

Stoffstrommanagement als Beitrag zum nachhaltigen Bauen

18. Symposium „Baustoffe und Bauwerkserhaltung“ am 10.03.2022

Dr.-Ing. Rebekka Volk, Prof. Dr. Frank Schultmann



Agenda

- **Kurzvorstellung**
- Motivation / Problemstellung
- Herausforderungen des Rückbaus und der Kreislaufwirtschaft
- Mögliche Handlungsstrategien
- Ausgewählte Forschungsansätze zur Kreislaufführung von Baustoffen



Das Institut



Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insb. Produktionswirtschaft und Logistik (Prof. Dr. Frank Schultmann)



- Techno-ökonomische Analysen industrieller Wertschöpfungsketten



<http://www.iip.kit.edu>

Lehrstuhl für Energiewirtschaft (Prof. Dr. Wolf Fichtner)

- Techno-ökonomische Analysen entlang der gesamten energetischen Wertschöpfungskette

Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung



(Dr.-Ing. Simon Glöser-Chahoud)

- Analyse deutsch-französischer Fragestellungen im Umweltbereich in interdisziplinären Teams



<http://www.dfiu.kit.edu>

Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insb. Produktionswirtschaft und Logistik



Prof. Dr. Frank Schultmann

Forschungsgruppen



Projekt- und Ressourcenmanagement in der bebauten Umwelt
(Dr.-Ing. Rebekka Volk)



Risikomanagement
(Dr.-Ing. Miriam Klein)



Nachhaltige Wertschöpfungsketten
(Dr.-Ing. Simon Glöser-Chahoud)

Vorstellung der Forschungsgruppe

Projekt- und Ressourcenmanagement in der bebauten Umwelt

Team:

Dr.-Ing. Rebekka Volk (Gruppenleiterin)

M.Sc. Marco Gehring

M.Sc. Elias Naber

M.Sc. Simon Steffl

B.Sc. Manuel Ruck

M.Sc. Justus Steins

M.Sc. Christoph Stallkamp

M.Sc. Niklas Braun

M.Sc. Mihir Rambhia

M.Sc. Zoe Mayer

B.Sc. Björn Ortjohann

Forschungsschwerpunkte

- Stoff- und Energieflüsse, Ressourceneffizienz, Energieeffizienz und erneuerbare Energien
- Luftreinhalte-, Klima- und Umweltschutzstrategien
- Selektiver Rückbau und Kreislaufwirtschaft, Verwertung und Recycling von Bauabfällen
- Projektmanagement, Digitalisierung und Supply-Chain-Optimierung
- Strategien des nachhaltigen Bauens, der nachhaltigen Stadtentwicklung und des kommunalen Ressourcen-/Flächenmanagements

Informationen: <http://www.iip.kit.edu/68.php>



Forschungspartner u.a.



UNIKASSEL
VERSITÄT



Drittmittelgeber u.a.



