

Zukunft des Baus: Zirkulär und nachhaltig?

Beton und Asphalt

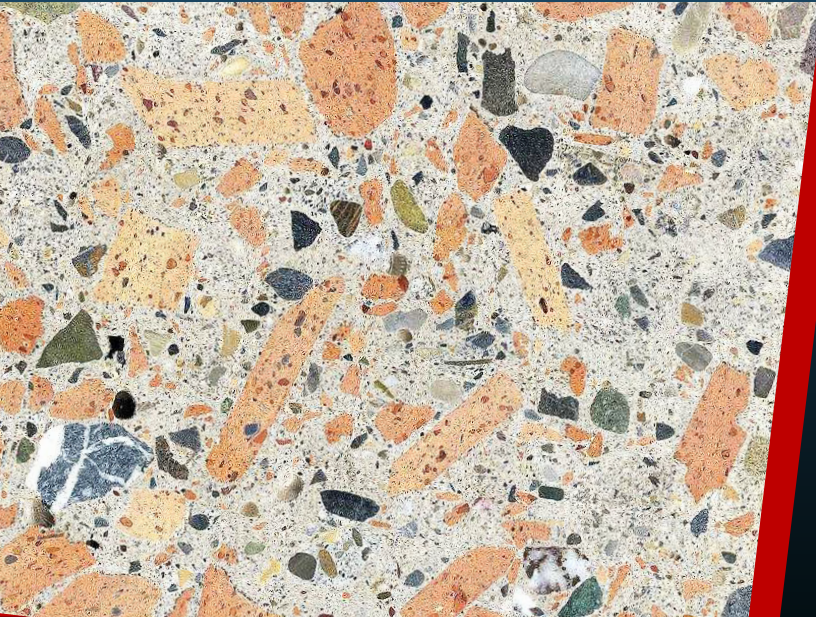
Prof. Dr. Pietro Lura

Abteilungsleiter Beton und Asphalt, Empa
Professor für Betontechnologie, ETH Zürich

Tech for Net Zero Briefing

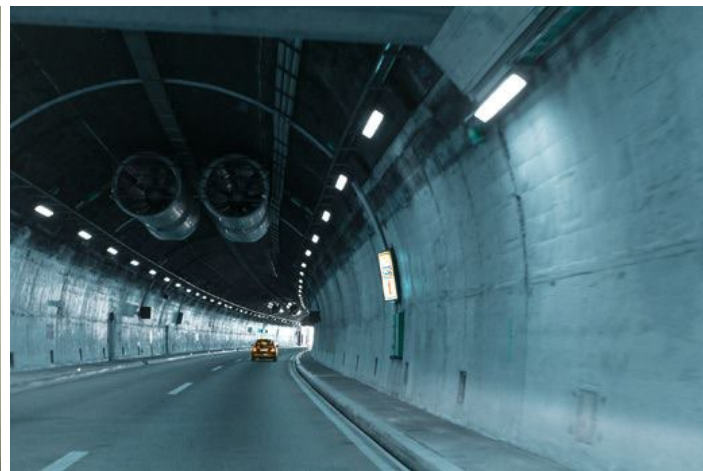
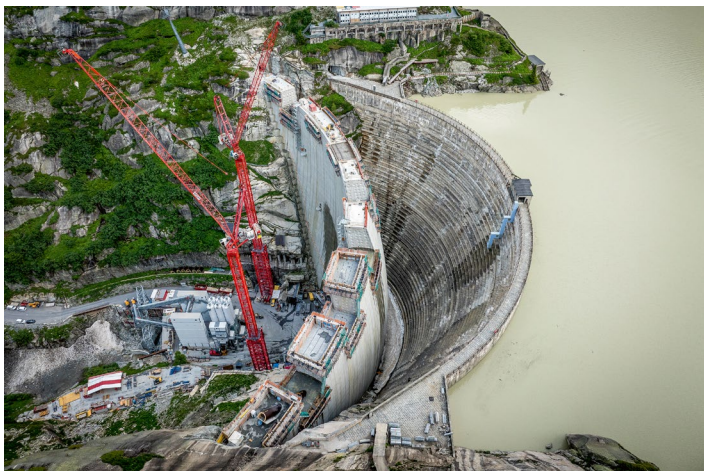
CEO4Climate

