

IBIT | INSTITUT FÜR BILDUNGSTRANSFER

Paper für Expert\*innen

PROF. DR. JAN GROSSARTH-MATICEK

## RECYCLING UND WIEDERVER- WENDUNG VON BAUSTOFFEN

Stand 01.03.2023

„Das Werk, einschließlich aller Inhalte, insbesondere Abbildungen, Design, Videos etc., ist urheberrechtlich geschützt (Copyright). Das Nutzungsrecht liegt, soweit nicht anders ausdrücklich gekennzeichnet, bei der Hochschule Biberach. Dieses Skript ist nur für den privaten Gebrauch bestimmt. Wer unerlaubt Inhalte kopiert, verbreitet oder verändert, macht sich gemäß § 106 ff Urhebergesetz (UrhG) strafbar. Er/ Sie wird kostenpflichtig abgemahnt und muss zusätzlich mit Schadensersatz rechnen.“

# INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis .....	2
Recycling und Wiederverwendung von Baustoffen.....	3
1. Zusammenfassung .....	3
2. Wiederverwendbarkeit vom Baustoffen .....	4
3. Ressourcenknappheit und Materialeffizienz .....	6
3.1. Status Quo .....	8
3.2. Schlaglichter auf einzelne Baustoffe .....	9
3.2.1 Mauerwerkbruch .....	9
3.2.2 Ziegelbruch .....	10
3.2.3 Betonbruch .....	10
3.2.4 Kalksandsteinbruch .....	11
3.2.5 Gips .....	11
3.2.6 Kupfer, Eisen .....	12
4. Technische Trennung .....	13
5. Massivbau ohne Mörtel? ReMoMaB.....	14
Literaturverzeichnis .....	15

# RECYCLING UND WIEDERVERWENDUNG VON BAUSTOFFEN

Recycling und  
Wiederverwendung  
von Baustoffen

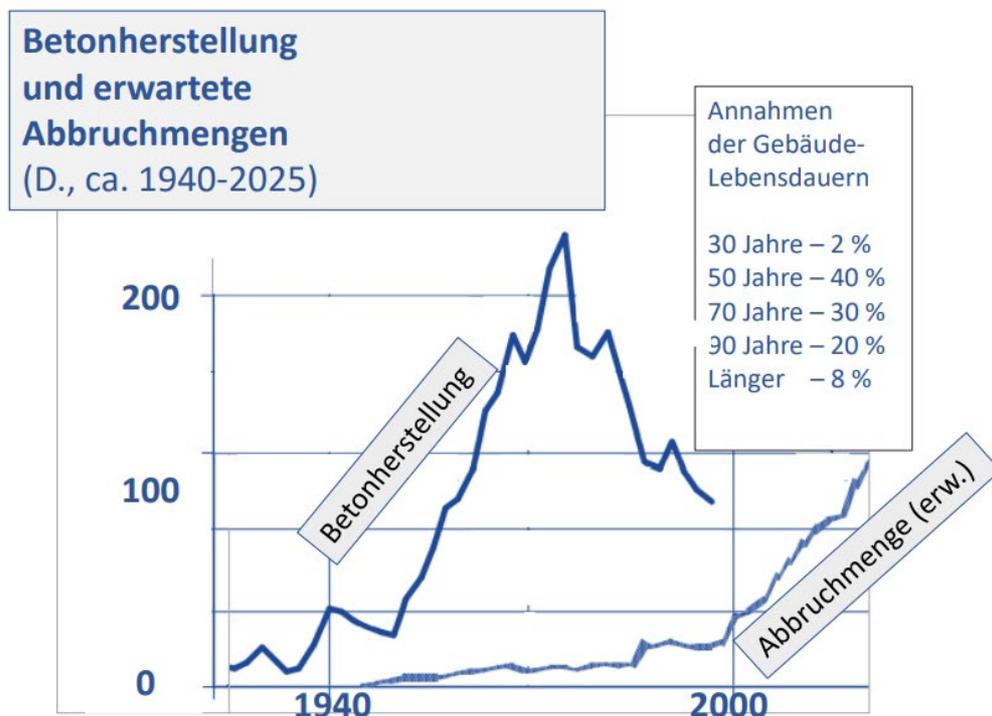
## 1. ZUSAMMENFASSUNG

Zusammenfassung

Die Mengen an Abbruchmaterial steigen in Deutschland seit Jahrzehnten und dieser Trend dürfte sich in Zukunft fortsetzen. Ein Recycling oder sogar eine Wiederverwendung von Baustoffen ist geboten. Knappheitsszenarien lassen sich nicht pauschal behaupten, aber betreffen einzelne Baustoffe. Während Recyclingquoten schon teils sehr hoch sind, ist das Ideal einer Wiederverwertung oder sogar eines Upcyclings noch lange nicht erreicht. Dieser Aufsatz gibt, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, einen Überblick über die vielseitigen Aspekte des Baustoff-Recyclings.