EUROPÄISCHE UNION

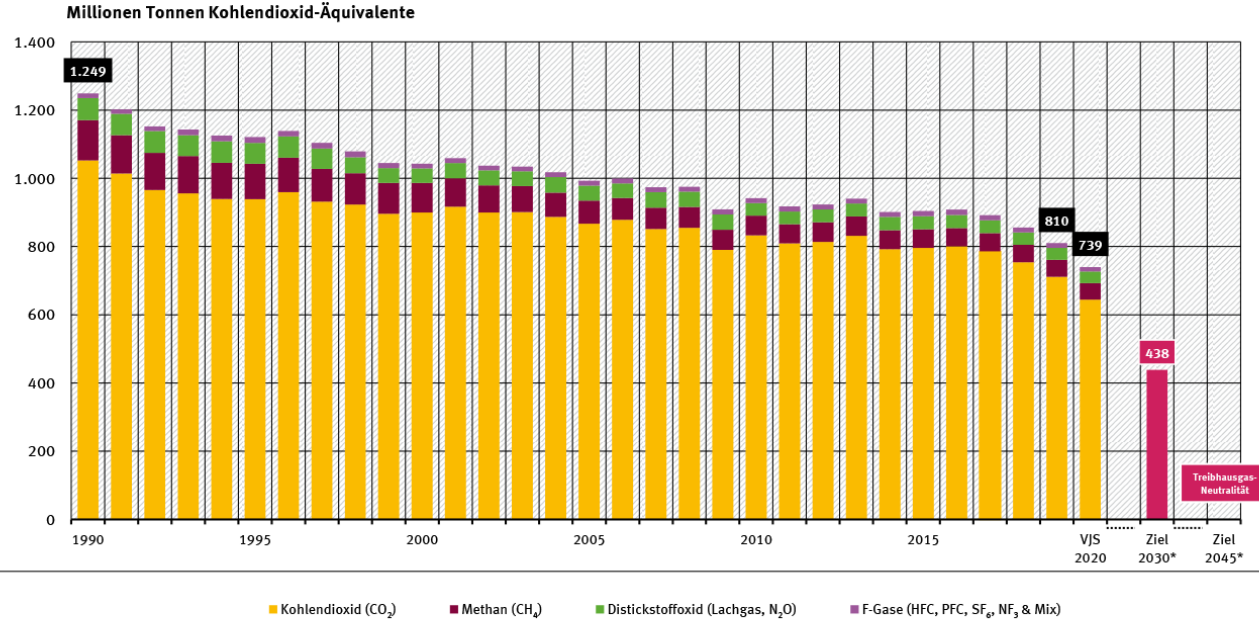


Agenda

- Kurzvorstellung
- **Motivation / Problemstellung**
- Herausforderungen des Rückbaus und der Kreislaufwirtschaft
- Mögliche Handlungsstrategien
- Ausgewählte Forschungsansätze zur Kreislaufführung von Baustoffen

Motivation – CO₂ Emissionen

Treibhausgas-Emissionen seit 1990 nach Gasen



- THG-Emissionen sinken seit Jahren, die Ziele sind trotzdem ambitioniert und werden nur mit großen Anstrengungen erreichbar sein

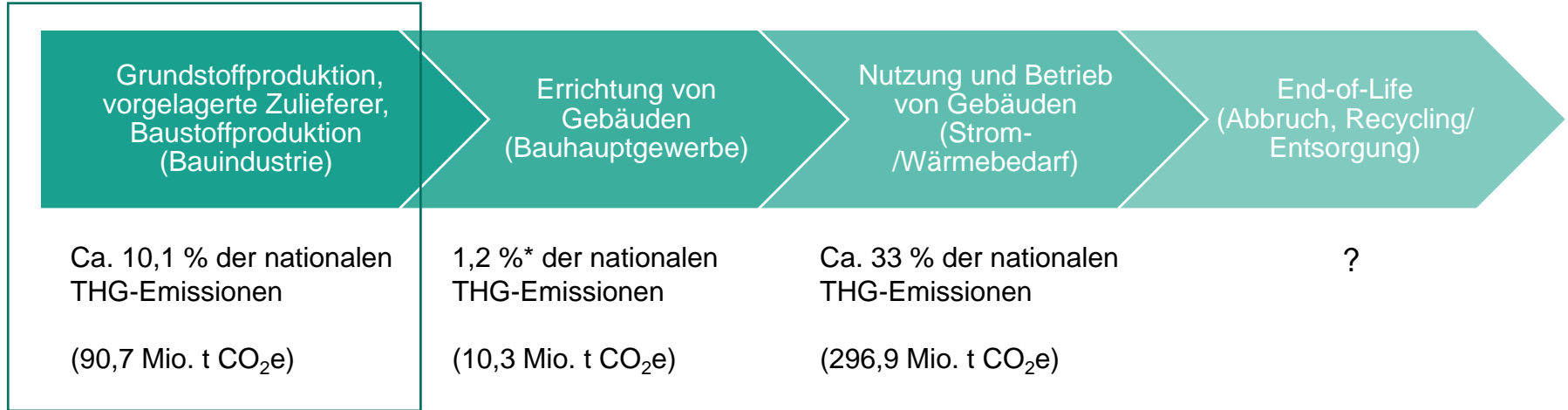
Quelle:

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#emissionsentwicklung>

Emissionen ohne Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft
 * Ziele 2030 und 2045: entsprechend der Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) vom 12.05.2021

Quelle: Umweltbundesamt, Nationale Treibhausgas-Inventare 1990 bis 2019 (Stand 12/2020) sowie Vorjahresschätzung (VJS) für das Jahr 2020 (PI 07/2021 vom 15.03.2021)

