



GEBÄUDEFORUM
KLIMANEUTRAL



Kreislauffähigkeit des deutschen Gebäudesektors

Ein Projekt der

dena



Impressum

Herausgeber:

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Chausseestraße 128 a, 10115 Berlin
Tel.: + 49 30 66 777-0
Fax: + 49 30 66 777-699
E-Mail: info@dena.de / info@gebaeudeforum.de
www.dena.de / www.gebaeudeforum.de

Konzept und Redaktion:

Christina Rocker, dena
Anja Isensee, dena
Mark-Hendrik Schlegel, dena

Partner:

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH

**Autorinnen und Autoren:**

Dr. José Mercado, dena
Inka Randebrock, dena
Sören Steger, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie
Luisa Bergmann, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie

Konzeption und Gestaltung:

die wegmeister gmbh, Stuttgart

Bildnachweise:

Titel – shutterstock/INTREEGUE Photography

Stand:

März 2026

Bitte zitieren als:

Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (dena, 2026) „Kreislauffähigkeit des deutschen Gebäudesektors“



**Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie**

Die Veröffentlichung dieser Publikation erfolgt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) unterstützt die Bundesregierung in verschiedenen Projekten zur Umsetzung der energie- und klimapolitischen Ziele im Rahmen der Energiewende.



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	2
Abkürzungsverzeichnis	3
1 Kreislaufwirtschaft im Gebäudesektor: Ausgangslage, Rahmenbedingungen und Studienzielsetzung	5
1.1 Einleitung: Bedeutung und Kontext	6
1.2 Aktuelle regulatorische Rahmenbedingungen	6
1.3 Zielsetzung und zentrale Fragestellungen	8
2 Grundlagen Kreislauffähigkeit	9
2.1 Kreislauffähigkeit im Gebäudesektor.....	10
2.2 Methoden zur Analyse von Materialflüssen im Gebäudesektor	11
2.3 Formen und Pfade der Verwendung	14
2.4 Recyclingpotenzial von Baustoffen im Bausektor	15
3 Methodik zur Analyse der Kreislauffähigkeit im Gebäudesektor	16
3.1 Datengrundlagen	17
3.2 Quantifizierung des anthropogenen Materiallagers im Gebäudebestand	18
3.3 Methodische Herausforderungen	20



4	Analyse zentraler Baumaterialien und Bauelemente im Gebäudesektor	21
4.1	Baumaterialien	23
4.1.1	Stahl	23
4.1.2	Beton	25
4.1.3	Holz	28
4.1.4	Kunststoffe	30
4.1.5	Dämmstoffe	32
4.1.6	Flachglas	35
4.1.7	Verbundwerkstoffe	36
4.2	Bauelemente	38
4.2.1	Wärmedämmverbundsysteme (WDVS)	38
4.2.2	Fenster	39
5	Ressourcenverbrauch und Kreislaufpotenziale	41
5.1	Ressourcenverbrauch	42
5.2	Kreislaufpotenziale	44
6	Hebel zur Förderung geschlossener Materialkreisläufe	46
6.1	Hemmnisse	47
6.1.1	Materialübergreifende Hemmnisse	47
6.1.2	Materialspezifische Hemmnisse	48
6.2	Lösungsansätze	48
6.2.1	Materialübergreifende Lösungsstrategien	49
6.2.2	Materialspezifische Lösungen	50
6.3	Fazit und übergreifende Handlungsansätze zur Steigerung der Kreislauffähigkeit	51
	Literaturverzeichnis	54
	Anhang	59



Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

der Gebäudesektor ist für mehr als 50 Prozent des Abfallaufkommens in Deutschland verantwortlich; zugleich fließt etwa die Hälfte des inländischen Rohstoffabbaus in die Produktion von Baumaterialien. Damit nimmt der Gebäudesektor als einer der rohstoffintensivsten Wirtschaftsbereiche eine bedeutende Rolle für das Erreichen von Klima-, Ressourcen- und Nachhaltigkeitszielen ein. Zahlreiche Studien und Berichte zeigen, dass der Gebäudesektor mit dem Übergang von der Linear- zur Kreislaufwirtschaft ein hohes Potenzial aufweist, Ressourcen zu sparen und Abfallmengen zu reduzieren. Die Kreislaufwirtschaft verfolgt das Ziel, Materialien und Produkte so lange wie möglich im Nutzungskreislauf zu halten – durch Wiederverwenden, Reparieren, Aufarbeiten und Recyceln. Auch nach dem Ende eines Produktlebens sollen die enthaltenen Ressourcen in der Wirtschaft verbleiben.

Initiativen wie der European Green Deal – insbesondere der Circular Economy Action Plan (CEAP) – sowie neue Bauprodukteverordnungen und die EU-Gebäuderichtlinie (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD) konkretisieren Maßnahmen, die die Transformation zur Kreislaufwirtschaft begünstigen, und legen entsprechende Rahmenbedingungen fest. Die Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS), neue Regularien und wachsende Marktinitiativen fördern die Kreislaufwirtschaft durch Ansätze wie Materialeffizienz, Wiederverwendung und digitale Dokumentation. Darüber hinaus zeigen sich methodische Fortschritte, zum Beispiel durch Materialfluss- und Lebenszyklusanalysen.

Viel ist bereits geschehen und im Entstehen. Gleichzeitig bleibt erhebliches Potenzial ungenutzt, um die Ressourceneffizienz weiter zu steigern. Dieser Bericht soll als Bestandsaufnahme dienen, Erkenntnisse bündeln und einen übersichtlichen Einstieg in das Thema ermöglichen. Er gibt einen Überblick über die wichtigsten Baustoffe im Gebäudesektor, analysiert Hemmnisse und untersucht die Rückbaubarkeit, Trennbarkeit und Recyclingfähigkeit der einzelnen Bauelemente. Dabei werden Handlungsansätze und Hebel aufgezeigt, wie die Menge an Materialien, die zu Abfall werden, wirksam reduziert werden kann.

Fest steht: Der Gebäudesektor muss sich grundlegend in Richtung einer ressourcen- und klimaverträglichen Gestaltung und Nutzung der gebauten Umwelt transformieren. Die Kreislaufwirtschaft bildet hierfür einen zentralen Hebel – ihre systematische Anwendung ist dafür von entscheidender Bedeutung.

Wir wünschen Ihnen eine erkenntnisreiche Lektüre und hoffen, dass dieser Bericht dabei hilft, die Kreislauffähigkeit von Materialien in der Planung, Errichtung und Sanierung von Gebäuden besser zu berücksichtigen.



Abkürzungsverzeichnis

Begriff	Definition
AltHolzV	Altholzverordnung
AVV	Abfallverzeichnisverordnung
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BIM	Building Information Modeling
BNB	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen
BTB	Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie
CEAP	Circular Economy Action Plan (Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft)
CFK	Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff
CMUR	Circular Material Use Rate (Zirkuläre Materialeinsatzquote)
DfD	Design for Disassembly (Design für Demontage/Rückbau)
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
EBV	Ersatzbaustoffverordnung
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive (Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden)
EPS	Expandiertes Polystyrol
FSC	Forest Stewardship Council
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
GewAbfV	Gewerbeabfallverordnung
GK	Gesteinskörnung
HBCD	Hexabromcyclododecan
IÖR	Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung
KartAL	Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft



Begriff	Definition
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
LCA	Life Cycle Assessment (Lebenszyklusanalyse)
MBA	Mechanisch-Biologische Abfallbehandlungsanlage
MFA	Material Flow Analysis (Materialflussanalyse)
MKZ	Materialkennzahl
MVA	Müllverbrennungsanlage
NAS	Net Additions to Stock (Nettozugänge zu Gebäudebeständen)
NaWaRo	Nachwachsende Rohstoffe
NKWS	Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie
NWG	Nichtwohngebäude
OSB	Oriented Strand Board
PE	Polyethylen
PEFC	Programme for the Endorsement of Forest Certification
PENRT	Primary Energy Non-Renewable – Total (Gesamter nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf)
PIR	Polyisocyanurat
PUR	Polyurethan
PVC	Polyvinylchlorid
QNG	Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude
RC-	Recycling-
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe)
SSA	Stoffstromanalyse
UBA	Umweltbundesamt
UGR	Umweltökonomische Gesamtrechnung
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
XPS	Extrudiertes Polystyrol

Kreislaufwirtschaft im Gebäudesektor: Ausgangslage, Rahmenbedingungen und Studienzielsetzung

1.1 Einleitung: Bedeutung und Kontext

Die Kreislaufwirtschaft verfolgt das Ziel, Materialien und Produkte so lange wie möglich im Nutzungskreislauf zu halten. Durch Wiederverwenden, Reparieren, Aufarbeiten und Recyceln wird die Lebensdauer von Produkten verlängert und Abfall deutlich reduziert. Auch nach dem Ende eines Produktlebens sollen die enthaltenen Ressourcen in der Wirtschaft verbleiben.

Damit stellt die Kreislaufwirtschaft einen klaren Gegenentwurf zur linearen Wirtschaft dar, die auf günstige Massenproduktion setzt und kurze Produktzyklen zur Folge hat. So entstehen eine stetig steigende Nachfrage nach Rohstoffen und wachsende Abfallmengen, die häufig

nicht oder nur schwer zu recyceln sind. Der Übergang von der linearen Wirtschaft hin zu einer Kreislaufwirtschaft ist ein wichtiger Schritt, um Ressourcen effizienter zu nutzen und die klima- und umweltpolitischen Ziele der kommenden Jahrzehnte zu erreichen. Der Gebäudesektor gehört in Deutschland zu den rohstoffintensivsten Branchen und verursacht erhebliche Mengen an Abfall und Emissionen. Gleichzeitig eröffnen sich große Potenziale für Ressourceneffizienz, etwa durch den Einsatz langlebiger Materialien, die Wiederverwendung von Bauteilen und innovative digitale Ansätze. Vor diesem Hintergrund gewinnt die Kreislauffähigkeit von Bauwerken national wie global zunehmend an Bedeutung.

1.2 Aktuelle regulatorische Rahmenbedingungen

Europäische Ebene

Der europäische Green Deal und der Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft (Circular Economy Action Plan, CEAP) setzen den strategischen Rahmen für eine ressourceneffiziente Wirtschaft und identifizieren den Gebäudesektor als zentrales Handlungsfeld (vgl. Europäische Kommission 2020).

Ein wichtiger Aspekt der Kreislaufwirtschaft sind die sogenannten Sekundärmaterialien. Sie werden aus recycelten Abfällen gewonnen und wieder in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt. Der Anteil dieser

Sekundärmaterialien am gesamten Materialeinsatz wird unter anderem über die Circular Material Use Rate (CMUR) erfasst, die im Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft von der Europäischen Union (EU) als zentraler Indikator der Kreislaufwirtschaft definiert wurde und EU-weit bis 2030 von 11,2 Prozent (2020) auf 22,4 Prozent verdoppelt werden soll. Bei linearer Entwicklung hätte die CMUR im Jahr 2024 bereits bei rund 15,7 Prozent liegen müssen. Tatsächlich erreichte sie jedoch nur 12,2 Prozent (vgl. EEA 2025). Diese deutliche Abweichung vom erforderlichen Entwicklungspfad zeigt Handlungsbedarf, um die Zielmarke für 2030 zu erreichen (siehe Abbildung 1).

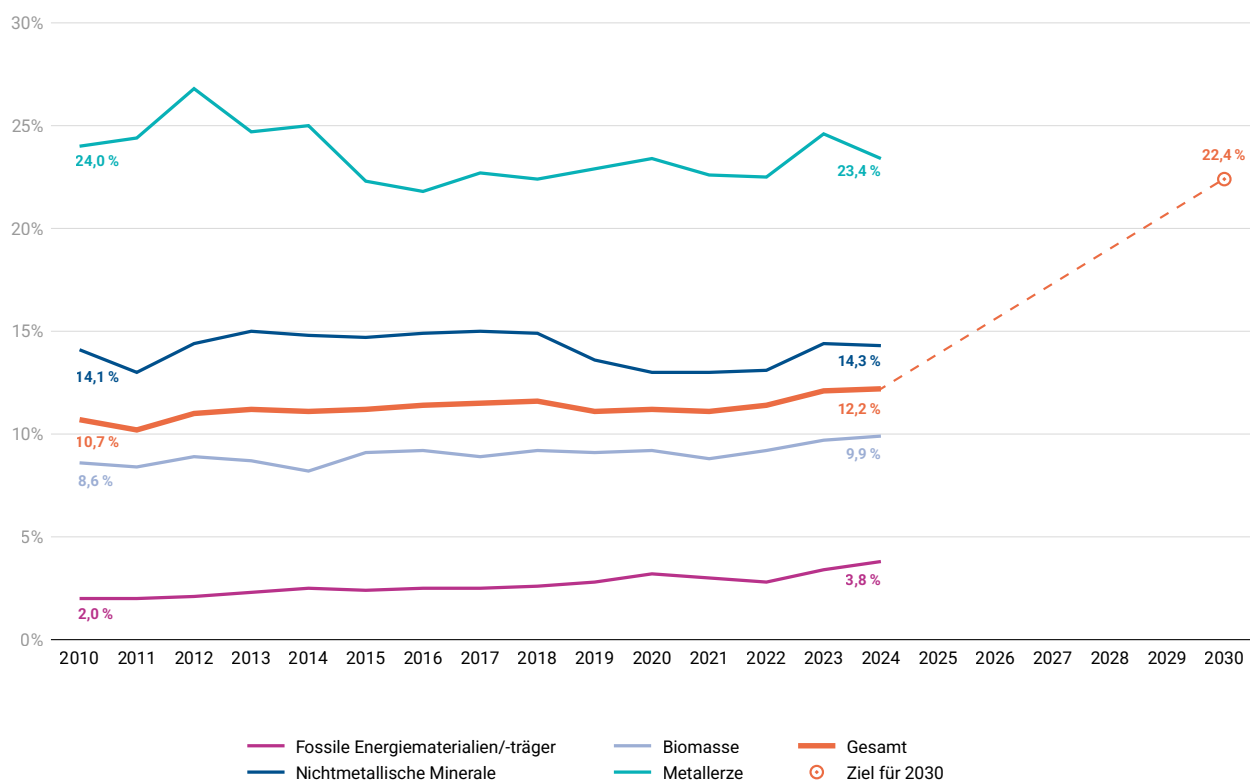


Abbildung 1: Kreislaufmaterialnutzungsrate der EU. Quelle: European Environment Agency 2025.

In den vergangenen Jahren wurden verschiedene politische Maßnahmen ergriffen, um die Kreislaufwirtschaft – sowohl allgemein als auch gezielt in der Bauwirtschaft – zu fördern. Eine zentrale Grundlage bildet die europäische Abfallrahmenrichtlinie (Waste Framework Directive, Richtlinie 2008/98/EG). Sie legt unter anderem die Abfallhierarchie fest, schreibt die getrennte Sammlung von Abfällen vor, verpflichtet die Mitgliedsstaaten zur Abfallvermeidung und formuliert Mindest-Recyclingquoten. Für Bau- und Abbruchabfälle liegt diese Quote bei 70 Prozent.

Einen weiteren zentralen Impuls gibt die neue europäische Bauprodukteverordnung (Construction Products Regulation, Verordnung (EU) 2024/3110), die am 7. Januar 2025 in Kraft trat und die Verordnung (EU) Nr. 305/2011 ablöste. Die neue Verordnung legt harmonisierte Vorschriften für das Inverkehrbringen von Bauprodukten fest. Hersteller müssen Informationen zu Nachhaltigkeitsaspekten offenlegen – insbesondere durch digitale Produktpässe und verbindliche Vorgaben zur Bewertung der Umweltwirkungen über den gesamten Lebenszyklus. Die meisten Regelungen gelten seit dem 8. Januar 2026. Diese Vorgaben stärken Transparenz, Nachverfolgbarkeit und zirkuläre Materialflüsse im europäischen Binnenmarkt.

Auch die EU-Taxonomie-Verordnung (EU) 2020/852 definiert konkrete Anforderungen an die Kreislauffähigkeit und Ressourceneffizienz von Gebäuden. Sie fördert private und institutionelle Investitionen in nachhaltige Aktivitäten. Nur Bauprojekte, die bestimmte Kriterien zur Materialeffizienz, Wiederverwendbarkeit und Rückbaufähigkeit erfüllen, können als „ökologisch nachhaltig“ klassifiziert werden und so Zugang zu grünen Finanzierungsinstrumenten erhalten.

Mit der im Jahr 2024 überarbeiteten Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD, 2024/1275/EU) erweiterte die EU den Fokus von der reinen Betriebsenergieeffizienz hin zu einer ganzheitlichen Lebenszyklusbetrachtung von Gebäuden. Erstmals werden darin auch graue Emissionen (Embodied Carbon) sowie Aspekte der Kreislaufwirtschaft explizit berücksichtigt.

Ab 2028 müssen Neubauten in öffentlicher Hand in der EU über ihren gesamten Lebenszyklus bilanziert werden, einschließlich der Emissionen aus Herstellung, Bau, Nutzung und Rückbau. Ab 2030 gilt dies verpflichtend für alle Neubauten. Die Mitgliedsstaaten sind aufgefordert, dafür einheitliche Bewertungsmethoden und nationale Datenbanken bereitzustellen.

Damit wird die Kreislaufwirtschaft in der Gebäudepolitik nicht länger nur als freiwilliger Beitrag zur Nachhaltigkeit gesehen, sondern entwickelt sich zu einem verbindlichen Regulierungsgegenstand auf EU- und Bundesebene. Auch für Planende, Bauherren und Produktanbieter entstehen daraus neue Anforderungen, aber auch ein Innovationsanreiz, zirkuläre Materialien, modulare Bauweisen und digitale Materialpässe frühzeitig in die Planung zu integrieren.

Nationale Ebene

Für Deutschland bedeutet die Umsetzung der EPBD eine Neuausrichtung der Regulierungspraxis:

- Neben den bisherigen Vorgaben zur Betriebsenergie (z. B. Gebäudeenergiegesetz (GEG), Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)) werden zukünftig auch Lebenszyklus- und Materialaspekte stärker in der Regulierung berücksichtigt. Das betrifft zum einen die Pflicht zur Offenlegung des Lebenszykluspotenzials für neue Gebäude, das ab 2030 in den Energieausweisen ausgewiesen werden muss (dies gilt für neue Gebäude > 1.000 m² bereits ab 2028).
- Zudem gibt die EPBD den Mitgliedsstaaten vor, Fahrpläne für die schrittweise Reduzierung des Lebenszyklus-Treibhausgaspotenzials zu entwickeln. Darin sollen die Mitgliedsstaaten Grenzwerte für Lebenszyklusemissionen festlegen, um unter anderem die Kreislauffähigkeit und Ressourceneffizienz von Bauprojekten zu fördern. Solche Grenzwerte bestehen bereits in verschiedenen europäischen Nachbarländern wie Dänemark oder Frankreich.
- Instrumente wie die ÖKOBAUDAT und der geplante Gebäuderessourcenpass werden zu zentralen Instrumenten für die Umsetzung der EPBD-Vorgaben.

In Deutschland setzt das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) die Vorgaben der europäischen Abfallrahmenrichtlinie in nationales Recht um. Ergänzend schreibt die Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) detaillierte Getrennthaltungs- und Sortierpflichten für Bau- und Abbruchabfälle vor, insbesondere für mineralische Bauabfälle, Metalle, Holz, Glas, Kunststoffe und Dämmstoffe (vgl. Umweltbundesamt 2022).

Mit der Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS) wurde auf Bundesebene erstmals ein umfassender politischer Rahmen geschaffen, der den Gebäudesektor als prioritäres Handlungsfeld ausweist und eine deutliche Senkung des Primärrohstoffverbrauchs sowie die Förderung des Bestandserhalts zum Ziel hat (vgl. BMUV 2024).

Die Kreislauffähigkeit ist zudem Bestandteil verschiedener nationaler und internationaler freiwilliger Nachhaltigkeits-Zertifizierungssysteme wie zum Beispiel BNB (Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen), DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) und QNG (Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude). Parallel zur politischen Entwicklung etablieren sich Unternehmen am Markt, die digitale Gebäuderessourcenpässe erstellen und eine Infrastruktur für die Wiederverwendung von Bauteilen aufbauen.

Eine tabellarische Übersicht der regulatorischen Grundlagen und ihrer Bedeutung für Materialflüsse im Bauwesen ist im Anhang in Tabelle A1 dargestellt.

Das Thema ist demnach sowohl im politischen Kontext als auch in der Wirtschaft präsent und es gibt zahlreiche Initiativen zur Förderung der Kreislaufwirtschaft im Gebäudesektor. Dennoch liegen weder die EU noch Deutschland auf Kurs, um das Ziel einer Verdopplung des Anteils recycelter und wiederverwendeter Materialien am gesamten Materialverbrauch bis 2030 (CMUR) zu erreichen.

Das wirft die folgenden Fragen auf: Wo liegen zusätzliche Potenziale, um die Wiederverwendung von Ressourcen im Bausektor zu fördern? Welche technischen, organisatorischen oder rechtlichen Rahmenbedingungen müssen weiterentwickelt werden? An welchen Stellen gibt es praktische Herausforderungen in der Umsetzung? Wie können neue Geschäftsmodelle gezielt angereizt und

unterstützt werden, um die Marktentwicklung kreislaufwirtschaftlicher Lösungen im Gebäudebereich wirksam voranzubringen?

Eine fundierte Analyse der Kreislauffähigkeit ist essenziell für die Umsetzung nationaler und europäischer Ziele. Die Frage nach der Materialität des deutschen Gebäudebestands ist nicht neu und wurde in den letzten Jahren intensiv wissenschaftlich untersucht – insbesondere durch Forschungsarbeiten an deutschen Hochschulen und Forschungseinrichtungen. Dabei sind vielfältige, teils sehr detaillierte Informationen aus unterschiedlichen Perspektiven entstanden. Sie liegen jedoch bislang lediglich fragmentiert vor und sind in der Fachpraxis nur eingeschränkt nutzbar.

1.3 Zielsetzung und zentrale Fragestellungen

Ziel dieser Studie ist es, die bestehenden Erkenntnisse systematisch aufzubereiten und in einer technisch fundierten, klar strukturierten und praxisnahen Form darzustellen. Damit soll Akteurinnen und Akteuren aus der Baupraxis – insbesondere Planenden, Architektinnen und Architekten sowie Bauherren – eine fundierte Wissensbasis zur Verfügung gestellt werden, die dabei hilft, die Kreislauffähigkeit von Materialien in der Planung, Errichtung und Sanierung von Gebäuden besser zu berücksichtigen.

Die Leitfrage dieser Studie lautet: „Wie kreislauffähig ist der deutsche Gebäudesektor?“ Im Mittelpunkt stehen dabei zentrale Fragestellungen wie: Welche Materialien und Bauelemente werden im Gebäudesektor am häufigsten verwendet? Was geschieht mit ihnen nach dem Rückbau? Wie kann die Menge an Materialien, die zu Abfall werden, wirksam reduziert werden? Und vor allem: Welche Hebel gibt es, um die Recyclingfähigkeit im Bausektor zu steigern?

Grundlagen

Kreislauffähigkeit



2.1 Kreislauffähigkeit im Gebäudesektor

Im „Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft“ (Europäische Kommission 2020) wird der Begriff der Kreislaufwirtschaft umfassend definiert. Beginnend beim Produktdesign über die Produktion und den Konsum bis hin zur klassischen Abfallwirtschaft umfasst er alle Phasen der Wertschöpfungskette. Das bisherige „Ende“ des Produktlebenszyklus ist der Anfang der erneuten Rückführung von wertvollen Rohstoffen in die Wirtschaft. Damit tragen die Unternehmen der Entsorgungs- und Recyclingindustrie ein hohes Maß an Verantwortung (vgl. Prognos 2024).

Prinzipien zur Förderung geschlossener Materialkreisläufe im Bausektor

Im Bauwesen bilden fünf Prinzipien die Grundlage für Kreislauffähigkeit: Vermeidung, Reduktion, Wiederverwendung, Recycling und Substitution. Ihre konsequente Anwendung spart Ressourcen, senkt CO₂-Emissionen und erhöht die Umweltverträglichkeit von Bauprojekten.

- **Vermeidung:** Ziel ist es, Materialeinsatz und Abfall bereits in der Planungsphase zu vermeiden. Durch Bestandserhalt, Sanierung und Umnutzung anstelle von Neubau werden graue Energie und CO₂-Emissionen deutlich reduziert.

- **Reduktion:** Durch materialeffizientes Design, modulare Bauweisen und optimierte Planung wird der Ressourcen- und Energiebedarf gesenkt sowie Verschnitt minimiert.
- **Wiederverwendung:** Bauteile und Materialien werden ohne stoffliche Umwandlung erneut eingesetzt. Voraussetzung sind rückbaubare Konstruktionen sowie sortenrein trennbare Materialien.
- **Recycling:** Nicht wiederverwendbare Materialien werden hochwertig recycelt und als Sekundärrohstoffe in neue Bauprodukte integriert.
- **Substitution:** Ressourcenintensive oder umweltschädliche Materialien werden durch nachhaltigere Alternativen ersetzt, etwa durch den Einsatz von Recyclingbeton oder nachwachsenden Dämmstoffen.

In Tabelle 1 sind die Reduktionspotenziale dargestellt, die durch die Anwendung der Prinzipien der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen erzielt werden können, veranschaulicht anhand ausgewählter Best-Practice-Beispiele.