Empa, Dübendorf, 09.09.2026

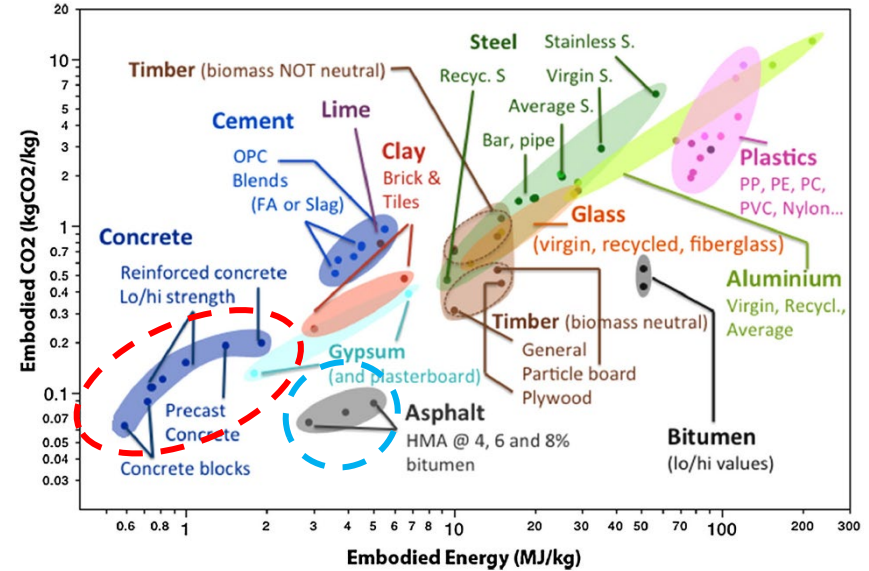
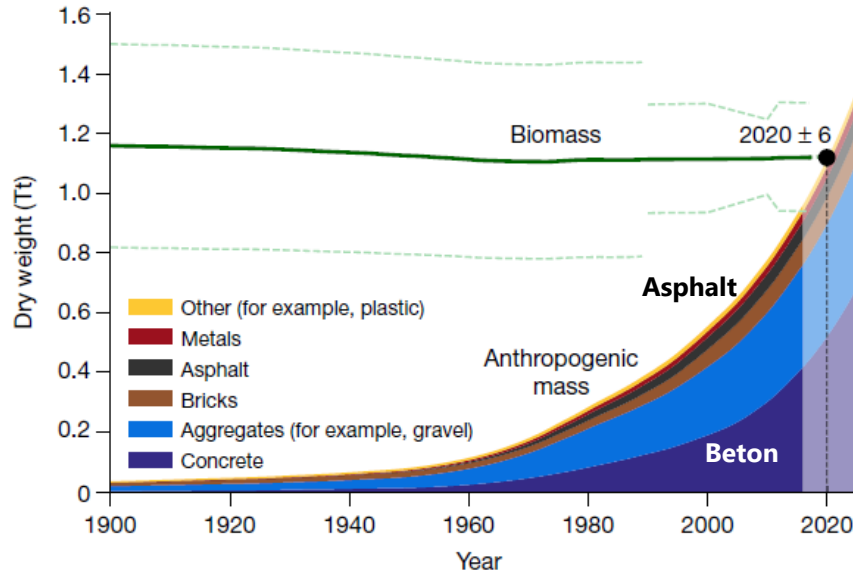


Zukunft des Baus: Zirkulär und nachhaltig?