Treibhausgasemissionen des deutschen Bausektors in 2014

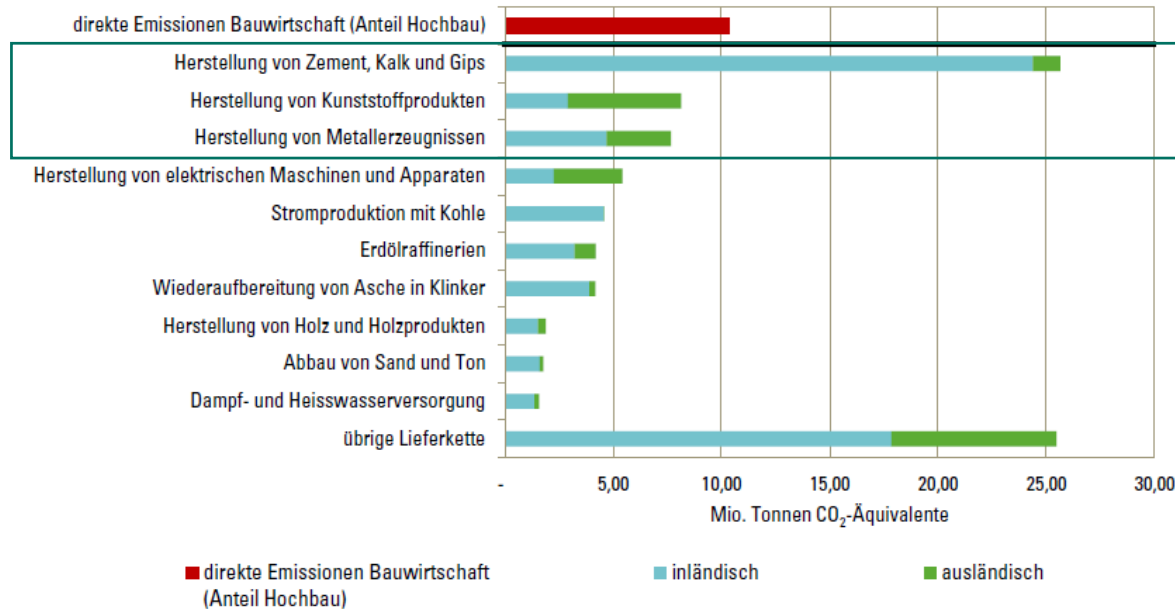


- Haupt-Treibhausgasemissionen aus der **Gebäudenutzungsphase** und der **Baustoffherstellung**
- Für die Bewertung der THG-Emissionen in End-of-Life ist die Datenlage schlecht

Quelle: Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland (2020), BBSR, https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2020/bbsr-online-17-2020-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=3, S. 2, 14

* Bauhauptgewerbe ca. 05,% der nationalen THG-Emissionen (ca. 4,3 Mio. t/a) nach <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/476879/umfrage/treibhausgasemissionen-des-deutschen-bauhauptgewerbes/>

Treibhausgas-Fußabdruck der Bauwirtschaft



- Insbesondere die Baustoffherstellung von **Zement, Kalk, Gips, Kunststoffen und Metallen** machen einen großen Anteil an THG-Emissionen aus, aber auch „**übrige Lieferkette**“.

Quelle: Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland (2020), BBSR, https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2020/bbsr-online-17-2020-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=3, S. 20

Abbildung 5: Treibhausgas-Fußabdruck der Herstellung, Errichtung und der Modernisierung von Wohn- und Nichtwohngebäuden nach direkten Zulieferern (inkl. der THG-Emissionen derer Lieferketten).