Prinzip	Praxisbeispiel (Deutschland/DACH)	Quantifizierbares Potenzial / Wirkung	Quelle
Vermeidung	Umnutzung von Bürogebäuden zu Wohnraum (Berlin, München, Frankfurt); Sanierung statt Abriss (z. B. Karl-Marx-Allee in Berlin)	Bis zu 50–70 % Einsparung grauer Emissionen im Vergleich zu Abriss/Neubau; Flächensparpotenzial bis 20 %	BBSR 2023; Gebäudeforum klimaneutral 2022a
Reduktion	Holz-Hybridbauweise im Geschossbau (z. B. EDGE Südkreuz Berlin); optimierte Betondecken mit reduziertem Zementanteil	Bis zu 80 % weniger CO ₂ -Emissionen im Rohbau je m ² Nutzfläche	Rhomberg o. J.
Wiederverwendung	Bauteilnetz Deutschland und ReBAU Leipzig: Wiederverwendung gebrauchter Türen, Fenster, Trennwände; Urban Mining Hub Zürich	Einsparungen von bis zu 90 % Energieaufwand gegenüber Neuproduktion; Reduktion grauer Emissionen um 60–80 %	ReBAU 2025, Eberhard Unternehmungen o. J.
Recycling	Recycling-Beton (RC-Beton) in öffentlichen Bauten, Ziegelgranulat als Sekundärbaustoff	Substitution von Primärrohstoffen 30–50 % möglich; Emissionseinsparung 20–40 kg CO ₂ /t Material	Umweltbundesamt 2023
Substitution	Hanf- und Zellulosedämmstoffe, Sekundäraluminium in Fassadenprofilen, rezyklierte Kunststoffe im Innenausbau	Reduktion von Energie- und Rohstoffbedarf um 20–50 %; CO ₂ -Einsparung je nach Material 100–400 kg CO ₂ /m ³	BMUV 2024; Bauhaus Erde o. J.

Tabelle 1: Prinzipien der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen. Quelle: Eigene Darstellung nach Bauhaus Erde o. J.; BBSR 2023; BMUV 2024; Eberhard Unternehmungen o. J.; Gebäudeforum klimaneutral 2022a; ReBAU 2025; Rhomberg o. J.; Umweltbundesamt 2023.

Klimatische und ressourcenbezogene Potenziale von Bestandssanierungen gegenüber Neubauten

Die Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment, LCA) zeigt klar, dass Sanierung gegenüber Neubau in Bezug auf Ressourcenverbrauch und CO₂-Emissionen erhebliche Vorteile bietet. Die grauen Emissionen bei Sanierungsmaßnahmen sind im Schnitt um den Faktor 2,4 niedriger als bei vergleichbaren Neubauten (vgl. DGNB 2025).

Ein weiteres Ergebnis einer Studie des Wuppertal Instituts ist, dass energetische Sanierungen insgesamt rund 50 Prozent der CO₂-Emissionen eines Neubaus verursachen. Diese Reduktion ergibt sich primär dadurch, dass bestehende Strukturen und Materialien erhalten bleiben und dadurch die Herstellung neuer Baumaterialien, Transporte und Bauprozesse verringert werden.

Zum Beispiel werden in Projekten eines Wohnungsunternehmens bei Sanierungsmaßnahmen Materialmengen zwischen 2,3 und 46 Tonnen eingesetzt. Im Vergleich benötigen Neubauten gleicher Größe 1.276 bis 7.070 Tonnen. Zudem kann der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf (Primary Energy Non-Renewable – Total, PENRT) der grauen Energie bei Bestand/Sanierung um rund 27 Prozent gegenüber dem Neubau reduziert werden (vgl. Steger et al. 2022: 5).

Suffizienzansätze: Einsparpotenziale quantifiziert

Suffizienzmaßnahmen wie Umbau, Ausbau oder Umnutzung bieten nicht nur qualitative Vorteile, sondern auch beachtliche Einsparpotenziale im Material- und CO₂-Bereich. Laut einer Studie des BBSR betragen die grauen Emissionen bei typischen Neubauten in Deutschland 10 bis 16 kg CO₂-Äq. pro m² pro Jahr Wohnfläche für Herstellung, Transport etc. (vgl. BBSR 2023: 37). Eine aktuelle Untersuchung des Umweltbundesamts zeigt: Im deutschen Sektor der Bau- und Abbruchabfälle lassen sich durch kreislaufwirtschaftliche Strategien bis 2030 negative Emissionsbeiträge realisieren (vgl. Umweltbundesamt 2023).

Zudem hat eine Analyse von Agora Industrie et al. festgestellt, dass 2023 allein die Embodied-Carbon-Emissionen im Gebäudesektor Deutschlands etwa 73 Millionen Tonnen CO₂-Äq. betragen (vgl. Agora et al. 2024: 14). Bereits

eine Reduktion im niedrigen einstelligen Prozentbereich durch suffizienzorientierte Strategien würde jährliche Einsparungen in der Größenordnung von mehreren Millionen Tonnen CO₂-Äq. ermöglichen.

Rolle von Normen, Regularien und politischen Rahmenbedingungen

Der regulatorische Rahmen der Europäischen Union und Deutschlands legt die strukturellen Grundlagen für eine umfassende Erfassung, Bewertung und Steuerung von Materialflüssen im Gebäudesektor. Durch die Kombination aus Produktrecht (z. B. Bauprodukteverordnung), Abfallrecht (z. B. Kreislaufwirtschaftsgesetz, Ersatzbaustoffverordnung) und Chemikalienrecht (z. B. REACH) entsteht ein integriertes System, das die Grenzen zwischen Produktlebenszyklus und Abfallwirtschaft zunehmend auflöst.

Für Materialflussanalysen (MFA) bedeutet dies, dass künftig produkt- und abfallbezogene Daten in einem gemeinsamen System erfasst und bilanziert werden können. Besonders die Einführung digitaler Produktpässe gemäß Bauprodukteverordnung (EU 2024/3110) verankert die Rückverfolgbarkeit von Baustoffen über den gesamten Lebenszyklus hinweg – sowohl technisch als auch rechtlich. Diese Entwicklung bildet eine entscheidende Grundlage für die Operationalisierung der Kreislaufwirtschaft in der Baupraxis.

In regulatorischer Hinsicht rückt damit die Verfügbarkeit verlässlicher Stoffstromdaten in den Mittelpunkt, nicht nur für die Umsetzung der europäischen Abfallrahmenrichtlinie, sondern auch für das Erreichen der nationalen Klimaziele im Gebäudesektor gemäß Bundes-Klimaschutzgesetz. Die künftige Integration von Material- und CO₂-Bilanzen in Planung, Ausschreibung und Gebäudebewertung (z. B. über QNG, BEG, EU-Taxonomie) wird dabei zum zentralen Steuerungsinstrument.

Insgesamt entwickelt sich das Regelwerk in Deutschland und Europa somit von einer abfallorientierten Perspektive hin zu einem lebenszyklusbasierten Ressourcenmanagement, das den Übergang zu einer zirkulären Bauwirtschaft regulatorisch absichert und praktisch messbar macht (vgl. Müller et al. 2023: 53).

2.2 Methoden zur Analyse von Materialflüssen im Gebäudesektor

Materialfluss- und Stoffstromanalysen als zentrale Instrumente zur Quantifizierung im Bauwesen

Materialflussanalysen (Material Flow Analysis, MFA) und Stoffstromanalysen (SSA) sind heute zentrale Werkzeuge, um den Ressourceneinsatz, die Materialeffizienz und die Kreislauffähigkeit im Bauwesen systematisch zu bewerten und zu steuern. Sie bilden die quantitative Grundlage für die Beurteilung, wie Materialien im Lebenszyklus von Gebäuden eingesetzt, gespeichert, wiederverwendet oder entsorgt werden.

Der methodische Ursprung liegt im Konzept des „anthropogenen Stoffwechsels“, das von Baccini und Brunner (1991; 2012 in Schiller et al. 2017) entwickelt wurde. Es beschreibt die von Menschen geschaffenen Stoffflüsse und -lager im Gegensatz zu den natürlichen (geogenen) Kreisläufen. Gebäude, Infrastrukturen und Materialien werden dabei als „urbane Lager“ (Urban Stocks) verstanden, deren langfristige Nutzung und Wiederverwendung maßgeblich über die Ressourceneffizienz einer Volkswirtschaft bestimmen (vgl. Schiller et al. 2017).

Materialflussanalysen im Bauwesen erfassen, welche Rohstoffe und Baustoffe genutzt werden, welche Materialien in Gebäuden gespeichert sind (z. B. Beton, Stahl, Holz) und welche Abfälle beim Abbruch oder bei Sanierungen entstehen. Damit ermöglichen sie die Berechnung von Nettozugängen zu Gebäudebeständen (Net Additions to Stock, NAS) und die Ermittlung zukünftiger Rückbaumaterialien. Diese Informationen sind zentral, um Stoffkreisläufe zu schließen und Recyclingpotenziale zu bewerten.

In der Forschung werden sowohl Top-down-Ansätze (z. B. Economy-wide MFA, Ew-MFA) als auch Bottom-up-Modelle genutzt.

- Der Top-down-Ansatz Ew-MFA verknüpft nationale Wirtschaftsstatistiken zu Rohstoffgewinnung, Importen, Exporten, Abfällen und Emissionen, um die gesamtwirtschaftliche Materialnutzung (Domestic Material Consumption, DMC) abzubilden (vgl. Eurostat 2025).
- Bottom-up-Modelle hingegen basieren auf detaillierten Materialdaten einzelner Gebäude oder Bauelemente und sind für den Bausektor besonders geeignet, da sie präzise Aussagen über Materialzusammensetzung, Lebensdauer und Rückbaupotenziale ermöglichen (vgl. Schiller et al. 2015).

Für das Bauwesen ist diese Unterscheidung besonders relevant, da rund 50 Prozent der in Deutschland verbrauchten Rohstoffe auf diesen Sektor fallen und jährlich über 200 Millionen Tonnen Bau- und Abbruchabfälle entstehen (vgl. Umweltbundesamt 2025a). Durch systematische

Materialflussanalysen lassen sich diese Ströme transparent erfassen, bewerten und steuern. Sie ermöglichen, die Materialeffizienz zu erhöhen, Recyclingpotenziale zu messen und fundierte Strategien zur Dekarbonisierung und Kreislaufführung zu entwickeln.

In Kombination mit Lebenszyklusanalysen liefert die MFA entscheidende Daten, um die Umweltwirkungen von Bauprodukten und -systemen abzuschätzen und Szenarien für klimaneutrales Bauen zu modellieren. Das Zusammenspiel von beiden Methoden ist zentral, um regulatorische Anforderungen – etwa aus der neuen EU-Bauprodukteverordnung (EU 2024/3110) und der Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie des BMUV (2024) – wissenschaftlich fundiert umzusetzen.

Lebenszyklusanalysen (LCA) typischer Bauelemente

Die Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment, LCA), die unter anderem durch DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044 standardisiert ist, ermöglicht eine quantitative Bewertung der ökologischen Umweltwirkungen eines Produkts oder Systems über alle Phasen hinweg – von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung bzw. Wiederverwertung. Für Bauelemente umfasst dies die Phasen der Herstellung, des Transports, des Einbaus, der Nutzung (Wartung, Instandhaltung, Energie-/Materialbedarf), des Rückbaus sowie der End-of-Life-Szenarien einschließlich Recycling, Wiederverwendung oder Deponierung.

Für die Beurteilung der Zirkularität im Bauwesen sind insbesondere folgende Aspekte in der LCA wichtig:

Zentrale Aspekte zur Bewertung von Zirkularität in der LCA

- **Systemgrenzen:** Wiederverwendung, Rückgewinnung und Recycling, insbesondere in End-of-Life-Modulen (z. B. Modul D nach DIN EN 15978), werden berücksichtigt.
- **Datenbasis:** Verfügbarkeit belastbarer Daten zu Materialien, Herstellung, Transport, Nutzung und Rückbau; EPDs (Environmental Product Declaration) nach DIN EN 15804 sind eine zentrale Grundlage.
- **Lebensdauer:** Nutzungsdauer, Instandhaltung und Erneuerung beeinflussen die Umweltwirkungen über den gesamten Lebenszyklus maßgeblich.
- **End-of-Life und Trennbarkeit:** Demontierbarkeit, Recyclingpfade und Wiederverwendung bestimmen das reale Zirkularitätspotenzial.
- **Rahmenbedingungen:** Normen, Gesetzgebung und Zertifizierungssysteme (u. a. DIN EN 15978, EPBD, GEG, DGNB, QNG) machen Zirkularität mess- und vergleichbar.

Die LCA allein reicht jedoch oft nicht aus, um die gesamte Zirkularität eines Bauelements oder Gebäudes zu bewerten: Zwar liefert sie solide Daten zu Umweltwirkungen und Ressourceneinsatz, sie bildet jedoch Aspekte wie Trennbarkeitspotenziale, Qualitätserhalt bei Recycling, Märkte für Wiederverwendung oder sozioökonomische Aspekte nicht vollständig ab (vgl. Gebäudeforum klimaneutral 2025a; Gebäudeforum klimaneutral 2025b).

Indikatoren zur Bewertung von Zirkularität

Zirkularität im Bausektor zielt darauf ab, Material- und Bauteilströme so zu gestalten, dass sie möglichst geschlossen und hochwertig bleiben – von der Auswahl der Baustoffe über die Nutzung bis zum Rückbau. Methoden zur Bewertung dieser Zirkularität (siehe Tabelle 2) unterscheiden

sich hinsichtlich der berücksichtigten Lebensphasen (Entwurf/Pre-Use, Nutzung/Use, Rückbau/Post-Use), der Betrachtung von Materialquellen (primär, sekundär, erneuerbar), der Qualität bei Recycling vs. Downcycling, der Trenn- und Rückbauaspekte sowie der ökonomischen Parameter (z. B. Aufwand und Materialwert). Der neue DGNB-Qualitätsstandard für Zirkularitätsindizes dient dazu, Methoden zu harmonisieren und Vergleichbarkeit herzustellen, insbesondere in Bezug auf Teilindikatoren, wie beispielsweise Materialherkunft, Demontagefähigkeit und Schadstoffbelastung (vgl. DGNB 2024).

Die folgende Tabelle fasst zentrale Bewertungsmethoden und Indikatoren mit ihren wichtigsten Merkmalen zusammen.

Methode / Indikator	Berücksichtigte Lebensphasen	Zentrale Merkmale/Indikatoren
Building Circularity Indicator	Entwurfsphase, Nutzung, Rückbau	Anteil recycelter Materialien; Wiederverwendung; Trennbarkeit/Rückbaubarkeit mittels DfD-Kriterien; End-of-Life-Szenarien (Verbrennung, Deponierung als nicht zirkulär)
Circularity Indicator	Entwurfs-/Konstruktionsphase, Nutzung, Rückbau	Anteil wiederverwendeter und recycelter Materialien; auch nachwachsende Rohstoffe; zerstörungsfreie Demontage als Voraussetzung für Wiederverwendung; EMF-Methode (Engineering Material Footprint) zur Berechnung
Building Circularity Index	Alle Phasen	Wiederverwendung, Recycling, nachwachsende Rohstoffe; Trennbarkeit nach Durmisevic (aber reduziert auf nur 4 von 17 Faktoren); Umweltfolgekosten (Kosten und Umweltauswirkungen)
Urban Mining Index	Pre-Use (Herstellung), Use (Nutzung), Post-Use (Rückbau/Verwertung)	Materialherkunft (primär vs. sekundär; erneuerbar; zertifiziert vs. nicht zertifiziert); Qualitätsstufen: Wiederverwendung, Recycling, Downcycling; sortenreine Trennbarkeit; zerstörungsfreie Demontage; Rückbauaufwand vs. Restwert; Schadstoffprüfung; Closed-Loop vs. Loop-Potenzial; aggregierter Zirkularitätswert (Masse-%); intuitive Prozentangabe
DGNB Zirkularitätsindex & Qualitätsstandard	Pre-Use (heutiger Beitrag) und Post-Use (potenzieller zukünftiger Beitrag)	Sieben Teilindikatoren: Materialherkunft, Bau- und Abbruchabfälle, Schadstoffbelastung (heute/Bestand), Materialverträglichkeit, Demontagefähigkeit, werkstoffliche Trennbarkeit, Materialverwertungspotenzial; Ebenen: Gebäude, Bauteil, Produkt und Material; Skala von 0 bis 1; Gewichtung je nach Lebensdauer des Gebäudes

Tabelle 2: Übersicht Bewertungsmethoden/Indikatoren. Quelle: Eigene Darstellung nach Kaufmann 2022; Gebäudeforum klimaneutral 2022b; DGNB 2024.

2.3 Formen und Pfade der Verwendung

Die Verwendung von Bau- und Abbruchmaterialien bildet das Rückgrat der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen. Sie umfasst unterschiedliche Formen und Pfade der Materialrückgewinnung, die je nach Zielsetzung, Schadstoffbelastung und technischer Machbarkeit variieren.

Rückbau, Demontage und selektiver Abbruch

Während der konventionelle Abriss primär auf die schnelle und kosteneffiziente Beseitigung von Bauwerken zielt, steht beim Rückbau der systematische und geordnete Abbau mit dem Ziel der Wiederverwendung oder der Verwertung von Materialien im Vordergrund.

Die Demontage beschreibt die zerstörungsfreie Trennung einzelner Bauteile oder Systeme (z. B. Fenster, Türen, Fassadenelemente) zur direkten Wiederverwendung. Sie spielt insbesondere im Holz- und Modulbau eine wichtige Rolle. Der selektive Abbruch (Selective Demolition) geht noch einen Schritt weiter: Er folgt einer definierten Materialtrennlogik, bei der Baustoffe schrittweise und sortenrein rückgebaut werden, um hochwertige Recyclingprozesse zu ermöglichen. Dieses Verfahren gilt nach dem EU Construction & Demolition Waste Management Protocol (2024) als Schlüsselmaßnahme zur Erhöhung der stofflichen Verwertungsquote und wird in Deutschland unter anderem durch das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) und die Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) gestützt.

Wiederverwendung (Re-Use)

Die direkte Wiederverwendung von Bauteilen stellt die effizienteste Form der Ressourcenschonung dar. Dabei werden Bauelemente ohne wesentliche Aufbereitung

erneut genutzt, beispielsweise Türen, Stahlträger oder Fassadenelemente. Voraussetzung ist eine frühzeitige Planung für den Rückbau (Design for Deconstruction) sowie eine belastbare Dokumentation der Materialeigenschaften, etwa über Materialpässe oder digitale Gebäuderessourcenregister.

Recycling (stoffliche Verwertung)

Das Recycling von Bauabfällen zielt auf die Aufbereitung von Materialien zu neuen Baustoffen. Dabei wird zwischen hochwertigem und minderwertigem Recycling unterschieden:

- **Hochwertiges Recycling (Upcycling)**, zum Beispiel der Einsatz rezyklierter Gesteinskörnungen in Beton
- **Minderwertiges Recycling (Downcycling)**, zum Beispiel die Nutzung von Betonbruch als Verfüllmaterial

Für Recyclingprodukte gelten – im Gegensatz zu Primärrohstoffen – zusätzliche Umwelanforderungen, um Schadstoffeinträge in Boden und Grundwasser zu vermeiden. Die Ersatzbaustoffverordnung (EBV) legt hierfür verbindliche Grenzwerte fest.

Entsorgung und energetische Verwertung

Nicht verwertbare Reststoffe werden thermisch verwertet oder deponiert. Diese Optionen stehen in der Abfallhierarchie an letzter Stelle und sollten möglichst vermieden werden. Laut EU-Abfallrahmenrichtlinie (2008/98/EG) sind sie nur zulässig, wenn Wiederverwendung oder stoffliche Verwertung technisch oder ökologisch nicht möglich sind.

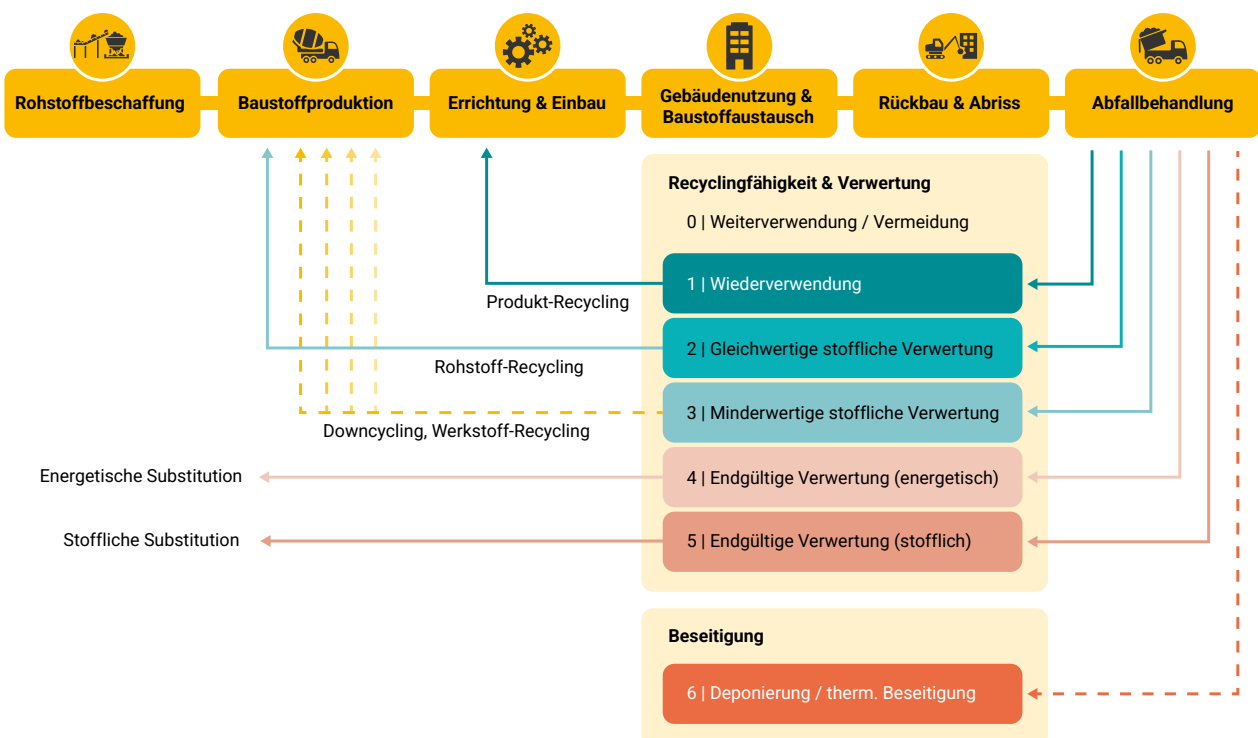


Abbildung 2: Ressourcennutzung von Gebäuden. Quelle: Eigene Darstellung nach Ebert et al. 2020: 8.

2.4 Recyclingpotenzial von Baustoffen im Bausektor

Die Rückführung von Baustoffen in den Stoffkreislauf ist ein zentraler Bestandteil der Kreislaufwirtschaft. Das Recyclingpotenzial hängt wesentlich von den Materialeigenschaften, der Schadstofffreiheit und der Möglichkeit einer sortenreinen Trennung ab. Darüber hinaus spielen technische Verwertungswege, rechtliche Rahmenbedingungen und ökonomische Faktoren eine Rolle. Grundsätzlich lassen sich vier Hauptstoffgruppen unterscheiden: biotische, fossile, metallische und mineralische Baustoffe.

Biotische Baustoffe

Biotische Materialien wie Holz, Stroh, Hanf oder Schafwolle bestehen aus nachwachsenden Rohstoffen (NaWaRo) und sind grundsätzlich biologisch abbaubar. Bei geeigneter stofflicher Trennung können sie in natürliche Stoffkreisläufe zurückgeführt werden. In der Praxis werden sie jedoch häufig chemisch behandelt, was die stoffliche Wiederverwertung erschwert. In Deutschland werden von jährlich etwa sieben Millionen Tonnen Altholz rund 30 Prozent stofflich verwertet, meist in der Spanplattenindustrie (vgl. Kaufmann 2022). Der überwiegende Anteil wird energetisch genutzt, insbesondere in Biomassekraftwerken. Eine nachhaltige Bewirtschaftung, etwa durch eine FSC- oder PEFC-Zertifizierung, ist entscheidend für die ökologische Kreislaufführung.

Fossile Baustoffe

Fossile Materialien umfassen vor allem Kunststoffe auf Erdölbasis, die im Bauwesen für Fensterprofile, Abdichtungen und Dämmungen verwendet werden. Sie sind langlebig, jedoch kaum biologisch abbaubar und führen langfristig zur Bildung von Mikroplastik. Nur Thermoplaste wie PVC lassen sich technisch recyceln, sofern sie sortenrein vorliegen. Laut Umweltbundesamt (2025b) wurden in Deutschland 38,4 Prozent der 5,9 Millionen Tonnen Kunststoffabfälle stofflich oder chemisch verwertet, während 61 Prozent energetisch genutzt wurden. Verbundsysteme und Additive erschweren die Trennung, weshalb Kunststoffe im Bauwesen häufig verbrannt werden.

Metallische Baustoffe

Metallische Baustoffe besitzen das höchste Recyclingpotenzial. Stahl, Aluminium und Kupfer können nahezu unbegrenzt ohne Qualitätsverlust wiederverwertet werden.

In Deutschland werden etwa 99 Prozent des Baustahls und über 90 Prozent des Kupfers im Kreislauf geführt. Der Energiebedarf für recyceltes Aluminium beträgt nur etwa fünf Prozent der Primärproduktion, wodurch der CO₂-Ausstoß um bis zu 95 Prozent sinkt. Einschränkungen ergeben sich durch legierungsbedingte Verunreinigungen und Beschichtungen, die die Sortenreinheit beeinträchtigen (vgl. Kaufmann 2022). Zudem sind Rückbau- und Sammellogistik entscheidend für hohe Rückgewinnungsraten.

Mineralische Baustoffe

Mineralische Baustoffe wie Beton, Ziegel oder Gips machen den größten Anteil des Bauabfalls aus. 2022 fielen in Deutschland etwa 210 Millionen Tonnen mineralische Bauabfälle an (vgl. Initiative Kreislaufwirtschaft Bau 2024: 6). Hochwertiges Recycling ist jedoch selten, da das Material häufig zu heterogen und mit Gips oder Feinfraktionen belastet ist. Nur etwa 40 Prozent der Betonbestandteile erfüllen die Anforderungen für Wiederverwendung in neuem Beton. Innovative Verfahren zur Trennung von Zement und Gesteinskörnung existieren, sind aber wirtschaftlich noch nicht etabliert (vgl. Kaufmann 2022).