- Bauen bedeutet Ressourcen verbrauchen – aber auch Ressourcen binden
- Wie können wir Baustoffe länger nutzen?
- Wie können wir Materialkreisläufe schliessen?
- Und vor allem: **Wo liegt der tatsächliche Nachhaltigkeitshebel?**
- Beton und Asphalt zeigen zwei sehr unterschiedliche Wege zur Kreislaufwirtschaft



Beton und Asphalt



Beton: weltweit ~30 Gt/J., ~8% der CO₂ Emissionen; **CH** ~30 Mt/J., ~5% der CO₂

Asphalt: weltweit ~5 Gt/J., ~1% der CO₂ Emissionen; **CH** ~5 Mt/J., ~1% der CO₂

Keine (nachhaltigere) Alternativen verfügbar!

Kreislaufwirtschaft: Recycling ist nicht gleich Nachhaltigkeit

- Vom linearen zum zirkulären Bauen
- Heute häufig: Rohstoffe → Produktion → Bauen → Nutzung → Rückbau → Downcycling
- Ziel: Rohstoffe → Bauen → lange Nutzung → Rückbau → **hochwertige Wiederverwendung** → **neuer Baustoff**
- Vermeiden ist besser als kompensieren
- Erhalten und verlängern ist besser als ersetzen
- Wiederverwenden ist besser als recyceln – *aber, schwierig mit Beton und unmöglich für Asphalt!*
- Hochwertiges Recycling besser als Downcycling
- Entscheidend ist nicht nur: «Wie viel wird recycelt?» sondern: «**Welche Umweltwirkung wird dadurch tatsächlich vermieden?**»

Vom Recycling zum Re-Use: Das Bauteil bleibt erhalten

(1)

Stahl: gute Voraussetzungen für Re-Use

- **Stahlträger, Stützen und Fachwerke bestehen aus standardisierten Profilen**
- Standardisierte Stahlprofile gibt es in industrieller Form bereits seit dem späten 19. / frühen 20. Jahrhundert; erste formelle Standardisierungen folgten um 1900–1903
- Ein alter IPE-, HEA- oder vergleichbarer Träger kann deshalb auch Jahrzehnte später noch geometrisch eindeutig identifiziert werden
- **Stahlbauteile können meist zerlegt, geprüft, transportiert und an anderer Stelle wieder eingesetzt werden**
- Korrosion ist häufig oberflächlich und kann durch Sichtprüfung, Dickenmessungen und weitere Prüfungen beurteilt werden – aber nicht jede Korrosion ist harmlos
- Für die Wiederverwendung existieren inzwischen spezifische Bewertungs- und Prüfverfahren, etwa CEN/TS 1090-201:2024

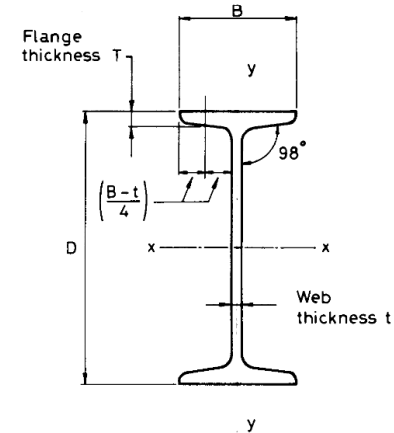


Figure 3.10 British Standard Beam.
Bates, Historical structural steelwork handbook, 1984



Vom Recycling zum Re-Use: Das Bauteil bleibt erhalten

(1)

Stahlbeton: deutlich schwieriger – aber möglich

- Ein grosser Teil des Schweizer Bestands besteht aus Ortbeton: Bauteile werden auf der Baustelle monolithisch hergestellt
- Anders als bei vorgefertigten Elementen gibt es deshalb oft keine klar definierten Bauteilgrenzen und standardisierten Verbindungspunkte
- **Ein Träger oder eine Decke muss für den Re-Use teilweise erst aus einem monolithischen Bauwerk herausgeschnitten werden**
- Dadurch entstehen neue Geometrien und neue Anforderungen an Planung und Statik
- Entscheidend sind tatsächliche Schäden, Materialeigenschaften, bisherige Beanspruchung und zukünftige Anforderungen
- **Betonqualität, Bewehrung, Überdeckung, Korrosion, Risszustand, Dauerhaftigkeit und Tragverhalten müssen untersucht werden**