## 2. WIEDERVERWENDBARKEIT VON BAUSTOFFEN

Geht man von Lebensdauern der Wohngebäude von 50 bis 70 Jahren aus, dann wird deutlich, dass die Bauwerke der 1950er bis 1970er Jahre derzeit abgebrochen werden – und somit Baustoffe, insbesondere Ziegel- und Betonbruch, in historisch nicht gekanntem Ausmaß in die Aufbereitung, Wiedernutzung und Deponierung kommen (UBA 2013, S. 19). Das Material aus der Zeit einer wohl **historisch massenintensiven Bauepoche** wird gegenwärtig und in den kommenden Jahrzehnten also wieder in den „Materialkreislauf“ zurückgeführt – die entscheidende Frage allerdings ist diesbezüglich, in welchen, und wie hochwertig die Wiederverwertung gelingen wird.



Das skizzierte Beispiel des Betons hat illustrativen Charakter. Die Bedeutung einer möglichst hochwertigen Wiederverwertung oder -verwendung steigt für alle Baustoffe, und zwar aus Gründen erwarteter Ressourcenknappheiten, steigender Energieknappheit, strengerer Emissionskosten von CO<sub>2</sub> – die Baustoffherstellung ist energieintensiv – also aus einer Gemengelage von ökonomischen, ökologischen und umweltpolitischen Gründen (auch die Deponierungskosten und -auflagen steigen, Klimabilanzen zählen mehr ins Kalkül).

Einen beispiellos hervorragenden Überblick über Baustoff-Recycling gibt das **Standardwerk „Baustoffrecycling – Entstehung – Aufbereitung – Verwertung“ von Annette Müller** (Müller 2018, erschienen bei Springer Vieweg). Die Ausführungen in diesem Expertenpapier stützen sich in großen Teilen darauf.

Tabelle 1 Auswahl und Ergänzung JG, nach Müller (2018), S. 366f.

<b>Baustoff</b>	<b>Wiederverwendung</b>	<b>Weiterverwertung / -verwendung</b>
<i>Keramische Baustoffe (Dachziegel, Mauerziegel)</i>	Möglich bei schadfreier Zerlegung	Reinigung z. B. von Mörteln, Aufbereitung, Zerkleinerung, etwa zu Splitt
<i>Naturstein</i>	Abbauen und Sortieren, Wiederverwendung von Mauerelementen, Pflastersteinen, Natursteinplatten möglich	Neu bearbeitbar, zerkleinerbar, im Grenzfall auch zu Splitt oder Feinzuschlagstoffen
<i>Beton</i>	Kaum monolithisch verbaut; Fertigbetonteile hingegen aufwendig transportierbar	Beton wird zertrümmert, zerkleinert, gemahlen zu Splitt, oder als RC- Zuschlag; Bruchteile für Befestigungszwecke, etwa Deichbau
<i>Stahl</i>	Möglich, wenn Verformungen und Streckgrenzen erfasst sind; aber Bewehrungsstahl aus Stahlbeton ist schwer sortenrein trennbar	schneidbar, umformbar; begrenzte Weiterverwendbarkeit. RC-Fähigkeit durch Einschmelzen sehr hoch.
<i>Mineralische Bindemittel</i>	Kalk, Gips oder Zementmischungen sind nicht direkt verwendbar, weil abgebunden	Zermahlung zu Mehl und Weiterverwendungen möglich
<i>Nicht-Eisen-Metalle</i>	Aluminiumteile, Bleche aus Zink, Kupfer, ausbaubar wiederverwendbar	Sind neu zu schneiden, formen, aufzubereiten
<i>Vollholz</i>	Deckenbalken, Dachbalken, Holzvertäfelungen bis Schalungen wieder verwendbar (das gilt auch für viele Holzwerkstoffplatten, etwa Spanplatten)	schneiden, hobeln, zerkleinern, zerfasern, zerspanen; bakteriell, thermisch oder chemisch aufschließbar, als Rohstoff der Papier- oder Zellstoffindustrien; verbrennbar, energetisch verwertbar, ggf. als Kompost verwendbar

