

Whitepaper In drei Schritten zum Urban Mining

ein Framework für digitale Nachhaltigkeit, Ernteprozesse und
zirkuläre Wertschöpfung



Vorwort	3
Executive Summary	4
Der Wendepunkt der Bauwirtschaft	5
Schritt 1: Materialverfügbarkeit als digitale Ressource	5
Schritt 2: Stoffstrommanagement	6
Schritt 3: Zirkuläres Bauen als regeneratives System	9
Systemische Hemmnisse und notwendige Rahmenbedingungen einer skalierbaren Urban-Mining-Praxis (Fokus ReUse)	12

Vorwort

Die Bauwirtschaft steht vor tiefgreifenden Veränderungen. Emissionen müssen stärker reduziert, Ressourcen effizienter genutzt und Materialflüsse transparenter werden. Gleichzeitig wächst der Gebäudebestand zu einem der größten ungenutzten Rohstoffspeicher Europas heran.

Damit diese Transformation im Alltag funktioniert, braucht es robuste Standards, transparente Datenräume und verlässliche Märkte mit nutzbaren Mengen an Erntematerialien. Urban Mining gelingt nur, wenn Rückbauten zu planbaren und industriellen Ernteprozessen sowie Materialdaten nahtlos in Planung, Ausschreibung und Ausführung integriert werden. Dadurch entsteht eine Architektur, die Gebäude als dynamische Materialsysteme versteht, deren Wert sich über mehrere Lebenszyklen entfalten kann.

Dieses Whitepaper bündelt Erkenntnisse aus Forschung, Praxis und Regulierung und zeigt, welche Systembedingungen notwendig sind, damit Urban Mining vom Pilotprojekt zum Standard werden kann.

Lassen Sie uns gemeinsam Potenziale heben und zusammen eine zirkuläre Bauwirtschaft erarbeiten..



Pascale Hein
Geschäftsführerin, blocher partners sustain



Sarah Schuhmann
Circularity Consultant, blocher partners sustain

Executive Summary

Der Gebäudebestand ist einer der größten ungenutzten Rohstoffspeicher Europas. Gleichzeitig erzeugt der Bausektor den größten Abfallstrom und einen erheblichen Anteil der nationalen CO₂e-Emissionen. Obwohl Urban Mining technisch ausgereift ist, bleibt Wiederverwendung in der Praxis die Ausnahme. Nicht aufgrund fehlender Lösungen, sondern aufgrund fehlender Systemintegration.

Drei strukturelle Hebel bestimmen, ob Urban Mining skalierbar wird:

- (1) Materialdaten, die Verfügbarkeit, Qualität und Risiken sichtbar machen;
- (2) Stoffstrommanagement, das Ernteprozesse, Logistik und Prüfungen koordiniert;
- (3) zirkuläres Bauen, das Materialverfügbarkeit, Entwurf und digitale Steuerung miteinander verbindet.

Internationale Analysen (IRP, IEA, EMF, CIRCult) zeigen:

Zirkuläre Strategien, insbesondere Wiederverwendung und reversible Konstruktionen, können 50–80 % der grauen Emissionen reduzieren und Materialaufwände um 40–60 % senken. Gleichzeitig verschärfen EU-Regulierungen wie CSRD, ESPR, CPR-Recast und EU Taxonomy die Anforderungen an Transparenz, Rückbauqualität und CO₂e-Reduktion. Die Transformation ist daher nicht optional, sondern strukturell unausweichlich.

Für die Skalierung von Urban Mining müssen vier Systemelemente parallel adressiert werden:

- Standards, die Qualität und Zulassung sichern;
- digitale Datenräume, die Material- und Planungsinformationen verbinden;
- regionale Logistik- und Marktstrukturen, die Angebot und Nachfrage synchronisieren;
- neue Kompetenzen, die Ernte- und Datenprozesse professionell verankern.

Die Analysen zeigen klar: Urban Mining scheitert nicht an der technischen Möglichkeit, sondern an fehlender Prozesslogik, rechtlicher Zuordnung und mangelnder Marktintegration. Wird Rückbau als industrieller Ernteprozess verstanden und als Herstellung eines Sekundärprodukts definiert, entsteht ein marktfähiger Kreislauf, der CO₂e-Emissionen senkt, Ressourcen sichert und wirtschaftliche Potenziale freisetzt.

Urban Mining ist damit weniger eine technische Innovation als der notwendige nächste Entwicklungsschritt einer datengestützten, ressourcenschonenden und künftig unverzichtbaren zirkulären Bauwirtschaft.

Der Wendepunkt der Bauwirtschaft

Ressourcenverbrauch und Abfall

Die Bauwirtschaft verursacht rund 50 % des globalen Materialverbrauchs und etwa ein Drittel des weltweiten Abfallaufkommens (*United Nations International Resource Panel*, 2023). Auch in Deutschland ist der Gebäudesektor der größte Verbraucher mineralischer Rohstoffe und verursacht jährlich mehr als 50 % des gesamten Abfallaufkommens (*Destatis*, 2023).

Die Wiederverwendungsquote im deutschen Bausektor liegt weiterhin unter 1 %, und auch hochwertiges Recycling erreicht nur niedrige einstellige Werte (*Umweltbundesamt*, 2024) (*Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)*, 2022). Damit bleiben große Teile des anthropogenen Rohstoffspeichers ungenutzt

Graue Emissionen – *embodied carbon* im Fokus

Gebäude verursachen 37 % der energie- und prozessbedingten CO₂e-Emissionen weltweit (*International Energy Agency*, 2023). Während Effizienzmaßnahmen die Betriebsenergie reduzieren, steigt der Anteil der des *embodied carbon* (grauen Emissionen), die in Neubauten bereits bis zu 50 % des Lebenszyklus ausmachen (*World Green Building Council*, 2019).

Mehrere europäische Staaten haben bereits Grenzwerte für graue Emissionen eingeführt und die EU entwickelt mit Level(s), EU Construction Products Regulation Reform (CPR-Reform) und der geplanten EU-weiten CO₂e-Grenzwertsetzung (EPBD - *Energy Performance of Buildings Directive*) ein harmonisiertes Rahmenwerk zur verpflichtenden Erfassung und Reduktion dieser Emissionen (*European Commission*, 2020/2023) (*Government of the Netherlands*, 2023) (*Ministère de la Transition Écologique*, 2022) (*Danish Transport, Construction and Housing Authority*, 2023) (*European Commission*, 2023-2024).

Die Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) verpflichtet Unternehmen zudem zur Offenlegung ihrer Scope-3-Emissionen und zur Darstellung kreislauffähiger Material- und Ressourcennutzungsstrategien (*European Financial Reporting Advisory Group (EFRAG)*, 2024).

Kreislaufwirtschaft als Zukunftsmodell

Der lineare Stoffstrom der Bauwirtschaft erzeugt hohe Verluste beim Ressourcenverbrauch. Zirkuläre Strategien hingegen, insbesondere *ReThink*, *ReFuse*, *ReUse* und *ReCycle* können den Materialverbrauch massiv reduzieren, Überdimensionierung vermeiden und energieintensive Neuproduktionen ersetzen (*Ellen MacArthur Foundation*, 2020).

Analysen zeigen:

- Wiederverwendung (*ReUse*) reduziert graue Emissionen typischerweise um 50–80 %, da keine energieintensive Neuproduktion erforderlich ist (*TU Delft; ETH Zürich*, 2018–2023).
- Recycling führt meist zu einer Reduktion von 20–40 %, da die Reprozessierungsschritte (Sortierung, Zerkleinerung, Aufbereitung) selbst Energie und zusätzliche Prozesschemikalien benötigen (*Umweltbundesamt*, 2024) (*Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)*, 2022).