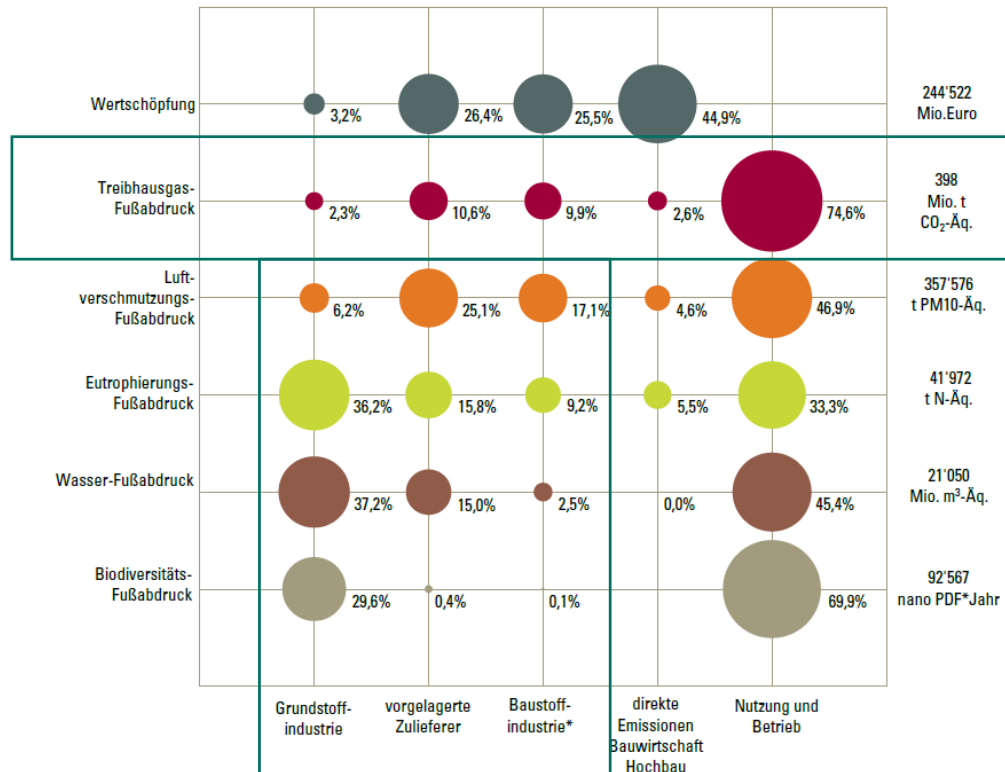
Treibhausgas-Fußabdruck ausgewählter Materialien

	CO ₂ [kg/t]
Oxygen-Rohstahl	1712
Elektro-Rohstahl	623
Formstahl	1980
Stahlrohr (nahtlos)	2255
Primär-Aluminium	11687
<i>Sekundär-Aluminium</i>	860
Primär-Kupfer	2749
<i>Sekundär-Kupfer</i>	1412
Kabel (3pol, 1,5mm ²)	2636

	CO ₂ [kg/t]
Portlandzement	893
Normalbeton (unbewehrt)*	123
Stahlbeton*	258
EPS (Dämmstoff)	3836
PU-Hartschaum	4854
Furniere**	933
Sperrholzplatten**	1180
LDPE-Granulat	1539
TDI (Vorprodukt für Polyurethan)	5782

*: frei Baustelle; **: ab Werk

Wertschöpfung und Umweltfußabdrücke des Handlungsfelds „Errichtung und Nutzung von Hochbauten“

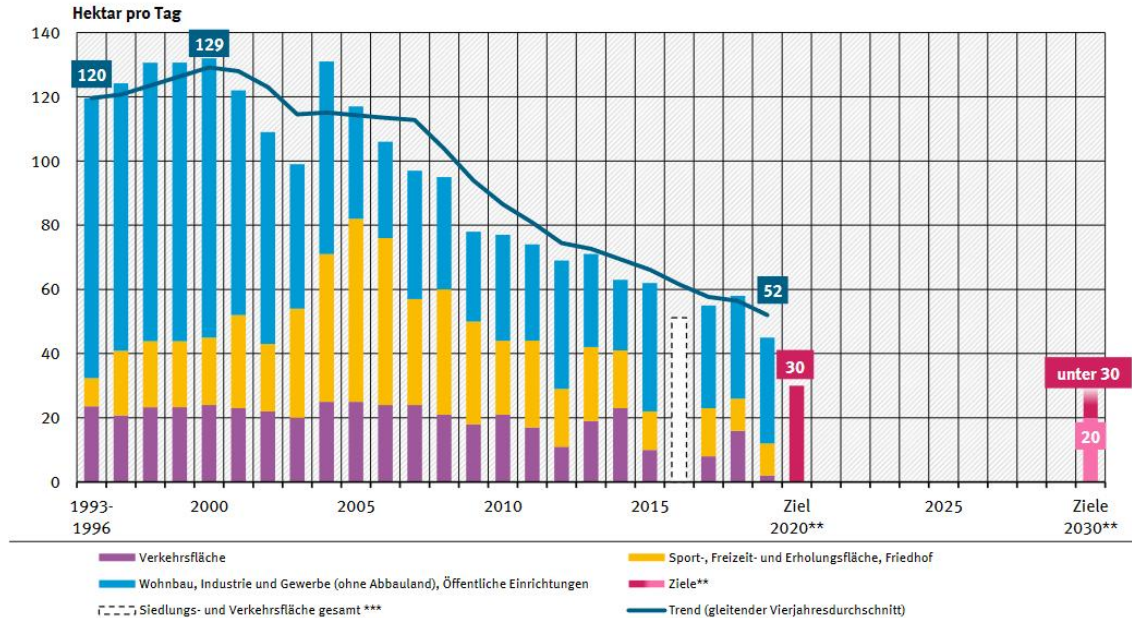


- Neben THG gibt es **weitere ökologische Indikatoren** der Baustoffherstellung, die nicht zu vernachlässigen sind, insb. wenn Nutzung und Betrieb weiterhin effizienter werden