Devènes et al. J. of Building Eng. 2023

 Stadt Zürich
Amt für Hochbauten

**Kreislauforientiertes Bauen
mit wiederverwendeten
Tragstrukturen aus Stahl
und Beton, Teil 1**

SIA 31-32

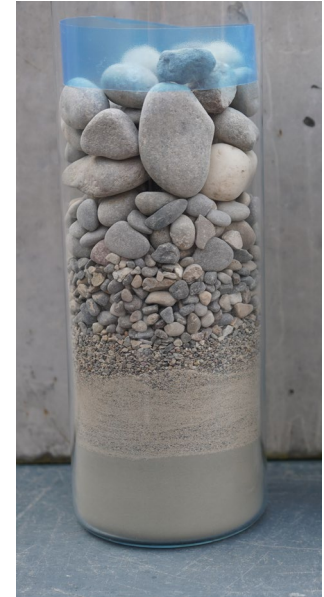
Erkenntnisse aus dem Pilotprojekt
Neubau Recyclingzentrum Juch-Areal

Fachstelle Umweltgerechtes Bauen

2025

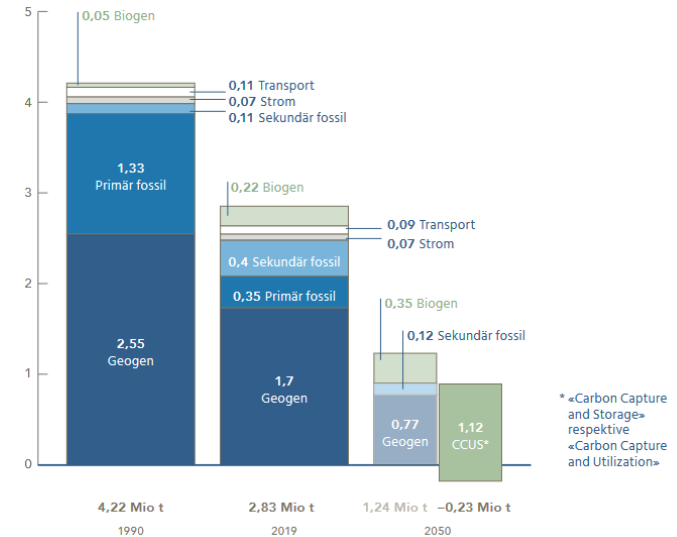
Beton: Recycling löst das CO₂-Problem nicht

- Beton besteht hauptsächlich aus: Zement, Gesteinskörnungen, Wasser, Zusatzmitteln
 - Beim Recycling von Beton wird vor allem Betongranulat zurückgewonnen (*die Stahlbewehrung wird magnetisch getrennt*)
 - Recycelter Beton in CH enthält typischerweise 30–50 % Massenprozent Betongranulat
 - In CH, 7 Mt/J Beton und Mischschutt aus Abbrucharbeiten, bis zu 85 % wird recycelt als gebrochenes Granulat
-
- Rund 90 % der CO₂-Emissionen des Betons entstehen durch den Zement bzw. die Zementherstellung
 - **Recycling der Gesteinskörnung schliesst den Materialkreislauf, hilft aber nicht bei den Emissionen!**



Zement und Beton: Emissionen

- Zementproduktion CH 2022: 4.2 Mt → **2.4 Mt CO₂**
- Prognose 2050: 2.4 Mt CO₂
- Emissionen von Zementherstellung:
 - ~30% Brennstoffe (> 1400°C) + Elektrizität
 - **~70% geogene Emissionen**
(Kalzinierung, d.h. Zersetzung von Kalkstein)
 - → "schwer vermeidbare" Emissionen



Bundesrat, Langfristige Klimastrategie der Schweiz, 2021

<https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-82140.html>
https://www.cemsuisse.ch/app/uploads/2021/04/Cemsuisse_Roadmap_210422.pdf