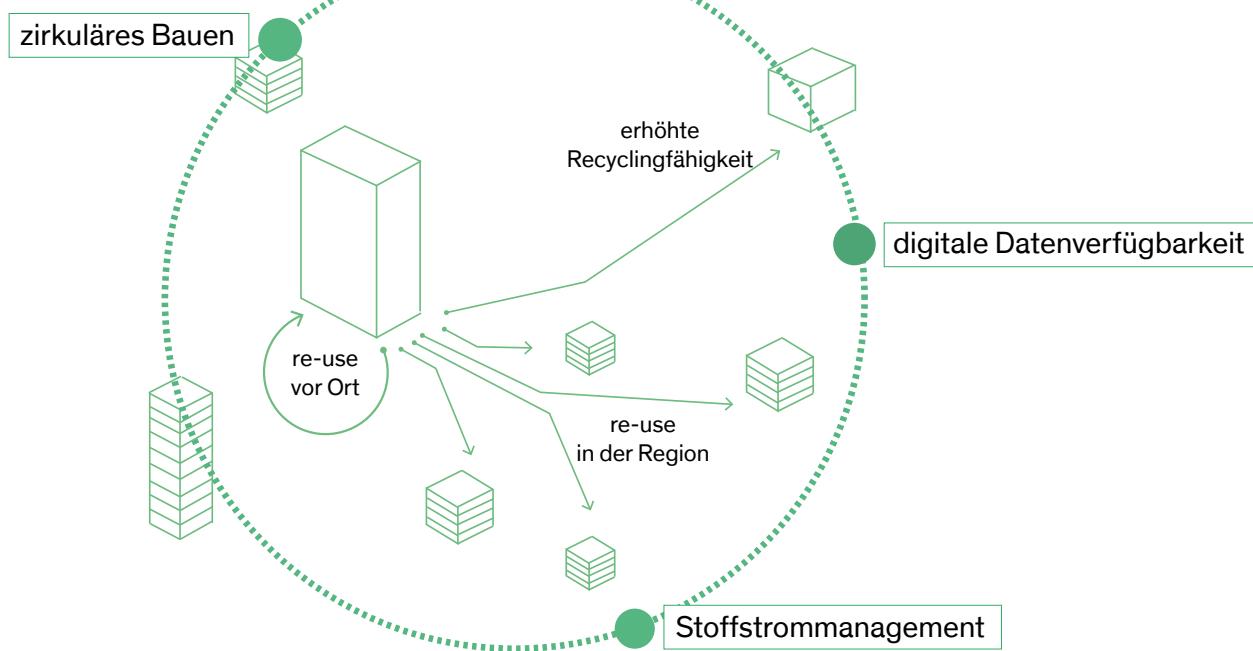
Regulatorische Entwicklungen fördern den Kreislauf zunehmend:

- EU Taxonomie: Rückbaukonzepte, Materialeffizienz, Circularität-Kriterien (*European Commission*, 2022)
- CSRD & ESRS E1: Offenlegung von Scope-3-Emissionen, Materialstrategien (*European Parliament; Council of the European Union*, 2024)
- ESPR & CPR-Reform: Digitale Produktpässe, Reparierbarkeit, Wiederverwendbarkeit (*European Commission*, 2024)
- Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG), Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV), Bauordnungen: Priorisierung der Wiederverwendung, dokumentierte Materialflüsse (KrWG, 2012) (GewAbfV, 2017)

Die Richtung ist eindeutig: Urban Mining bewegt sich vom optionalen Nachhaltigkeitsansatz zum regulatorischen Standard.

Schritt 1: Materialverfügbarkeit als digitale Ressource

Der Gebäudebestand ist einer der größten ungenutzten Rohstoffspeicher Europas, doch seine Potenziale bleiben bisher weitgehend unsichtbar. Ein erheblicher Anteil der darin verbauten Ressourcen wäre technisch zirkulär nutzbar, doch bislang fehlen systematische Informationen über Mengen, Qualitäten, Fügungen und Zustände. Erst wenn Gebäude als Datenräume verstanden werden, entsteht die Transparenz, die Urban Mining wirtschaftlich und risikoarm macht. Ohne diese Datengrundlage bleibt die Ernte der anthropogenen Lagerstätten projektabhängig. Mit ihr wird Urban Mining zu einem skalierbaren System (*World Economic Forum; McKinsey & Company*, 2023).



Materialdaten entstehen entlang eines vierstufigen Reifegrads, der unterschiedliche Präzision und Nutzungstiefe ermöglicht.

A. Einfache Mittel (niedrigschwellig)

Fotodokumentation, Bestandspläne, Baubeschreibungen, manuelle Materiallisten und Markierungen im Bestand ermöglichen schnelle Orientierung für erste ReUse-Checks.

B. Strukturierte Verfahren (auditfähig)

Materialbestandsaufnahme nach Pre-Demolition-Audits Schadstoffscreenings und Mengenermittlungen schaffen eine belastbare Grundlage für Entwurf und Entscheidungsfindung (DIN, 2023).

C. Digitale Modelle (skalierbar)

BIM-Modelle mit Materialattributen, digitale Materialpässe, 3D-Scanning, Photogrammetrie und teilautomatisierte Mengenermittlung bieten präzise Zuordnung, bessere Aktualisierbarkeit und höhere Prognosesicherheit (Gordon, et al., 2023).

D. Integrierte Datenräume (Systemebene – Zukunftsstandard)

Die Verknüpfung von BIM, Materialpass, Inventardaten und regionalen Materialkatastern sowie KI-gestützte Klassifizierungssysteme bilden die Grundlage eines skalierbaren, vernetzten und zukunftsweisenden Urban-Mining-Systems (Leistner, Giggmeier, Trettenhann,

Bäcker, & Gipperich, 2025).

Schritt 2: Stoffstrommanagement

Stoffstrommanagement bildet das operative Rückgrat des zirkulären Systems: Es koordiniert Ernte, Prüfung, Dokumentation und Distribution von Ressourcen entlang eines integrierten Prozesssystems. Während digitale Datenräume Transparenz schaffen, sorgt das Stoffstrommanagement dafür, dass Materialien qualitätsgesichert vom Bestand, der Erntequelle, in den nächsten Nutzungskreislauf überführt werden. Entscheidend ist, dass diese Abläufe nicht länger als isolierte Tätigkeiten verstanden werden, sondern als zusammenhängender Wertschöpfungsprozess, der Materialwerte im Kreislauf bewahrt und nützlich verfügbar macht.

Rückbau als Ernteprozess – von der Demontage zur (industriellen) Materialgewinnung

Die Transformation des klassischen Rückbaus zum qualitätsgesicherten Ernteprozess markiert einen grundlegenden Wandel: Statt Materialwerte durch zerstörende Verfahren zu vernichten, werden sie systematisch gesichert (Kaiser, 2019).

Ein industriell verstandener Ernteprozess umfasst dabei drei Kernelemente:

1. Werterhaltende Demontage

Ressourcen werden mechanisch gelöst. Dies ermöglicht den Erhalt bzw. die Gewinnung funktionaler Bauteile, wie Türen, Träger, Paneele oder andere Ausbaukomponenten sowie qualitätsgesicherte Baustoffe (*BAMB Consortium, 2019*).