Herausforderungen und Ausblick

Metalle weisen die höchste Recyclingfähigkeit auf – fossile Baustoffe die geringste. Biotische Materialien sind theoretisch besonders kreislauffähig, werden in der Praxis jedoch überwiegend energetisch verwertet. Haupthemmnisse sind die fehlende Sortenreinheit beim Rückbau, Schadstoffbelastungen in Baustoffen, unzureichende Normen für Sekundärmaterialien und geringe Akzeptanz in der Planungspraxis. Instrumente wie Materialpässe, Rückbaukonzepte und zertifizierte Recyclingprozesse (z. B. nach DGNB) gelten als Schlüsselfaktoren für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft im Bauwesen. Langfristig wird zudem die Einführung digitaler Produktpässe auf EU-Ebene (Bauprodukteverordnung 2024/3110) entscheidend sein, um Materialflüsse transparent und rückverfolgbar zu machen.

Methodik zur Analyse der Kreislauffähigkeit im Gebäudesektor



3.1 Datengrundlagen

Die Grundlage der Analyse bildet die systematische Auswertung und Strukturierung bestehender Studien zu Materialströmen und Kreislauffähigkeit im Gebäudesektor.

Als methodische Basis wurde ein standardisiertes Bewertungsraster entwickelt, das eine einheitliche Erfassung und Bewertung der identifizierten Studien ermöglicht. Ziel war es, solche Veröffentlichungen zu identifizieren, die in besonderem Maße geeignet sind, ein aktuelles und belastbares Bild der Zirkularität im deutschen Gebäudesektor zu zeichnen. Ein besonderer Fokus lag dabei auf quantitativen Analysen, die den gesamten Lebenszyklus

von Gebäuden oder einzelnen Bauteilen abbilden. Die im Rahmen dieses Prozesses ausgewählten Kernstudien sowie eine Übersicht über die zusätzlich herangezogenen und angewendeten Studien sind gesammelt im Anhang (Tabelle A2 und Tabelle A3) dokumentiert.

Darauf aufbauend wurde ein Excel-basiertes Template entwickelt, mit dem die relevante Literatur systematisch anhand definierter Metadaten erfasst und gleichzeitig hinsichtlich ihrer thematischen Relevanz für die übergeordnete Fragestellung bewertet werden kann.

Aufbau des Templates

Teil 1 – Metadaten (Stichpunkte):

- Identifikation: Autorinnen und Autoren, Titel, Veröffentlichungsjahr
- Methodik & Untersuchungsrahmen: Publikationstyp, Betrachtungsebene, Analyserichtung
- Zeitliche Einordnung: Jahr der Datenerhebung, Bestands- vs. Flussdaten, Einzeldaten vs. Zeitreihen
- Inhaltliche Schwerpunkte: Untersuchte Bauelemente/ Materialien, Gebäudearten, Unterkategorien, Altersklassen

Teil 2 – Vertiefung: Detailliertere Auswertung und Vergleich der Studieninhalte

Für die Bewertung der Studien wurde ein Ampelsystem eingeführt (siehe Tabelle A4 und Tabelle A5 im Anhang). Es macht die Relevanz einzelner Bewertungskriterien durch eine farbliche Kennzeichnung (grün, gelb, rot) transparent und vergleichbar.

Das Ampelsystem ist ausdrücklich nicht als ausschließendes Bewertungsschema zu verstehen: Auch Studien mit fehlenden oder nur teilweise erfüllten Kriterien können – abhängig vom Kontext – einen relevanten Beitrag zur Gesamteinschätzung leisten.

Bewertungskriterien

- **Kreislaufführung/Rückbaufähigkeit/Zirkularität:** Prüft, ob die Studie Aussagen zur Kreislaufführung, Rückbaufähigkeit oder Zirkularität trifft.
- **Handlungsempfehlungen:** Erfasst, ob konkrete Empfehlungen zur Förderung der Kreislauffähigkeit formuliert werden.
- **Lebenszyklusphasen:** Bewertet den Umfang der berücksichtigten Lebenszyklusphasen (nach DIN 15978).
- **Bauelemente oder Materialien:** Unterscheidet, ob spezifische Materialien oder Bauelemente betrachtet werden.
- **Verbleibdauer:** Analysiert, ob Aussagen zur Nutzungs- bzw. Lebensdauer von Materialien oder Bauelementen vorliegen.
- **Qualitativ/quantitativ:** Kategorisiert die Studie anhand der Methodik (qualitative vs. quantitative Ergebnisse).
- **Aktualität der Daten:** Prüft die Zeitnähe der in der Studie verwendeten Datengrundlage.

3.2 Quantifizierung des anthropogenen Materiallagers im Gebäudebestand

Für die Abschätzung der im Gebäudebestand enthaltenen Materialmengen wurden vor allem zwei Quellen herangezogen:

Kartierung des anthropogenen Lagers (KartAL)

Die KartAL-Studie (vgl. Schiller et al. 2015) im Auftrag des Umweltbundesamts kombiniert Top-down- und Bottom-up-Ansätze und basiert auf Daten des Jahres 2010.

- Der **Top-down-Ansatz** nutzt die Materialflussanalyse (MFA) und die Umweltökonomische Gesamtrechnung (UGR), um jährliche Input- und Outputflüsse zu bestimmen. Aus dem positiven Delta ergibt sich die Net Addition to Stock (NAS).
- Der **Bottom-up-Ansatz** verwendet Materialkennzahlen (MKZ) für Gebäude und Haustechnik. Für Wohngebäude wurden zwei Varianten modelliert. In dieser Studie werden ausschließlich die detaillierteren Ergebnisse aus **Variante 2**, differenziert nach Baualterklassen, genutzt.

Die KartAL-Modellierung schätzt für 2010 einen materialgebundenen Bestand von 15,23 Milliarden Tonnen im Gebäudesektor (8,45 Milliarden Tonnen Wohngebäude, 6,76 Milliarden Tonnen Nichtwohngebäude, 16,5 Millionen Tonnen Haustechnik).

Nationales Materialkataster Deutschland

Das Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) hat für das Jahr 2022 ein deutschlandweites Materialkataster auf Basis von MKZ und Geodaten erstellt.

- Es umfasst 11 Wohngebäudetypen und 15 Nichtwohngebäudetypen, jeweils differenziert nach Baualterklassen und – bei Mehrfamilienhäusern – nach Region (Ost/West).
- Die MKZ wurden mit über 20 Millionen Gebäuden verknüpft.
- Da für die Geodaten keine Baualtersinformation vorliegt, wurden MKZ mittels gewichteter Zensus-Daten angepasst.

Die Modellierung basiert somit auf einer anderen Systematik als KartAL.

Für das Jahr 2022 ergibt sich aus der IÖR-Modellierung ein materialgebundener Gebäudebestand in Höhe von 20,8 Gigatonnen.

Trotz der unterschiedlichen methodischen Grundlagen werden die beiden Modellierungsergebnisse in Abbildung 3 vergleichend dargestellt, um die Größenordnung der Gesamtmenge und die Zusammensetzung nach Hauptmaterialgruppen aufzuzeigen.

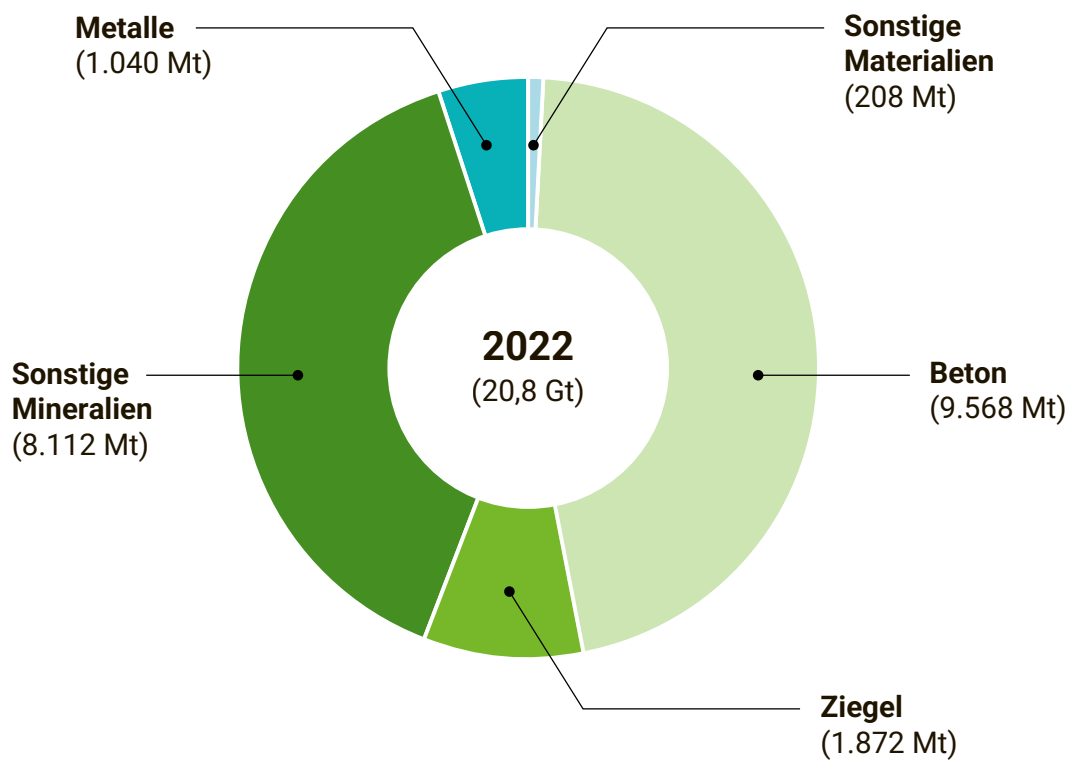
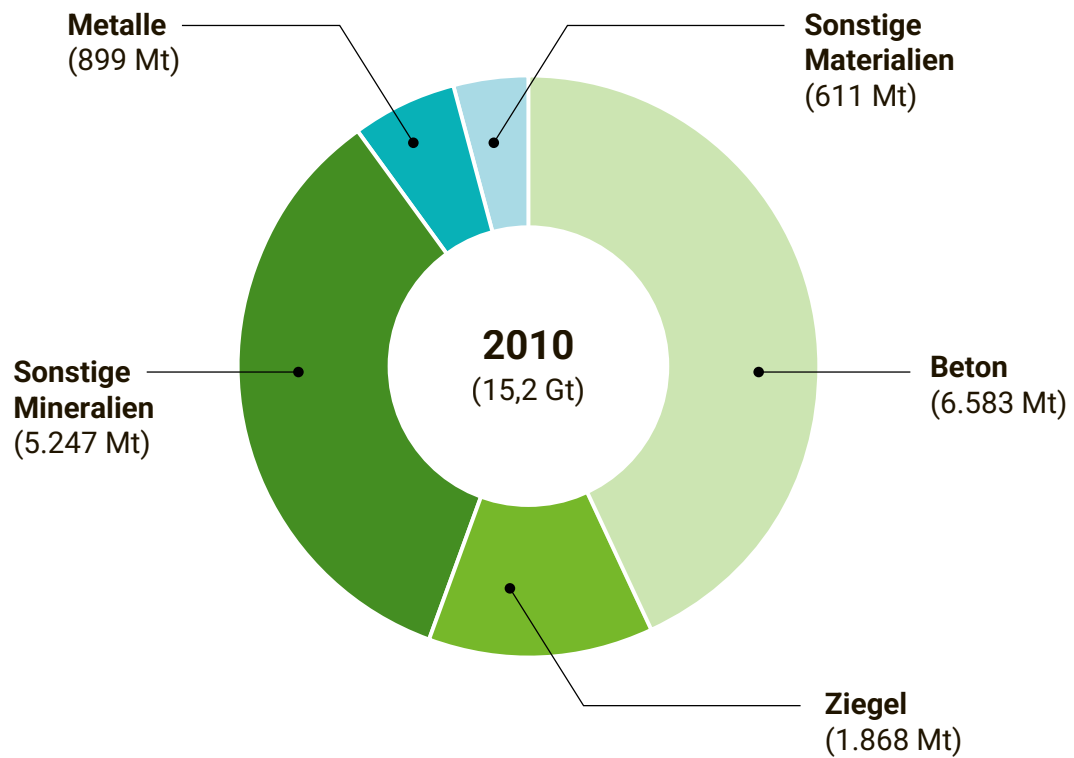


Abbildung 3: Gegenüberstellung der Gesamtmengen an Material, gespeichert im Gebäudebestand Deutschlands für 2010 bzw. 2022.
Quelle: Eigene Darstellung nach Schiller et al. (2015) und IÖR-Materialkategorien.

Aufgrund der unterschiedlichen methodischen Ausgangslagen der beiden Berechnungsergebnisse ist der Unterschied nicht als ein Wachstum des Stocks um knapp 25 Prozent zwischen 2010 und 2022 zu verstehen. Aus den KartAL-Analysen (vgl. Schiller et al. 2015) sowie aus

den Statistiken der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen ist jedoch bekannt, dass in Deutschland jährlich mehr Baumaterialien in den Bestand aufgenommen als aus ihm entfernt werden. Dadurch wächst der Materialbestand im Gebäudesektor kontinuierlich.

Datengrundlagen KartAL (2015, Datenjahr 2010)

- Top-down + Bottom-up
- MKZ differenziert nach Gebäudetypen und Baualtersklassen
- Bestand 2010: 15,23 Milliarden Tonnen

Materialkataster IÖR (2022)

- Bottom-up
- MKZ + Geodaten von über 20 Millionen Gebäuden
- Gewichtung über Zensus 2022
- Aggregierte Materialkategorien (Beton, Ziegel, Holz, Kunststoffe etc.)
- Datendatensatz nicht vollständig verfügbar

3.3 Methodische Herausforderungen

Die Analyse ist durch mehrere strukturelle Einschränkungen geprägt:

- **Unterschiedliche Modellierungslogiken** (KartAL vs. Materialkataster)
- **Zeitliche Differenzen** der Datengrundlagen (2010 vs. 2022)
- **Nicht deckungsgleiche MKZ**, da Geodaten keine Baualtersklassen enthalten
- **Abhängigkeit von vereinfachenden Annahmen** in beiden Bottom-up-Ansätzen
- **Keine direkte Messung realer Materialflüsse**, sondern modellierte Abschätzungen

Der in beiden Datensätzen sichtbare Mengenunterschied ist daher nicht als reales Wachstum zu interpretieren. Allerdings zeigen statistische Reihen der UGR, dass Deutschland jährlich positive NAS-Werte aufweist – das anthropogene Lager wächst also tatsächlich.

Analyse zentraler Baumaterialien und Bauelemente im Gebäudesektor

Die Analyse der Materialbestände und -flüsse im deutschen Gebäudesektor stützt sich auf zwei zentrale Bottom-up-Modellierungsansätze, die jeweils unterschiedliche methodische Stärken und Einschränkungen aufweisen. Beide Datensätze dienen als wesentliche Grundlage, um den Umfang des anthropogenen Lagers sowie das kreislaufwirtschaftliche Potenzial zentraler Baustoffe zu bewerten. Die folgenden Materialien werden in diesem Bericht einzeln untersucht. Die Systematik der jeweiligen Kapitel ist einheitlich aufgebaut, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Betrachtete Materialgruppen und Bewertungsschwerpunkte

Die Analyse umfasst Baustoffe, die für Masse, Umweltwirkung und Kreislauffähigkeit im Gebäudesektor besonders relevant sind:

- Stahl
- Beton
- Holz und weitere nachwachsende Materialien
- Kunststoffe
- Dämmstoffe

- Flachglas
- Verbundwerkstoffe
- Bauelemente, wie Wärmedämmverbundsysteme und Fenster

Diese Materialien unterscheiden sich im Hinblick auf:

- Verfügbarkeit und Qualität der Daten
- Einsatzgebiete in Wohn- und Nichtwohngebäuden
- Technische Eigenschaften
- Potenzial zur Wiederverwendung oder zum hochwertigen Recycling
- Typische Abfallströmen und Trennbarkeit
- Kreislaufwirtschaftliche Herausforderungen

Systematik der folgenden Materialkapitel

Alle folgenden Materialkapitel sind nach einem einheitlichen, deduktiven Raster aufgebaut. Die Struktur wird – soweit die Datengrundlage es zulässt – vollständig angewendet:

Standardstruktur der Materialkapitel

- Materialverbrauch in Deutschland
- Einsatz im Gebäudesektor
- Gebäudetypen (Wohngebäude/Nichtwohngebäude)
- Abfallmengen und Recycling
- Rückbau- und Trennbarkeit
- Kreislaufpotenzial
- Fazit

Die einheitliche Struktur ermöglicht eine klare Vergleichbarkeit der Materialien und erleichtert die Ableitung materialübergreifender Trends und Handlungsempfehlungen.

4.1 Baumaterialien

4.1.1 Stahl

Stahlverbrauch in Deutschland

Der Bausektor zählt zu den wichtigsten Abnehmern von Stahl in Deutschland. Die Wirtschaftsvereinigung Stahl (WV Stahl) zeigt, dass rund 31 Prozent der nationalen Stahlmenge im Bauwesen eingesetzt werden (vgl. WV Stahl 2025). Dies entspricht über 10 Millionen Tonnen pro

Jahr¹ (siehe Abbildung 4). Gleichzeitig werden jährlich mehr als 20 Millionen Tonnen Stahl- und Eisenschrott in die Stahlproduktion zurückgeführt – ein Hinweis auf die erhebliche wirtschaftliche und ökologische Bedeutung des Baustahlrecyclings.

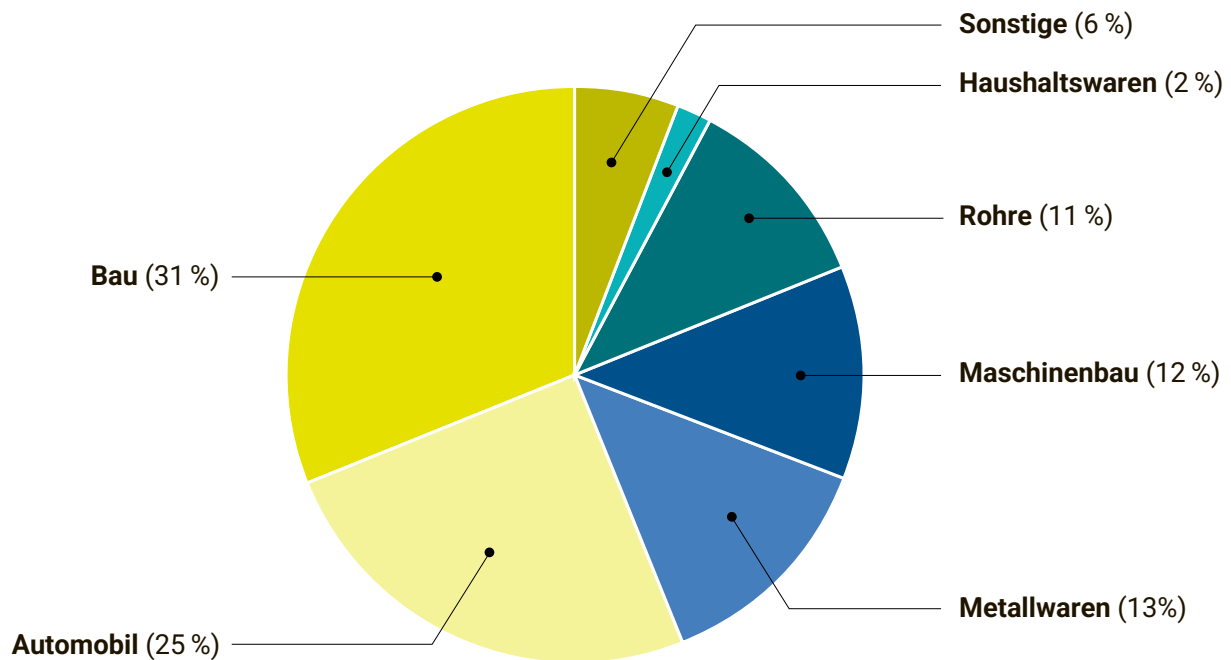


Abbildung 4: Abnehmerbranchen der Stahlindustrie. Quelle: Wirtschaftsvereinigung Stahl 2025.

Stahl im Gebäudesektor

Im deutschen Gebäudebestand lagern beträchtliche Mengen an Metallen, überwiegend Stahl und Gusseisen.

Schiller et al. (2015) ermitteln für 2010:

- **881 Millionen Tonnen Stahl** in Wohn- und Nichtwohngebäuden
- **12,6 Millionen Tonnen Stahl und 3 Millionen Tonnen Gusseisen** in der Haustechnik von Wohn- und Nichtwohngebäuden

Das Nationale Materialkataster des IÖR quantifiziert die im Jahr 2022 im Gebäudebestand verbaute Metallmenge mit 1.040 Millionen Tonnen, davon über 90 Prozent Stahl und Gusseisen.

Die jährlichen Materialflüsse im Gebäudesektor sind ebenfalls erheblich: Schiller et al. (2015) modellieren für 2010

einen Stahlinput von 9,2 Millionen Tonnen in Gebäuden sowie 0,36 Millionen Tonnen in der Haustechnik. Die Werte stimmen gut mit den Marktdaten der WV Stahl überein und bestätigen die hohe Stahlintensität im Bauwesen.

Einsatzbereiche in Wohn- und Nichtwohngebäuden
Stahl ist in allen Gebäudetypen ein zentrales Konstruktions- und Ausstattungsmaterial.

Wohngebäude

- Bewehrung im Massivbau
- Innere Trag- und Ausstattungselemente (Treppenhäuser, Aufzüge)
- Balkonanbauten

¹ Stahlproduktion in Deutschland im Jahr 2024: 37,3 Millionen Tonnen minus den Nettoexporten an Stahl von 4,2 Millionen Tonnen im Jahr.

Nichtwohngebäude (NWG)

Im NWG-Bereich ist der Stahlanteil besonders hoch. Hier wird Stahl zusätzlich eingesetzt in:

- Fassadenkonstruktionen
- Stahlprofilen
- Stahlskelettbauweisen

Laut Gebäudereport der dena (vgl. dena 2024) werden über 50 Prozent der genehmigten NWG in Stahl- oder Stahlbetonbauweise errichtet.

Im Wohngebäudeneubau ist der Anteil geringer, doch rund ein Viertel der 2023 genehmigten Mehrfamilienhäuser wurden in Stahlbetonbauweise geplant.

Die langfristige Betrachtung der Baugenehmigungen zeigt einen stetigen Einsatz von Stahl und Stahlbeton seit dem Jahr 2000. Dies spiegelt sich im Bestand wider: Von den 881 Millionen Tonnen Stahl im Gebäudepark entfielen bereits im Jahr 2010 517 Millionen Tonnen auf Nichtwohngebäude (vgl. Schiller et al. 2015). Damit bleibt der Sektor voraussichtlich auch künftig einer der bedeutendsten Anwendungsbereiche für Stahl – selbst bei steigenden Holzbauanteilen.

Abfallmengen aus dem Bauwesen

- 6,5 Millionen Tonnen Stahlschrott stammen aus Bau- und Abbruchabfällen (Hoch- und Tiefbau) (vgl. Raatz et al. 2022).
- 2,9 Millionen Tonnen für den Gebäudesektor allein (unterschiedliche Systemgrenzen zu beachten) (vgl. Schiller et al. 2015).

Rückbau- und Trennbarkeit

Stahl im Stahlbeton kann am Ende der Nutzungsdauer vergleichsweise einfach mittels Magnetabscheidung zurückgewonnen werden (vgl. Neumaier 2024). Dies begünstigt hohe Rückgewinnungsquoten entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Kreislaufwirtschaftliches Potenzial

Stahl gehört zu den kreislauffähigsten Materialien im Bauwesen.

Hohe Recyclingfähigkeit

- Stahl und Eisen sind beliebig oft ohne Qualitätsverlust recycelbar.
- Typischer Baustahl wird in Deutschland überwiegend über die Elektrostahlroute aus 100 Prozent Schrott hergestellt – ein Vorteil gegenüber Branchen, die hochwertigere Stähle benötigen.

Recyclingquoten und Rückgewinnungsraten

- 97 Prozent des anfallenden Baustahlschrotts werden erneut eingeschmolzen (vgl. WV Stahl 2025).
- Rund 99 Prozent des Baustahls aus Baustellenabfällen werden recycelt oder direkt wiederverwendet (vgl. Kaufmann 2022).
- Bei Stahlprofilen werden 99 Prozent der Stoffströme gesammelt und davon 11 Prozent direkt wiederverwendet (vgl. Helmus und Randel 2015).

Fazit

Stahl ist ein zentrales Baumaterial im deutschen Gebäudebestand und verfügt über sehr hohe Kreislauf- und Rückgewinnungspotenziale. Die große Bedeutung im Neubau – insbesondere bei Nichtwohngebäuden – kombiniert

mit den hohen Recyclingquoten und der etablierten Schrottwirtschaft macht Stahl zu einem Schlüsselmaterial für eine ressourceneffiziente und klimaverträgliche Transformation des Bausektors.

4.1.2 Beton

Betonverbrauch in Deutschland

Beton ist mit rund 40 Massenprozent der mengenmäßig bedeutendste Baustoff in Deutschland (vgl. Kaufmann 2022).

Der Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie (BTB) meldet für 2024 eine Produktion von **36,8 Millionen m³ Transportbeton** (vgl. BTB 2025). In den Jahren zuvor lag der Wert regelmäßig bei über 50 Millionen m³ – der Rückgang spiegelt die aktuelle Baukonjunktur wider.

Laut dena-Gebäudereport (vgl. dena 2024) wurden im Jahr 2022 18 Millionen Tonnen Zement im Gebäudesektor eingesetzt, davon knapp 10 Millionen Tonnen im Nichtwohngebäudebereich. Da ein Kubikmeter Beton 240 bis 320 Kilogramm Zement enthält, entspricht dies rechnerisch 56 bis 75 Millionen m³ Beton im Gebäudesektor (unter Berücksichtigung, dass Zement auch in anderen Produkten eingesetzt wird).