Quelle: Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland (2020), BBSR
 Link: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2020/bbsr-online-17-2020-df.pdf?__blob=publicationFile&v=3, S. 15

Motivation – Flächennutzung/-recycling

Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche*



* Die Flächenerhebung beruht auf der Auswertung der Liegenschaftskataster der Länder. Aufgrund von Umstellungsarbeiten in den Katastern (Umschlüsselung der Nutzungsarten im Zuge der Digitalisierung) ist die Darstellung der Flächenzunahme ab 2004 verzerrt.
 ** Ziel 2020: "Klimaschutzplan 2050"; Ziele 2030: "30 minus x" Hektar pro Tag; "Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, Neuauflage 2016"; 20 Hektar pro Tag; "Integriertes Umweltprogramm 2030"
 *** Ab 2016 entfällt aufgrund der Umstellung von automatisierten Liegenschaftsbuch (ALB) auf das automatisierte Liegenschaftskataster-Informationssystem (ALKIS) die Unterscheidung zwischen "Gebäude- und Freifläche" sowie "Betriebsfläche ohne Abbauland". Dadurch ist derzeit der Zeitvergleich beeinträchtigt und die Berechnung von Veränderungen wird erschwert. Die nach der Umstellung ermittelte Siedlungs- und Verkehrsfläche enthält weitgehend dieselben Nutzungsarten wie zuvor. Weitere Informationen unter www.bmu.de/WS2220#c10929.

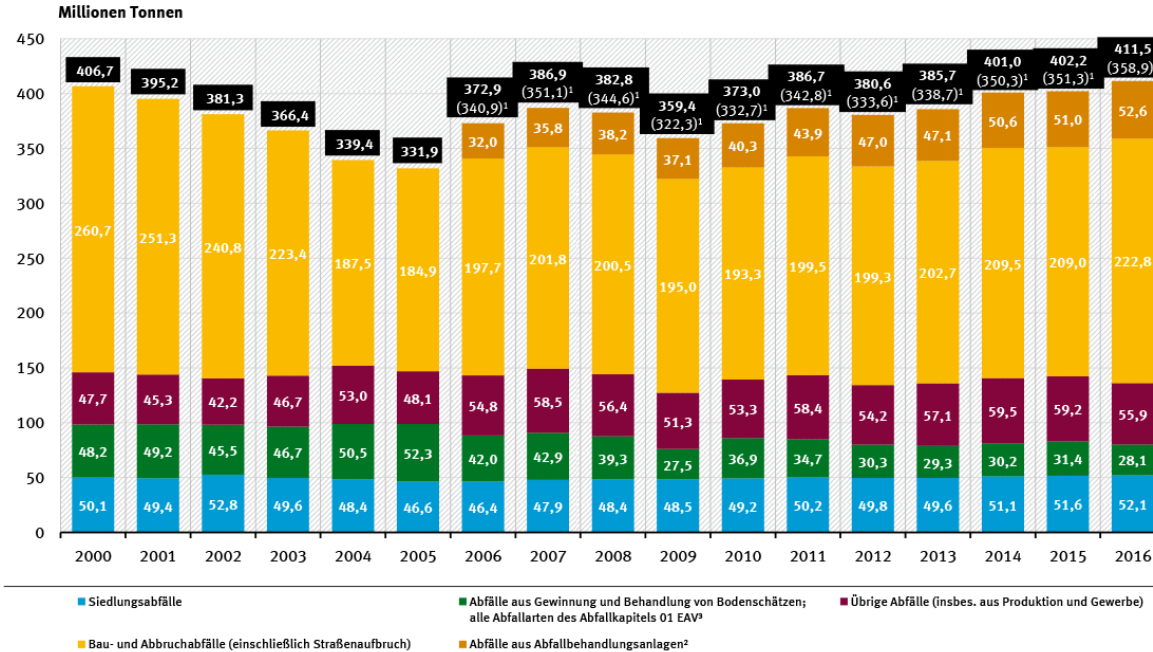
Quelle: Werte aus Statistisches Bundesamt 2021, Erläuterungen zum Indikator „Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche [ha/Tag]“ und Pressemitteilung Nr. 209 vom 30. April 2021