2. Standards für Sortierung und technische Prüfung

Qualität hängt nicht allein vom Gebäudetyp ab. Entscheidend ist eine systematische Einstufung nach:

- Maßhaltigkeit
- Tragfähigkeit
- Oberflächenqualität
- Schadstofffreiheit
- Wiederverwendungs- sowie Verwertungsgrad
- Stoffliche Reinheit

Geerntete Ressourcen werden nur dann verlässlich in den Markt integriert, wenn einheitliche Prüf- und Klassifizierungsprozesse vorliegen. Standardisierte Verfahren, etwa zur Zustandsbewertung, Tragfähigkeitsprüfung, Schadstoffanalyse oder Oberflächenqualifikation, reduzieren Abweichungen, die heute durch Standort, Baujahr oder unterschiedliche Gebäudetypologien entstehen. (*Europäisches Parlament, Rat der Europäischen Union, 2011*)

Harmonisierte Prüfprotokolle erzeugen drei zentrale Effekte:

- **Vergleichbarkeit:** Wiederverwendete Bauteile erhalten bundesweit dieselbe Qualitätsaussage, unabhängig davon, ob sie aus einem Altbau von 1920 oder einem Bürogebäude von 1995 stammen.
- **Prognosesicherheit:** Planende und Ausführende können auf standardisierte Ergebnisschemata zurückgreifen, wodurch technisches und regulatorisches Risiko sinkt.
- **Marktstandardisierung:** Einheitliche Klassifizierungen ermöglichen einen transparenten Sekundärmarkt mit klar definierten Qualitätsstufen. Diese sind vergleichbar mit der Normierung von Neuproducten.

Damit wird deutlich:

Standardisierte Prüfprozesse sind die Voraussetzung dafür, dass „Second Love“ nicht als Sonderabfall behandelt wird, sondern als reguläres, verlässliches Marktangebot funktioniert.

Zirkuläre Logistik – das Nervensystem der Kreislaufwirtschaft

Selbst hochwertigste Ernteprozesse scheitern ohne eine funktionierende Logistik. Entscheidend ist das Timing: Materialien fallen heute an, werden im Projekt jedoch erst Wochen, Monate oder Jahre später benötigt. Die Skalierung von Urban Mining hängt daher maßgeblich davon ab, ob Materialien qualitätsgesichert zwischengelagert, verteilt, ausreichend vorhanden und in zugesicherter Qualität genutzt werden können (*Sprecht & Braunisch, 2010*).

Vier Logistikbausteine prägen diesen Prozess:

1. Zirkuläre Materialhubs

Die Einrichtung regionaler Zentren ist ein notwendiger Baustein zirkulärer Logistikstrukturen. Rückstände und Altprodukte fallen nicht konstant an – sie variieren in Menge, Qualität und Zeitpunkt. Ohne Puffer- und Verarbeitungskapazitäten entstehen operative Brüche, die eine planbare Weiterverwendung verhindern. Regionale Hubs adressieren genau diesen Volatilitätsfaktor und stabilisieren den Stoffstrom.

Sie übernehmen Funktionen, die in linearen Wertschöpfungsketten von Warenverteilzentren abgedeckt werden:

• Qualitätssicherung durch Sortierung und Prüfung

Die Hubs bündeln, sortieren und klassifizieren Materialien, um definierte Qualitäts- und Reinheitsgrade sicherzustellen. Prüf- und Reinigungsprozesse sind zentrale Schritte, um Sekundärmaterialien für die Weiterverarbeitung oder den Wiedereinbau nutzbar zu machen (*Sprecht & Braunisch, 2010*).

• Lagerung und Pufferung zur Glättung von Volatilität

Da Rückstände unregelmäßig zurückfließen, übernehmen Zwischenlager eine Pufferfunktion. Sie gleichen Mengenschwankungen aus, ermöglichen Typisierung und Chargenbildung und stabilisieren die Auslastung nachgelagerter Prozesse wie Aufbereitung oder Re-Processing (*A. Arnold, Kuhn, Tempelmeier, & Furmans, 2008*).

3. Baustoffhandel als Kreislaufdrehscheibe

Der Baustoffhandel verfügt bereits über die zentrale Infrastruktur, die für zirkuläre Materialströme notwendig ist: Flächen, Umschlagskapazitäten, Transportlogistik und etablierte Netzwerkstrukturen. Diese Fähigkeiten sind entscheidend, da geerntete Materialien unregelmäßig, in variierenden Mengen und Qualitäten anfallen und damit eine deutlich höhere Volatilität aufweisen als Primärrohstoffe (*Specht & Braunisch, 2010*) (*Werner, 2013*).

Handelslogistik ist darauf ausgelegt, heterogene Warenströme zu bündeln, zu lagern, zu sortieren und effizient in bestehende Lieferketten einzubinden. Diese Mechanismen lassen sich unmittelbar auf Erntematerial übertragen. Prüf- und Klassifizierungsprozesse aus dem Wareneingang sichern die notwendige Qualität, schaffen Vertrauen und reduzieren technische wie regulatorische Risiken (Gudehus, 2005).

Der entscheidende Wertbeitrag des Handels liegt in der Fähigkeit, Angebot und Nachfrage zu synchronisieren: Durch Bündelung, Zwischenlagerung und Typisierung werden volatile Rückstandsflüsse in stabile Materialchargen überführt, die für erfolgreiche Kreislaufprozesse nutzbar sind (Specht & Braunisch, 2010).

Damit entwickelt sich der Baustoffhandel vom linearen Distributionsknoten zu einem Schlüsselakteur für die Skalierung von Urban Mining und einen funktionierenden zirkulären Markt (Specht & Braunisch, 2010) (Liebetruth, 2020) (Werner, 2013).

4. Baustoffindustrie als direkter Abnehmer der geernteten Ressourcen

Die Baustoffindustrie erweitert ihre Beschaffungslogistik in die Bestandsgebäude hinein: Rückbaustellen und Ernteunternehmen werden zu neuen Upstream-Lieferanten und liefern geprüfte Sekundärressourcen direkt in die industriellen Versorgungssysteme.

Vorteile:

- Durch den Einsatz von Erntematerial sinken die Emissionen der Kategorie „Purchased Goods & Services“, da deren vorgelagerte CO₂e-Intensität signifikant geringer ist als bei Primärrohstoffen (Papamichael, Voukkali, Loizia, & Zorbas, 2023).
- **Stabilisierung der Stoffströme:** Planbare Abnahmemengen schaffen kontinuierliche Nachfrage und ermöglichen wirtschaftlich tragfähige regionale Kreislauflogistik (Smith Innovation, 2025) (Padalkina & Julius Schäufele, 2023).
- **Marktöffnung für reprozessierte Ressourcen:** Kreislauferhalt bedeutet nicht nur den direkten Wiedereinbau. Die Industrie kann geerntete Ressourcen auch reprozessieren, qualifizieren und als Halbprodukt oder Sekundärrohstoff in ihre Produktionslinien integrieren (Padalkina & Julius Schäufele, 2023) (Papamichael, Voukkali, Loizia, & Zorbas, 2023). Darüber hinaus können Hersteller qualitätsgesicherte geerntete Bauteile auch als White-Label-Produkte übernehmen und in bestehende Produktlinien integrieren, sofern die Materialien definierte Qualitäts-, Prüf- und Dokumentationsstandards erfüllen.

- **Anreiz für Standards und Qualitätssicherung:** Industrielle Fertigungsprozesse erfordern klar definierte Qualitätsklassen. Dieser Bedarf beschleunigt die Harmonisierung von Prüf-, Sortier- und Dokumentationsstandards für Sekundärressourcen (Munaro & Sergio, 2021).

Strategische Bedeutung:

Die Baustoffindustrie entwickelt sich vom klassischen Produzenten in einer linearen Wertschöpfungskette zum Re-Produzenten in einer zirkulären Materialwirtschaft. Statt ausschließlich Primärrohstoffe zu verarbeiten, integriert sie geerntete Ressourcen aus dem anthropogenen Lager als reguläre Inputströme. Damit wird sie zu einem Schlüsselakteur für Skalierung, Marktakzeptanz und Scope-3-Dekarbonisierung.

