffen ist besonders relevant

Extremwetterereignisse wie starker Hagel, Hochwasser etc. können dazu führen, dass Mikroplastik auch aus nicht oberflächennahen Bauprodukten freigesetzt wird. Dies sollte bei der Planung aufgrund der steigenden Gefahr solcher Wetterereignisse berücksichtigt werden. In der Bewertung sind Extremwetterereignisse nicht berücksichtigt.

Als Nachweise für die Stufen 3 und 1 können beispielsweise Tabertests, rheologische Messungen (z. B. Schmelze-Masse (MFR) und Schmelze-Volumenfließrate (MVR)-Prüfungen nach DIN EN ISO 1133-1/2), oberflächennahe Beurteilungen des Materialabbaus durch Viskositätsmessungen (z. B. nach DIN EN ISO 307, DIN EN ISO 1628-1 bis 5 oder durch Gelpermeationschromatographie) oder ähnliche Überprüfungen dienen. Bei Bodenbelägen können auch die Abrieb- oder Beanspruchungsklasse für die Bewertung herangezogen werden, da so zumindest näherungsweise eine Aussage über die Kunststofffreisetzung abgeleitet werden kann.

Bewertung

Dieses Produkt wird in die Stufe **XX** von 5 Stufen eingeordnet, da **XX**

Stufe	5	4	3	2	1	0
	es sich um kein Oberflächenmaterial mit Kunststoffgehalt handelt und Mikroplastikfreisetzung nicht möglich ist.	es sich um ein Oberflächenmaterial mit Kunststoffgehalt handelt, aber es keine Mikroplastikfreisetzung z. B. infolge von Abrieb, Abwaschung, Bewitterung (Sonneneinstrahlung, Windlasten, Hagel-, Regenereignisse etc.) möglich ist.	es sich um ein Oberflächenmaterial mit Kunststoffgehalt mit Nachweisen handelt, dass die Mikroplastikfreisetzung begrenzt ist.	– es sich um Teppiche, Textilien, Farben oder Lacke, Kunststoffbahnen oder Bodenbeläge mit Kunststoffinhalten mit Nachweisen handelt, dass die Mikroplastikfreisetzung begrenzt ist.	es sich um Teppiche, Textilien, Farben oder Lacke, Kunststoffbahnen oder Bodenbeläge mit Kunststoffinhalten ohne Nachweise zur Begrenzung der Mikroplastikfreisetzung handelt.	

Die 5. Stufe wird erreicht, wenn es sich um kein Oberflächenmaterial mit Kunststoffgehalt handelt und keine Mikroplastikfreisetzung möglich ist. Die unterste Stufe wird vergeben, wenn es sich um Teppiche, Textilien, Farben oder Lacke, Kunststoffbahnen oder Bodenbeläge mit Kunststoffinhalten ohne Nachweise, dass die Mikroplastikfreisetzung begrenzt ist, handelt.

Verbesserungspotenzial

Um den Eintrag von Mikroplastik auf die Umwelt zu reduzieren, sollte bei kunststoffhaltigen Produkten, die als Oberflächen eingebaut werden, auf die Auswahl hochwertiger, also robuster Materialien geachtet werden.

In unserer Produktliste finden Sie eine Übersicht über Produkte, die bezüglich ihres Risikos auf die Freisetzung von Kunststoffen bewertet wurden.

Mikroplastik – Rückbau

Als „Mikroplastik“ bezeichnet man kleine Kunststoffteilchen mit einem Durchmesser von unter 5 mm. Primäres Mikroplastik wird schon in dieser Größe erzeugt, sekundäres Mikroplastik entsteht bei der Zersetzung von Kunststoffen (Makroplastik). Mikroplastik kann negative Auswirkungen auf die Umwelt und auf den Menschen haben. Außerdem dient das Mikroplastik als Träger für kritische Inhaltsstoffe und trägt so dazu bei, dass Schadstoffe in die Umwelt und in den menschlichen Körper transportiert werden können. Der Eintrag von Mikroplastik in die Umwelt sollte verhindert werden. Nach der Studie „Umsicht“ des Fraunhofer-Instituts sind Bautätigkeiten der sechstgrößte Mikroplastikeintragsweg (Bertling/Bertling/Hamann 2018).

Beim Gebäuderückbau kommt es insbesondere bei unkontrollierten Abbruchmaßnahmen zur Verbreitung von Kunststoffen. Durch kontrollierten, sortenreinen Rückbau kann die Freisetzung von Kunststoffen und Partikeln reduziert werden. Rückbaukonzepte für Gebäude berücksichtigen vor allem die großen Massen, nicht jedoch „versteckte“ Kunststoffe in Produkten wie Putzen, mineralischen Kleb- und Spachtelmassen etc. oder in Bauteilen (z. B. Dübel, Abstandhalter, Folien). Diese lassen sich selbst bei einem kontrollierten Rückbau nur schwer vollständig entfernen, was die Kreislauffähigkeit mineralischer Baustoffe beeinträchtigt. Durch händische Sortierung, Windsichtung und Absaugvorrichtungen können Kunststoffanteile und Staub reduziert werden. Größere Kompartimente von Fensterprofilen, Bodenbelägen, Dämmplatten u. a. können gesammelt und dem Recycling zugeführt werden. Reines Schüttmaterial kann bei entsprechender Sorgfalt und Technik nahezu verlustfrei abgesaugt werden. Zusätzliche Belastungen durch Abbruchtätigkeiten und Entsorgungsprozessen entstehen im Zusammenhang mit Abbruchmaterialien, die mittlerweile verbotene oder kritische Stoffe enthalten.