Beton im Gebäudesektor

Im Gebäudebestand nehmen Beton und andere mineralische Baustoffe eine zentrale Rolle ein. Schiller et al. (2015) modellieren für das Jahr 2010 6.583 Millionen Tonnen Beton im Gebäudesektor. Das Nationale Materialkataster Deutschland² (vgl. IÖR 2024) misst den verbauten Betonbestand mit 9.568 Millionen Tonnen in 2022. Der Unterschied stellt kein reales Bestandwachstum dar, sondern ist auf Fortschritte in der Datengrundlage zurückzuführen.³

Einsatzbereiche in Wohn- und Nichtwohngebäuden

Wohngebäude

Beton wird hauptsächlich genutzt für:

- Tragkonstruktionen im Massivbau
- Decken, Fundamente und Treppenhäuser
- Balkone und Außenbauteile

Nichtwohngebäude (NWG)

Der Einsatzanteil ist hier deutlich höher. Beton kommt insbesondere vor in:

- Stahlbetontragwerken
- Stützen, Unterzügen und Geschossdecken
- Großformatigen Fundamenten und technischen Räumen

Gemäß dena-Gebäudereport (vgl. dena 2024) wurden über 50 Prozent aller genehmigten NWG in Stahl- oder Stahlbetonbauweise errichtet. Bei Mehrfamilienhäusern lag der Anteil 2023 bei rund 25 Prozent. Die langfristige Entwicklung seit 2000 zeigt einen konstant hohen Einsatz von Beton im Hochbau.

Abfallmengen aus dem Bauwesen

Mineralische Bau- und Abbruchabfälle sind mit Abstand die größte Abfallgruppe in Deutschland.

- 207,9 Millionen Tonnen mineralische Bau- und Abbruchabfälle in 2022 (vgl. Initiative Kreislaufwirtschaft Bau 2024)

Der Bauschutt (Ziegel, Beton, Fliesen, Keramik) machte im Jahr 2022 55,2 Millionen Tonnen aus. Davon waren 24,7 Millionen Tonnen Betonabfälle (AVV 17 01 01), also 44 Prozent der Bauschuttmenge (siehe Abbildung 5).

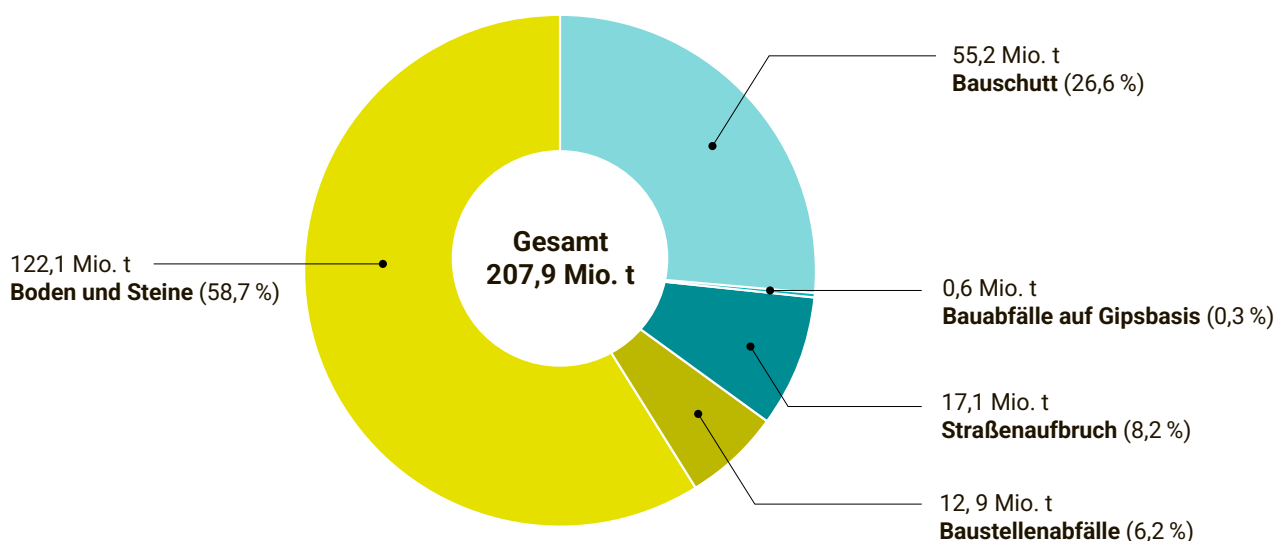


Abbildung 5: Menge und Verteilung an statistisch erfassten mineralischen Bauabfällen. Quelle: Initiative Kreislaufwirtschaft Bau 2024.

2 <https://ioer-isbe.de/ressourcen/nationales-materialkataster>

3 u. a. neuere Zensus-Informationen, Einbindung von Katasterdaten sowie aktualisierte Berechnung der NWG-Struktur im Projekt ENOB:dataNWG.

Gemischte Bau- und Abbruchabfälle (AVV 17 01 07) umfassen im Jahr 2023 26 Millionen Tonnen. Analysen von Kehl und Riousset (2024) zeigen typische Zusammensetzungen:

- 44 bis 70 Prozent Kies und Beton
- 15 bis 38 Prozent Ziegel
- 8 bis 19 Prozent Kalksandstein

Von den gemischten Abfällen wurden nur 70 Prozent einer Aufbereitung zugeführt (2019). Ein erheblicher Rest wurde deponiert oder verfüllt (vgl. Kehl und Riousset 2024).

Von dem aufbereiteten Altbeton wurden 2018 nur 0,5 Millionen Tonnen aufbereiteter Beton im Hochbau als Recyclingbaustoffe wiederverwendet (vgl. Kehl und Riousset 2024: 119).

Rückbau- und Trennbarkeit

Beton wird in der Abfallstatistik überwiegend als Bauschutt erfasst. Die Abfallfraktionen umfassen:

- AVV 17 01 01: Beton
- AVV 17 01 02: Ziegel
- AVV 17 01 03: Fliesen und Keramik
- AVV 17 01 07: Gemischte Bau- und Abbruchabfälle

Technisch ist eine Rückgewinnung von Gesteinskörnungen möglich, jedoch entsteht überwiegend gebrochenes Material, das nicht immer die erforderliche Korngrößenverteilung für hochwertigen Recyclingbeton (RC-Beton) besitzt. Kaufmann (2022) zeigt:

- 40 Prozent der zurückgewonnenen Gesteinskörnung sind hochwertig nutzbar.
- 60 Prozent können nur auf niedrigeren Qualitätsniveaus stofflich verwertet werden (als Schüttgut für Trag- und Frostsichten).

Innovative Zerlegungsverfahren wie elektrodynamische Fragmentierung existieren, sind aber nicht skaliert und lösen nicht das zentrale Problem: Die Rückgewinnung von Zement ist weiterhin nicht möglich.

Transportentfernungen wirken sich sowohl ökonomisch als auch ökologisch stark auf die Gesamtbilanz aus – ein wesentlicher Engpass für RC-Beton. „On-site“-Recycling, also die Wiederaufbereitung und -verwertung direkt vor Ort auf der Baustelle, kann hier vorteilhaft sein (vgl. Kaufmann 2022).

Kreislaufwirtschaftliches Potenzial

Beton besitzt ein grundsätzliches Kreislaufpotenzial, ist jedoch im Vergleich zu Metallen oder Holz nur eingeschränkt hochwertig recycelbar.

Eingeschränkte hochwertige Recyclbarkeit von Beton – wesentliche Gründe

- Komplexe Verbundstruktur von Beton
- Begrenzte technische Rückgewinnbarkeit einzelner Komponenten

RC-Beton kann zwar hergestellt werden, doch nur ein sehr kleiner Anteil der Betonabfälle (0,6 Prozent) fließt aktuell wieder in neuen Beton ein (vgl. Kaufmann 2022). Eine hochwertige Wiederverwendung ist derzeit nur bei

Festigkeitsklassen bis C30/37 zugelassen.

Abbildung 6 zeigt exemplarisch den Kreislauf, den Beton im Gebäudesektor durchläuft.

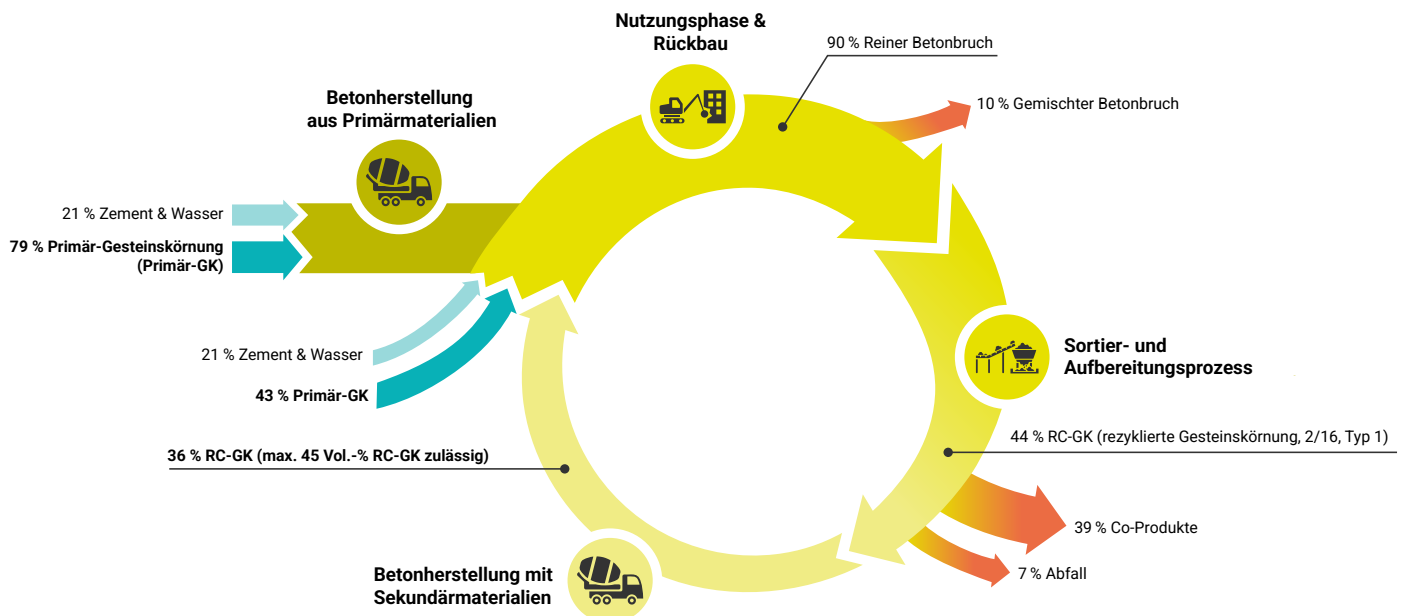


Abbildung 6: Recycling-Prozesskette: Normalbeton. Quelle: Eigene Darstellung nach ISBE o. J.

Kreislauffähiges Verbesserungspotenzial besteht insbesondere bei:

- Langlebiger Bauweise
- Erhalt und Weiterverwendung von Gebäuden
- Einsatz von zirkulären Konstruktionsprinzipien
- Substitution von Primärzement durch alternative Bindemittel

Fazit

Beton ist der mengenmäßig bedeutendste Baustoff Deutschlands und ein zentraler Bestandteil des Gebäudebestands. Sein Einsatz ist in Wohn- und insbesondere in Nichtwohngebäuden strukturell verankert und wird auch künftig eine wesentliche Rolle spielen.

Aus Sicht der Kreislaufwirtschaft zeigt Beton jedoch deutliche Herausforderungen:

- Die hochwertige stoffliche Verwertung ist technisch und wirtschaftlich begrenzt.
- Die Wiederverwendung erfolgt überwiegend als Downcycling.
- Zement als CO₂-intensivste Komponente ist derzeit nicht rückgewinnbar.

Gleichzeitig bietet der Baustoff Potenziale, die auf lange Nutzungsdauern, Erhalt, Umbau und optimierte Rückbauprozesse setzen. Damit bleibt Beton ein entscheidender Ansatzpunkt für die Transformation hin zu einer ressourcenschonenden und klimaverträglichen Bauwirtschaft.

Wiederverwendung von Fertigbetonbauteilen

- Hochwertiges Recycling von Beton ist technisch und wirtschaftlich stark begrenzt – ein Großteil der Betonabfälle wird downgecycelt und landet im Straßen- und Wegebau. Eine wirksame Alternative ist die direkte Wiederverwendung von Betonbauteilen.
- Das EU-Projekt ReCreate zeigt, wie Betonfertigteile aus Gebäuden der 1960er- bis 1980er-Jahre selektiv rückgebaut, geprüft und erneut eingesetzt werden können. Durch Pre-Deconstruction-Audits (z. B. DIN SPEC 91484), digitale Inventarisierung (z. B. über BIM), QR-Kennzeichnung und die Zusammenarbeit mit Bauunternehmen und Behörden entsteht ein geschlossener Bauteilkreislauf. Stützen, Träger und Hohldecken konnten so in neuen Projekten weiterverwendet werden.
- Auch andere Praxisbeispiele bestätigen dieses Potenzial: Die Wiederverwendung von Betonfertigteilen vermeidet CO₂-intensive Neuherstellung, reduziert Abfall und schafft einen echten Kreislaufpfad für Beton – weit über das bisherige Downcycling hinaus.

4.1.3 Holz

Holzverbrauch in Deutschland

Ein Großteil des in Deutschland verwendeten Holzes stammt aus nachhaltig bewirtschafteten, zertifizierten Flächen: 2021 waren 79,2 Prozent der Waldflächen entsprechend zertifiziert (vgl. Kaufmann 2022). Das in Deutschland gewonnene Holzsortiment wird nach Treml et al. (2023) in Sägewerken zu Balken und Brettern geschnitten. Parallel entstehen bei der Verarbeitung in Sägewerken erhebliche Mengen an Nebenprodukten wie Hackschnitzel und Sägemehl, die stofflich (Papier, Holzwerkstoffe) oder energetisch genutzt werden können (vgl. Treml et al. 2023).

Holz im Gebäudesektor

Holz zählt zu den wichtigsten nachwachsenden Baustoffen in Deutschland. Nach Schiller et al. (2015) waren im Jahr 2010 rund **328 Millionen Tonnen** Holz im deutschen Wohngebäudesektor verbaut. Für das Nationale Materialkataster Deutschland (vgl. IÖR 2022) liegen zwar detaillierte Materialkennzahlen (MKZ) vor, jedoch wird keine Gesamtmenge für Holz im Gebäudebestand ausgewiesen.

Holz unterliegt als nachwachsendes Baumaterial einem positiven Nachfragetrend. 2012 wurden in Deutschland 10,7 Millionen m³ Holz durch den Wohnungsbausektor nachgefragt. Dabei wurde auf politischer Ebene das Ziel einer Holzbaurate von 30 Prozent bis 2030 und 50 Prozent bis 2050 formuliert. Der überwiegende Teil der Nachfrage entfällt auf Nadelholz (ca. 84 Prozent) (vgl. Bergmann und Steger 2023).

Einsatzbereiche in Wohn- und Nichtwohngebäuden

Holz wird in Wohn- und Nichtwohngebäuden gleichermaßen eingesetzt, im Wohnungsbau jedoch deutlich häufiger. Typische Anwendungen sind:

- Tragwerke (Holzrahmenbau, Massivholzbau, Hybridbauweisen)
- Innenkonstruktionen (Dachstühle, Decken, Innenwände)
- Fassadenbekleidungen
- Ausbau, Bodenbeläge, Fenster und Türen
- Holzwerkstoffe (z. B. OSB, Spanplatten, Brettschichtholz)

Die zunehmende Marktdurchdringung moderner Holzsystembauweisen führt dazu, dass der Einsatz von Holz als langlebiger Kohlenstoffspeicher eine wachsende Rolle für Klimaschutzstrategien im Bauwesen übernimmt.

Wohngebäude

- Hoher Anteil im Ein- und Zweifamilienhausbau
- Steigender Einsatz im mehrgeschossigen Wohnungsbau
- Traditionell häufig in Dachkonstruktionen, Ausbau und Fassaden

Nichtwohngebäude (NWG)

- Zunehmender Einsatz bei Bürobauten, Schulen und Kitas
- Steigende Bedeutung modularer Holzsysteme
- Hybride Tragwerke aus Holz und Stahl/Beton zur Spannweitenoptimierung

Der Trend wird durch politische Programme gestützt, die eine Materialsubstitution zugunsten nachwachsender Rohstoffe fördern.

Abfallmengen aus dem Bauwesen

Am Ende ihrer Nutzungsdauer werden Holzbaustoffe unter den Abfallschlüsseln AVV 17 02 01 (Holz) und AVV 17 02 04* (mit gefährlichen Stoffen verunreinigt) sowie als Teil gemischter Baustellenabfälle erfasst.

Das jährliche Altholzaufkommen ist beträchtlich:

- 10 Millionen Tonnen Altholz im Jahr 2016 (inklusive 1,4 Millionen Tonnen Nettoimporte) (vgl. Flamme et al. 2020)
- Rund 4 Millionen Tonnen davon stammen aus Bau- und Abbruchabfällen (vgl. Flamme et al. 2020)
- Ähnliche Größenordnung im Jahr 2010 laut UBA (vgl. Steger et al. 2019)
- 1,33 Millionen Tonnen direkt aus Gebäudeabbrüchen (vgl. Schiller et al. 2015)

Die Stoffströme werden in Abbildung 7 dargestellt:

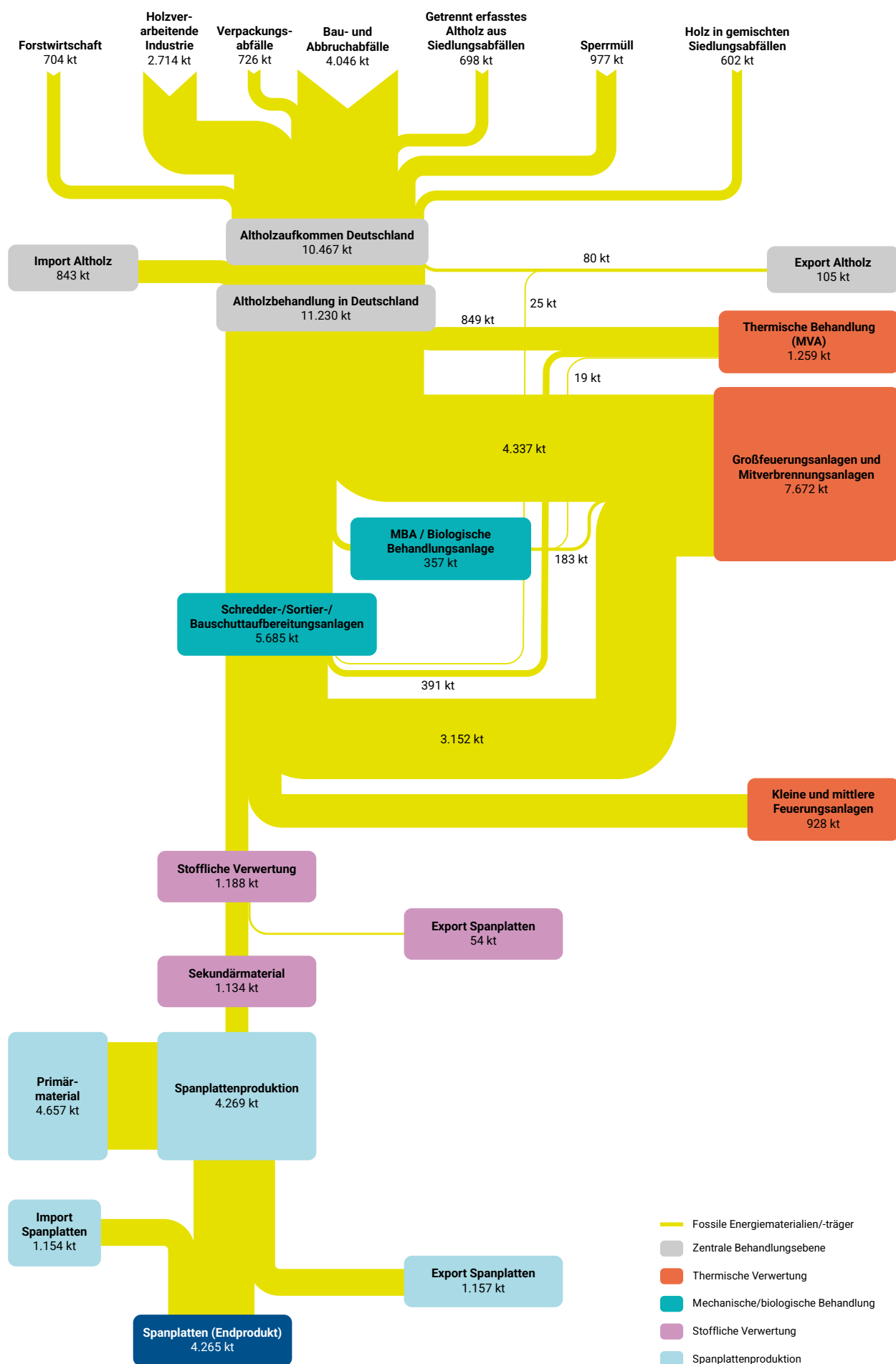


Abbildung 7: Stoffströme der Altholzerfassung und -verwertung in Deutschland im Jahr 2010. Quelle: Steger et al. 2019.

Aus der Abbildung wird deutlich:

- Nur rund 10 Prozent des Altholzes werden stofflich verwertet (1,188 Millionen Tonnen von 11,23 Millionen Tonnen in 2013).
- Die energetische Verwertung dominiert, insbesondere aufgrund von
 - Verunreinigungen
 - fehlender sortenreiner Trennbarkeit
 - baustellenseitiger Vermischung verschiedener Materialien

Damit ist Holz aus dem Bausektor einer der größten Altholzströme Deutschlands und zugleich ein Bereich mit großem, bislang ungenutztem Kreislaufpotenzial.

Kreislaufwirtschaftliches Potenzial

Holz besitzt grundsätzlich ein sehr hohes Potenzial für eine zirkuläre Nutzung, sowohl stofflich als auch energetisch. Allerdings wird dieses Potenzial derzeit nur teilweise ausgeschöpft.

Ein zentraler Befund stammt aus Kaufmann (2022):

- 30 Prozent des Altholzes werden stofflich verwertet – überwiegend in der Spanplattenindustrie.
- Dies erfolgt häufig im Rahmen einer Kaskadennutzung, bei der das Material eine qualitativ niedrigere Folgeanwendung erhält.

Die Sortenreinheit ist entscheidend für hochwertige Kreislaufprozesse. In der Praxis wird sie durch folgende Aspekte begrenzt:

- Verunreinigungen durch Anstriche, Holzschutzmittel oder Beschichtungen
- Komplexe Fügemethoden (z. B. Klebeverbindungen)

4.1.4 Kunststoffe

Kunststoffverbrauch in Deutschland

Modellierungen für das Jahr 2010 zeigen, dass im deutschen Gebäudebestand rund 142 Millionen Tonnen Kunststoffe in Form von Fenstern, Türen, Dachdichtungen und weiteren Bauteilen verbaut waren. Zusätzlich kamen 1,37 Millionen Tonnen über die Haustechnik hinzu (vgl. Schiller et al. 2015). Eine parallele Modellierung für denselben Zeitraum weist 83 Millionen Tonnen Kunststoffe in Fenstern und Türen sowie 68 Millionen Tonnen

- Fehlender selektiver Rückbau aufgrund höherer Kosten und mangelnder Vorgaben

Gleichzeitig zeigen sich große Potenziale, insbesondere durch:

- Einsatz traditioneller, lösbarer Verbindungen
- Monomaterielle Fügebauteile
- Reduzierte und schadstoffarme Beschichtungen
- Digitale Bauteilkennzeichnung (Materialpässe)

Zukünftige regulatorische Impulse – etwa die geplante stärkere Priorisierung der stofflichen Verwertung in der Altholzverordnung (AHV⁴) – können diesen Wandel unterstützen.

Fazit

Holz ist ein zentraler Baustoff für den klimafreundlichen Gebäudesektor in Deutschland und wird zunehmend gefördert. Sein Potenzial für die Kreislaufwirtschaft ist grundlegend sehr hoch, wird jedoch durch aktuelle Rückbau-, Trenn- und Qualitätsprobleme eingeschränkt.

Die wichtigsten Hebel für eine zukunftsfähige Holz-Kreislaufwirtschaft sind:

- Konsequente Schadstoffvermeidung im Primärbau
- Lösbare und sortenreine Fügebauteile
- Digital hinterlegte Materialinformationen (Materialpässe)
- Ausbau selektiver Rückbaupraxis
- Regulatorische Priorisierung der stofflichen Verwertung

Mit diesen Maßnahmen kann Holz langfristig zu einem zentralen Rohstoff in geschlossenen Materialkreisläufen des Bauwesens werden.

sonstige Kunststoffe (z. B. Beläge, Leitungen) aus (vgl. Deilmann et al. 2014). Insgesamt sind damit ca. 150 Millionen Tonnen Kunststoffe langfristig im Hochbau gebunden.

Aufgrund ihrer vergleichsweise geringen Dichten fallen Kunststoffe massenbezogen weniger ins Gewicht als mineralische Baustoffe, leisten jedoch einen erheblichen funktionalen Beitrag – etwa zur Gebäudedichtheit, Energieeffizienz, technischen Ausstattung und Langlebigkeit.

4 Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung – AHV) vom 15. August 2002 (BGBl. I S. 3302), geändert durch Art. 9 G vom 15. 7. 2006, BGBl. I S. 1619/1624, und durch Art. 2 a VO v. 20.10.2006, BGBl. I S. 2298/2331

Kunststoffe im Gebäudesektor

Für das Jahr 2017 wurden in Deutschland **3,30 Millionen Tonnen** Kunststoffe für den Baubereich produziert (vgl. Tremel et al. 2023). Sie setzten sich wie folgt zusammen:

Anwendung	Produzierte Menge in Tonnen	Prozentualer Anteil
Rohre	1.028.000	31
Profile	906.000	27
Sonstige	881.000	27
Wärmedämmstoffe	485.000	15
Gesamt	3.300.000	100

Tabelle 3: In Deutschland produzierte Kunststoffmenge nach Anwendungsbereichen ohne Im- oder Exporte, 2017. Quelle: Tremel et al. 2023.