- Nationale Flächenversiegelungsziele beschränken ggf. die Ausweisung neuer Flächen zur Errichtung neuer Gebäude/Infrastrukturen
- Falls eine Umnutzung oder Sanierung nicht möglich ist → Rückbau und Ersatzneubau (sog. Flächenrecycling)

Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/siedlungs-verkehrsflaeche#-das-tempo-des-flachen-neuverbrauchs-geht-zurueck>

Motivation – Abfälle

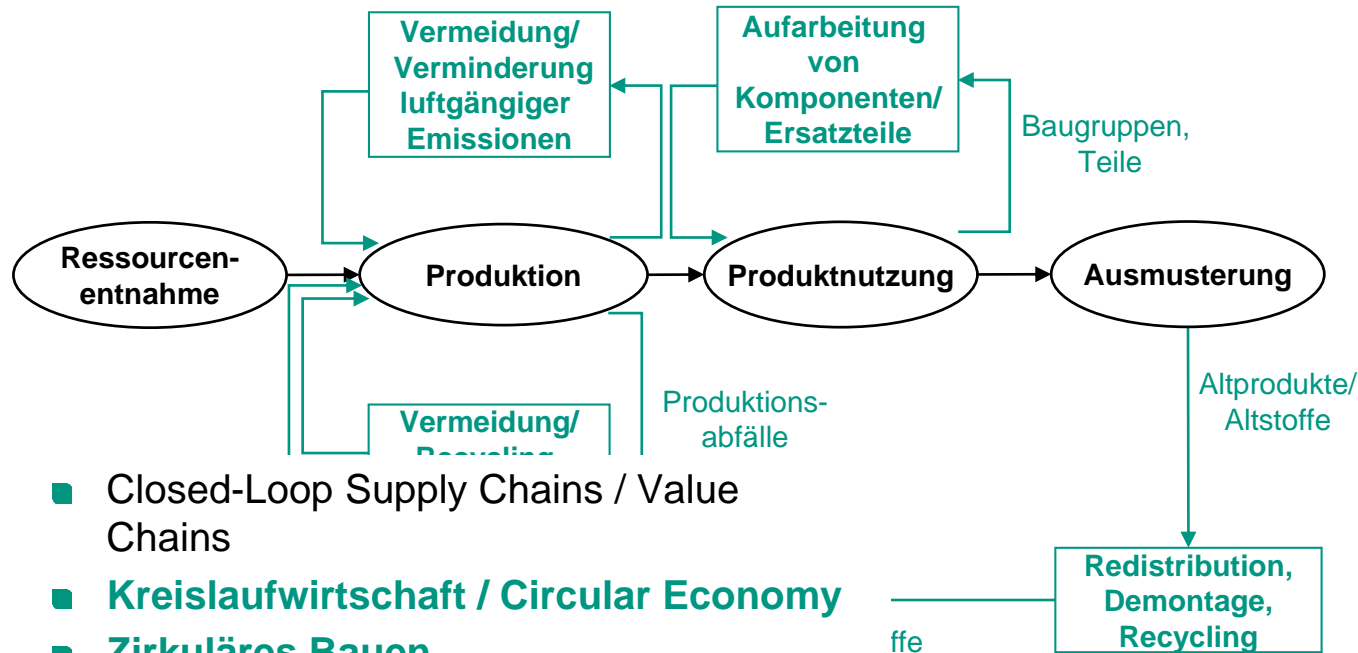
Abfallaufkommen (einschließlich gefährlicher Abfälle)