5. Digitale Marktplätze

Digitale Plattformen bilden die Informationsinfrastruktur zirkulärer Wertschöpfung: Sie erfassen Materialdaten, Verfügbarkeiten und Standorte und ermöglichen dadurch CO₂e-Vergleiche, Zustandsbewertungen und die Vernetzung von Angebot und Nachfrage (ARUP, 2018) (Padalkina & Julius Schäufele, 2023) (Smith Innovation, 2025). Die Europäische Kommission fördert dieses Prinzip ausdrücklich: digitale Produktpässe werden im Rahmen der neuen Ökodesign-Verordnung als verpflichtende Datenträger eingeführt, um produktbezogene Informationen über den gesamten Lebenszyklus hinweg verfügbar zu machen. Der *Transition Pathway for Construction* definiert diese digitale Informationsarchitektur als zentrale Voraussetzung für skalierbare Kreislaufsysteme (Papadaki, et al., 2023).

Auswahl relevanter Beispiele:

- Concular Shop (Concular GmbH, 2025)
- Madaster (Madaster GmbH, 2025)
- Sirken (Sirken GmbH, 2025)

Urbane Materialgewinnung kann zu einem industriellen System heranwachsen, indem definierte Prozesse, Qualitätsklassen, notwendiges Zeitmanagement und standardisierte Informationsflüsse integriert werden. Erste Pilotprojekte (DE, NL, DK, BE) zeigen, dass solche Ernteprozesse skalierbar sind, wenn:

- Ernteunternehmen qualifiziert sind
- Prüfprozesse modularisiert werden
- Entscheidungen datenbasiert getroffen werden
- Logistik und Lager mitgedacht sind.

Im Ergebnis wird die Ernte anthropogener Lagerstätten zu einer planbaren Produktionsphase, in der Gebäude

zu materialgenerierenden Assets werden. Dies entspricht der Einschätzung der EU-Kommission, die selektiven Rückbau als Voraussetzung für hochwertigen Kreislauferhalt nennt.

Neue Rollen in der Wertschöpfungskette – ein zirkuläres Ökosystem entsteht

Mit Urban Mining verändern sich Verantwortlichkeiten und Geschäftsmodelle entlang der gesamten Wertschöpfungskette:

- **Stoffstrommanager:innen** koordinieren Materialflüsse, Risiken, Datenqualität und Entscheidungen zwischen Rückbau, Planung, Logistik und Wiedereinbau. Die EU sieht diese intermediären Rollen als Schlüssel zur Markttransformation.
- **Ernteunternehmen** professionalisieren Demontage, Prüfung und Dokumentation. Qualitative Erneuteprozesse sichern bis zu 80 % des Materialwerts.
- **Einbaugewerke** übernehmen zunehmend Lebenszyklusverantwortung: Ernte → Refurbishment → Wiedereinbau. Studien zeigen: Gewerke, die beide Prozesse kombinieren, erzielen geringere Materialverluste und höhere Qualitätssicherheit.
- **Hersteller** beginnen, Produkte zurückzunehmen und aufzubereiten. Durch digitale Produktpässe entsteht ein markenbezogener Kreislauf, der Qualität und notwendige rechtliche Aspekte klärt.
- **Digitale Plattformen** werden zu Informationsintermediären, die Materialtransparenz, CO2e-Effekte, Verfügbarkeiten sichtbar und damit zirkuläre Beschaffungsprozesse ermöglichen.
- **Architektur & Planung** transformiert sich zu einer daten- und materialorientierten Führungsaufgabe. Internationale Analysen von IEA und IRP bestätigen, dass frühe zirkuläre Entscheidungen einen der stärksten Hebel für Emissionsminderung darstellen.

Die bestehende Wertschöpfungskette wird damit zirkulär und vernetzt. Ein System, das Materialqualität erhält und regionale Wertschöpfung stärkt.

Schritt 3: Zirkuläres Bauen als regeneratives System

Zirkuläres Bauen positioniert Gebäude als regenerative Materialsysteme: Materialien werden nicht verbraucht, sondern in technischen und biologischen Kreisläufen gehalten. Es verbindet Urban Mining mit einer integrierten Systemarchitektur aus Materialverfügbarkeit, Design, Konstruktion, Umweltwirkung und digitaler Steuerung und schafft damit die operative Grundlage einer zirkulären Wertschöpfung.

Damit wird zirkuläres Bauen zu einem systemischen Hebel, der ökologische Ziele, regulatorische Anforderungen und wirtschaftliche Resilienz gleichzeitig adressiert.

Form follows Material availability – Entwerfen aus dem Bestand

Materialverfügbarkeit wird zu einem gestaltprägenden Entwurfsparameter. Anstatt den architektonischen Entwurf zu konzipieren und diesem anschließend Materialien zuzuordnen, erfolgt die Entwicklung in umgekehrter Richtung: die Verfügbarkeit vorhandener Bauteile definiert Raster, Geometrien und konstruktive Lösungen, auf denen die Gestaltung aufsetzen kann.

Belege aus Forschung und Praxis zeigen:

- materialbasierte Planung reduziert CO2e-Emissionen um 30–50 % (Lützkendorf & Balouktsi, 2022) (Minunno, O'Grady, M-Morrison, & L.Gruner, 2022)
- erhebliches Kostensenkungspotenzial durch Nutzung vorhandener Komponenten
- robuste Bauprozesse durch definierte Bauteilabmessungen
- höhere Planungsstabilität bei unsicheren Lieferketten

Best-Practice-Beispiele (*In Situ* (situ, 2025), *RotorDC* (*RotorDC*, 2025), *Lendager* (*lendager*, 2025)) zeigen, dass materialgetriebene Entwürfe nicht nur technisch machbar, sondern architektonisch hochwertig und wirtschaftlich attraktiv sein können.

→ Materialverfügbarkeit wird zu einem planerischen Steuerungsmechanismus und zur Inspiration, nicht zu einer Einschränkung.

Design für Ernte – Reversibilität als Standard

Reversible Konstruktionen sind Voraussetzung, um

Materialkreisläufe über mehrere Lebenszyklen zu sichern.

„Design-for-Disassembly“ (DfD) folgt klaren Prinzipien:

- lösbare Fügungen
- geringe Materialverbunde
- zugängliche Verbindungen
- modulare Systeme
- eindeutige Demontagepfade

Normen wie ISO 20887 definieren diese Anforderungen inzwischen international (ISO, 2020).

Industrielle Beispiele verdeutlichen die Marktreife:

- Triqbriq: modulares Holzsteinsystem, vollständig demontierbar (Triqbriq GmbH, 2025)



- Polycare / Sembla: verschraubbare Bausteine aus Polymerbeton (Polycare GmbH, 2025)



→ Reversibilität ist kein Zusatznutzen, sondern ein technischer, regulatorischer sowie wirtschaftlicher Wettbewerbsfaktor.

Wiederverwendung – besser als neu

Wiederverwendung nutzt Bauteile funktionsgleich oder funktionsverändert weiter, ohne stoffliche Transformation. Dadurch bleiben 80–95 % des Materialwerts erhalten (Dechantsreiter, et al., 2014).

Beispiele im Markt:

- Stuhlsitzschalen → Wandmodule (Urselmann Interior, 2025)



- Außenfenster → innenliegende „Glastrennwand“ (baubüro in situ, 2025)



Vorteile (Dechantsreiter, et al., 2014):

- niedrigere CO2e-Bilanz als Recycling
- geringere Prozesskosten
- kürzere Durchlaufzeiten
- hohe technische Verfügbarkeit

Alternative Wiederverwendung wird damit zu einem zentralen Baustein für kosteneffiziente, kreislauffähige Architektur.