Aktuelle Marktdaten zeigen, dass diese Menge bis 2023 auf 3,05 Millionen Tonnen gesunken ist (vgl. Conversio 2024). Besonders deutlich ist die Verschiebung hin zu Dämmstoffen, deren Anteil von 15 Prozent (2017) auf 28,5 Prozent (2023) gestiegen ist. Rund 0,5 Millionen Tonnen der für den Bausektor vorgesehenen Kunststoffmengen entfielen 2023 auf PUR- und EPS-Dämmstoffe. Die Mengenanteile von PVC- und PE-Produkten (z. B. Rohre, Profile) haben sich dagegen kaum verändert.

Der Bausektor ist zudem einer der wichtigsten Anwendungsbereiche für Rezyklate: Der Rezyklatanteil in Baukunststoffen beträgt heute fast 30 Prozent (0,9 Millionen Tonnen). Bezogen auf alle Post-Consumer-Rezyklate in Deutschland nimmt der Bausektor mit 42 Prozent der 1,54 Millionen Tonnen eine führende Rolle ein (vgl. Conversio 2024).

Einsatzbereiche in Wohn- und Nichtwohngebäuden
Kunststoffe werden in Wohn- und Nichtwohngebäuden in mehreren zentralen Bereichen eingesetzt:

- Fenster- und Türprofile inklusive Dichtungen
- Leitungen und Rohre für Wasser, Abwasser und Haustechnik
- Boden- und Wandbeläge
- Dachdichtungen und Abdichtungen
- Dämmstoffe aus EPS, XPS und PUR

Die größte Einzelmaterialgruppe im Bestand bilden Kunststoffe in Fenstern und Türen (ca. 83 Millionen Tonnen), gefolgt von sonstigen Kunststoffen (68 Millionen Tonnen).

Lange Nutzungsdauern – 25 bis 30 Jahre bei Belägen, 40 bis 50 Jahre bei Fenstern und über 80 Jahre bei Rohren – führen dazu, dass viele der seit den 1970er-Jahren verbauten Produkte noch im Einsatz sind. Die derzeit anfallenden Kunststoffabfälle resultieren vor allem aus Modernisierungstätigkeiten, wodurch die jährlich anfallenden Mengen stark schwanken.

Abfallmengen aus dem Bauwesen
Nach Conversio (2024) fielen im Jahr 2023 im Bausektor 754 Kilotonnen Post-Consumer-Kunststoffabfälle an. Mengenmäßig dominieren erneut PVC und PE, insbesondere aus Profilen und Rohrsystemen.

EPS/XPS/PUR-Dämmstoffabfälle steigen langsam, was auf die zunehmende Erneuerung früher Dämmgenerationen hindeutet. Mit Blick auf die ca. 150 Millionen Tonnen Kunststoff im Bestand ist langfristig mit deutlich höheren Abfallmengen zu rechnen.

Ohne gezielte Maßnahmen – wie beispielsweise rückbaufreundliche Planung, sortenreine Erfassung und leistungsfähige Aufbereitung – besteht die Gefahr, dass ein erheblicher Teil dieser Materialien energetisch verwertet statt hochwertig recycelt wird.

Rückbau- und Trennbarkeit
Die Rückbaubarkeit entscheidet maßgeblich über den Erfolg kreislaufwirtschaftlicher Ansätze:

- Vorteilhaft: PVC/PE-Rohre und -Profile. Sie sind klar erkennbar, zugänglich und sortenrein demontierbar.
- Problematisch: EPS/XPS/PUR-Dämmstoffe. Sie sind Verbundprodukte, führen zu starker Verschmutzung beim Ausbau und sind kaum wirtschaftlich trennbar.

Diese Unterschiede erklären, warum Rohre und Profile im Recycling dominieren, während Dämmstoffe bislang überwiegend energetisch verwertet werden.

Kreislaufwirtschaftliches Potenzial

Kunststoffe im Bau besitzen ein grundsätzlich hohes Kreislaufpotenzial, das jedoch stark von Produkttyp und Einbausituation abhängt.

Der Recyclinganteil bei Baukunststoffen liegt – je nach Systemgrenzen – bei 23 bis 48 Prozent (vgl. Treml et al. 2023) und steigt. Für passgenaue Kreislaufstrategien wären jedoch detailliertere Daten zu einzelnen Kunststofffraktionen wichtig.

Besonders günstig für geschlossene Kreisläufe sind

- PVC- und PE-Rohre,
- PVC- und PE-Profile,

da sie gut identifizierbar, konstruktiv klar abgegrenzt, mechanisch demontierbar und meist sortenrein erfassbar sind.

Herausfordernder sind

- EPS-, XPS- und PUR-Dämmstoffe,

da sie häufig mit Putz, Klebern und Mörtel verbunden sind und eine sortenreine Trennung nur selten möglich ist.

Fazit

Kunststoffe bilden im Hochbau einen bedeutenden, langfristig gebundenen Materialstock und erfüllen zentrale technische Funktionen. Gleichzeitig ist der Gebäudesektor bereits heute ein Schlüsselmarkt für Kunststoff-Rezyklate.

Das kreislaufwirtschaftliche Potenzial ist groß – insbesondere bei standardisierten, sortenrein rückbaubaren Produktgruppen wie PVC- und PE-Rohren sowie Profilen.

Für Dämmstoffe sind dagegen gezielte Weiterentwicklungen bei Produktdesign, Rückbaukonzepten und Erfassungssystemen notwendig.

Mit besser dokumentierten Materiallagern, trennbaren Konstruktionen und klaren Qualitätsstandards könnten die heute im Gebäudebestand gebundenen Kunststoffe künftig als wertvolle Sekundärrohstoffe genutzt und hochwertige Materialkreisläufe etabliert werden.

4.1.5 Dämmstoffe

Dämmstoffe sind aufgrund ihres Beitrags zur Energieeffizienz ein zentrales Element im Neubau und in Sanierungsprojekten. Dabei ist es wichtig, neben der energetischen Wirkung auch die Kreislauffähigkeit der eingesetzten Materialien zu berücksichtigen.

Dämmstoffe im Gebäudebestand

Dämmstoffe lassen sich grundsätzlich in kunststoffbasierte, mineralische und ökologische Dämmstoffe unterscheiden. Im deutschen Gebäudebestand entfallen insgesamt rund 148,2 Millionen Tonnen auf kunststoffbasierte und mineralische Dämmstoffe. Sie verteilen sich wie folgt (vgl. Schiller et al. 2015):

- **83,2 Millionen Tonnen** Dämmstoffe aus Kunststoffen (expandiertes Polystyrol (EPS), extrudiertes Polystyrol (XPS), Polyurethan-Hartschaum (PUR) und Polyisocyanurat-Hartschaum (PIR))
- **65 Millionen Tonnen** mineralische Dämmstoffe (Glaswolle und Steinwolle)

Materialinputs und Marktentwicklung

Zwischen 2012 und 2021 stieg der Absatz von Dämmstoffen insgesamt an, mit einem pandemiebedingten Rückgang im Jahr 2020; dabei legten Mineralwolle und PUR/PIR-Hartschaum leicht zu, während EPS und XPS Marktanteile verloren (siehe Abbildung 8).

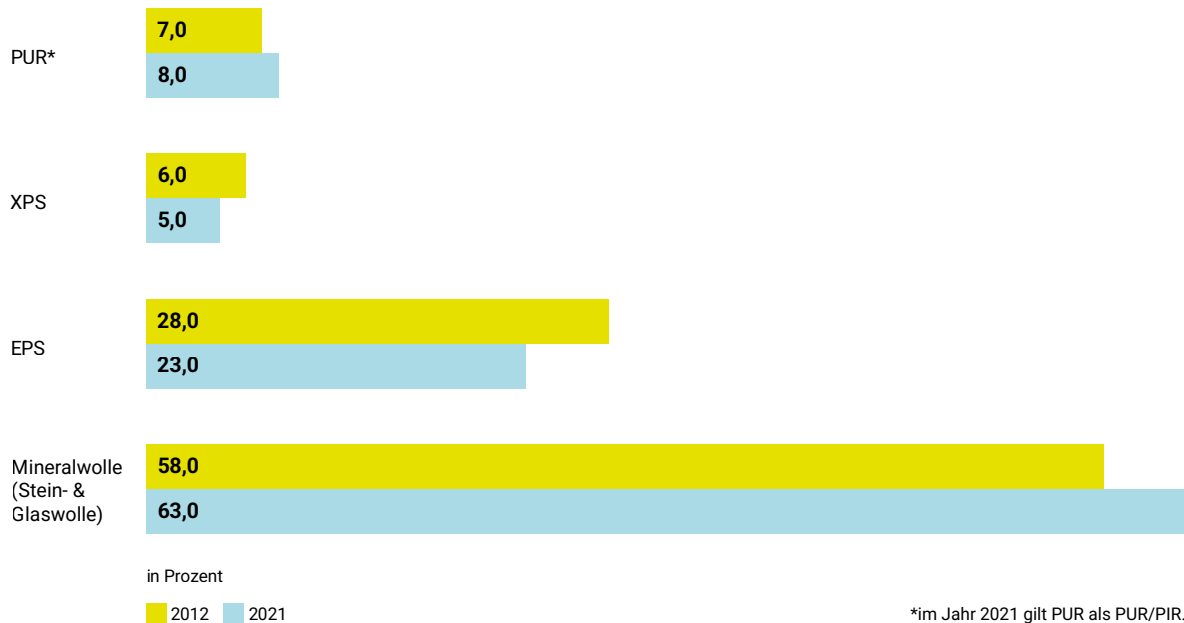


Abbildung 8: Absatz der wichtigsten Dämmstoffgruppen in Deutschland in den Jahren 2012 und 2021. Quelle: Eigene Darstellung nach Tremel et al. 2023.

Ökologische Dämmstoffe sind seit den 1990er-Jahren auf dem deutschen Markt vertreten und gewinnen zunehmend an Bedeutung. Zu ihnen zählen insbesondere Holzfaserdämmplatten, Hanf sowie Zellulosedämmstoffe aus Altpapierflocken – häufig zusammengefasst als Dämmmaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen. Aktuelle Bestandsdaten liegen für diesen Bereich nicht vor. Im Jahr 2021 erreichten Holzfaserdämmplatten in Deutschland einen Marktanteil von rund vier Prozent, Zellulosedämmstoffe etwa zwei Prozent und hanfbasierte Dämmstoffe rund 0,3 Prozent (vgl. Tremel et al. 2023).

Abfallmengen aus dem Bausektor

- 237 Kilotonnen kunststoffbasiertes Dämmmaterial
- 189 Kilotonnen mineralisches Dämmmaterial, davon ein großer Teil in Abfallfraktionen mit gefährlichen Stoffen (vgl. Schiller et al. 2015)
- Post-Consumer-Abfälle aus ökologischen Dämmmaterialien spielen aktuell kaum eine Rolle, da sie erst seit wenigen Jahren im Markt etabliert sind (vgl. Reinhardt et al. 2022).

Rückbau- und Trennbarkeit

Die Rückbau- und Trennbarkeit von Dämmstoffen hängt stark vom jeweiligen Fassadenaufbau ab; besonders schwer zu separieren sind verklebte Wärmedämmverbundsysteme (WDVS), weitere Details hierzu finden sich im entsprechenden [Kapitel 4.2.1 WDVS](#).

Kreislaufwirtschaftliches Potenzial

Mineralwole

Aus Sicht der Kreislaufwirtschaft ist die direkte Wiederverwendung von Materialien besonders wünschenswert; Dämmstoffe werden in der Praxis jedoch überwiegend stofflich recycelt oder thermisch verwertet.

Eine Aufbereitung von Abfällen aus Mineralwole ist technisch immer möglich, auch wenn es sich um gefährlichen Abfall handelt. Allerdings muss die Aufbereitung des gefährlichen Abfalls in luftdichten Räumen erfolgen, um sicherzustellen, dass keine entsprechenden Mineralfasern in die Umwelt eingetragen werden.

Für Mineralwole bieten einzelne Hersteller bereits Rücknahmesysteme an, um Abfälle aus Baustellenarbeiten und Sanierung wieder dem Produktionsprozess zuzuführen. Abgesehen von diesen einzelnen Rücknahmemöglichkeiten wird Steinwole vor allem als Bergversatz⁵ verwertet. Bei Glaswole besteht grundsätzlich die Möglichkeit, sortenreine Altglaswole verschiedener Hersteller und unterschiedlichen Alters einzuschmelzen und wiederzuverwerten. In der Praxis wird dieses Verfahren jedoch kaum genutzt, da es umfangreiche Genehmigungen für Transport und Logistik, lange Transportwege sowie einen erhöhten Analyseaufwand erfordert.

Ein anderer Ansatz im Bereich Kreislauffähigkeit von Glaswole ist der Einsatz von Altglas bekannter Herkunft zur Herstellung von Glasgries, der wiederum in den Produktionsprozess von Glaswole eingeschleust werden kann.

5 Versatz ist im Bergbau das Verfüllen von ausgebeuteten Untertagebergwerken mit bergbaufremden Abfällen.

Kunststoffbasierte Dämmstoffe

Für EPS-Abfälle (expandiertes Polystyrol) bestehen grundsätzlich drei Verwertungswege: mechanisches Recycling, chemisches Recycling und thermische Verwertung. Die tatsächliche Verwertungspraxis hängt stark von der Art des Abfallstroms, der Reinheit des Materials sowie dem Schadstoffgehalt, insbesondere dem früher eingesetzten Flammschutzmittel Hexabromcyclododecan (HBCD), ab.

Beim mechanischen Recycling werden sowohl Baustellenverschnitte als auch geeignete Post-Consumer-Abfälle zunächst zerkleinert, gereinigt und zu sortenreinem Mahlgut aufbereitet. Dieses Mahlgut kann anschließend aufgeschmolzen und zu Regranulat verarbeitet werden, das in seinen Eigenschaften weitgehend dem Primärmaterial entspricht.

Eine stoffliche Verwertung von EPS-Abfällen erfolgt häufig über die Hersteller selbst. Sie nehmen in der Regel sortenreine Baustellenabfälle zurück und führen sie ihrer Produktion wieder zu. Neben der Sortenreinheit ist eine funktionierende Abfalllogistik mit kurzen Transportwegen eine zentrale Voraussetzung für die effiziente Nutzung der Abfälle als Ressource.

Das mechanisch gewonnene EPS-Regranulat kann insbesondere eingesetzt werden

- in neuen EPS-Dämmplatten (typisch 5 bis 25 Prozent Rezyklatanteil, in Einzelfällen bis 100 Prozent, je nach Qualitätsanforderungen) (vgl. Tremel et al. 2023)
- als Leichtzuschlagstoff in Dämmestrichen
- als Leichtzuschlag in zementgebundenen Baustoffen

Limitierender Faktor beim Recycling von EPS-Dämmstoffen: HBCD

- Ältere EPS-Dämmstoffe enthalten häufig das Flammschutzmittel HBCD, das seit 2015 als persistenter organischer Schadstoff eingestuft und verboten ist.
- HBCD-haltiges EPS darf nicht stofflich recycelt werden; die enthaltenen Schadstoffe müssen zerstört oder irreversibel umgewandelt werden.

Da mechanische Recyclingverfahren diese erforderliche Zerstörung des Schadstoffs nicht gewährleisten können, scheidet für HBCD-haltige EPS-Abfälle ein stoffliches Recycling vollständig aus. Dadurch bleibt das Potenzial zur Erhöhung der Outputmengen an hochwertigem EPS-Regranulat derzeit begrenzt: Es fehlen ausreichend geeignete, schadstofffreie Alt-EPS-Ströme (vgl. Tremel et al. 2023). Aufgrund der langen Lebensdauer von EPS im Gebäudebereich gelangen größere Mengen verwertbarer, HBCD-freier Dämmstoffe zudem erst zeitversetzt in die Abfall- und Recyclingprozesse.

Eine weitere Möglichkeit, EPS im Kreislauf zu führen, ist das chemische Recycling durch Pyrolyse. Dabei wird das EPS thermochemisch bei Temperaturen von 300 bis 700 Grad Celsius aufgespalten (vgl. Tremel et al. 2023). Der Prozess erfordert jedoch einen erhöhten Energieeinsatz.

In der Praxis wird EPS derzeit überwiegend thermisch verwertet, insbesondere wenn es sich um Rückbauabfälle aus älteren Gebäuden mit HBCD-Gehalt handelt. Die thermische Verwertung ermöglicht die sichere Zerstörung des Flammschutzmittels.

Rückt XPS in den Fokus, werden einige Unterschiede deutlich. Bei der Herstellung von XPS können, ebenso wie bei EPS, Abfälle je nach Qualitätsanforderung eingesetzt werden, jedoch nur begrenzt. Die Rücknahme von XPS-Baustellenabfällen durch Hersteller ist lediglich eine Randerscheinung. Zurückgewonnene XPS-Abfälle werden zunächst vorzerkleinert, gereinigt und homogenisiert. Das gewonnene Material kann dann in einem Extruder eingeschmolzen und zu einem bestimmten Prozentsatz dem Regranulat zugeführt werden. Meistens werden XPS-Baustellenabfälle jedoch nicht getrennt gesammelt und so verunreinigt, was nur noch eine thermische Verwertung möglich macht.

Ökologische Dämmstoffe

Ökologische Dämmstoffe fallen bisher lediglich als Baustellenabfälle an, die in die Produktion zurückgeführt werden. Weitere stoffliche Verwertungswege haben sich bisher aufgrund fehlender Abfallmengen nicht etabliert, allerdings sind sie auch für Post-Consumer-Abfälle technisch möglich. Betrachtet man die Recyclingfähigkeit von Holzfaserdämmstoffen, die aktuell den größten Marktanteil haben, werden jedoch einige Hemmnisse sichtbar. Abfälle aus Holzfaserdämmstoffen fallen unter die Aktholz-kategorie A II und wären so gemäß Altholzverordnung (AltHolzV) für eine

stoffliche Verwertung geeignet. Für die Kategorie A II ist die Verwertung in der Spanplattenproduktion etabliert, allerdings lassen sich Holzfaseraustoffe aufgrund ihrer Faserbeschaffenheit nicht gut verarbeiten und werden bisher von der Industrie gemieden.

Da die energetische Nutzung von Holzfasern nach aktueller Ökobilanzmethodik größere rechnerische Vorteile bietet als stoffliche Recyclingoptionen, werden entsprechende Technologien von den Herstellern bislang kaum erprobt (vgl. Reinhardt et al. 2022).

4.1.6 Flachglas

In diesem Abschnitt wird Flachglas als Material betrachtet. Ergänzende Informationen zu Fenstern werden in dem entsprechenden [Kapitel 4.2.2 Fenster](#) aufgeführt.

Flachglas im Gebäudebestand

Nach Schiller et al. (2015) waren 2010 rund **331 Millionen Tonnen** Flachglas im deutschen Gebäudesektor verbaut.

Materialinputs

Der Einbau von Flachglas im Bausektor betrug im Jahr 2016 rund 0,9 Millionen Tonnen, wovon rund 60 Prozent durch Modernisierung und Sanierung und 40 Prozent durch Neubau dem Bestand zugeführt wurden (vgl. Rose et al. 2019).

Abfallmengen aus dem Bausektor

Es fallen jährlich ca. 521 Kilotonnen Flachglas als Abfälle im Baubereich an. Diese Abfälle stammen zu einem Drittel aus der Pre-Consumer-Phase (171 Kilotonnen), zum Beispiel aus der Herstellung von Fenstern. Von diesen Pre-Consumer-Abfällen wurden rund 46 Kilotonnen direkt in der Flachglasherstellung wiederverwendet. Die übrigen zwei Drittel der anfallenden Flachglasabfälle fielen als Post-Consumer-Abfälle

Fazit

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Dämmstoffe in der Praxis überwiegend stofflich recycelt oder thermisch verwertet werden. Dämmmaterialien aus Post-Consumer-Abfällen weisen häufig nicht die erforderliche Qualität für ein hochwertiges Recycling auf. Für Mineralwolle und kunststoffbasierte Dämmstoffe bestehen grundsätzlich Verwertungsmöglichkeiten, deren technische Machbarkeit bereits in Pilot- und Kleinmaßstäben nachgewiesen wurde. Eine breite Anwendung dieser Ansätze setzt jedoch den Aufbau einer einheitlichen und funktionierenden Sammel- und Logistikstruktur, insbesondere für Abbruchabfälle, voraus.

an (350 Kilotonnen). Davon stammt der Großteil (334 Kilotonnen) aus dem Austausch von Bauteilen im Rahmen von Sanierungs- bzw. Modernisierungsmaßnahmen, der Rest aus dem Rückbau von Gebäuden (vgl. Rose et al. 2019).

Rückbau- und Trennbarkeit

Fenster lassen sich in der Regel vergleichsweise unkompliziert ausbauen und werden auf der Baustelle häufig direkt nach Glas und Rahmen getrennt. Das entnommene Glas wird anschließend in geeigneten Containern gesammelt und zu spezialisierten Glasrecyclinganlagen transportiert.

Kreislaufwirtschaftliches Potenzial

Wie aus dem Sankey-Diagramm in Abbildung 9 ersichtlich, wird lediglich ein sehr geringer Anteil der Flachglasabfälle in der Flachglasherstellung wiederverwendet. Dies hängt mit den hohen Qualitätsanforderungen an Scherben zusammen, die für neue Flachglaserzeugnisse bestehen. Die Realität des Rückbaus bzw. Austauschs von Altfenstern entspricht diesem Anspruch an Reinhaltung meist nicht (vgl. Rose et al. 2019).

Rückführung von Flachglasabfällen in die Flachglaserzeugung

- Insgesamt gehen nur 11 Prozent der Flachglasabfälle wieder in die Herstellung von Flachglaserzeugnissen.
- Selbst bei den vergleichsweise reinen Pre-Consumer-Abfällen werden lediglich ca. 40 Prozent in der Flachglasherstellung wiederverwendet.
- Der überwiegende Teil der aufbereiteten Scherben wird nicht hochwertig recycelt, sondern in Produkte mit geringeren Qualitätsanforderungen überführt – in die Produktion von Behälterglas (235 Kilotonnen) und Glaswolle (165 Kilotonnen).

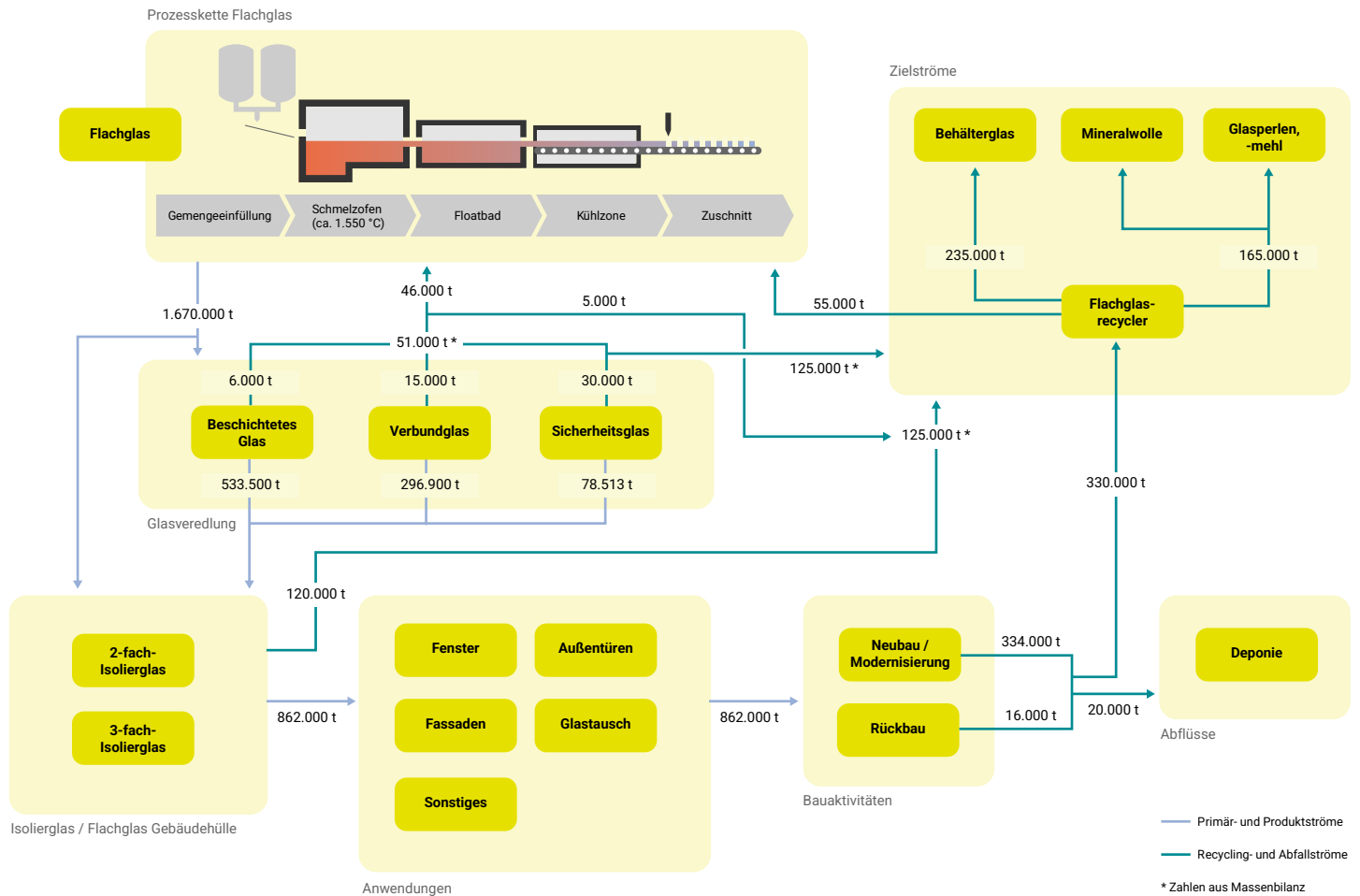


Abbildung 9: Stoffflussmodell Flachglas im Baugewerbe für 2016. Quelle: Rose et al. 2019.