### 3. RESSOURCENKNAPPHEIT UND MATERIALEFFIZIENZ

Doch vor einem Blick auf einzelne Baustoffgruppen und deren Recyclingpotenziale stellt sich die Frage: Ist eine pauschale Rede von Ressourcenknappheiten in diesem Zusammenhang überhaupt angemessen? Mit Blick auf die wichtigste Gruppe der mineralischen Baustoffe kann man das grundsätzlich nicht sagen. Der Terminus **Ressourcen** bezeichnet schließlich auch die unentdeckten und auch die wirtschaftlich (noch) nicht sinnvollerweise förderbaren Rohstoffe. Zur Illustration: Die Menschheit hat bislang jeweils erst 0,001 Prozent der Kupferressourcen, 0,000002 Prozent der Aluminiumressourcen, 0,0007 Prozent der Eisenressourcen oder je 0,00005 Prozent der Gold- oder Lithiumressourcen verbraucht (Unnerstall 2021, S. 128). Bei weitem nicht alle baurelevanten Ressourcen sind knapp. Über manche ist die Datenlage dünn und widersprüchlich: Bezüglich des Sandes, über dessen Knappheit und Umweltschädigungen durch den Raubbau – etwa an Flussbetten – viele regionale Berichte allgemein bekannt sind, ist die Datenlage beispielsweise schwach. Relevanter als die Ressourcen mit Blick auf Knappheiten sind überhaupt die **Reserven**, also die wirtschaftlich gewinnbaren und nachgewiesenen Ressourcen. Prognosen über deren Reichweiten scheiterten historisch immer wieder, unter anderem weil technische Fortschritte wie Heißdampf-Injektionsverfahren für die Erdölförderung nicht voraussehbar waren, weil neue Lagerstätten gefunden wurden, oder weil gestiegene Ressourceneffizienz den Nutzungsdruck verringerte. So hatte der „Club of Rome“ in seinem bekannten Gutachten „Limits of Growth“ 1972 noch vorhergesagt, dass die Erdgasreserven global im Jahr 2010 erschöpft wären, die des Erdöls schon 2003. Bezüglich der baustoffrelevanten Reserven gibt es gegenwärtig Prognosehorizonte von teils nur wenigen Jahrzehnten Verfügbarkeit. Das Bundeswirtschaftsministerium stellt daher eine **hohe Dringlichkeit für Rohstoffeinsparungen** fest, denn:

„Ohne eine ausreichende Verfügbarkeit heimischer mineralischer Rohstoffe lassen sich die heutigen gesellschaftlichen Herausforderungen (Wohnungsbau, Mobilität, Umweltschutz) nicht bewältigen. Die Bundesregierung setzt sich daher dafür ein, dass die Rohstoffgewinnung in Deutschland gestärkt wird. Dies gilt insbesondere auch vor dem Hintergrund der regionalen Verknappung von wichtigen Baurohstoffen.“ (BMWi 2019, S. 14)

Präziser als globale Werte lassen sich kommende **regionale Knappheiten** vorhersagen. Für einen klimafreundlichen Bau ist die Versorgung mit regionalen Rohstoffen bedeutend. Dividiert man die Reservenmenge eines Rohstoffs durch den jährlichen Verbrauch, so erhält man die **statische Reichweite**. Für das Land Baden-Württemberg stellt sich beispielsweise die Reichweite der Rohstoffe für relevante regional abbaubare Baustoffe wie folgt dar:

Zementrohstoffe (inkl. Ölschiefer)	50 Jahre
Naturwerkstein	50 Jahre
Ziegelrohstoffe	< 50 Jahre
Hochreine Kalksteine	< 30 Jahre

Karbonatgesteine	20 Jahre
Sandige Kiese	15 Jahre

(LGRB 2019)

Auch unter den Rohstoffen mit dem höchsten Versorgungsrisiko für die deutsche Wirtschaft sind baustofflich relevante Mineralien oder Metalle. Für das **Eisen** sehen Rohstoffgutachten eine kritische Versorgungsperspektive (VBW 2020, S. 14); aber diese Liste wird von anderen Stoffen wie Seltenerden angeführt: Kobalt, Tantal, Yttrium, Rhodium, Gallium, Wolfram, Zinn, Indium, Niob und anderen. Unter den mineralischen Baustoffen werden nur **Gips** und Anhydrit sowie **Glimmer** – ein Keramikgrundstoff – als moderat kritisch eingeschätzt (VBW 2020, S. 101f.).