Digitale Integration – “Data-to-Impakt” Architektur für ReUse

Digitale Integration ist die Voraussetzung dafür, dass Urban Mining nicht nur dokumentiert, sondern aktiv gesteuert werden kann. Die *Data-to-Impact-Architektur* strukturiert den gesamten Umgang mit Materialdaten entlang des Planungs- und Bauprozesses und schafft

einen durchgängigen Datenraum:
Daten generieren → Daten prüfen → Entscheidungen
vorbereiten → regulatorisch absichern → Kreislauf
schließen.

1. Data Discovery – Sichtbarkeit und Risiken

In frühen Phasen werden Stoffstrom-Potenziale identifiziert, erste Mengen grob erfasst und kritische Risiken sichtbar gemacht: Baualter, Schadstoffe, technische Eignung, CE-/CPR-Relevanz.

2. Data Validation – Abgleich von Material und Entwurf

Synchronisation von Materialverfügbarkeit und Entwurfslogik; Prüfung technischer Kriterien sowie Regelwerks- und Gewährleistungsanforderungen.

3. Technical Assurance – Qualität, Sicherheit, Regulatorik

Technische Prüfungen, Schadstoffanalysen, Klassifizierungen und *CE-/CPR-Dokumentation*; Entwicklung von Ernte- und Logistikkonzepten.
Ein *ReUse-Compliance-Pack* bündelt alle Prüfunterlagen und Freigaben.

4. Procurement Integration – ReUse in der Ausschreibung

Überführung relevanter Materialdaten in Leistungsverzeichnisse; Definition von ReUse-Klassen, Einbaukriterien und Gewährleistungsmodellen; Anbindung an digitale Marktplätze.

5. Circular Handover – Kreislauf schließen

Ernte, Dokumentation und Wiedereinbau erfolgen qualitätsgesichert. Materialpässe und digitale Kataster werden aktualisiert, sodass zukünftige Nutzungszyklen dokumentiert und wirtschaftlich nutzbar bleiben.

Digitale Werkzeuge – die technische Infrastruktur der Kreislaufwirtschaft

Digitale Werkzeuge verbinden physische Bauteile mit ihrer digitalen Identität und bilden die Grundlage skalierbarer Kreisläufe. Sie erfassen Eigenschaften, Risiken, Verfügbarkeiten und CO2e-Werte und machen diese entlang des Planungs- und Bauprozesses nutzbar.

Zentrale Technologien:

- Materialpässe mit CO2e-, Zustands- und Herkunftsdaten
- Materialinventare und Kataster
- BIM-Modelle mit Material- und ReUse-Attributen
- 3D-Scanning und KI-basierte Klassifizierung
- Generatives Design, das ReUse-Bauteile automatisiert in Entwürfe integriert

Hemmnis	Benötigte Systembedingungen
Unzureichende Materialdaten / fehlende Transparenz	Digitale, interoperable Materialdatenmodelle (BIM - Materialpass - Inventar)
Fehlende Standards & uneinheitliche Qualitätskriterien	Einheitliche Prüf-, Klassifizierungs- und Dokumentationsstandards
Logistische Entkopplung (Ernte <-> Bedarf)	Regionale Hubs, Zwischenlager, zirkuläre Stoffstromlogistik
Fachkräftemangel / fehlende Kompetenzen	Neue Berufsprofile, Qualifizierung, Ernte- und Datenkompetenzen
Fehlende Wirtschaftlichkeit im Projektzeitpunkt	Gemeinsame Marktplätze, Preistransparenz, politische Anreize
Regulatorische Graubereiche unklare Zuständigkeiten Zuständigkeiten	Klare Leitplanken in Bau-, Produkt- und Abfallrecht

Europäische Programme wie *BAMB* (*BAMB Consortium, 2019*), *CIRCult* (*Circular Construction in Regenerative Cities, 2023*) und *NCCR Digital Fabrication* (*NFS Digitale Fabrikation, 2025*) belegen, dass digitale Systeme Materialströme planbar, prüfbar und wirtschaftlich steuerbar machen. Die Verbindung aus *Data-to-Impact-Prozess* und digitalen Technologien erzeugt ein zirkuläres Betriebssystem, das Planung, Markt, Rückbau und Regulatorik in einem konsistenten Datenraum vereint.

Erst dadurch werden:

- Materialflüsse steuerbar,
- Risiken früh sichtbar,
- CO2e-Wirkungen vergleichbar,
- und ReUse zu einer planbaren Projektstrategie.

Damit wird der Gebäudebestand zur aktiven Ressource, nicht zum Nebenprodukt des Entwurfs.

Tabelle 1: Systemische Hemmnisse und die jeweils benötigten Systemelemente

Materialökologie – regenerative und schadstoffarme Konstruktionsprinzipien

Zirkuläre Gebäude benötigen Ressourcen, die über mehrere Lebenszyklen hinweg sicher, regenerativ und erntefähig bleiben. Internationale Frameworks (IRP, Level(s), BAMM, C2C) zeigen vier zentrale Prinzipien:

- **CO₂e-Speicherung:** Biobasierte Materialien wie Holz binden während ihres Wachstums Kohlenstoff und wirken im Gebäude als langfristige Kohlenstoffsenken (*Bauhause Erde*, 2025).
- **Emissionsminderung:** Naturbasierte Baustoffe reduzieren energieintensive Herstellungs- und Transportemissionen und benötigen deutlich weniger Primärenergie als konventionelle Materialien (*BPIE; UCL*, 2023).
- **Biologische Kreisläufe:** Biologische und schadstofffreie Kreislauffähigkeit: Materialien müssen ohne Qualitäts- oder Umweltverluste in biologische oder technische Kreisläufe zurückgeführt werden können. Naturbasierte und sortenreine Baustoffe ermöglichen kurze Kreisläufe und vermeiden persistente Schadstoffe (*Bauhause Erde*, 2025) (*Schiller, et al.*, 2022).

→ Regenerative Materialökologien machen Gebäude zukunftsoffen, erntefähig und vollständig in biologische oder technische Kreisläufe integrierbar.

Systemische Hemmnisse und notwendige Rahmenbedingungen einer skalierbaren Urban-Mining-Praxis (Fokus ReUse)

Urban Mining ist technisch etabliert, aber die industrielle Umsetzung zirkulärer Prozesse – Ernte und Wiedernutzung – findet kaum statt.

Die Ursachen liegen weniger in der technischen Machbarkeit als in der fehlenden Systemintegration entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Die folgende Analyse verbindet zentrale Hemmnisse mit den notwendigen Systembedingungen, die erforderlich sind, um Urban Mining vom Pilotprojekt in den Standard zu überführen.

Hemmnis 1: Fehlende Materialdaten → Notwendigkeit interoperabler Datenräume

Problembeschreibung:

Materialflüsse sind heute weitgehend unsichtbar. Zustand, Menge, Demontierbarkeit, Schadstoffrisiken und Zeitpunkte werden oft erst erkannt, wenn es zu spät ist.

Benötigtes Systemelement:

1. Durchgängige digitale Materialdatenmodelle
2. Verknüpfung von BIM, Materialpass, Inventar und Marktplatzsystemen
3. Automatisierte Bestandsaufnahmen
– Photogrammetrie, 3D-Scanning, KI-basierte Klassifikation
4. Digitale Audit- und Dokumentationsprozesse
5. Schnittstelle Datenkommunikation mit dem bestehenden Baustoffhandel

→ Erst vollständige und verlässliche Daten schaffen Prognosesicherheit, Wirtschaftlichkeit und regulatorische Konformität.

Hemmnis 2: Fehlende Standards → Notwendigkeit eines einheitlichen Verständnisses und verbindlicher Spielregeln

Problembeschreibung:

ReUse scheitert heute häufig an fehlenden oder uneinheitlichen Qualitäts-, Prüf- und Dokumentationsstandards.