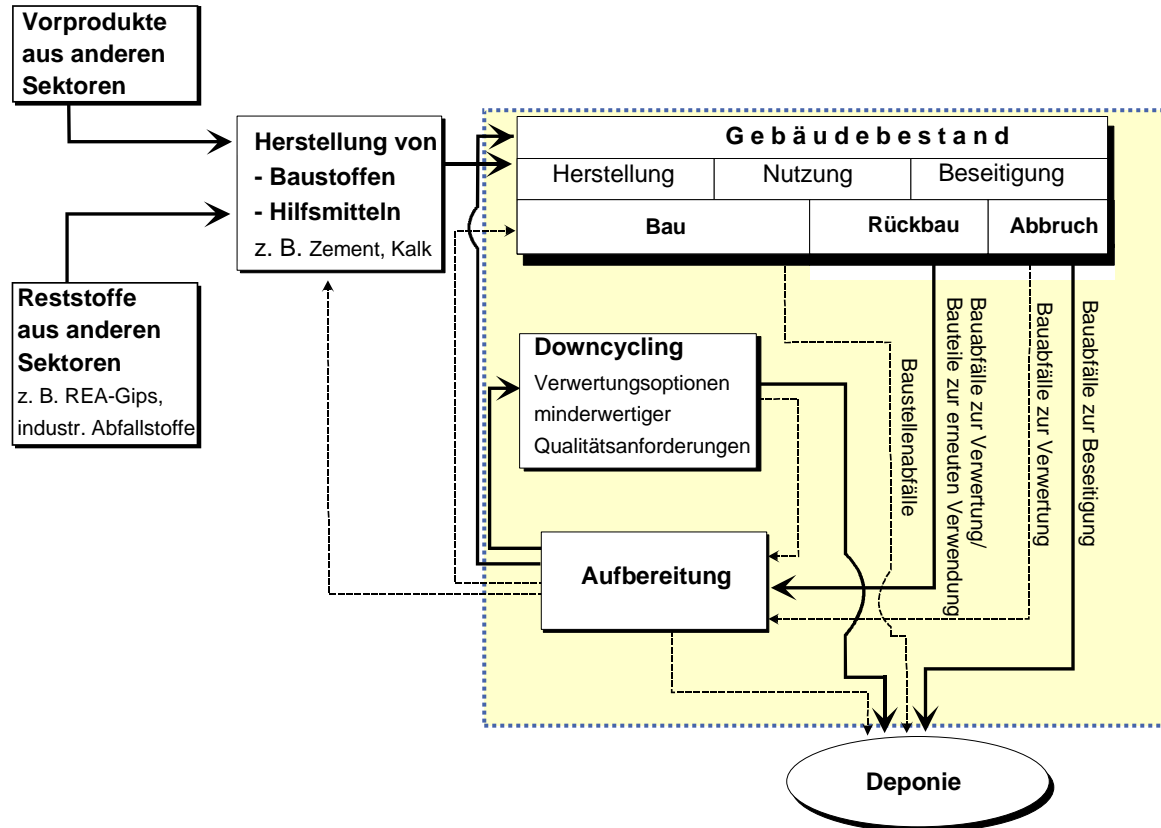
- Das Abfallaufkommen aus Bau- und Abbruchabfällen ist seit ca. 20 Jahren konstant, ebenso wie aus Gewinnung/Behandlung von Bodenschätzen und Übrige Abfälle (insb. Produktion und Gewerbe).
- Die Verwertungs- und Ablagerungsquoten sind allerdings auch.

Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/abfallaufkommen#textpart-2>

Von der Durchlaufwirtschaft zur Kreislaufwirtschaft



Stoffkreisläufe im Bausektor



Quelle: Schultmann, F.: *Stoffstrombasiertes Produktionsmanagement - Betriebswirtschaftliche Planung und Steuerung industrieller Kreislaufwirtschaftssysteme* (Habilitationsschrift), 408 S., Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2003

Bau- und Abbruchabfall?



Quelle:
www.flickr.com

Gebäude als Ressource Vom Abbruch...



Gebäude als Ressource ... zum Rückbau und Recycling von Gebäuden



Motivation - *Warum Kreislaufwirtschaft im Bausektor?*

- Reduktion der Treibhausgasemissionen (bspw. in Herstellung und Transport)
- Große Massenströme und Transportbewegungen im Bausektor
- Begrenzung der neuen Verkehrs- und Siedlungsfläche (Flächenrecycling)
- Steigende Rohstoffknappheiten und Anforderungen an Kreislaufwirtschaft (Circular Economy)
- Sinkende Deponiekapazitäten, steigende Entsorgungspreise

Agenda

- Kurzvorstellung
- Motivation / Problemstellung
- **Herausforderungen des Rückbaus und der Kreislaufwirtschaft**
- Mögliche Handlungsstrategien
- Ausgewählte Forschungsansätze zur Kreislaufführung von Baustoffen

Motivation – Bsp. Gebäude / Krankenhäuser



■ Obsolete Gebäude (Umnutzung unmöglich)

Bildquelle: Krankenhaus St. Georg, Bad Pyrmont; Wohnhaus, © Rebekka Volk



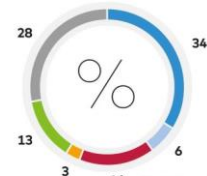
Motivation – Bsp. Windenergieanlagen



Windkraftanlagen 20 Jahre und älter

Anteil am Gesamtbestand in ausgewählten Bundesländern

- Niedersachsen
- Sachsen-Anhalt
- Brandenburg
- Schleswig-Holstein
- Nordrhein-Westfalen
- Weitere