Recycling und Wiederverwendung von Rohstoffen werden als Strategien im Umgang mit wachsenden Knappheiten gesehen. In einer Publikation zur Ressourceneffizienz als Beitrag zur Bewältigung der Klimakrise nennt das Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) etwa als Materialeffizienzstrategien:

- Leichtbau
  - Substitution mineralischer Baustoffe durch Holz
  - prozesstechnische Fortschritte in der Fertigung, die zu höherer Rohstoffeffizienz führen
  - intensivere Nutzung der Produkte (Sharing Economy, aber auch kleinere Wohnflächen pro Kopf, geteilte Wohnbereiche, Mehrfamilien- statt Einfamilienhäuser)
  - erhöhte Wiederverwendungsraten
  - verlängerte Lebenszyklen der Produkte
- (IRP 2020, S. 37)

Die Rolle der **politischen Planung, architektonischer Ansätze** und einer breiteren Wissensgrundlage gehen aus den Bullet Points des UN-Berichts über das globale Bauwesen (UN GSRBS 2022, Fig. 22) hervor. Unter den acht Stellschrauben auf dem Pfad zum nachhaltigen Bau sind demnach vor allem folgende wichtig:

- Städteplanung, die sich konsequent dem Ziel größerer Energieeffizienz verschreibt, koordiniert mit Landes- und Bundespolitik
- Neubau, hier habe der Staat Energieeffizienzstandards zu setzen und Förderungen zu geben
- Bau im Bestand, Erhöhung der Renovierungsraten, Renovierungsumfang, Investitionsförderungen in diesem Bereich
- Gebäudebetrieb, Energiesparteknik zur Messung der Fortschritte im Energiemanagement
- Materialien, Förderung der Nutzung von Low-Carbon-Materialien, Pflege öffentlicher Ökobilanzdatenbanken von Baustoffen (wie der deutschen ÖKOBAUDAT)

### 3.1. Status Quo

Rund 200 von 340 Millionen Tonnen des deutschen Abfallaufkommens waren Bau- und Abbruchabfälle (2013; nach Pietzsch 2020, S. 55). Die Baubranche ist mit Abstand die **gewichtsmäßig größte Abfallquelle**. Zugleich sind hier hohe Wiederverwertungsraten festzustellen. Bei den Bau- und Abbruchabfällen sind dies **87 Prozent** – im Vergleich: von Siedlungsabfällen werden nur 68 Prozent wiederverwertet (Eurostat 2021). Ein wesentlicher Grund für die vergleichsweise hohen Werte ist die Kreislaufwirtschaftsgesetzgebung. Im Einzelnen sind die Recyclingquoten im Bauwesen wie folgt:

Bauabfallgruppe	Stoffe	Anfall in Mio. t	Recycling-Quote in %	Sonstige Verwertung* in %	Beseitigung / Deponierung in %
Bauschutt	Beton, Ziegel, Fliesen, Keramik	54,6	<b>77,8</b>	16,0	6,2
Straßenabruch	Bitumengemische	13,6	<b>93,7</b>	4,1	2,2
Bauabfälle auf Gipsbasis	Bauabfall auf Gipsbasis	0,7	<b>5,4</b>	35,6	59,0
Boden und Steine	Bodenaushub, Baggergut, Gleisschotter	118,5	<b>10,2</b>	75,5	14,3
Baustellenabfälle	Holz, Glas, Kunststoffe, Metalle und Dämmstoffe, gemischte Bau- und Abbruchabfälle	14,6	<b>1,4</b>	96,9	1,7

Fraktionen von Bau- und Abbruchabfällen in Deutschland (2014), nach BBS, Mettke et al., S. 127; \* unter „Sonstige Verwertung“ ist laut §6 KrWG die – erst nach Unmöglichkeit der Vermeidung, Vorbereitung zur Wiederverwendung und Recycling – vorzunehmende energetische Verwertung, der Bergversatz oder die Verfüllung von Gruben, Brüchen, Tagebauen zu verstehen. Letzteres ist das „stoffliche Schicksal“ großer Bauschuttmengen.