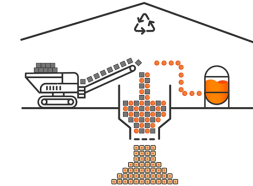
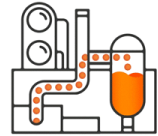
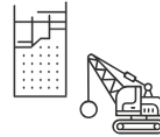
Cemsuisse Roadmap 2050, 2021

Beton: Recycling löst das CO₂-Problem nicht

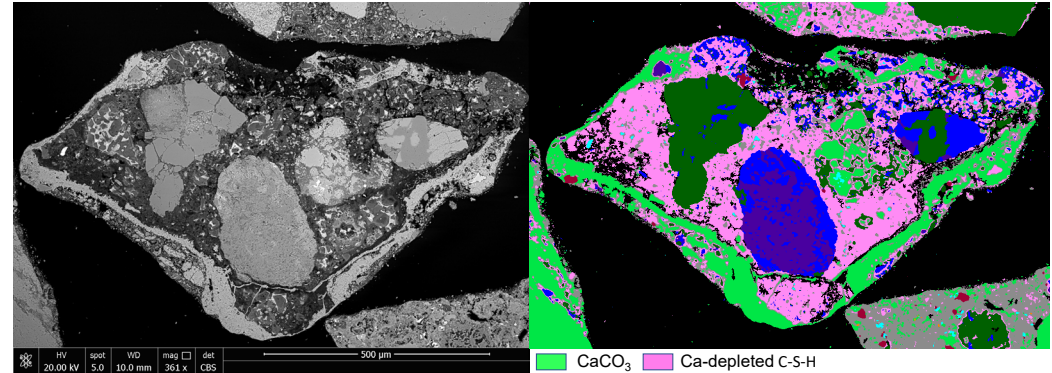
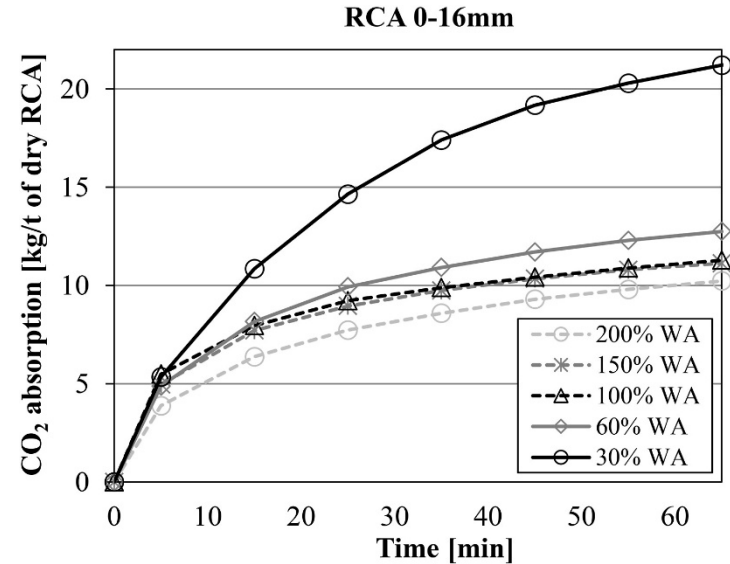
- Beim Aufbereiten von Rückbaubeton entstehen neben groben Gesteinskörnungen auch Betonfeinanteile, die meistens aus altem Zementstein bestehen
- Diese können weiter genutzt werden:
 - Als feiner Füllstoff im Zement oder direkt im Beton
 - Durch **thermische Aktivierung**: Reaktivierung der mineralischen Bestandteile und Einsatz als sekundärer zementärer Bestandteil
 - Durch **Carbonatisierung**: CO₂ wird mineralisch gebunden, gleichzeitig können reaktive Bestandteile zurückgewonnen werden
- Damit entsteht ein neuer Ansatz: Nicht nur «Beton zu Gesteinskörnung» recyceln – sondern auch die Feinanteile als Ressource für neuen Zement und Beton nutzen