Bewertung

Dieses Produkt wird in die Stufe **XX** von 5 Stufen eingeordnet, **XX**

Stufe	5	4	3	2	1	0
	das Bauprodukt weit-gehend zerstörungsfrei rückbaubar ist und beim Rückbau des Bauprodukts nachweislich kein Mikroplastik freigesetzt wird (Kunststoff fest im Produkt eingebunden).	–	das Bauprodukt weit-gehend zerstörungsfrei rückbaubar ist und es ein Maßnahmenpaket gibt, das sicherstellt, dass kein Mikroplastik beim Rückbau freigesetzt wird.	–	das Bauprodukt nicht zerstörungsfrei rückbaubar ist, aber vollständig von anderen Baustoffen getrennt werden kann und ein Maßnahmenpaket zur Vermeidung von Mikroplastik vorhanden ist.	beim Rückbau Mikro-plastik freigesetzt werden kann oder Keine Informationen zur Thematik vorhanden sind.

Die 5. Stufe wird erreicht, wenn das Bauprodukt weitgehend zerstörungsfrei ausbaubar (leicht lösbare Fügung) ist und beim Rückbau des Bauprodukts nachweislich kein Mikroplastik freigesetzt wird. Die unterste Stufe wird vergeben, wenn beim Rückbau wird Mikroplastik freigesetzt wird oder keine Informationen zur Thematik vorhanden sind.

Verbesserungspotenzial

In unserer Produktliste finden Sie eine Übersicht über Produkte, die bezüglich ihres Risikos auf die Freisetzung von Kunststoffen bewertet wurden.

Anhang 4: Fallstudien

Anhand von Fallstudien realisierter Bauprojekte wird die Anwendbarkeit der entwickelten Bewertungsmethodik überprüft. Die Baukonstruktionen und verwendeten Materialien werden dabei detailliert analysiert, um Einsparpotenziale hinsichtlich des Kunststoffeinsatzes zu identifizieren und alternative Lösungen aufzuzeigen. Untersucht werden zentrale Bauteile wie Dach, Außenwand und Bodenplatte in Bezug auf ihren Kunststoffanteil, ihre Rückbaufähigkeit und ihre Kreislauffähigkeit. Die Informationen zu den Bauteilen wurden aus Bauplänen, Angeboten, Rechnungen, Interviews sowie Vor-Ort-Besichtigungen gewonnen. Die daraus abgeleiteten Ergebnisse fließen in eine Datenbank ein, die als Grundlage für zukünftige kunststofffreie Bauprojekte dienen soll. Im Folgenden werden die Fallstudien vorgestellt.

Fallstudie 1: H1 Buchloe



Im Jahr 2021 wurde in Buchloe ein Doppelhaus mit etwa 366 m² Nettoraumfläche fertiggestellt (Abbildung 57). Der schlichte Neubau entspricht dem Neubaustandard von 2021. Das Raumprogramm erstreckt sich über drei Geschosse, wobei die Grundrisse in beiden Haushälften gleich und lediglich spiegelverkehrt angeordnet sind. Auf einen Keller wurde verzichtet. Für die Dämmung des Gebäudes wurden ein Wärmedämmverbundsystem an den Außenwänden sowie eine Zwischensparrendämmung am Dach verwendet. Der Neubau erfüllt den Energiestandard EH 40 Plus.

Abbildung 57: Doppelhaushälfte in Buchloe (Bild: Pfefferle)

Fallstudie 2: H2 Aschau

Nahe Aschau im Chiemgau wurde im Jahr 2022 ein neues Drei-Familien-Haus errichtet (Abbildung 58). Der Neubau wurde mit Fokus auf Nachhaltigkeit und weitgehender Kunststofffreiheit realisiert. Das Gebäude verbindet traditionelle mit modernen Gestaltungselementen. Die längliche Bauform mit Satteldach orientiert sich an der typischen Chiemgauer Bauernhausarchitektur, während die strukturierte Holzfassade und die vorgesetzten Loggien eine zeitgemäße Interpretation darstellen. Die Außenverkleidung besteht aus heimischen, sägerauen Fichtenbrettern. Im Innenraum wurde gehobeltes und geschliffenes Holz verwendet.

Konstruktiv ist das Erdgeschoss, das teilweise in den stark geneigten Hang eingebettet ist, in Stahlbeton ausgeführt. Alle weiteren Wände und Decken bestehen aus Holzrahmenbau-Elementen und leimfreien Brettstapeldecken.



Das Raumprogramm erstreckt sich über drei Geschosse. Die oberste Wohnung verfügt über eine Galerie im Dachgeschoss. Die Grundrisse sind effizient organisiert und auf optimale Besonnung ausgelegt. Der Neubau erfüllt den Energiestandard EH 40 Plus.

Abbildung 58: Baustelle des Neubaus (Bild: Guggenbichler und Wagenstaller)

Fallstudie 3: H3 Augsburg

Der 1959 in Augsburg errichtete Bungalow verfügt über eine Wohnfläche von ca. 135 m². Das Kellergeschoss ist aus Beton gefertigt, die Außenwände des Erdgeschosses sind gemauert und das Flachdach besteht ebenfalls aus Beton. Auf dem Dach des Bestandsgebäudes befindet sich eine Dämmschicht. Ansonsten war das Gebäude ungedämmt. Die Kernsanierung begann im Jahr 2024 (Abbildung 59). Dabei wurde das Gebäude bis auf die Grundmauern und das Flachdach zurückgebaut. Ziel der Sanierung war es, die Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes 2024 zu erfüllen. Für die Dämmung der Außenwände ist ein Wärmedämmverbundsystem (WDVS) vorgesehen. Die neue Flachdachdämmung wurde zusätzlich auf die bestehende Dämmschicht aufgebracht.



Abbildung 59: Baustelle der Bestandssanierung (Bild: Fröhlich)