Hier fällt auf, dass die sehr hohe Recyclingquote von **93,7 Prozent des Straßenbaubereichs** – Bitumengemische werden wieder für den Straßenbau verwendet – die Gesamtbilanz des Bauwesens verbessert. Doch die niedrigen Recyclingquoten im Bereich des Gipsbruchs und des Bodenaushubs fallen andererseits ins Auge. Insbesondere die **Gipsanteile im Bauschutt** bringen Probleme mit sich, indem sie zu unerwünschten Belastungen mit Sulfaten führen. Bauschutt enthält Gips, und es gab den vergangenen Jahrzehnten eine steigende und vielfältige Verwendung von Gips im Bauwesen. Hier ist ein großes Hindernis für höhere Wiederverwertungsraten zu sehen. **Trenntechniken oder sortenreiner Bau** könnten das Problem lösen – erstere kurz- und mittelfristig, letzterer in langer Frist, da die heute gebauten Gebäude frühestens in etwa 50 bis 70 Jahren abgerissen

werden dürften. Die Bauschuttzubereitung müsste zunächst präziser trennen können, was in der Tat mehr und stärker verklebt ist – die Baupraxis tendiert seit Jahrzehnten zu immer dünneren massiven Wandaufbauten, kombiniert mit verklebten und verdübelten zahlreichen Dämm- und Schutzschichten (Wärmedämmverbundsysteme). Bauschuttzubereitung beginnt mit der Zerkleinerung, also dem mechanischen Aufschluss, gefolgt von Klassierung, Sortierung, Reinigung und Trennung.



Abbildung 1 Bauschutt in Oberschwaben. Foto Jan Grossarth

## 3.2. Schlaglichter auf einzelne Baustoffe

### 3.2.1 Mauerwerkbruch

Reines Ziegelmauerwerk findet sich in den Abbruchmassen selten.<sup>1</sup> Zumindest liegt es gemischt mit Mörtelresten vor, meist mit vielen anderen Bauschuttfraktionen, und es ist von **ziegelreichem Mauerwerkbruch** die Rede (Nebenbestandteile Mörtel, Putz). Für die Wiederverwendbarkeit ist der Ziegelgehalt entscheidend: „Der maximale Ziegelgehalt dürfte bei 95 Masse-%, der durchschnittliche Gehalt bei 80 Masse-% liegen. Sortenreiner Ziegelbruch kann bei Dachumdeckungen anfallen oder durch Vorsortierung aus ziegelreichem Mauerwerkbruch gewonnen werden. Produktionsinterne Ziegelabfälle gehören ebenfalls zu dieser Kategorie (Müller 2018, S. 232)“. Mauerwerkbruch „wird

Schlaglichter auf  
einzelne Baustoffe

Mauerwerkbruch

<sup>1</sup> Diese Ausführungen stützen sich auf Müller (2018), S. 231-268.

vielfach ohne oder nur mit einem Minimum an Aufbereitung für das **Verfüllen von Gruben, Steinbrüchen und Tagebauen** eingesetzt“ (ebd., S. 262). Höherwertige Nutzungen wären leicht zu erzielen. Von den Störstoffen technisch befreite Rezyklate aus Mauerwerk können verwertet werden im Straßenbau (dort, wo geringe Belastung vorherrscht), im Dammbau, Wegebau. Mauerwerkbruch in sortenreiner Fraktion lässt sich zerkleinert als Rohstoff für neue Mauersteine einsetzen (Müller et al. 2013). Die Kontamination mit Gips und entsprechend hohe Sulfatgehalte stellen auch hier oft ein Hindernis dar, etwa wegen Ettringitbildung oder Hebungen als Reaktionen.

### 3.2.2 Ziegelbruch

Schon im Ziegelwerk fallen Produktionsreste an („**Brennbruch**“). Diese können gemahlen und wieder für die Ziegel-Produktion verwendet werden:

„Sie wirken als Magerungsmittel und verringern die Trocken- und ggf. auch die Brennschwindung. Für einen Teil des bei der Herstellung anfallenden Brennbruchs wird das bereits praktiziert. Eine Rückführung ist auch für sortenreine Ziegel aus dem Rückbau möglich. Aus Rohmischungen, bei denen bis zu 50 Masse-% des Tons durch Ziegelbruch ersetzt wurde, wurden Ziegel mit befriedigender Qualität hergestellt [...]. Im Unterschied zu Bauprodukten aus genormten Ausgangsstoffen wie Beton ist bei der Ziegelherstellung die Höhe der Substitution sowohl von der Art des hergestellten Produkts als auch von den Merkmalen des verwendeten Primärrohstoffs abhängig. Beispielsweise war die Substitution von 20 Masse-% eines lehmigen Tons durch Ziegelbruch ohne Verschlechterung der Produktqualität möglich. Sehr plastische Tone wie z. B. Westerwälder Tone konnten bis zu 60 Masse-% des fein gemahlten Füllers aufnehmen. Trotzdem waren qualitativ hochwertige Produkte mit geringer Porosität herstellbar“ (Müller 2018, S. 253).