Bauteile verlassen zwar den Verkehr, können aber mangels definierter Ernte- und Prüfprozesse oft nicht wieder als Bauprodukt eingestuft werden.

Benötigtes Systemelemente:

1. **Einheitliche Klassifizierung von Ernteprodukten:** Sie sorgen für klar definierte Qualitätsklassen, Prüfstatus, Verwendbarkeitsbereiche
2. **Standardisierte Ernteprozesse und Prüfprotokolle:** Bauprodukte müssen künftig nicht nur beschreiben, wie sie verbaut werden, sondern wie sie geerntet werden können.
Dazu gehört:
 - DIN-Anforderungen für den weiteren Lebensweg eines Bauteils
 - Definition der zulässigen Ernteverfahren

- Sicherstellung, dass ein Bauteil im Verkehr bleibt, ohne erneut „in Verkehr gebracht“ werden zu müssen

→ *Ohne verbindliche Standards existiert keine Planungssicherheit, weder für Behörden noch für Gewerke oder Hersteller.*

Hemmnis 3: Integration bestehender Systeme → Notwendigkeit einer zirkulären Infrastruktur

Um logistische Engpässe nachhaltig zu lösen, braucht es keine neue Branche, sondern eine Öffnung und Integration bestehender Systeme:

1. **Regionale Materialhubs** betrieben oder mitbetrieben vom Baustoffhandel, verknüpft mit bestehenden Warenströmen.
2. **Zwischenlager und Pufferstrukturen**, nicht als zusätzliche Infrastruktur, sondern als Erweiterung bestehender Logistikareale.
3. **Sortier- und Prüfzentren** sind modular andockbar an vorhandene Logistikstandorte.
4. **Zirkuläre Logistiksysteme** nutzen bestehenden Flotten, Umschlagpunkte und Lieferlogik des Baustoffhandels. ReUse-Materialien werden zu einer weiteren Produktkategorie im bestehenden System, nicht zu einem Sonderfall.
5. **Koordiniertes Zeitfenster- und Materialfluss-Management** sind digital gesteuert, abgestimmt zwischen Rückbau, Hub, Planung und Wiedereinbau.

→ *Das logistische Problem ist kein Infrastrukturmangel, sondern ein Integrationsproblem. Die Lösung für ReUse-Logistik liegt in der Öffnung und Nutzung des bestehenden Baustoffhandels als zirkuläre Drehscheibe. Erst wenn Ernte- und Neubauprozesse in dieselben Logistiksysteme eingebunden sind, wird Urban Mining planbar, wirtschaftlich und skalierbar.*

Hemmnis 4: Qualifikationslücke → Notwendigkeit neuer Berufsprofile

Problembeschreibung:

Zirkuläre Wertschöpfung erfordert Fähigkeiten, die im linearen System nicht verankert sind.

Benötigtes Systemelemente:

1. Ernteunternehmen mit zertifizierten Kompetenzen

2. Stoffstrommanager:innen koordinieren Materialströme

3. zirkuläre Datenverarbeitungs- und Datenmanagementkompetenz im Planungsteam

→ *Neue Systeme funktionieren nur, wenn bestehende Denkmuster konsequent aufgebrochen und durch neue Rollen und Kompetenzen ergänzt werden.*

Hemmnis 5: Fehlende Wirtschaftlichkeit → Notwendigkeit transparenter Märkte und Anreize

Problembeschreibung:

ReUse ist ökonomisch attraktiv, aber im Projektzeitpunkt oft nicht sichtbar oder nicht planbar.

Benötigtes Systemelemente:

1. Gemeinsame Marktplätze für Primär- und Sekundärmaterialien
2. Transparente CO2e-, Zustands- und Preisdaten
3. Integration in Ausschreibungen und Kostenplanung
4. Politische Anreize (CO2e-Bepreisung, Abfallabgaben, Förderprogramme)

→ *Markttransparenz macht Urban Mining kalkulierbar, Anreize machen es wettbewerbsfähig.*

Hemmnis 6: Regulatorische Unschärfen → Notwendigkeit klarer Leitplanken

ReUse bewegt sich im Spannungsfeld von Abfall-, Bau- und Produktrecht. Die fehlende Trennschärfe führt zu Unsicherheiten bei CE-/CPR-Konformität, Gewährleistung, Haftung und der Einordnung von Bauteilen als Produkt oder Abfall.

In der heutigen Ausschreibungslogik wird Rückbau überwiegend als „Rückbau und Entsorgung“ definiert. Damit wird Material automatisch dem Abfallstatus zugeordnet, unabhängig von Qualität, technischer Eignung oder Wiederverwendungspotenzial. Dieser Systemschritt verhindert, dass Bauteile als produktfähige Sekundärressourcen in den Markt zurückgeführt werden können.

Für eine skalierbare ReUse-Praxis benötigt der Markt eine Prozesslogik, die Rückbau nicht als Entsorgungsleistung, sondern als Wertschöpfungsschritt versteht. In

industriellen Kreislaufsystemen entspricht dies einem qualitätsgesicherten Ernteprozess, der ein Sekundärprodukt erzeugt.

Eine alternative Formulierung könnte daher lauten:
„Ernte nach definiertem Prozess und Herstellung eines Sekundärprodukts gemäß festgelegten Qualitäts- und Prüfstandards.“

Dies ist kein regulatorischer Standard, sondern beschreibt eine zirkuläre Prozesslogik, die rechtliche Zuordnung, Haftungsfragen und Qualitätsanforderungen klarer strukturieren würde.

Benötigte Systembedingungen

- eindeutige Zuordnung im Bauordnungsrecht
- CPR-/ESPR-konforme Prüf- und Dokumentationsanforderungen
- definierte Haftungsmodelle entlang der Ernte- und Wertschöpfungskette
- klare Freigabekriterien für wiederverwendete Bauteile

→ Mit klar definierten Prozess- und Qualitätsstandards sinkt das regulatorische Risiko und ReUse wird von einer projektbezogenen Ausnahme zu einer planbaren Option im Markt.

Urban Mining ist kein technisches Experiment mehr, sondern eine notwendige Systemtransformation.

Je konsequenter Standards, Datenräume, Logistik und Märkte miteinander verzahnt werden, desto schneller entsteht ein zirkulärer Bausektor, der ökologische Ziele, wirtschaftliche Stabilität und gesellschaftliche Verantwortung verbindet.

Die Grundlagen dafür liegen vor – jetzt gilt es, sie in die Praxis zu überführen.

Synthese: Skalierbarkeit entsteht durch Systemarchitektur

Urban Mining scheitert nicht an technischen Grenzen, sondern an fehlenden systemischen Rahmenbedingungen.

Skalierbarkeit entsteht, wenn:

- Standards Sicherheit schaffen,
- Datenräume Transparenz erzeugen,
- Logistik Prozesse verbindet,
- Märkte interoperabel werden,
- Regulierung Klarheit bietet,
- Qualifikationen vorhanden sind
- und wirtschaftliche Entscheidungen auf belastbaren Daten basieren.

→ ReUse wird nicht durch Einzelmaßnahmen groß, sondern durch ein funktionierendes Gesamtsystem.