Beschleunigte Karbonatisierung von Betongranulat/Feinfraktion (1)

- Rezyklierter Beton (Grob oder Feinfraktion) > 1 h konzentriertem CO_2 ausgesetzt
- Grobfraktion (Betongranulat): Zementsteir an den Gesteinskörnungen: karbonatisiert und verdichtet → Ziel: CO_2 -Senke
- Feinfraktion → Ziel: CO_2 -Senke + Aktivierung (reaktiver Zusatzstoff, Klinkerreduktion)



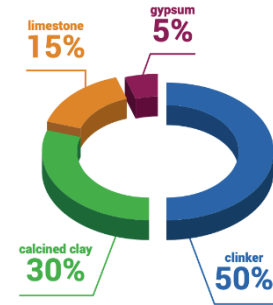
Beschleunigte Karbonatisierung von Betongranulat/Feinfraktion (2)



Leemann et al. J. of Building Eng. 2023

Beton: Der wichtigste Hebel ist der Zement

- Neue Zemente mit tiefem Klinkergehalt, z.B. LC³ Zemente. Kalkstein + kalzinierte kaolinitische Tone (**L**imestone+**C**alcined **C**lay **C**ement). CEM II/C-M (Q-LL) - in der Schweiz auch für den Tiefbau zugelassen
- **Hüttensand und Flugasche müssen importiert werden. CEM III/B nur für Tiefbau sinnvoll**
- SIA 215/1 und nationaler Anhang ND zu SN EN 206:2013+A2:2021, leistungsbezogene Entwurfsverfahren für Beton
- Wenn die Packungsdichte optimiert wird und möglichst wenig Wasser benutzt wird, kann der Zementgehalt im Beton deutlich reduziert werden - auch mit inerten Füllstoffen, z.B. Kalkstein



Asphalt: Eine ganz andere Geschichte

- **Beim Asphalt wird beim Recycling auch der Binder zurückgewonnen**
- Asphalt besteht vereinfacht aus Gesteinskörnungen und Bitumen als Bindemittel
- Beim Recycling: Alter Asphalt → Aufbereitung → Gesteinskörnung + altes Bitumen → neuer Asphalt
- Damit wird nicht nur mineralisches Material zurückgewonnen, auch der fossile Kohlenstoff im Bitumen bleibt grundsätzlich im Materialkreislauf



Asphaltrecycling

- Beim Recycling: Alter Asphalt → Aufbereitung → Gesteinskörnung + altes Bitumen → neuer Asphalt

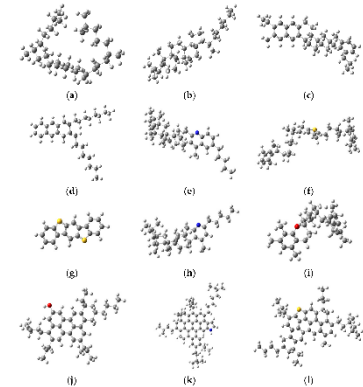


100% Recycling



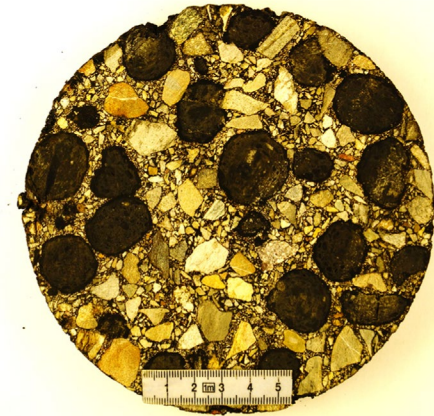
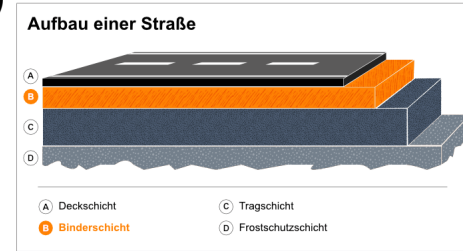
Verjüngungsmittel (Rejuvenatoren) im Asphalt