Die hohen Qualitätsanforderungen an Scherben machen ein Closed-Loop-Recycling, also das Recyclingverfahren, bei dem ein Material nach der Nutzung wieder zu dem gleichen oder einem gleichwertigen Produkt verarbeitet wird, technisch kaum möglich. Zusammen mit der hohen Nachfrage nach Scherben im Bereich der Behälterglasherstellung ist der entstehende Mehraufwand für Getrennthaltung und Logistik aktuell ökonomisch nicht lohnend.

Fazit

Flachglas ist im Gebäudesektor mengen- und abfallseitig relevant, jedoch bleibt das hochwertige Recycling stark begrenzt. Die hohen Reinheitsanforderungen der Flachglasindustrie können meist nicht erfüllt werden. Daher fließt nur ein kleiner Teil der Abfälle in die Flachglasproduktion zurück, während der Großteil in Downcycling-Pfade wie Behälterglas oder Glaswolle geht.

4.1.7 Verbundwerkstoffe

Verbundwerkstoffe bestehen aus mehreren fest miteinander verbundenen Materialien, deren unterschiedliche Eigenschaften gezielt kombiniert werden. Durch die Verbindung der Materialien sind diese oft schwer sortenrein zurückzugewinnen.

Im Bausektor kommen zahlreiche Verbundwerkstoffe zum Einsatz, darunter:

- Stahlbeton
- Beton mit Textil oder Carbonfasern (Textilbeton/Carbonbeton)
- Faserzement (-platten)

- Faserverstärkte Kunststoffe, zum Beispiel als Fensterprofile (Glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK)/Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff (CFK))
- Holzverbundwerkstoffe wie Spanplatten und Sperrholz
- Wabenplatten (z. B. für Türen): Holz in Kombination mit Kraftpapier, Harz, Kunststoffen und/oder Leim

Unter den genannten Verbundstoffen lassen sich am ehesten die Mengen von Stahlbeton abschätzen, die jedoch in den Materialien von Stahl und Beton inkludiert sind und demnach noch als Mengen des Verbundwerkstoffs ausgewiesen werden. Alle weiteren Verbundwerkstoffe werden mengenmäßig weder im Bestand noch im Zubau und Abriss erfasst.

Stahlbeton

Stahlbeton wird im Gebäudesektor flächendeckend eingesetzt, da sich die physikalischen Eigenschaften der beiden Komponenten (Zugfestigkeit im Stahl und Druckfestigkeit im Beton) ideal ergänzen. Am Ende seiner Nutzungsphase wird Stahlbeton als Teil des anfallenden Bauschutts in Aufbereitungsanlagen zerkleinert. Die Trennung des enthaltenen Stahls erfolgt unter Einsatz von Magneten relativ einfach und wird daher flächendeckend durchgeführt.

Textil- bzw. Carbonbeton

Textil- bzw. Carbonbeton stellen eine korrosionsfreie Alternative zu Stahlbeton dar, da sie auf stahlbasierte Bewehrung verzichten. Die Bewehrung erfolgt über Hochleistungsfaserstoffe wie zum Beispiel Carbon, die nicht rosten und bei denen mit einer deutlich geringeren Betonabdeckung gearbeitet werden kann, wodurch Material eingespart wird. Aufgrund ihrer hohen Zugfestigkeit und geringen Dichte gegenüber Stahl erlauben die Fasern die Realisierung filigraner Bauteile und Tragwerke. An Verfahren zur Wiedergewinnung von Fasern aus Textil- bzw. Carbonbeton wird bereits geforscht. Beim Rückbau und bei der Aufbereitung von Beton wird dieser in der Regel zunächst mit einem Brecher zerkleinert. Ergebnisse zeigen, dass eine dem Brecher nachgeschaltete Luft- und sensorbasierte Sortierung eine vielversprechende Technologie darstellt. Allerdings ist der Einsatzbereich der wiedergewonnenen Fasern bisher unklar.

Faserzement

Faserzement ist ein Verbundwerkstoff aus Zement und zugfesten Fasern. Faserzement, der vor 1990 produziert wurde, enthält potenziell Asbest und ist dadurch vom hochwertigen Recycling ausgeschlossen. Seit den 1990er-Jahren wird Asbest durch alternative Fasern wie Glas-, Kunststoff- oder Carbonfasern ersetzt. Im Bausektor wird Faserzement überwiegend für Fassadenelemente eingesetzt, insbesondere bei hinterlüfteten Konstruktionen. Darüber hinaus finden Faserzementplatten Verwendung im Dachbereich sowie im Innenausbau.

Nach der Nutzungsphase können Faserzementbauteile, insbesondere Fassadenelemente, wiederverwendet werden. Erste Versuche, primären Zement durch Sekundärmaterial zu ersetzen, erfolgen bereits. In einem Projekt in Belgien wird beispielsweise ein Verfahren zur Herstellung von recyceltem Faserzementpulver entwickelt, das den Primärrohstoff Klinker in der Herstellung von Zement zum Teil ersetzen können soll. Ist eine Wiederverwendung nicht möglich, müssen Faserzementplatten auf Deponien entsorgt werden.

Glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK) /

Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff (CFK)

GFK ist ein Verbund aus Kunststoff und Glasfasern. Als Baustoff ist GFK stabil und leicht, rostet nicht und ist resistent gegenüber Frost und Tausalzen. Im Gebäudebereich wird GFK besonders für Fensterrahmen genutzt.

Die positiven Materialeigenschaften, die durch diese faserverstärkten Kunststoffe erreicht werden, sorgen jedoch dafür, dass es große Hemmnisse bei der Recyclingfähigkeit der Materialien gibt. CFK/GFK können sowohl mechanisch zerkleinert als auch innerhalb der Pyrolyse aufgebrochen werden. Außerdem ist eine thermische Verwertung zum Beispiel im Zementwerk möglich. Bei der thermischen Verwertung von GFK können jedoch Schwierigkeiten auftreten, da es beispielsweise zu Verstopfungen der Abluftreinigungsfilter oder zu Anbackungen kommen kann, verursacht durch die Glasfasern.

Holzverbundwerkstoffe

Holzverbundwerkstoffe werden durch die Kombination aus zerlegtem Holz bzw. lignocellulosischen Faserstoffen mit anderen Stoffen wie Kunstharzen sowie natürlichen oder mineralischen Bindemitteln hergestellt. Diese Verbundwerkstoffe sind äußerst widerstandsfähig, beständig und nahezu splitter- und rissfrei. Die meist plattenförmigen Holzwerkstoffe werden zum Beispiel für Türen oder Bodenbeläge genutzt. Aufgrund ihres hohen Heizwerts werden Holzverbundwerkstoffe meist thermisch verwertet.

Wabenplatten

Eine besondere Form der Verbundwerkstoffe sind Wabenplatten. Sie sind bereits etabliert beim Bau von Türen, werden aber beispielsweise auch zur Umsetzung von Leichtbaustrukturen genutzt. Wabenplatten bestehen aus einem Wabenkern, der von einer mit Klebstoff befestigten Deckschicht an den offenen Seiten abgeschlossen wird. Wabenplatten können aus unterschiedlichen Materialien bestehen, etwa aus Holz und Kraftpapier, Harz, Kunststoffen oder Leim. Vereinzelt werden auch Waben aus Aluminium oder Polypropylen eingesetzt, wenn erhöhte Anforderungen an Brandschutz, Festigkeit oder Feuchteresistenz bestehen. Aufgrund des hohen Heizwerts der verwendeten Materialien, insbesondere von Holz und Kraftpapier, sowie der schlechten Trennbarkeit der einzelnen Komponenten werden die Türen aus Wabenplatten meist thermisch verwertet.

Fazit

Viele Verbundwerkstoffe sind nur schwer oder gar nicht trennbar und daher kaum hochwertig recycelbar. Wo gut kreislauffähige und trennbare Alternativen verfügbar sind, sollten diese bevorzugt eingesetzt werden.

Zu den wichtigsten Verbundmaterialien zählen Stahlbeton, GFK/CFK, Holzverbundwerkstoffe, Faserzement sowie holzbasierte Kombinationen wie Wabenplatten. Während die Verbindung unterschiedlicher Materialien das Recycling in der Regel deutlich erschwert, unterscheiden sich die Kreislaufpotenziale stark: Nicht oder nur schwer lösbare Verbunde – etwa viele Holzwerkstoffe – lassen meist nur Wiederverwendung oder thermische Verwertung zu. Stahlbeton und auch Textilbeton mit CFK-Fasern können hingegen im Rahmen der mineralischen Aufbereitung vergleichsweise gut getrennt werden, wodurch ihre stoffliche Verwertung grundsätzlich möglich bleibt.

4.2 Bauelemente

4.2.1 Wärmedämmverbundsysteme (WDVS)

Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) bestehen aus Dämmmaterial, das fest mit verschiedenen Ober- und Unterschichten, zum Beispiel Klebemörtel, Oberputz und Unterputz, verbunden ist. Die mengenmäßig relevanteste Schicht ist dabei die des Dämmmaterials.

Die innerhalb von WDVS verbauten Dämmmaterialien sind Teil der Mengenbetrachtung in [Kapitel 4.1.5 Dämmstoffe](#).

WDVS im Gebäudebestand

Die in Deutschland verbauten Dämmstoffe in WDVS nehmen in den letzten Jahren ab. Die Anteile der verschiedenen Dämmmaterialien bleiben weitgehend konstant. Dabei hat EPS mit rund 50 Prozent mengenmäßig den größten Anteil (vgl. BaustoffWissen 2024).

Rückbau- und Trennbarkeit

Im Kontext der Kreislauffähigkeit rücken WDVS in den Fokus, weil sie aus unterschiedlichen, fest miteinander

verbundenen Materialien bestehen und dadurch eine sortenreine Trennung und hochwertige Wiederverwertung erheblich erschwert werden. Für WDVS gibt es verschiedene Rückbaumöglichkeiten, wie das mechanische oder das maschinelle Abschälen des Putzes und des Hartschaums. Ein selektiver Rückbau von WDVS ist theoretisch mit üblichen Baumaschinen (hydraulischer Bagger mit Schaufel oder Sortiergreifer) möglich, wird jedoch aus zeitlichen Gründen praktisch nicht durchgeführt (vgl. Tremel et al. 2023). Neben dem zeitlichen Aspekt ist der Rückbau von WDVS von weiteren Herausforderungen geprägt. WDVS sind meist mit der Wandfassade verklebt, sodass ein zerstörungsfreier und damit sortenreiner Rückbau häufig nicht möglich ist.

Erste Rücknahmesysteme bestehen hier für sortenreines Material. Häufig sind dies Baustellenabfälle, also Pre-Consumer-Abfälle.

Rückbaubare Wärmedämmverbundsysteme (WDVS)

- Erste sortenrein rückbaubare WDVS sind verfügbar; sie kommen ohne Verklebung mit der Außenwand aus und nutzen stattdessen lösbare mechanische Verbindungen.
- Die Putzschicht wird durch Separationsfolien bzw. -gewebe vom Dämmstoff getrennt, sodass der Rückbau sortenrein möglich wird.
- Rückbaubare WDVS sind derzeit noch Nischenprodukte; ein wachsender Marktanteil könnte jedoch langfristig die Abfallströme von Dämmstoffen verbessern.

Kreislaufwirtschaftliches Potenzial

Derzeit und auch in naher Zukunft sind die anfallenden Abfallströme aus WDVS überwiegend nur energetisch verwertbar. Gelingt jedoch eine sortenreine Trennung der einzelnen Systemkomponenten, verbessert sich die Recyclingfähigkeit deutlich und die in [Kapitel 4.1.5. Dämmstoffe](#) beschriebenen stofflichen Verwertungswege werden erschließbar.

Fazit

Wärmedämmverbundsysteme stellen aus Kreislaufperspektive eine besondere Herausforderung dar, da ihre fest verbundenen Schichten eine sortenreine Trennung und hochwertiges Recycling meist verhindern. Zwar existieren erste rückbaubare Systemlösungen, doch ihr Marktanteil ist derzeit gering und betrifft vor allem zukünftige Abfallströme. Kurz- und mittelfristig fallen WDVS überwiegend als gemischte, schwer verwertbare Abfälle an, die oft nur energetisch genutzt oder als Sonderabfall entsorgt werden können.

4.2.2 Fenster

Fenster vereinen verschiedene Materialien wie Glas, Rahmenwerkstoffe und Beschläge zu einem funktionalen Bauelement.

Fenster im Gebäudebestand

Grundsätzlich liegen keine Daten über den Bestand an Bauteilen im Gebäudesektor vor. Der Anteil der Verglasung wird in **Kapitel 4.1.6 Flachglas** betrachtet, die Materialien der Rahmen sind im Bestand in den jeweiligen Materialkategorien abgebildet, die Inputs werden im Folgenden dargestellt.

Materialinputs

Heute werden in Fenstern zu rund 60 Prozent PVC-Rahmen verbaut, rund 20 Prozent basieren auf Metall (vor allem Aluminium), neun Prozent aus einer Kombination aus Holz und Aluminium und elf Prozent aus Holz (vgl. VFF 2024).

Der dena-Gebäudereport (vgl. dena 2024) dokumentiert die Zahlen auf Grundlage von Daten des Verbands Fenster + Fassade. Die Entwicklung im Fenstermarkt zeigt einen deutlichen Wechsel hin zu energieeffizienteren Verglasungen (siehe Abbildung 10): Einfaches Isolierglas verschwindet ab Mitte der 1990er-Jahre nahezu vollständig, 2-fach-Wärmedämmglas dominiert bis etwa 2010, wird jedoch seither zunehmend durch 3-fach-Verglasungen ersetzt. Diese Verschiebung ist vor allem auf verschärfte energetische Anforderungen zurückzuführen.

Parallel dazu zeigt die Entwicklung der Rahmenmaterialien (siehe Abbildung 11), dass Kunststoff seit den 1990er-Jahren den Markt klar dominiert, während Holz und Aluminium nur moderate, weitgehend stabile Marktanteile halten. Holz-Aluminium-Verbundrahmen gewinnen seit etwa 2010 leicht an Bedeutung, bleiben jedoch ein Nischenprodukt.

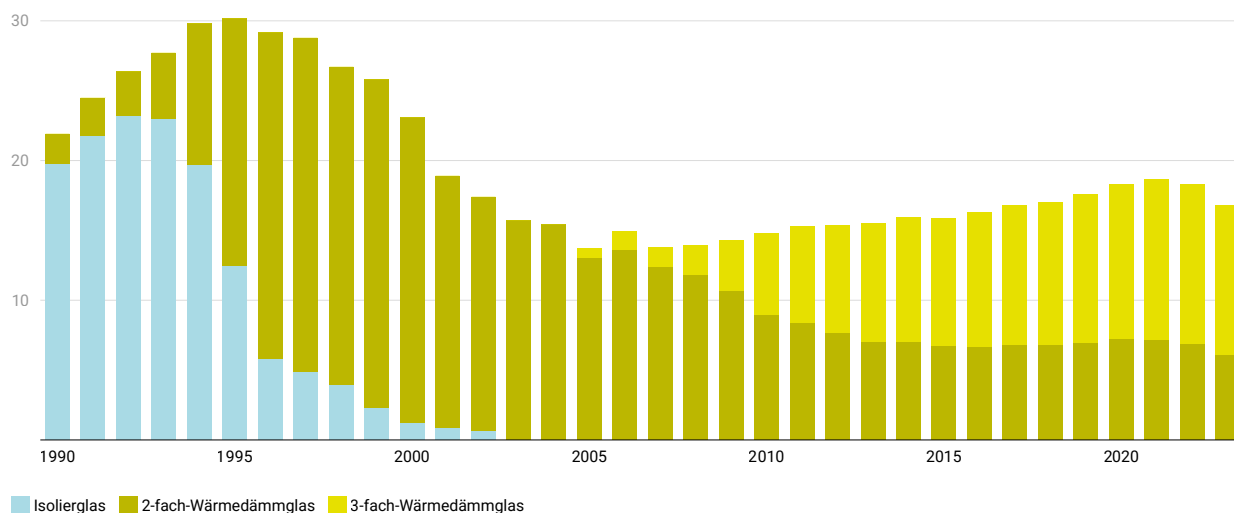


Abbildung 10: Entwicklung des Fenstermarktes nach Verglasungsart in Mio. m². Quelle: dena 2024.

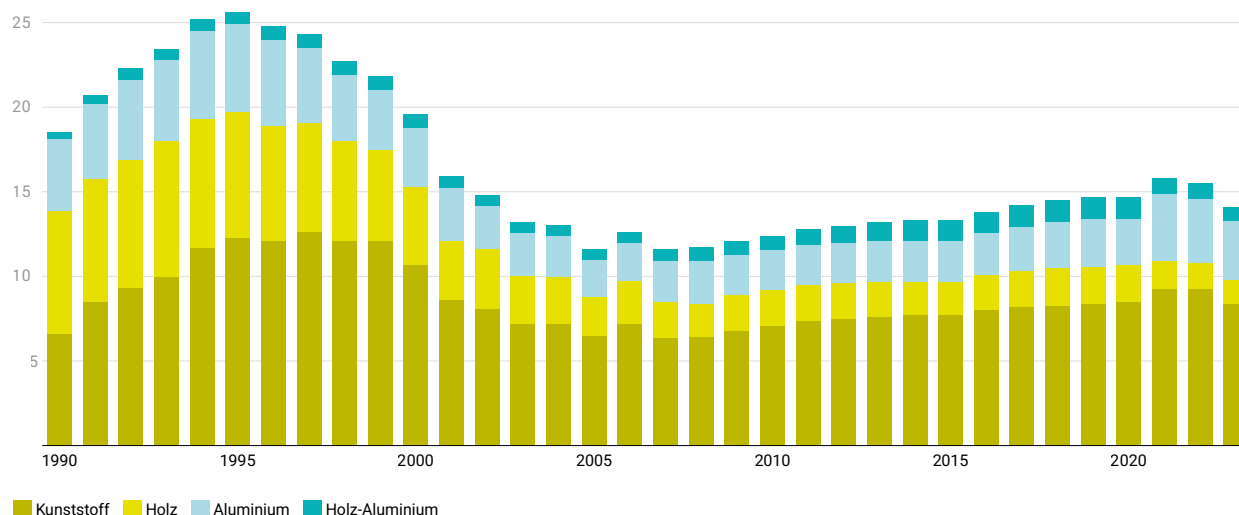


Abbildung 11: Entwicklung des Fenstermarktes nach Rahmenmaterial in Mio. Fenstereinheiten. Quelle: dena 2024.

Rückbau- und Trennbarkeit

Grundsätzlich lassen sich Fenster einfach ausbauen, da sie üblicherweise mechanisch im Baukörper fixiert sind. Fenster werden beim Ausbau häufig direkt an der Baustelle selektiv nach Glas und Rahmen getrennt. Das Glas wird anschließend in Containern zu Glasrecyclinganlagen transportiert.

Kreislaufwirtschaftliches Potenzial

Für PVC-Fensterrahmen wurde schon vor Jahren ein Rücknahmesystem aufgebaut, das inzwischen über

100 Sammelstellen und Rücknahmepunkte umfasst. Im Jahr 2024 wurden über dieses System nach eigenen Angaben 44.100 Tonnen Post-Consumer-PVC-Fensterrahmen und Rollläden eingesammelt und dem Recycling zugeführt (vgl. Rewindo 2025). Dies entsprach einer Erfassungs- und Verwertungsquote von 63 Prozent der potenziell verfügbaren Altfenster, die gesammelt werden konnten. Zu geringen Anteilen (0,7 Prozent) wurden Fensterrahmen (vermutlich komplette Fenster) wiederverwendet. Die übrigen PVC-Rahmen wurden größtenteils einer energetischen Verwertung zugeführt.

Kreislaufführung von Fenstern und Fensterrahmen

- Fenster gehören zu den am häufigsten wiederverwendeten Bauteilen.
- Für Fensterrahmen existieren etablierte, funktionierende Rücknahmesysteme der Industrie (freiwillige Initiativen).
- Diese Systeme ermöglichen eine geordnete Erfassung und hochwertige Verwertung, insbesondere bei PVC- und Aluminiumrahmen.

Das Regranulat dieser Kunststofffenster kann grundsätzlich zu neuen PVC-Fenstern verarbeitet werden. Ein Hemmnis dieses hochwertigen Recyclings stellt jedoch die früher etablierte Beimischung von Blei in PVC-Fensterrahmen als Stabilisator dar. Sie ist seit 2023 nicht mehr gestattet und bei Fenstern aktuell in Ausnahmefällen nur noch im Profillinieren erlaubt.

Für Aluminium-Fensterrahmen wurden in den vergangenen Jahren branchenbasierte Rücknahme- und Kreisläufsysteme etabliert, die auf die Schließung von Materialkreisläufen für Aluminium aus Fenstern, Fassaden und weiteren Bauteilen des Hochbaus abzielen. Im Jahr 2019 fielen 109.000 Tonnen Aluminiumabfälle im Gebäudesektor an. Davon waren ca. 70 Prozent Post-Consumer-Abfälle. Sowohl bei den Post- als auch bei den Pre-Consumer-Abfällen von Aluminium dominieren die Fenster als wichtigste Kategorie. Von den Pre-Consumer-Abfällen wurden im Jahr 2019 lediglich 19 Prozent eingesammelt. Bei den Post-Consumer-Abfällen waren es dagegen 37 Prozent. Insgesamt waren dies somit rund 30 Prozent, die in einem

geschlossenen Kreislauf geführt werden konnten. Der überwiegende Anteil von rund 60 Prozent der Aluminiumabfälle wurde an Schrotthändler und Entsorger verkauft und gegebenenfalls eher als Gussaluminium einem Downcycling-Prozess unterzogen (vgl. A/U/F e. V. 2021).

Holzfensterrahmen sind als Naturmaterial oft mit Fungiziden und Flammschutzmitteln behandelt, wodurch ein hochwertiges Recycling nicht möglich ist. Stattdessen werden sie überwiegend einer thermischen Verwertung zugeführt.

Fazit

Für PVC- und Aluminiumrahmen bestehen bereits funktionierende Rücknahmesysteme, während Holzrahmen aufgrund häufiger Schadstoffbehandlungen nur eingeschränkt hochwertig recycelbar sind. Insgesamt zeigt sich: Für einzelne Komponenten existieren etablierte Kreisläufe, die Wiederverwendung kompletter Fenster bleibt jedoch die Ausnahme.

Ressourcenverbrauch und Kreislaufpotenziale



Im vorigen Kapitel wurde – soweit dies anhand der verfügbaren Daten möglich war – beispielhaft der Materialfluss **zentraler Baustoffe und Elemente** im Gebäudebereich

dargestellt. In diesem Kapitel wird das Kreislaufpotenzial der untersuchten Materialien übergreifend betrachtet.

5.1 Ressourcenverbrauch

Ressourcenverbrauch

1. Beton / mineralische Baustoffe

- Mengenmäßig größter Baustoff (9.568 Millionen Tonnen in 2022)
- Dominiert Tragstrukturen und Bauschuttströme

2. Metalle (v. a. Stahl, Gusseisen)

- 1.040 Millionen Tonnen im Gebäudebestand (2022)
- Bausektor ist wichtigster Absatzmarkt (31 Prozent der Stahlnachfrage in Deutschland in 2024)

3. Holz

- 328 Millionen Tonnen im Bestand (Stand 2010)
- Steigende Nachfrage, politisch gestützt (Holzbauquote 30 bis 50 Prozent bis 2030/2050)

4. Kunststoffe und Dämmstoffe

- 142 Millionen Tonnen Kunststoffe im Bestand, 148 Millionen Tonnen Dämmstoffe (Stand 2010)
- Geringe Masse, aber zentrale funktionale Bedeutung (Dämmung, Abdichtung, Haustechnik)

5. Flachglas, Verbundwerkstoffe, WDVS

- Moderater bis geringer Ressourcenanteil
- Stark funktionsgetrieben (Tageslicht, Witterungsschutz, Montagefreundlichkeit)

Beton und mineralische Baustoffe – größte Materialkategorie

Mit Abstand am umfangreichsten sind mineralische Baustoffe, insbesondere Beton. Schiller et al. (2015) quantifizieren für 2010 6.583 Millionen Tonnen Beton im Gebäudebestand; das Materialkataster des IÖR weist für

2022 9.568 Millionen Tonnen Beton aus. Der starke Anstieg spiegelt methodische Weiterentwicklungen der Modelle wider, nicht eine reale Bestandszunahme. Beton ist damit der mengenmäßig wichtigste Baustoff im deutschen Hochbau und prägt sowohl Tragstrukturen als auch den Bauschuttstrom.

Metalle – zweitgrößtes Materiallager, dominiert von Stahl

Metalle – überwiegend Stahl und Gusseisen – bilden die zweitgrößte Materialgruppe:

- 881 Millionen Tonnen Stahl in Wohn- und Nichtwohngeläuden in 2010 (vgl. Schiller et al. 2015)
- Zusätzlich 12,6 Millionen Tonnen Stahl und 3 Millionen Tonnen Gusseisen in der Haustechnik (vgl. Schiller et al. 2015)
- 2022: 1.040 Millionen Tonnen Metall, davon >90 Prozent Stahl/Gusseisen (vgl. IÖR 2025)

Der Bausektor ist zugleich der wichtigste Absatzmarkt der Stahlindustrie: 31 Prozent des in Deutschland eingesetzten Stahls gehen in Bauanwendungen (vgl. WV Stahl 2025). Jährlich entstehen Inputströme von rund 9,2 Millionen Tonnen Stahl in Gebäuden.

Holz – mengenmäßig kleiner, aber strategisch zunehmend relevant

Holz ist im Vergleich zu Beton und Stahl mengenmäßig deutlich geringer vertreten, bleibt aber ein zentraler nachwachsender Rohstoff:

- 328 Millionen Tonnen Holz im Wohngebäudebestand (vgl. Schiller et al. 2015)

Der Trend ist politisch flankiert: Der Wohnungsneubau soll bis 2030 zu 30 Prozent, bis 2050 zu 50 Prozent in Holzbauweise erfolgen (vgl. Bergmann und Steger 2023). Der Holzverbrauch konzentriert sich zu 84 Prozent auf Nadelholz.