- tBPIE; UCL. (2023). Global Status Report for Buildings and Construction: Beyond foundations: Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector. GlobalABC/UNEP.
- tA. Arnold, H., Kuhn, A., Tempelmeier, H., & Furmans, K. (2008). Handbuch Logistik. In Handbuch Logistik. VDI-Buch. doi:10.1007/978-3-540-72929-7
- tARUP, E. M. (2018). From Principles to Practices: First steps towards a circular built environment. doi:<https://content.ellenmacarthurfoundation.org/m/796c0a8771496309/original/First-steps-towards-a-circular-built-environment.pdf>
- tBAMB Consortium. (2019). Buildings As Material Banks – Testing BAMB Results Through Prototyping and Pilot Projects (Deliverable D14: 4 pilots built + Feedback report). Brussels: Horizon 2020 / Bruxelles Environnement.
- tbaubüro in situ. (2025). Projekte. Retrieved from baubüro in situ: <https://www.insitu.ch/projekte/328-zero-waste-umbau-transa>
- tBauhause Erde. (2025). Naturbasierte Materialien - Wege zum klimaneutralen Bauen in Deutschland. Retrieved 11 25, 2025, from https://cdn.prod.website-files.com/6641e20406a610f228dde58a/680b61665c6069f35044b0ed_BauhausEarth_BbN-Report2024_NaturbasiertesBauenin-Deutschland_DE_digital_update2025.pdf
- tBBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung / Zukunft Bau. (2023). Urban Mining im Gebäudebestand: Potenziale, Prozesse und Rahmenbedingungen. Bonn, Germany: BBSR / Zukunft Bau.
- tBundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). (2022). Aufkommen und Verbleib mineralischer Bauabfälle 2021/2022. Bonn, Germany: BBSR. Retrieved 11 30, 2025, from <https://www.bbsr.bund.de/>
- tBundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). (2023). Leitfaden für Materialinventare im Gebäudebestand. Bonn, Germany: BBSR – Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen. Retrieved from <https://www.bbsr.bund.de/>
- tBundesministerium für Umwelt. (2021). Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV). Berlin: Bundesrepublik Deutschland. Retrieved from <https://www.gesetze-im-internet.de/gewabfv/>
- tBundesministerium für Umwelt. (2023). Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG). Berlin: Bundesrepublik Deutschland. Retrieved 12 08, 2025, from <https://www.gesetze-im-internet.de/krgw/>
- tCircular Construction in Regenerative Cities. (2023). Urban Material Cadastre Hamburg – CIRCult Project Results. Hamburg, Germany: CIRCult / EU Interreg. Retrieved from <https://www.circuit-project.eu/>
- tConcular GmbH. (2025). Concular Shop. Retrieved from <https://concular.shop/>
- tConsortium, B. (2019). Buildings As Material Banks (BAMB) – Reversible Building Design & Material Passports. Brussels: European Commission / Horizon 2020.
- tDanish Transport, Construction and Housing Authority. (2023). Building Regulations BR18 – CO2 Requirements for New Buildings. Copenhagen: Government of Denmark.
- tDechantsreiter, U., Horst, P., Mettke, D. A., Asmus, S., Schmidt, S., Knappe, F., . . . Lau, J. J. (2014). Instrumente zur Wiederverwendung von Bauteilen. Retrieved from <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/instrumente-zur-wiederverwendung-von-bauteilen>
- tDeutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB). (2023). Zirkuläres Bauen - Ressourcen schützen und Bestehendes wertschätzen. Retrieved 12 01, 2025, from DGNB: <https://www.dgnb.de/de/nachhaltiges-bauen/zirkulaeres-bauen>
- tDeutsches Institut für Normung (DIN). (2023). DIN SPEC 91484:2023-09 Verfahren zur Erfassung von Bauprodukten als Grundlage für Bewertungen des Anschlussnutzungspotentials vor Abbruch- und Renovierungsarbeiten (Pre-Demolition-Audit). Berlin, Germany: DIN e.V. Retrieved 12 02, 2025, from <https://www.dinmedia.de/de/technische-regel/din-spec-91484/371235753>
- tEllen MacArthur Foundation. (2020). Circular Economy in the Built Environment: Buildings as Material Banks. Cowes, UK: Ellen MacArthur Foundation. Retrieved Dezember 08.12.2025, 2025, from <https://ellenmacarthurfoundation.org/>
- tEuropäisches Parlament, Rat der Europäischen Union. (2011). Verordnung (EU) Nr.305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9.März 2011 zur Festlegung g harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates Text von Bedeutung für den EWR. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011R0305&from=DE>
- tEuropean Commission. (2020/2023). Level(s): European Framework for Sustainable Buildings – Indicators 2.4 & 2.5. Brussels, Belgium: Publications Office of the European Union.
- tEuropean Commission. (2022). Commission Delegated Regulation (EU) 2021/2139 supplementing Regulation (EU) 2020/852 by establishing the technical screening criteria for climate change mitigation and climate change adaptation. Commission Delegated Regulation (EU) 2021/2139 supplementing Regulation (EU) 2020/852 by establishing the technical screening criteria for climate change mitigation and climate change adaptation. Brussels: Publications Office of the European Union. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32021R2139>
- tEuropean Commission. (2022). EU Taxonomy Climate Delegated Act. Brussels: European Union. Retrieved 12 08, 2025, from https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance_en
- tEuropean Commission. (2023). Level(s) – EU Framework for Sustainable Buildings: Indicators 2.4 and 2.5. Brussels: Publications Office of the European Union.
- tEuropean Commission. (2023). Level(s) – Life Cycle Assessment Guidelines for Buildings. Brussels, Belgium: Publications Office of the European Union. Retrieved 11 29, 2025, from https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/levels_en
- tEuropean Commission. (2023). Transition Pathway for Construction. Brussels: Publications Office of the European Union.
- tEuropean Commission. (2023-2024). CPR Reform Work Programme and Green Deal Transition Measures. Brussels: European Union. European