- Alterung ausgleichen → Recycling ermöglichen
 - Gealtertes Bitumen wieder verarbeitbar machen
 - **Höherer Anteil an Ausbauasphalt (RAP) ermöglichen**
 - Rissbildung & Versprödung reduzieren
- Rejuvenatoren stellen die Eigenschaften des Bindemittels wieder
 - Ergänzen verlorener Bitumenbestandteile
 - **Viskosität senken**
 - **Flexibilität & Verformbarkeit erhöhen**
- Öl- und kohlenwasserstoffbasierte Stoffe
 - Mineral-/Prozessöle
 - Pflanzenöle & Derivate
 - Synthetische / biobasierte Kohlenwasserstoffe



Weitere Strategien für Asphalt

- Recycling weiter steigern: Aufbereitung des RAP und Trennung der Gesteinskörnung vom Bitumen (mechanisch oder chemisch)
- Lebensdauer von Asphaltbeläge verlängern: Ausgewogene Material- und Schichtkonzeption, KI-gestützte Optimierung, bessere Instandhaltung
- Produktionstemperatur senken: weniger Energieverbrauch, reduzierte Emissionen in Asphaltmischanlagen und beim Einbau (~41% CO₂ vom Bitumen, **40% vom Heizen**)
- Biobasierte Bindemittel: noch weit von einer breiten Anwendung entfernt. Umweltvorteile häufig fraglich. Aktuell sinnvollste Anwendung: Als Zusatzstoffe zur Aufbereitung von Recyclingasphalt (Bitumen)
- Emissionen kompensieren: **Fester Kohlenstoff aus Pyrolyse (z.B. Pflanzenkohle)**, CCS (auch für Beton möglich)



Warum sich Zirkularität heute oft nicht lohnt

- In der Schweiz ist der Materialpreis im Verhältnis zu den Arbeitskosten relativ tief
- Das ist entscheidend für die Kreislaufwirtschaft:
- Neues Material: Rohstoff → Produktion → Baustelle
- Recycling: Rückbau → Sortierung → Aufbereitung → Transport → neues Produkt
- Re-Use: Ausbau → Prüfung → Reinigung → Lagerung → Transport → Anpassung → Einbau
- Je mehr Arbeitsschritte notwendig sind, desto schwieriger wird es, mit neuem Material preislich zu konkurrieren
- Das Paradox: **Wir wollen weniger Ressourcen verbrauchen – aber die Ressource selbst ist oft billiger als die Arbeit, sie zurückzugewinnen**

Ein alltägliches Beispiel

- Zwei kaputte Innentüren bei mir zu Hause. Die Türen waren von eher einfacher Qualität
- Ich fragte einen lokalen Schreiner, ob er sie reparieren könne
- Die Antwort: **Reparieren wäre teurer als zwei neue Türen aus Massivholz**
- Neue Tür: Material + standardisierte Produktion + wenig Arbeitsaufwand
- Reparatur: Demontage + Fehlersuche + individuelle Bearbeitung + Reparatur + Montage
- Ich habe mich trotzdem für die Reparatur entschieden
- **Ökologisch und ressourcenschonend sinnvoll – aber nicht die billigste Lösung**



Was müsste sich ändern?

- Solange die **externen Umweltkosten** der Primärproduktion kaum im Materialpreis enthalten sind, haben neue Materialien einen strukturellen Kostenvorteil

- Für eine echte Kreislaufwirtschaft brauchen wir deshalb:
 - einen **realistischen Preis für CO₂ und Ressourcenverbrauch**
 - Lebenszykluskosten statt reine Investitionskosten
 - Ausschreibungen, die Re-Use und Recycling berücksichtigen
 - weniger Lohn- und Prozessaufwand durch Standardisierung und Digitalisierung
 - effiziente regionale Materialmärkte