Die entscheidenden Qualitätsparameter für die Wiederverwertbarkeit sind Partikelgrößen des Bruchmaterials, Glühverluste, der Schwefelanteil und die Anteile an den Störstoffen Mörtel und Beton (ebd.). Die Trennung, Reinigung und **Rückführung möglichst großer Anteile des Mauerwerkbruchs in die Ziegelproduktion** wäre unter dem Aspekt der Rohstoffschonung ideal und ein Musterbeispiel für Upcycling. Die Dringlichkeit des Vorhabens wird unterstrichen durch die Knappheit regionaler Tonreserven. Schließlich lässt sich Ziegelsand auch als Sandersatz in Betonen verwenden – bei schwindender Festigkeit.

### 3.2.3 Betonbruch

Immer noch ist der Anteil von Beton-Wiederverwendung **sehr gering**, extremes Downcycling ist die Regel. „Es besteht kein nennenswerter Unterschied zwischen sortenreinen Betonkörnungen und Recycling-Baustoffen aus Betonbruch“ (Müller 2018, S. 200). Die Qualitätskennzahlen von Betonbruch lauten etwa: Roh-, Reindichte, Kornporosität und Wasseraufnahmefähigkeit. Beton aus rezyklierten Beton-Gesteinskörnungen ist normengerecht, aber unter Einschränkungen im Hochbau einsetzbar, jedoch gibt es im Ingenieurbau mit besonderen Anforderungen etwa an Feuchtigkeitsklassen Ausnahmen.

Ziegelbruch

Betonbruch

	Sortenreine Betonkörnung	RC-Baustoff aus Betonbruch
Reindichte (kg/m <sup>3</sup> )	2678 (n=34)	2596 (n=13)
Rohdichte OD (kg/m <sup>3</sup> ), Körnungen >4mm	2316 (n=45)	2277 (n=28)
Partikelporosität, berechnet (Volumenprozent)	14,2 (n=34)	14,5 (n=13)
Wasseraufnahme, Körnungen > 4mm (Masseprozent)	5,7 (n=44)	4,6 (n=13)

Mittelwerte der genommenen Proben (Anzahl: n). *Auswahl JG, nach Müller 2018, S. 201*

Schon in den **1990er Jahren** wurden für „Pionierbauten“ in Deutschland Recycling-Betone verwendet, etwa 1994/1995 für den Hauptsitz der Deutschen Bundesstiftung Umwelt in Osnabrück oder 1998-2000 das Apartmenthaus „Waldspirale“ in Darmstadt. Aber:

„Obwohl mit diesen Demonstrationsprojekten mehrfach der Beweis erbracht wurde, dass Bauen mit anforderungsgerechten Rezyklaten möglich ist, gab es danach zunächst kaum Fortschritte in der praktischen Anwendung. In einer 2009 vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg gestarteten Initiative wurde belegt, dass Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen, der entsprechend den Vorschriften hergestellt ist, ein gleichwertiger Baustoff ist und ökologische Vorteile aufweisen kann.“ (Müller 2018, S. 220)

### 3.2.4 Kalksandsteinbruch

Sortenreine Kalksandsteinkörnungen aus dem Abbruch sind im Pflanzenbau aufgrund ihrer hohen Porosität als **Substrate** zur Begrünung von Flachdächern verwendbar; im Straßenbau als Schottertragschicht oder in Frostschuttschichten, aber ebenfalls als Bestandteil rezyklierter Körnungen in der **Betonherstellung** (empfohlene 10- bis zu 30 Masseprozent). „Sortenreine Kalksandsteinrezyklate, die als Verschnittabfälle bei der Konfektionierung von Kalksandstein-Bausätzen anfallen, werden bereits zu geringen Anteilen in produktionsinternen Kreisläufen verwertet“ (Müller 2018, S. 256).

### 3.2.5 Gips

Gips ist eigentlich – wie Lehm – ein **vollständig wiederverwertbarer Baustoff**. Aber Verklebungen, Vermischungen und Verunreinigungen machen ihn dazu in der Praxis nicht. Der Großteil muss deponiert werden, oder wird es. Gipsfraktionen sind, wie beschrieben, ein großes Hindernis für die Bauschuttwiederverwertung, da sie dessen bautechnische Eignung verringern

durch: Erhöhung der Porosität, uneinheitliche Körnung(szusammensetzung), Störstoffe. Das sind neben den erwähnten **Sulfaten** auch Chloride und andere sogenannte eluierbare Salze. Sie wirken mit anderen Störstoffen wie Asbest oder

Kalksandsteinbruch

Gips

PCB (UBA 2013; Müller 2012). Ein höheres Recycling des Gipses selbst ist auch deshalb dringlich, weil mit dem deutschen Kohleausstieg ein Koppelprodukt zur Herstellung des REA-Gipses wegfallen wird – synthetischer Gips aus der Rauchgasentschwefelung; daraus werden derzeit 55 Prozent des Gipsbedarfs gedeckt (Riechert 2022).