Kunststoffe – kleines Materiallager, aber große funktionale Bedeutung

Kunststoffe fallen massenmäßig deutlich geringer aus als mineralische und metallische Baustoffe, übernehmen jedoch zentrale Funktionen (Dämmung, Abdichtung, Fensterprofile, Haustechnik).

- 2010: 142 Millionen Tonnen Kunststoffe im Gebäudebestand + 1,37 Millionen Tonnen in Haustechnik (vgl. Schiller et al. 2015)
- Produktion für den Bausektor 2017: 3,30 Millionen Tonnen (vgl. Tremel et al. 2023)

- 2023 rückläufig: 3,05 Millionen Tonnen, jedoch deutliche Zunahme bei Dämmstoffen (von 15 Prozent auf 28,5 Prozent) (vgl. Conversio 2024)

Mit nahezu 30 Prozent Rezyklatanteil sind Baukunststoffe ein zentraler Markt für Post-Consumer-Rezyklate.

Dämmstoffe – relevante Materialgruppe, getrieben durch Energieeffizienzanforderungen

Der Gebäudebestand umfasst 148,2 Millionen Tonnen Dämmstoffe (vgl. Schiller et al. 2015):

- 83,2 Millionen Tonnen Kunststoffdämmstoffe (EPS, PUR)

- 65 Millionen Tonnen mineralische Dämmstoffe

Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen spielen eine untergeordnete Rolle (<10 Prozent).

Flachglas – funktional zentral, mengenmäßig moderat

Flachglas wird im Gebäudesektor vorrangig für Fenster und Fassaden eingesetzt:

- 331 Millionen Tonnen Flachglas (vgl. Schiller et al. 2015)
- Jährlich rund 1 Million Tonnen neuer Bedarf im Neubau und in der Sanierung

Der Glasverbrauch ist niedrig im Vergleich zu Beton oder Stahl, jedoch für die Energieeffizienz und Tageslichtnutzung hoch relevant.

Verbundwerkstoffe und WDVS – funktional wichtig, mit begrenzter Datenlage

Für Verbundwerkstoffe existieren keine robusten Mengenschätzungen, obwohl sie konstruktiv stark verbreitet sind:

- Stahlbeton (größter Verbundwerkstoff im Bauwesen)
- Holzwerkstoffe, Faserzement, GFK/CFK
- WDVS mit weiterhin dominierendem EPS-Anteil (~50 Prozent) (vgl. BaustoffWissen 2024)

Diese Werkstoffe erleichtern die Montage, führen jedoch zu komplexen Materialverbunden.

5.2 Kreislaufpotenziale

Die Kreislauffähigkeit der Baustoffe unterscheidet sich deutlich. Betrachtet man die Materialgruppen deduktiv – vom höchsten zum niedrigsten Potenzial – ergibt sich folgendes Bild.

Kreislaufpotenziale

1. Sehr hoch: Metalle (Stahl, Gusseisen)

- 97 bis 99 Prozent Recyclingquote
- Magnetisch trennbar, ökonomisch attraktiv, unbegrenzt recycelbar

2. Mittel: Holz und sortenreine Kunststoffe (PVC, PE)

- Holz: gut wiederverwendbar, stoffliche Verwertung v. a. in Spanplatten (~30 Prozent)
- PVC/PE: hohe Sortenreinheit bei Rückbau möglich, hoher Rezyklatanteil (~30 Prozent)

3. Begrenzt: Beton und mineralische Dämmstoffe

- Betonkörnungen überwiegend Downcycling, <1 Prozent Einsatz in neuem Beton
- Mineralwolle: technisch recycelbar, aber aufwendig (geschlossene Systeme erforderlich)

4. Niedrig: Verbundwerkstoffe und WDVS

- Materialverbunde meist nicht trennbar
- Keine etablierten Recyclingstrukturen für WDVS
- Häufig nur energetische Verwertung möglich

Stahl – höchstes Kreislaufpotenzial im Bausektor

Metalle, insbesondere Stahl und Gusseisen, sind am besten kreislauffähig:

- 97 Prozent des Baustahlschrotts werden recycelt (WV Stahl 2025)
- Bis zu 99 Prozent Wiederverwertung bei Baustahlprofilen; rund 11 Prozent davon direkt wiederverwendet (vgl. Helmus und Randel 2015)
- Stahl ist magnetisch trennbar und wirtschaftlich attraktiv und kann unbegrenzt recycelt werden.

Damit besitzt Stahl das höchste technische, ökologische und ökonomische Kreislaufpotenzial.

Holz – hohes Potenzial, aber stark qualitätsabhängig

Holz ist grundsätzlich sehr gut wieder- und weiterverwendbar. Hindernisse entstehen jedoch durch Schadstoffbelastung und Vermischung.

- 2016: 10 Millionen Tonnen Altholz, davon 4 Millionen Tonnen aus Bau- und Abbruchabfällen (vgl. Flamme et al. 2020)
- Stoffliche Verwertung 2021: ~30 Prozent, vor allem Spanplattenindustrie (vgl. Kaufmann 2022)
- Potenziell hohe Sortenreinheit durch traditionelle Fügeverfahren möglich

Holz ist ein zirkulärer Werkstoff, dessen Kreislauffähigkeit vor allem im Design for Disassembly liegt.

Kunststoffe – differenziertes Potenzial je nach Produktgruppe

Kunststoffe im Bauwesen weisen ein mittleres Kreislaufpotenzial auf, mit deutlichen Unterschieden:

Hohe Potenziale:

- PVC- und PE-Produkte (Rohre, Profile)
- Gut demontierbar, sortenrein erfassbar
- Rezyklatanteile heute: ~30 Prozent in Bauprodukten, 42 Prozent des gesamten deutschen PCR⁶-Marktes gehen in den Bau (vgl. Conversio 2024)

Niedrige Potenziale:

- EPS-, XPS- und PUR-Dämmstoffe
- Häufig verklebt oder mit Putz/Mörtel verbunden → geringe Trennbarkeit
- Recycling als Post-Consumer-Abfall technisch möglich, aber kaum umgesetzt

Damit liegen Kunststoffe zwischen Stahl/Holz und Beton.

Beton – begrenzte Kreislauffähigkeit, hohe ökologische Bedeutung

Beton weist relativ geringe stoffliche Kreislafpotenziale auf, insbesondere durch die Verbundstruktur mit Zementstein:

- Bauschutt 55,2 Millionen Tonnen (2022), davon 24,7 Millionen Tonnen Beton
- Nur 0,5 bis 0,6 Prozent des Altbetons werden für neuen Beton verwendet (vgl. Kehl und Rioussset 2024; Kaufmann 2022)
- Wiederverwendung meist als Recyclingkörnig im Straßenbau (Downcycling)
- Zementanteil geht vollständig verloren

Höchste Potenziale liegen in der Wiederverwendung von Betonfertigteilen und im „On-site“-Recycling, um Transportaufwände zu minimieren.

Dämmstoffe – technisch möglich, praktisch begrenzt
Dämmstoffe zeigen je nach Material sehr unterschiedliche Potenziale:

Mineralwolle:

- Recycling technisch möglich, aber aufwendig (luftdichte Hallen, komplexe Logistik)

Kunststoffdämmstoffe (EPS, XPS, PUR):

- Sortenreines Recycling möglich
- In der Praxis selten, da starke Vermischungen im WDVS und HBCD-Belastung in EPS (vor 2015) das Recycling zusätzlich erschweren
- Steigende Abfallmengen erwartet

Naturdämmstoffe (<10 Prozent Marktanteil):

- Biologisch abbaubar, aber geringe Relevanz für den Massenstrom

Flachglas – gut recycelbar, aber überwiegend Downcycling

Flachglas kann grundsätzlich hochwertig recycelt werden, wird jedoch häufig dem Behälterglas oder der Glaswolleverwertung zugeführt:

- Trennbarkeit im Ausbau gut
- Hohe Qualitätsanforderungen an Scherben für neue Flachglaserzeugnisse
- Bestehende alternative Recyclingoptionen (für Glaswolle und Behälterglas)

Das Potenzial ist vorhanden, aber stärker normativ und technisch limitiert als bei Stahl.

Verbundwerkstoffe und WDVS – geringste Kreislauffähigkeit

Bei Verbundwerkstoffen ist das stoffliche Recycling systembedingt eingeschränkt:

- GFK/CFK: kaum recycelbar im Bausektor
- Holzverbundwerkstoffe: meist nur energetische Verwertung
- WDVS: steigende Rücklaufmengen, kein etabliertes Recyclingsystem

Stahlbeton bildet eine Ausnahme, da Stahlanteile gut separiert werden können.

Hebel zur Förderung

geschlossener Materialkreisläufe

Die vorangegangenen Kapitel zeigen, dass sich die Recyclingfähigkeit des deutschen Gebäudesektors aufgrund der heterogenen und teilweise lückenhaften Datenlage zu Materialmengen, Qualitäten, Einbauarten und möglichen Schadstoffbelastungen nicht pauschal bewerten lässt.

Die im UBA-Projekt KartAL (vgl. Schiller et al. 2015) entwickelten Bottom-up-Modellierungen – ergänzt durch die aktualisierten Daten des Nationalen Materialkatasters (vgl. IÖR 2022) – bieten zwar einen wichtigen ersten Überblick über die Größenordnung des verbauten Materialstocks, bleiben jedoch aufgrund notwendiger Annahmen

und generischer Gebäudetypologien eine Annäherung an die Realität.

In diesem Bericht wurde die Frage nach der Recyclingfähigkeit des deutschen Gebäudesektors und der aktuellen Praxis von Rückbau- und Recyclingprozessen anhand detaillierter Analysen einzelner Materialien und Bauteile erörtert. Die folgenden Abschnitte fassen die wesentlichen Erkenntnisse qualitativ zusammen: Abschnitt 6.1 beschreibt zentrale Hemmnisse, Abschnitt 6.2 zeigt mögliche Lösungen auf und Abschnitt 6.3 stellt übergreifende Ansätze zur Steigerung der Kreislauffähigkeit im deutschen Gebäudesektor vor.

6.1 Hemmnisse

Die zentralen Hemmnisse im deutschen Gebäudesektor betreffen nahezu alle untersuchten Materialien und lassen sich in drei übergeordnete Problemfelder gliedern: unzureichende Sortenreinheit im Rückbau, fehlende Logistik- und

Rückbauinfrastrukturen sowie, geringe wirtschaftliche Anreize und fehlende Marktdurchdringung für hochwertige Rezyklate. Erst im Anschluss an diesen Abschnitt werden materialspezifische Herausforderungen dargestellt.

6.1.1 Materialübergreifende Hemmnisse

Unzureichende Sortenreinheit im Rückbau

Ein wesentlicher Engpass betrifft die geringe Trennschärfe bei der Erfassung von Bauabfällen. Viele Materialien werden im Gebäudebetrieb oder -rückbau mit anderen Werkstoffen untrennbar verbunden, was hochwertige Aufbereitungswege massiv erschwert:

- **Beton:** Endet häufig als gemischter Bauschutt; mineralische Fraktionen sind oft verschmutzt
- **Holz:** Verunreinigungen durch Beschichtungen, Klebeverbindungen oder Verbundbauweisen reduzieren die stoffliche Verwertbarkeit deutlich.
- **Kunststoffe und Dämmstoffe:** Dämmstoffe (EPS, XPS, PUR) werden meist mit Mörteln oder Putzen verklebt; eine sortenreine Trennung ist selten möglich.
- **Verbundwerkstoffe und WDVS:** Sind konstruktionsbedingt kaum zerstörungsfrei trennbar; Zielkonflikt zwischen Leichtbau und Kreislauffähigkeit
- **Glas:** Altscherben aus Fenstern sind häufig verschmutzt, was zu Downcycling führt.

Fehlende Infrastruktur für Rückbau, Sortierung und Zwischenlagerung

Ein Großteil der Materialien erfordert spezialisierte Rückbauprozesse und logistische Strukturen:

- **Stahl:** Eine direkte Wiederverwendung (Re-Use) von Stahlbauteilen wäre technisch grundsätzlich oft möglich, erfordert jedoch Zwischenlager und zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Tragfähigkeitsbewertung.
- **Glas:** Bedarf einer optimierten Sammellogistik (z. B. Entglasung erst am Betrieb)
- **WDVS:** Bislang kaum etablierte Rücknahmesysteme
- **Dämmstoffe:** Aufbereitungsanlagen sind technisch möglich, aber nicht flächendeckend verfügbar (insbesondere für Mineralwolle).

Geringe wirtschaftliche Anreize und fehlende Marktdurchdringung für hochwertige Rezyklate

Mehrere Materialien leiden unter zu niedrigen Primärrohstoffpreisen, die den Einsatz hochwertiger Rezyklate wirtschaftlich unattraktiv machen:

- **Dämmstoffe:** Niedrige Rohstoffpreise und geringe Abfallmengen verhindern Geschäftsmodelle.
- **Beton:** Niedrige Preise für Primärsteine und -kiese sowie der hohe Aufbereitungs- und Logistikaufwand schränken die Wirtschaftlichkeit von Recyclinggesteinskörnungen ein.
- **Holz:** Kaskadennutzung wird häufig durch fehlende Sortenreinheit verhindert, wodurch höherwertige stoffliche Verwertungswege nicht wirtschaftlich realisiert werden können.

6.1.2 Materialspezifische Hemmnisse

Im Folgenden werden materialspezifische Hemmnisse beschrieben.

Beton

- Eine hochwertige Trennung von Zementstein und Gesteinskörnung ist technisch möglich, aber mit Aufwand verbunden.
- Es sind hohe Transportmengen und eine energieintensive Aufbereitung erforderlich.

Holz

- Schadstoffbelastungen (Holzschutzmittel, Lacke) verhindern die stoffliche Nutzung.
- Klebe- und Verbundtechniken in modernen Holzbauteilen erschweren die Trennung.

Kunststoffe

- Thermoplastische Kunststoffe (PVC, PE) sind gut recycelbar, jedoch stark abhängig von einer sortenreinen Erfassung.
- Dämmstoffkunststoffe (EPS, XPS, PUR) weisen eine besonders geringe Rückbausortierbarkeit auf.

Dämmstoffe

- Sortenreinheit ist zwingende Voraussetzung.
- Mineralische Dämmstoffe benötigen geschlossene luftdichte Aufbereitungssysteme.

Flachglas

- Das Downcycling zu Behälterglas oder Glaswolle dominiert, da eine hochwertige Scherbenqualität selten erreicht wird.

Verbundwerkstoffe und WDVS

- Technisch bedingte Materialverbunde führen zu einer geringen Kreislauffähigkeit.
- Das erste Auftreten großer Rücklaufmengen von WDVS steht noch bevor – die Infrastruktur fehlt.

6.2 Lösungsansätze

Die Lösungsansätze lassen sich in materialübergreifende Strategien zur Stärkung der Kreislauffähigkeit des Gebäudesektors einteilen und anschließend um materialspezifische

Hebel ergänzen. Der Fokus liegt dabei auf Maßnahmen, die sowohl technisch realistisch als auch sektorübergreifend wirksam sind.

6.2.1 Materialübergreifende Lösungsstrategien

Rückbauorientierte Planung und Dokumentation (Design for Disassembly)

Ein zentraler Hebel betrifft die Gestaltung der Bauwerke selbst:

- Verpflichtende Rückbaukonzepte
- Digitale Materialpässe
- Bauteilkatalogisierung
- Planung lösbarer Verbindungen

Diese Ansätze erhöhen die Trennbarkeit und schaffen die Voraussetzungen für eine sortenreine Rückgewinnung.

Verbesserung der Sortier- und Logistikinfrastruktur

Für nahezu alle Materialien gilt:

- Ausbau sortenreiner Erfassungssysteme
- Einführung spezialisierter Entglasungs-, Entkernungs- oder Demontageprozesse
- Zwischenlager für wiederverwendbare Bauteile (v. a. Stahl, Holz, Fenster, Betonfertigteile)

Marktanreize und Leitmärkte für Rezyklate

Öffentliche Beschaffung gilt als Hebel:

- Standardmäßiger Einsatz von RC-Beton in öffentlichen Bauprojekten
- Mindestquoten für Rezyklate in PVC- und PE-Produkten
- Vorrang stofflicher Verwertung bei Holz
- Differenzierte CO₂-Bepreisung und Deponiegebühren als ökonomische Hebel

Förderung der Wiederverwendung vor Recycling

Bei vielen Materialien ist Wiederverwendung ökologisch deutlich vorteilhafter:

- Stahlträger
- Betonfertigteile
- Holzbauteile
- Fenster oder ganze Elemente
- GFK-/CFK-Bauteile in Sonderfällen

Dies erfordert bauteilspezifische Prüfverfahren und Qualitätssicherungssysteme.

6.2.2 Materialspezifische Lösungen

Im Folgenden werden materialspezifische Lösungen beschrieben.

Stahl

- Aufbau von regionalen Zwischenlagern und Materialbörsen
- Einsatz zerstörungsfreier Prüfverfahren (z. B. Ultraschall, Magnetpulverprüfung)
- Systematische Materialpässe zur Wiederverwendung

Beton

- Etablierung von Rücknahmesystemen für Betonfertigteile
- Forschung zu hochwertiger Zementsteinrückgewinnung
- Getrennte Erfassung von Betonabbruch zur Reduktion von Mischfraktionen

Holz

- Verzicht auf chemische Holzschutzmittel, wo bauphysikalisch möglich
- Einsatz lösbarer, monomaterieller Fügetechniken
- Ausbau der Kaskadennutzung (Spanplattenindustrie)

Kunststoffe

- Stärkung bestehender Rücknahmesysteme für PVC- und Aluminiumfenster
- Sortenreine Erfassung von Kunststoffdämmsystemen
- Nutzung langlebiger Bauprodukte (Rohre, Profile) als Rezyklataufnahmesenke

Dämmstoffe

- Skalierung mechanischer und chemischer Recyclinganlagen
- Entwicklung sortenreiner Demontagemethoden (z. B. Schneid- und Trennsysteme)
- Einführung von Rücknahmeprogrammen für Glas- und Steinwolle

Flachglas

- Optimierte Sammellogistik, zum Beispiel Entglasung erst im Entsorgungsbetrieb
- Prüfung der Wiederverwendung ganzer Fenster, sofern energetische Performance gewährleistet ist

Verbundwerkstoffe und WDVS

- Entwicklung lösbarer Verbundsysteme (z. B. separierbare Folien bei WDVS)
- Erweiterung von gedübelten statt verklebten Systemen
- Forschung zu Recycling von Faserzement- oder CFK-basierten Baustoffen

6.3 Fazit und übergreifende Handlungsansätze zur Steigerung der Kreislauffähigkeit

Der Gebäudesektor in Deutschland ist heute nur teilweise kreislauffähig: Für einige Materialien existieren etablierte, hochwertige Recyclingpfade, während andere Stoffgruppen praktisch gar nicht im Kreislauf geführt werden. Gleichzeitig ist das technische, planerische und wirtschaftliche Potenzial deutlich größer als das, was aktuell umgesetzt wird.

R-Strategien und ökonomische Hebel für Zirkularität im Gebäudesektor

Hillebrandt et al. (2021) ordnen Baumaterialien entlang der bekannten R-Strategien ein und machen sichtbar, welche Materialien besonders gut für hochwertige Wiederverwendung und welche eher für Recycling oder lediglich die energetische Verwertung geeignet sind. Parallel beleuchten sie die Kosten- und Erlösstrukturen für Rückbaumaterialien (Stand 2016). Die Kernaussagen:

Re-Use-Potenzial hoch

- Stahlträger, bestimmte Holzbauteile, Betonfertigteile, Aluminiumfenster

Re-Use nur bei selektivem Rückbau

- Ziegel, GFK/CFK, bestimmte Dämmstoffe

Heute überwiegend Recycling oder Downcycling

- Flachglas, Altbeton, WDVS

Ökonomischer Wert stark variierend

- Hoher Wert: Aluminium, Stahl, Kupfer
- Geringer Wert: mineralische Massenbaustoffe (wegen Transportkosten)

Wirtschaftlichkeit entscheidet maßgeblich über den Pfad

- Bei hohen Verwertungskosten werden Materialien meist energetisch verwertet oder deponiert.

Für die Praxis bedeutet dies: R-Strategien mit hoher Wertschöpfung (Re-Use, Repair, Refurbish, Remanufacture) entfalten nur dann Wirkung, wenn Planung, Rückbauorganisation und Vergabeprozesse den wirtschaftlichen Mehrwert sichtbar machen und verteilen – etwa durch frühzeitige Materialinventare, Rückbaukonzepte, Rücknahmeverträge mit Herstellern und die Einpreisung des Materialrestwerts in Geschäftsmodelle.

Zirkuläre Potenziale entlang des Lebenszyklus von Gebäuden

Der Bericht „The Dutch circular built environment“ (vgl. Holland Circular Hotspot 2025) zeigt anhand der Wertschöpfungskette, dass Kreislauffähigkeit an allen Lebenszyklusphasen von Gebäuden ansetzen muss. Übertragen auf den deutschen Hochbau ergeben sich folgende Hebel:

Zentrale Hebel für zirkuläres Bauen entlang des Lebenszyklus

Designphase

- Rückbau und sortenreine Trennbarkeit von Anfang an mitplanen
- Recycling- und biobasierte Materialien bevorzugen
- Graue Energie, CO₂-Fußabdruck und Schadstoffe bewerten
- Gebäude für spätere Nutzungsänderungen flexibel gestalten

Digitale Unterstützung

- BIM und Gebäuderessourcenpässe als „Materialgedächtnis“ nutzen
- Materialdaten über den gesamten Lebenszyklus für alle Akteure verfügbar halten

Herstellung zirkulärer Baustoffe

- Biobasierte Baustoffe für biologische Kreisläufe einsetzen
- Sekundärrohstoffe und RC-Material in technischen Kreisläufen nutzen
- Ressourceneffiziente, sortenreine und standardisierte Produktion umsetzen

Konstruktionsphase

- Ressourceneffiziente, vorgefertigte und modulare Bauweisen wählen
- Lösbare, zerstörungsarme Verbindungen statt Klebungen verwenden
- Handwerk in zirkulären Bau- und Rückbautechniken qualifizieren

Nutzungsphase und Lebensdauerverlängerung

- Bestanderhalt, Sanierung und Umnutzung vor Neubau priorisieren
- Retrofitting durch modulare Innenausbauten und nachrüstbare Systeme erleichtern
- Begrünung und weitere Maßnahmen mit Mehrfachnutzen einsetzen
- „Zwiebelprinzip“: innere Schichten leicht austauschbar, Tragstruktur langlebig

End-of-Life-Phase

- Verbindliche Materialinventare und Rückbaukonzepte vorsehen
- Anreize für selektiven Rückbau und Wiederverwendung schaffen
- Logistik- und Lagerstrukturen für Sekundärbauteile aufbauen
- Qualität und Haftung über Zertifizierung und Versicherung absichern

Strategische Steuerung von Stoffströmen im Bauwesen durch die NKWS

Die Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS) setzt genau an diesen Punkten an und versucht, die Stoffströme im Bausektor systematisch in Richtung Kreislaufwirtschaft zu lenken. Aus Sicht der Praxis lassen sich mehrere zentrale Stoßrichtungen erkennen:

- **Rahmensetzung und Zielbilder:** Der Bausektor wird als prioritäres Handlungsfeld mit hohem Ressourcen- und Abfallaufkommen definiert. Ziel ist, primäre Rohstoffverbräuche deutlich zu reduzieren und Sekundärrohstoffe gezielt zu stärken.
- **Innovation und Pilotierung:** Die NKWS unterstützt Forschung und Pilotprojekte zu zirkulären Baustoffen, modularen Systemen, selektivem Rückbau, digitalen Ressourcenpässen und neuen Geschäftsmodellen (z. B. Bauteilbörsen, „as-a-Service“-Modelle).
- **Stakeholder-Einbindung:** Planende, Bauunternehmen, Hersteller, Entsorger, Kommunen und Finanzierer werden in Dialogforen und Konsultationsprozesse einbezogen, um Hemmnisse (Normen, Haftung, Vergabe) zu identifizieren und gemeinsam Lösungen zu entwickeln.
- **Regulatorische Instrumente:** Schrittweise Anpassung von Bauordnungen, Vergaberegeln und Produktanforderungen, um Rezyklateinsatz, Rückbaubarkeit, Dokumentationspflichten sowie die Vermeidung bestimmter Schadstoffe stärker zu verankern.
- **Markt- und Nachfragestimulierung:** Öffentliche Hand als Vorreiterin durch Vorgaben für kreislauffähige Planung und den Einsatz von Sekundärmaterialien in öffentlichen Bauprojekten; Entwicklung von Qualitätsstandards und Labels für zirkuläre Bauprodukte.

Für Fachleute aus der Baupraxis bedeutet dies: Die Kreislauffähigkeit des Gebäudesektors ist derzeit stark ausdifferenziert – sie reicht von sehr gut etablierten Metallkreisläufen bis hin zu bislang kaum erschlossenen Strömen. Wer heute auf rückbaufreundliche Konstruktionen, dokumentierte Materiallager, den Einsatz von Sekundärrohstoffen und innovative Geschäftsmodelle setzt, positioniert sich nicht nur ökologisch, sondern auch ökonomisch zukunftssicher im Hinblick auf kommende regulatorische und marktseitige Anforderungen. Die NKWS wird dabei eine zentrale Rolle spielen, indem sie die relevanten Akteure unterstützt, bestehende Hemmnisse abzubauen, Innovationsprozesse anzustoßen und so geschlossene Stoffkreisläufe im Bauwesen schrittweise zu ermöglichen.



Literaturverzeichnis

Agora Industrie; ifeu; RISE und Ramboll (2024): Reduktion und Regulierung von Embodied-Carbon-Emissionen im deutschen Gebäudesektor. Schaffung von Leitmärkten für klimafreundliche Grundstoffe. Berlin. Online verfügbar unter: https://www.agora-industrie.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-10_IND_Embodied_Carbon/A-IN_341_Embodied_Carbon_WEB.pdf. Zugriff am: 09.01.2026.