- Commission. (2024). Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR). Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR). Brussels: European Union.
- tEuropean Commission. (2024). Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC Text with EEA relevance. Brussels: European Union. Retrieved 12 08, 2025, from https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202403110
 - tEuropean Financial Reporting Advisory Group (EFRAG). (2024). European Sustainability Reporting Standard E1 – Climate Change. Brussels: European Union.
 - tGewAbfV. (2017). Gewerbeabfallverordnung vom 18. April 2017 (BGBl. I S. 896), die zuletzt durch Artikel 9 Absatz 3 des Gesetzes. Berlin: Bundesrepublik Deutschland. Retrieved 11 29, 2025, from <https://www.gesetze-im-internet.de/gewabfv/>
 - tGordon, M., Batallé, A., De Wolf, C., Sollazzo, A., Dubor, A., & Wang, T. (2023). Automating building element detection for deconstruction planning and material reuse: A case study. (C. C. International, Ed.) Automating building element detection for deconstruction planning and material reuse: A case study, 19. doi:<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000589159>
 - tGovernment of the Netherlands. (2023). Building Decree – Milieuprestatie Gebouwen (MPG). The Hague: Dutch Ministry of the Interior.
 - tGudehus, T. (2005). Grundlagen - Strategien - Anwendungen.
 - tHeinrich, M. (2016). Transport- und Lagerlogistik. doi:[10.1007/978-3-658-14552-1](https://doi.org/10.1007/978-3-658-14552-1)
 - tIBP, F.-I. f. (2023). Digitale Materialpässe im Gebäudesektor. Stuttgart, Germany: Fraunhofer IBP.
 - tInternational Energy Agency. (2023). Global Buildings Sector: Outlook and Pathways to Net Zero 2023. Paris, France: IEA Publications.
 - tInternational Energy Agency. (2023). Net Zero by 2050 – Buildings Sector Pathway. Paris: IEA Publications.
 - tISO. (2020). Sustainability in buildings and civil engineering works — Design for disassembly and adaptability guidance.
 - tKaiser, O. (2019). VDI ZRE Kurzanalyse Nr. 26: Rückbau im Hochbau – Aktuelle Praxis und Potenziale der Ressourcenschonung. VDI Zentrum Ressourceneffizienz. Retrieved from https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/1_Themen/h_Publikationen/Kurzanalysen/VDI-ZRE_KA26_Rueckbau_im_Hochbau_Web_bt.pdf
 - tKavoura, F., & Veljkovic, M. (2023). Design strategies for reusable structural components in the built environment. Life-Cycle of Structures and Infrastructure Systems - Proceedings of the 8th International Symposium on Life-Cycle Civil Engineerin. doi:[10.1201/9781003323020-97](https://doi.org/10.1201/9781003323020-97)
 - tKrWG. (2012). Kreislaufwirtschaftsgesetz vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 2. Berlin: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. Retrieved 11 30, 2025, from <https://www.gesetze-im-internet.de/krwg/>
 - tLeistner, P., Giglmeier, S., Trettenhann, A., Bäcker, L., & Gipperich, P. D.-I. (2025). PSIPRO - Praxistransfer skalierbarer innovativer. Valley: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP. Retrieved from file:///M:/Sustain/Bibliothek/Praxistransfer%20skalierbarer%20innovativer.pdf
 - tlendager. (2025). lendager. Retrieved from lendager: <https://lendager.com/project/solution/>
 - tLiebetruth, T. (2020). Prozessmanagement in Einkauf und Logistik: Instrumente und Methoden für das Supply Chain Process Management. Springer Gabler.
 - tLützkendorf, T., & Baloukti, M. (2022). Embodied carbon emissions in buildings: explanations, interpretations, recommendations. Buildings and Cities, pp. 946-973. doi:[10.5445/IR/1000183305](https://doi.org/10.5445/IR/1000183305)
 - tMadaster GmbH;. (2025). Madaster. Retrieved from <https://madaster.de/madaster-vorteile/hersteller>
 - tMinistère de la Transition Écologique. (2022). Réglementation Environnementale 2020 (RE2020). Paris: Government of France.
 - tMinunno, R., O'Grady, T., M-Morrison, G., & L.Gruner, R. (2022). Exploring environmental benefits of reuse and recycle practices: A circular economy case study of a modular building. Resources, Conservation and Recycling; Volume 160. doi:[10.1016/j.resconrec.2021.109485](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.109485)
 - tMunaro, M. R., & Sergio, F. T. (2021). Materials passport's review: challenges and opportunities toward a circular economy building sector. Built Environment Project And Asset Management, Bd. 11, Nr. 4. doi:[10.1108/bepam-02-2020-0027](https://doi.org/10.1108/bepam-02-2020-0027)
 - tNFS Digitale Fabrikation. (2025). NCCR Digital Fabrication. Retrieved from NCCR Digital Fabrication: <https://dfab.ch/>
 - tOpenly AG. (2025). Openly. Retrieved from Openly: <https://www.openly.systems/news/wiederverwenden-stahltraeger-stahlbauteile-schweiz>
 - tOrganisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2023). RAW MATERIALS CRITICAL . Paris, France: OECD Publishing. Retrieved 11 15, 2025, from https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2023/04/raw-materials-critical-for-the-green-transition_85a69007/c6bb598b-en.pdf
 - tPadalkina, D., & Julius Schäufele, P. T. (2023). Geschäftsmodelle für zirkuläres Bauen und Sanieren. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena).
 - tPapadaki, I., Moseley, P., Staelens, P., Horvath, R., Sanz, O. N., Lipari, M., & Pablo. (2023). Transition pathway for construction. European Union: EUROPEAN COMMISSION.
 - tPapamichael, I., Voukkali, I., Loizia, P., & Zorpas, A. A. (2023). Construction and demolition waste framework of circular economy: A mini review. Waste Management & Research The Journal For A Sustainable Circular Economy; Volume 41 Issue 12, December 2023. doi:[10.1177/0734242x231190804](https://doi.org/10.1177/0734242x231190804)
 - tParliament, E. C. (2024). Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD). Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD). Brussels: European Union.
 - tPolycare GmbH. (2025). Polycare. Retrieved from Polycare: <https://www.polycare.de/>
 - tProgramme, I. R. (2020). Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme (UNEP).

- tProgramme, I. R. (2023). Global Resources Outlook . Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme.
- tRessourceneffizienz, V. Z., BBSR, & Umweltbundesamt. (2023). Bau- und Abbruchabfälle – Stoffströme, Recyclingquoten und Downcycling-Anteile. Berlin / Bonn / Dessau: VDI ZRE / BBSR / UBA.
- tRotorDC. (2025). RotorDC. Retrieved from RotorDC: <https://rotordc.com/>
- tSchiller, G., Lehmann, I., Gruhler, K., Hennersdorf, J., Lützkendorf, T., Mörmann, K., . . . Reinhard, J. (2022). Kartierung des anthropogenen Lagers IV: Erarbeitung eines Gebäudepass- und Gebäudekatasterkonzepts zur regionalisierten Erfassung des Materialhaushaltes mit dem Ziel der Optimierung des Recyclings. Umweltbundesamt.
- tSirken GmbH. (2025). Sirken. Retrieved from <https://sirken.no/>
- tsitu, i. (2025). in situ. Retrieved from in situ: <https://www.insitu.ch/>
- tSmith Innovation. (2025). Circulating building materials in practice - A best practice benchmarking of Circular Construction Hubs in Europe. UnternehmerTUM Concular.
- tSpecht, D., & Braunisch, D. (2010). Logistische Netzwerke im Bereich der Sekundärrohstofflogistik. In J. Strohhecker, & A. Größler, Strategisches und operatives Produktionsmanagement (pp. 241-266). GÄBLER. doi:10.1007/978-3-8349-8401-2
- tSprecht, D., & Braunisch, D. (2010). Logistische Netzwerke im Bereich der Sekundärrohstofflogistik. In J. Strohhecker, & A. Größler, Strategisches und operatives Produktionsmanagement (pp. 241-266). GÄBLER.
- tStandardization, I. O. (2022). ISO 22057: Sustainability of Construction Works — Environmental Product Declarations — Communication Format. Brussels, European Union.
- tStatistisches Bundesamt (Destatis). (2023). Abfallaufkommen in Deutschland – Bau- und Abbruchabfälle 2023. Wiesbaden, Germany: Statistisches Bundesamt.
- tTriqbriq GmbH. (2025). Triqbriq. Retrieved from Triqbriq: <https://tribqbriq.de/>
- tTU Delft; ETH Zürich. (2018–2023). Comparative Life Cycle Assessments on Reuse and Recycling of Construction Materials (2018–2023). Delft / Zürich: TU Delft / ETH Zürich. Retrieved from <https://ethz.ch/>; <https://repository.tudelft.nl/>
- tUmweltbundesamt. (2024). Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft 2024. Dessau-Roßlau, Germany: UBA. Retrieved 11 30, 2025, from <https://www.umweltbundesamt.de/>
- tUnited Nations International Resource Panel. (2023). Global Resource Outlook 2023. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme.
- tUrselmann Interior. (2025). Urselmann Interior. Retrieved from Urselmann Interior: <https://www.urselmann-interior.de/>
- tWerner, H. (2013). Supply chain management. doi:10.1007/978-3-8349-3769-8
- tWorld Economic Forum; McKinsey & Company. (2023). Circularity in the Built Environment. Retrieved 12 08, 2025, from <https://www.weforum.org/>: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Circularity_in_the_Built_Environment_2023.pdf
- tWorld Green Building Council. (2019). Bringing Embodied Carbon Upfront: Coordinated Action for the Building and Construction Sector. London, UK: World Green Building Council.

Impressum

blocher partners sustain

Herdweg 19

70174 Stuttgart

Deutschland

Fon: +49 (0)711 224 82-0

E-Mail: sustain@blocherpartners.com