### **3.2.6 Kupfer, Eisen**

Auch bezogen auf die Reserven des Kupfers und deren Verfügbarkeit ist die Geschichte der Prognostik reich an Fehlern. In den „Limits of Growths“ des Club of Rome hieß es, noch seien 1,5 Gigatonnen Kupfer abbaubar; bis heute wurden seither rund 0,7 Gigatonnen abgebaut – aber 2020 beläuft sich die Schätzung auf mehr als 5 Gigatonnen abbaubarem Kupfer, wobei in der Oberen Erdkruste insgesamt 60.000 Gigatonnen Kupfer vermutet werden (Unnerstall 2020, S. 129). Allerdings ist gerade die Metallförderung energieintensiv und könnte diesbezüglich an Grenzen stoßen. Eisenknappheit könnte sich früher einstellen. Hier wird die bereits verbaute Menge zunehmend – und ab den 2050er Jahren eindeutig – zur global wichtigeren Rohstoffquelle als Roheisen (Hiebel, Nühlen 2016).

Kupfer, Eisen

## 4. TECHNISCHE TRENNUNG

Eine präzisere und mehrstufige technische Trennung der Bauschuttfractionen erscheint als der Schlüssel für eine Kreislaufführung der „Ressourcen“ der Urbanen Mine. Die Entwicklung von möglichst energiesparsamen

- chemischen
- physikalischen
- mechanischen
- chemisch-physikalischen
- optischen

**technologischen Trennungsprozessen** ist geboten (Mettke et al 2019, S 123). Bezüglich der Trennung von schädlichen Gipsfraktionen sahen Fachleute zum Beispiel schon vor einigen Jahren eine technische praxisnahe Lösung – jedenfalls für die Trennung von Leichtbeton. Ein unter anderem an der Uni Weimar entwickeltes mechanisches Verfahren – Nachtrennung mit einer sogenannten **Attritionstrommel** – führte dazu, dass eine 90- bis 95-prozentige Rückgewinnung des Leichtbetons möglich war (Baufachzeitung 2013). Das Institut für Angewandte Bauforschung in Weimar (IAB) erprobt zur Sortierung von groben Gesteinskörnungen die Farbe der Baustofffraktionen (rote Ziegel, grauer Beton, braunes oder dunkelgraues Holz) **sensorgestützte Verfahren** – Infrarotkameras –, wie sie seit Jahren im Recycling in der Papier- oder Glasaufbereitungsindustrie im Einsatz sind (Müller 2018, S. 125ff.). Das Ziel ist eine Abtrennung des Bauschutts von den Störstoffen Asbest, aber auch Plastik, Papier – und eben Gips – und die Gewinnung sortenreiner Bruchteile von Ziegel, (Leicht-, Poren-)beton, Kalksandstein und des Gipses selbst. Das Verfahren ist teuer und derzeit gibt es wenig Investitionsanreize für Abfallverwertungsbetriebe. Das könnte sich mit steigender Nachfrage nach RC-Material ändern, wofür umweltrechtlich ein Ende der „Abfalleigenschaft“ notwendig wäre. „Die optische Sortierung bewirkt eine fast 100 % reine Gipsfraktion“ (Müller 2012).

## 5. MASSIVBAU OHNE MÖRTEL? REMOMAB

Ein Ersatz von Mörtel durch Stahlspannverbindungen in Kalksandsteinmauerwerk ist eine erforschte und taugliche Alternative, die dem Anspruch an Trennbarkeit und Wiederverwendbarkeit der Mauersteine nachkommt. Dies wurde unter dem Akronym „ReMoMaB“ an der TU Dresden untersucht (Youssef et al. 2019). Die Erkenntnisse lauten: Massives Bauen mit sortenreiner Zerlegung und Wiederverwendung ist möglich, und zwar für alle wesentlichen Bauteile des Wandaufbaus und auch der Trockendecke. Der Kalksandstein wäre nach Rückbau wieder sortenrein **wiederverwendbar**, die Bauzeit ist gering, der Bau auch bei niedriger Wintertemperatur möglich, die Steine können maschinell verbaut werden (Berninger 2021). Forschungsfragen, die noch offen sind, betreffen vor allem die Wirtschaftlichkeit, realistische Wege für die Entwicklung von Rücknahmesystemen oder die Entwicklung von Baufinanzierungssystemen, die die Wiederverwendbarkeit berücksichtigen (ebd.)