A/U/F e.V. (2021): A/U/F-Wertstoff-Studie. Der geschlossene Wertstoffkreislauf für Aluminium-Altmaterial aus dem Hochbau. Schriftenreihe Nr. 01/2021. Frankfurt am Main. Online verfügbar unter: <https://a-u-f.com/wp-content/uploads/2021/newsletter/html5/index.html>. Zugriff am: 09.01.2026.

Bauhaus Erde e. V. (o. J.): Bauhaus Erde – Wissen für gebaute Umwelt und Erde im Kreislauf. Online verfügbar unter: <https://www.bauhauserde.org/>. Zugriff am: 06.10.2025.

BaustoffWissen.de (2024): WDVS – Die häufigsten Dämmstoffe. 07.06.2024. Online verfügbar unter: <https://www.baustoffwissen.de/wdvs-die-haeufigsten-daemmstoffe-07062024>. Zugriff am: 17.11.2025.

BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.) (2023): Unterstützung von Suffizienzansätzen im Gebäudebereich. BBSR-Online-Publikation 09/2023. Bonn. Online verfügbar unter: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2023/bbsr-online-09-2023-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=2. Zugriff am: 09.01.2026.

Bergmann, Luisa; Steger, Sören (2023): Abschätzung zukünftiger Stoffströme im Bausektor Nordrhein-Westfalens. Abschätzung der durch Abriss, Neubau, Sanierung und Austausch induzierten Materialströme im Wohngebäudesektor von 2022 bis 2060. Wuppertal Institut. Wuppertal. Online verfügbar unter: https://sci4climate.nrw/wp-content/uploads/2024/07/Bergmann_Steger_2023_Abschaetzung-zukuenftiger-Stoffstroeme_NRW.pdf. Zugriff am: 09.01.2026.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) (2023): Abfallwirtschaft in Deutschland 2023 – Fakten, Daten, Grafiken. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit. Berlin. Online verfügbar unter: https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/abfallwirtschaft_2023_bf.pdf. Zugriff am: 09.01.2026.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) (2024): Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS). Beschlussfassung vom 4. Dezember 2024. Berlin. Online verfügbar unter: <https://www.bundesumweltministerium.de/themen/kreislaufwirtschaft/kreislaufwirtschaftsstrategie>. Zugriff am: 09.01.2026.

Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie e. V. (BTB) (2025): Jahresbericht 2025. Berlin. Online verfügbar unter: https://www.transportbeton.org/fileadmin/media/Wir/Verband/PDF/Jahresbericht_BTBTB_2025_online.pdf. Zugriff am: 09.01.2026.

Conversio (2024): Kurzfassung der Conversio Studie „Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2023 – Zahlen und Fakten zum Lebensweg von Kunststoffen“. Online verfügbar unter: <https://www.vci.de/ergaenzende-downloads/kurzfassung-stoffstrombild-2023.pdf>. Zugriff am: 09.01.2026.

Deilmann, Clemens; Krauß, Norbert; Gruhler, Karin; Reichenbach, Jan (2014): Sensitivitätsstudie zum Kreislaufwirtschaftspotenzial im Hochbau. Online verfügbar unter: https://www.researchgate.net/profile/Norbert-Krauss-3/publication/279788200_Sensitivitatsstudie_zum_Kreislaufwirtschaftspotenzial_im_Hochbau/links/559add4f08ae21086d277799/Sensitivitaetsstudie-zum-Kreislaufwirtschaftspotenzial-im-Hochbau.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn99. Zugriff am: 09.01.2026.



Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (dena) (2024): DENA-GEBÄUDEREPORT 2025. Zahlen, Daten, Fakten zum Klimaschutz im Gebäudebestand. Berlin. Online verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2025/Gebaeudereport_2025_BF.pdf.

DGNB – Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (2024): Qualitätsstandard für Zirkularitätsindizes für Bauwerke. Grundlegendes Qualitätsverständnis und DGNB Zirkularitätsindex. Version 1.0, 03.05.2024. Stuttgart. Online verfügbar unter: <https://www.dgnb.de/?eID=dumpFile&t=f&download=1&f=10125&token=16b074f282b23efd97cd7bb36c2004aacdda28c6>. Zugriff am: 09.01.2026.

DGNB – Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (2025): Klimawirkungen von Sanierungen: eine lebenszyklusbasierte Analyse. Stuttgart. Online verfügbar unter: <https://www.dgnb.de/?eID=dumpFile&t=f&download=1&f=11776&token=449df6e69e41bc4028ffa8b155cc3a7f5901bf8b>. Zugriff am: 09.01.2026.

EAE – European Association for External Thermal Insulation Composite Systems (2024): European Energy Efficiency Guide 2024. A true Renovation Wave for a Sustainable Future. Baden-Baden. Online verfügbar unter: https://build-up.ec.europa.eu/system/files/2024-09/Energy-Efficiency-Guide-2024_2ed-2024-06-03_web.pdf. Zugriff am: 14.10.2025.

Eberhard Unternehmungen (o. J.): Urban Mining – Die Stadt als Rohstoffmine. Informationsplattform zur Kreislaufwirtschaft und Baustoffwiederverwendung. <https://urbanmining.ch/>. Zugriff am: 06.10.2025.

Ebert, Samuel; Ott, Stephan; Krause, Karina; Hafner, Annette; Krechel, Marco (2020): Modell der Recyclingfähigkeit auf Bauteilebene. Online verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/339094427_Modell_der_Recyclingfahigkeit_auf_Bauteilebene. Zugriff am: 23.01.2026.

EEA – European Environment Agency (2025): Circular material use rate in Europe. 28.11.2025, Online verfügbar unter: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/circular-material-use-rate-in-europe?activeAccordion=546a7c35-9188-4d23-94ee-005d97c26f2b>. Zugriff am: 05.01.2026.

ErsatzbaustoffV (2021): Verordnung über Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technische Bauwerke. 9. Juli 2021, Bundesgesetzblatt Teil I, S. 2598; zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 13. Juli 2023 (BGBl. I Nr. 186), in Kraft getreten am 1. August 2023.

Europäische Kommission (2020): Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft – für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa. Brüssel. Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0098>. Zugriff am: 09.01.2026.

Europäische Kommission (2024): EU Construction & Demolition Waste Management Protocol including guidelines for pre-demolition and pre-renovation audits of construction works. Publications Office of the European Union. Luxembourg. Online verfügbar unter: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d63d5a8f-64e8-11ef-a8ba-01aa75ed71a1/language-en>. Zugriff am: 09.01.2026.

Eurostat (2025): Material flow accounts and resource productivity. Europäische Union, 2025. Online verfügbar unter: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Material_flow_accounts_and_resource_productivity. Zugriff am: 13.10.2025.

Flamme, Sabine; Hams, Sigrid; Bischoff, Jens; Fricke, Claas (2020): Evaluierung der Altholzverordnung im Hinblick auf eine notwendige Novellierung. UBA-Text 95/2020. Münster. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/evaluierung-der-altholzverordnung-im-hinblick-auf>. Zugriff am: 09.01.2026.

Gebäudeforum klimaneutral (2022a): Suffizienz: Wie viel brauchen wir wirklich? Online verfügbar unter: <https://www.gebaeudeforum.de/service/newsletter/ausgabe-08/2022/suffizienz/>. Zugriff am: 17.10.2025.

Gebäudeforum klimaneutral (2022b): Urban Mining Index. Online verfügbar unter: <https://www.gebaeudeforum.de/wissen/digitale-methoden-und-tools/urban-mining-index/>. Zugriff am: 17.10.2025.



Gebäudeforum klimaneutral (2025a): LCA-Datenbanken und Zertifizierungssysteme: Datengrundlagen und Standards. Online verfügbar unter: <https://www.gebaeudeforum.de/wissen/nachhaltiges-bauen-und-sanieren/lebenszyklusbetrachtung/lca-datenbanken-und-zertifizierungssysteme>. Zugriff am: 17.10.2025.

Gebäudeforum klimaneutral (2025b): Ökobilanzierung im Bauwesen: Grundsätze, Rahmenbedingungen und Einsatzbereiche der LCS. Online verfügbar unter: <https://www.gebaeudeforum.de/wissen/nachhaltiges-bauen-und-sanieren/lebenszyklusbetrachtung/oekobilanzierung-lca>. Zugriff am: 17.10.2025.

Helmus, Manfred; Randel, Anne (2015): Sachstandsbericht zum Stahlrecycling im Bauwesen. Online verfügbar unter: <https://bauforumstahl.de/wp-content/uploads/2023/12/bfs-sachstandsbericht-recycling-im-bauwesen.pdf>. Zugriff am: 09.01.2026.

Hillebrandt, Annette; Riegler-Floors, Petra; Rosen, Anja; Seggewies, Johanna-Katharina (2021): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource. Edition Detail. München.

Holland Circular Hotspot (2025): The Dutch circular built environment. Let's collaborate for a better world! Online verfügbar unter: https://hollandcircularhotspot.nl/wp-content/uploads/2025/10/RVO_sectorgids-circulaire-bouw_English.pdf. Zugriff am: 09.01.2026.

Initiative Kreislaufwirtschaft Bau (2024): Mineralische Bauabfälle Monitoring 2022. Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2022. Online verfügbar unter: <https://kreislaufwirtschaft-bau.de/Download/Bericht-14.pdf>. Zugriff am: 09.01.2026.

IÖR-Informationssystem Gebaute Umwelt (ISBE) (o. J.): Wie funktioniert das Recycling von Bauabbruch? Online verfügbar unter: <https://ioer-isbe.de/>. Zugriff am: 09.01.2026.

Kaufmann, Janja (2022): Bewertung der Kreislauffähigkeit von Gebäuden am Beispiel des Forschungsprojekts „Building.Lab“. Masterarbeit. TUM School of Engineering and Design der Technischen Universität München. München. Online verfügbar unter: https://mediatum.ub.tum.de/doc/1717238/wy7k4xwndimrvn9fuoljcy0a.Masterarbeit_Kaufmann_ohne%20egl.pdf. Zugriff am: 09.01.2026.

Kehl, Christoph; Rioussat, Pauline (2024): Strategien und Instrumente zur Verbesserung des Rezyklateinsatzes. TAB-Fokus. Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Karlsruhe. Online verfügbar unter: <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000169029/152397447>. Zugriff am: 09.01.2026.

Müller, Annette; Zinder, Georg; Gruhler, Karin; Schiller, Georg (2023): CirCon4Climate – Strengthening Circular Construction Practices for Climate Change Mitigation. Summary report on best circular construction practices. Leibniz Institute of Ecological Urban and Regional Development (IOER). Dresden.

Neumaier, Eva-Maria (2024): Kreislaufgerecht Bauen jetzt. Potenzialanalyse verschiedener Strategien des zirkulären Bauens. Technische Universität Wien. Wien. Online verfügbar unter: <https://repositum.tuwien.at/bitstream/20.500.12708/198512/1/Neumaier%20Eva-Maria%20-%202024%20-%20Kreislaufgerecht%20Bauen%20jetzt%20Potenzialanalyse...pdf>. Zugriff am: 09.01.2026.

Prognos (2024): Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft. Prognos AG. Düsseldorf. Online verfügbar unter: https://statusbericht-kreislaufwirtschaft.de/wp-content/uploads/2024/01/Statusbericht_2024_25012024_opt.pdf. Zugriff am: 09.01.2026.

Raatz, Simone; Tuma, Axel; Thorenz, Andrea; Helbig, Christoph; Reller, Armin; Faulstich, Martin; Joachimsthaler, Charlotte; Steger, Sören; Hagedorn, Wiebke; Bickel, Manuel; Liedtke, Christa (2022): OptiMet. Ressourceneffizienzsteigerung in der Metallindustrie – Substitution von Primärrohstoffen durch optimiertes legierungsspezifisches Recycling. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/479/publikationen/texte_81-2022_optimet.pdf. Zugriff am: 23.01.2026



ReBAU – Regionale Ressourcenwende in der Bauwirtschaft (2025): ReBAU – Regional Resource Transition in the Building Economy. Informationsplattform zu ressourceneffizientem und kreislaufgerechtem Bauen im Rheinischen Revier. <https://rebau.info/>. Zugriff am: 06.10.2025.

Reinhardt, Joachim; Veith, Corvin; Knappe, Florian; Mellwig, Peter (2022): Der Gebäudebestand steht vor einer Sanierungswelle – Dämmstoffe müssen sich den Materialkreislauf erschließen. Online verfügbar unter: https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/pdf/2022_04_07_D%C3%A4mmstoffe_II_JR_CV_FK.pdf. Zugriff am: 09.01.2026.

Rewindo (2025): Kunststofffensterrecycling in Zahlen. Bonn. Online verfügbar unter: <https://rewindo.de/download/3480/?tmstv=1763039836>. Zugriff am: 09.01.2026.

Rhomberg (o. J.): EDGE Suedkreuz Berlin. Online verfügbar unter: <https://www.rhomberg.com/de-de/referenzen/edge-suedkreuz-berlin.pdf>. Zugriff am: 23.01.2026.

Richtlinie 2008/98/EG (2008): Richtlinie (EU) 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien, Amtsblatt der Europäischen Union, 2008.

Richtlinie 2024/1275 (2024): Richtlinie (EU) 2024/1275 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. April 2024 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung), Amtsblatt der Europäischen Union, 2024.

Rose, Ansgar; Sack, Norbert; Nothacker, Klemens; Gassman, Andrea (2019): Recycling von Flachglas im Bauwesen – Analyse des Ist-Zustandes und Ableitung von Handlungsempfehlungen. Online verfügbar unter: <https://www.irbnet.de/daten/rswb/20019003028.pdf>. Zugriff am: 09.01.2026.

Schiller, Georg; Gruhler, Karin; Zhang, Ning; Blum, Andreas (2024): From Material Cadastres to a Materiality Informed City Information Modelling. IÖR. Online verfügbar unter: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1363/1/012084/pdf>. Zugriff am: 09.01.2026.

Schiller, Georg; Müller, Felix; Ortlepp, Regine (2017): Mapping the anthropogenic stock in Germany: Metabolic evidence for a circular economy. In: Resources, Conservation and Recycling 123, S. 93–107. DOI: 10.1016/j.resconrec.2016.08.007.

Schiller, Georg; Ortlepp, Regine; Krauß, Norbert; Steger, Sören; Schütz, Helmut; Acosta Fernández, José; Reichenbach, Jan; Wagner, Jörg; Baumann, Janett (2015): Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft (Nr. 83/2015). Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/378/publikationen/texte_83_2015_kartierung_des_anthropogenen_lagers.pdf. Zugriff am: 23.01.2026.

Steger, Sören; Ritthoff, Michael; Bulach, Winfried; Schüler, Doris; Kosińska, Izabela; Degreif, Stefanie; Dehoust, Günter; Bergmann, Thomas; Krause, Peter; Oetjen-Dehne, Rüdiger (2019): Stoffstromorientierte Ermittlung des Beitrags der Sekundärrohstoffwirtschaft zur Schonung von Primärrohstoffen und Steigerung der Ressourcenproduktivität (Nr. 34/2019). Umweltbundesamt. Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/1410/publikationen/2019-03-27_texte_34-2019_sekundaerrohstoffwirtschaft.pdf. Zugriff am: 23.01.2026.

Steger, Sören; Wilts, Henning; Bergs, Laura; Bergmann, Luisa (2022): Energetische Sanierung von Bestandsgebäuden oder Neubau – Ökologische Bewertung hinsichtlich Materialbedarf, Primärenergieverbrauch und damit verbundenen Treibhausgas-Emissionen. Wuppertal Institut. Online verfügbar unter: https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7989/file/7989_Energetische_Sanierung.pdf. Zugriff am: 09.01.2026.

Treml, Sebastian; Sprengard, Christoph; Albrecht, Wolfgang; Holm, Andreas; Karrer, Claus (2023): Technologien und Techniken zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden durch Wärmedämmstoffe. Metastudie Wärmedämmstoffe – Produkte – Anwendungen – Innovationen. Institut für Wärmeschutz e.V. München (FIW). München. Online verfügbar unter: https://fiw-muenchen.de/media/publikationen/pdf/2023-04-03_Update_Metastudie.pdf. Zugriff am: 09.01.2026.



Umweltbundesamt (2022): Abfallrecht. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/abfallrecht/>. Zugriff am: 01.10.2026.

Umweltbundesamt (2023): Determining climate protection potentials in the circular economy for Germany and the EU. Partial report EU. Hrsg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11740/publikationen/2023-06-07_texte_86_2023_klimkreis_teilbericht_eu_eng.pdf. Zugriff am 16.10.2025.

Umweltbundesamt (2025a): Bauabfälle. 22.07.2025. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/bauabfaelle#verwertung-von-bau-und-abbruchabfaellen>. Zugriff am: 16.10.2025.

Umweltbundesamt (2025b): Kunststoffabfälle. 30.04.2025. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/kunststoffabfaelle>. Zugriff am: 16.10.2025.

Verordnung (EU) 2020/852: Verordnung (EU) 2020/852 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Juni 2020 über die Einrichtung eines Rahmens zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/2088, Amtsblatt der Europäischen Union, 2020.

Verordnung (EU) 2024/3110: Verordnung (EU) 2024/3110 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. November 2024 zur Festlegung harmonisierter Vorschriften für das Inverkehrbringen von Bauprodukten und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 305/2011, Amtsblatt der Europäischen Union, 2024.

VVF (2024): Mehr Energie sparen mit neuen Fenstern. Aktualisierung Januar 2024 der Studie „Im neuen Licht: Energetische Modernisierung von alten Fenstern“. Frankfurt/Main. Online verfügbar unter: <https://window.de/wp-content/uploads/2024/03/VFF-BF-Studie-2024-Energetische-Modernisierung-Fenster-ES.pdf>. Zugriff am: 04.03.2026.

WV Stahl – Wirtschaftsvereinigung Stahl (2025): Daten und Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland. Berlin. Online verfügbar unter: https://www.wvstahl.de/wp-content/uploads/WV-Stahl_Daten-und-Fakten-2025_Web.pdf. Zugriff am: 09.01.2026.



Anhang

Tabelle A1: Regulatorische Grundlagen und ihre Bedeutung für Materialflüsse im Bauwesen. Quelle: Eigene Darstellung nach Müller et al. 2023: 51–53, Verordnung (EU) 2024/3110 (Bauprodukteverordnung), BMUV 2024.

Rechtsgrundlage/ Regulierung	Ebene	Inhalt/Zielsetzung	Relevanz für Materialflussanalyse	Praktische Implikatio- nen für Bauakteure
Circular Economy Action Plan (CEAP)	EU	Strategischer Rahmen für Ressourceneffizienz, Abfallvermeidung und Förderung zirkulärer Geschäftsmodelle	Definiert politische Prioritäten und Indikatoren wie die Circular Material Use Rate (CMUR) als Basis für quantitative Materialflussbewertungen	Richtet Forschungs- und Fördermittel auf Zirkularität aus; fördert neue Geschäftsmodelle und Indikatorenentwicklung
EU-Abfallrahmenrichtlinie (2008/98/EG)	EU	Festlegung der Abfallhierarchie, Ziel: 70 % Recyclingquote für Bau- und Abbruchabfälle	Legt Systematik zur Klassifikation und Bilanzierung von Abfällen in Stoffstromanalysen fest	Verpflichtet Bauherren und Entsorger zur Getrennthaltung und Dokumentation von Bauabfällen
REACH-Verordnung (EG Nr. 1907/2006)	EU	Reguliert chemische Stoffe; Ziel: Schutz von Gesundheit und Umwelt	Beeinflusst den Einsatz recycelter Materialien mit Schadstoffgehalt und damit ihre Zuordnung in Stoffstromanalysen	Erfordert Nachweis der chemischen Sicherheit bei Sekundärrohstoffen; relevant für RC-Baustoffhersteller
Ecodesign-Richtlinie (2009/125/EG)	EU	Energie- und Ressourceneffizienzanforderungen an Produkte	Indirekter Einfluss auf Materialflüsse durch Anreize für langlebige, reparierbare und ressourcenschonende Komponenten	Unterstützt die Entwicklung kreislauffähiger Bauprodukte durch Mindestanforderungen an Lebenszykluseffizienz
EU-Bauprodukteverordnung (EU) Nr. 305/2011 / (EU) 2024/3110	EU / DE	Harmonisierung der Leistungs- und Umweltanforderungen an Bauprodukte; Einführung digitaler Produktpässe	Stellt die Grundlage für produktbezogene Lebenszyklusdaten (A1–A3) in Materialflussanalysen dar	Verpflichtet Hersteller zur Offenlegung von Ökobilanzdaten; ermöglicht Vergleichbarkeit von Bauprodukten
Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)	DE	Umsetzung der EU-Abfallrichtlinie; Förderung von Abfallvermeidung, Wiederverwendung und Recycling	Definiert rechtliche Grundlage für Datenkategorien in der Materialflussanalyse (Abfall, Sekundärrohstoff, Produkt)	Verpflichtet Bauunternehmen zur Dokumentation und Nachweisführung über Abfallverwertung
Ersatzbaustoffverordnung (EBV)	DE	Regelt Herstellung und Einsatz recycelter Baustoffe (RC-Materialien)	Liefert normierte Qualitätsstandards für RC-Materialien; wichtig für Inputdaten in LCA/MFA	Legt Grenzwerte, Qualitätsanforderungen und Einbauvoraussetzungen für RC-Materialien fest
Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)	DE	Schutz des Bodens und der Umwelt bei Verwendung mineralischer Ersatzbaustoffe	Relevanz für Umweltindikatoren (Emissionen, Stoffeinträge) in Materialbilanzen	Vorgaben für die Wiederverwertung von Böden und mineralischen Baustoffen
Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB)	DE	Technische und rechtliche Anforderungen an Bauleistungen	Bestimmt die Einhaltung anerkannter Regeln der Technik bei RC-Materialeinsatz	Verlangt Nachweis der Eignung von Recyclingbaustoffen (Verwendungsnachweise, Prüferzertifikate)
Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV)	DE	Getrennsammlung und Recyclingpflicht für gewerbliche Bauabfälle	Liefert Datenbasis für sektorale Materialstromstatistiken	Verpflichtet zu Nachweisen und Berichten über Recyclingquoten und Abfallmanagement



Tabelle A2: Übersicht über ausgewertete Kernstudien („besonders relevant“ nach Bewertungstool). Quelle: Eigene Darstellung.

Verfasser/Herausgeber	Titel	Jahr
Alaux et al.	Assessing the prospective environmental impacts and circularity potentials of building stocks	2024
Bergmann und Steger	Abschätzung zukünftiger Stoffströme im Bausektor Nordrhein-Westfalens: Abschätzung der durch Abriss, Neubau, Sanierung und Austausch induzierten Materialströme im Wohngebäudesektor von 2022 bis 2060	2023
Conversio	Kurzfassung der Conversio Studie „Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2023 – Zahlen und Fakten zum Lebensweg von Kunststoffen“	2024
Deilmann et al.	Sensitivitätsstudie zum Kreislaufwirtschaftspotenzial im Hochbau	2014
Hillebrandt et al.	Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource	2021
Kaufmann	Bewertung der Kreislauffähigkeit von Gebäuden am Beispiel des Forschungsprojekts „Building.Lab“	2022
Lohr et al.	European Energy Efficiency Guide 2024: A true Renovation Wave for a Sustainable Future	2024
Marton et al.	Analysis of Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions of EU Buildings and Construction. Mapping of the most promising carbon reduction and removal strategies, taking into account national contexts	2024
Neumaier	Kreislaufgerecht Bauen jetzt. Potenzialanalyse verschiedener Strategien des zirkulären Bauens	2024
Schiller et al.	From Material Cadastres to a Materiality Informed City Information Modelling	2024
Tremel et al.	Technologien und Techniken zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden durch Wärmedämmstoffe: Metastudie Wärmedämmstoffe – Produkte – Anwendungen – Innovationen	2023



Tabelle A3: Auswahl zusätzlich ausgewertete Studien („teilweise relevant“ nach Bewertungstool). Quelle: Eigene Darstellung.

Verfasser/Herausgeber	Titel	Jahr
Kehl und Rioussset	Strategien und Instrumente zur Verbesserung des Rezyklateinsatzes. Mit Fallstudien zu Kunststoffverpackungen, Elektrogeräten sowie Baustoffen	2024
Reinhardt et al.	Der Gebäudebestand steht vor einer Sanierungswelle – Dämmstoffe müssen sich den Materialkreislauf erschließen	2022
Rose et al.	Recycling von Flachglas im Bauwesen – Analyse des Ist-Zustandes und Ableitung von Handlungsempfehlungen	2019

Tabelle A4: Bewertungskriterien mit Auswahlmöglichkeiten entsprechend der definierten Ampelfarbskala. Quelle: Eigene Darstellung.

Kriterien	Auswahlmöglichkeiten nach Farbskala		
	Grün	Gelb	Rot
Kreislaufführung, Rückbaufähigkeit oder Zirkularität	Kreislaufführung	–	Keine Aussagen
	Rückbaufähigkeit		
	Zirkularität		
Handlungsempfehlungen	Zutreffend	–	Keine Aussagen
Lebenszyklusphasen (DIN EN 15978)	Drei oder vier Lebenszyklusphasen werden behandelt	Zwei Lebenszyklusphasen werden behandelt	Keine oder eine Lebenszyklusphase wird behandelt
			Keine Aussagen
Bauelemente und/oder Materialien	Bauelementdifferenzierung	–	Keine Differenzierung
	Materialdifferenzierung		
	Bauelement- und Materialdifferenzierung		
Aussagen zur Verbleibdauer	Zutreffend	–	Keine Aussagen
Qualitativ oder quantitativ	Quantitativ	–	Qualitativ
	Qualitativ und quantitativ		Keine Differenzierung
Aktualität der Daten	≤5 Jahre	6 – 10 Jahre	>10 Jahre



Tabelle A5: Ampel-/Scoringsystem. Quelle: Eigene Darstellung.

Farbe	Bedeutung	Punkte	Gilt für diese Kriterien
Grün	Besonders relevant	1	Alle Kriterien
Gelb	Teils relevant	0,5	Lebenszyklusphase, Aktualität
Rot	Nicht relevant	0	Alle Kriterien
Maximaler Score		7	



GEBÄUDEFORUM
KLIMANEUTRAL