Massivbau ohne  
Mörtel? Remomab

# LITERATURVERZEICHNIS

**Baufachzeitung (2013)**, Trennverfahren, Online abrufbar unter: <https://baufachzeitung.com/recycling-verfahren-zur-trennung-von-leichtbeton-und-gipsputz-entwickelt/2013050720/>

**Berninger, M. (2021)**, Gespräche und E-Mail-Austausch. Der Absolvent der Hochschule Biberach hatte seine unveröffentlichte Bachelorarbeit über diese Bauweise verfasst und plant den Bau eines solchen Hauses.

**BMWI (2019)**, Rohstoffstrategie der Bundesregierung. Online abrufbar unter [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/rohstoffstrategie-der-bundesregierung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/rohstoffstrategie-der-bundesregierung.pdf?__blob=publicationFile&v=4)

**Eurostat 2021**, Waste Statistics, Online abrufbar unter [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics)

**Hiebel, M.; Nühlen, J. (2016)**, Technische, ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Faktoren von Stahlschrott (Zukunft Stahlschrott). In: Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (Hrsg.): Onlinefassung der Studie im Auftrag der Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen eV (BDSV), Oberhausen

**IRP (2020)**, Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. In: Hertwich, E.; Lifset, R.; Pauliuk, S.; Heeren, N. (Hrsg.): A report of the International Resource Panel. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya

**LGBR (2019)**, Reichweite von Vorräten nach Rohstoffgruppen, Online abrufbar unter <https://lgrbwissen.lgrbw.de/rohstoffgeologie/rohstoffnutzung/rohstoffsicherung/reichweite-vorraeten-nach-rohstoffgruppen>

**Mettke, A.; Arnold, V.; Schmidt, S. (2019)**: Erste Schritte zum Urban Mining. In: Filho, Wa. (Hrsg.): Aktuelle Ansätze zur Umsetzung der UN-Nachhaltigkeitsziele, S. 113-133.

**Müller, A.; Landmann, M.; Palzer, U. (2013)**, Rückgewinnung sortenreiner Baustofffraktionen aus Mauerwerk. In: Mauerwerk 17.6 (2013): 357-364.

**Müller, A. (2012)**, Das Sulfatproblem. In: Gipsabfälle. RECYCLING magazin 22

**Pietzsch, J. (2017)**, Bioökonomie für Einsteiger, Springer Spektrum.

**Riechert, C. (2022).** Hydratation und Eigenschaften von Gips-Zement-Puzzolan-Bindemitteln mit alumosilikatischen Puzzolanen. Online abrufbar unter [https://e-pub.uni-weimar.de/opus4/files/4707/Riechert\\_Christin\\_Diss\\_GZPB\\_Archiv.pdf](https://e-pub.uni-weimar.de/opus4/files/4707/Riechert_Christin_Diss_GZPB_Archiv.pdf)

**Umweltbundesamt (2013),** Optimierung des Rückbaus/ Abbaus von Gebäuden zur Rückgewinnung und Aufbereitung von Baustoffen unter Schadstoffentfrachtung (insbes. Sulfat) des RC-Materials sowie ökobilanzieller Vergleich von Primär- und Sekundärrohstoffeinsatz inkl. Wiederverwertung, Online abrufbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4430.pdf>

**UN GSRBS (2022),** Global Status Report for Buildings and Construction. Online abrufbar unter <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>

**Unnerstall, T. (2021),** Faktencheck Nachhaltigkeit, Springer.

**VBW (2020),** Rohstoffsituation der bayerischen Wirtschaft, Online abrufbar unter: <https://www.vbw-bayern.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Wirtschaftspolitik/2020/Downloads/201202-Studie-Rohstoffe.pdf>

**Youssef, H.; Erler, A.; Jäger, W. (2019),** Dry laying of masonry to build demountable, highly energy-efficient prototype houses—First findings from a currently running research project. In: " Mauerwerk 23.4, S. 265-275.

HBC Hochschule Biberach  
IBiT | Institut für Bildungstransfer  
Karlstraße 11  
D-88400 Biberach

[ibit@hochschule-bc.de](mailto:ibit@hochschule-bc.de)  
[www.hochschule-biberach.de](http://www.hochschule-biberach.de)

Gefördert  
durch



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LÄNDLICHEN RAUM  
UND VERBRAUCHERSCHUTZ