WELT

Quelle: Deutsche Windguard

■ Obsolete Windkraftanlagen (Havarie, EEG-Förderung, End-of-Life)

Bildquelle: © Simon Steffl, <https://www.saechsische.de/windrad-wird-nun-verschrottet-3576270.html> , <https://www.welt.de/wirtschaft/article181515450/Erneuerbare-Energien-WPD-kauft-Windparks-nach-Ende-der-EEG-Foerderung.html>

Motivation – Bsp. Kerntechnische Anlagen



- Obsolete Großkraftwerke (Kernkraft, demnächst Kohlekraft)

Bildquelle: EnBW / Daniel Maurer, https://www.rheinpfalz.de/lokal/kreis-germersheim_artikel,-atomkraftwerk-philippsburg-r%C3%BCckbau-von-block-1-nun-vollst%C3%A4ndig-genehmigt-arid.5093085.html

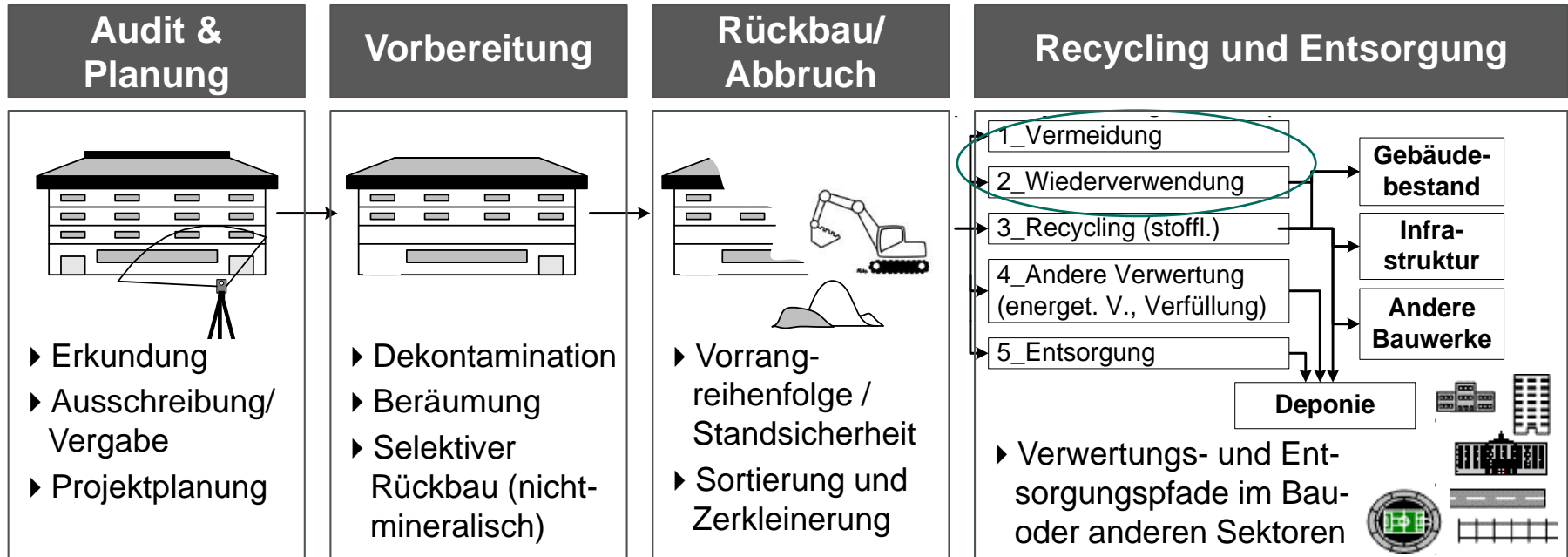
Rückbau

- Rückbau ist die teilweise oder vollständige Entfernung technischer oder konstruktiver Strukturen oder Teilen davon sowohl konventionell als auch selektiv. (Dt. Abbruchverband 2007)
- Er kann in zwei Phasen unterteilt werden:
 - der selektive Rückbau spezifischer Gebäudeelemente (inkl. Wertstoffe oder Schadstoffe) und
 - der Abbruch (inkl. Zerstörung der Tragstruktur)



Quellen: Volk (2017), Eigene Bilder, EWN Energiewerke Nord GmbH, Dt. Abbruchverband (2007)

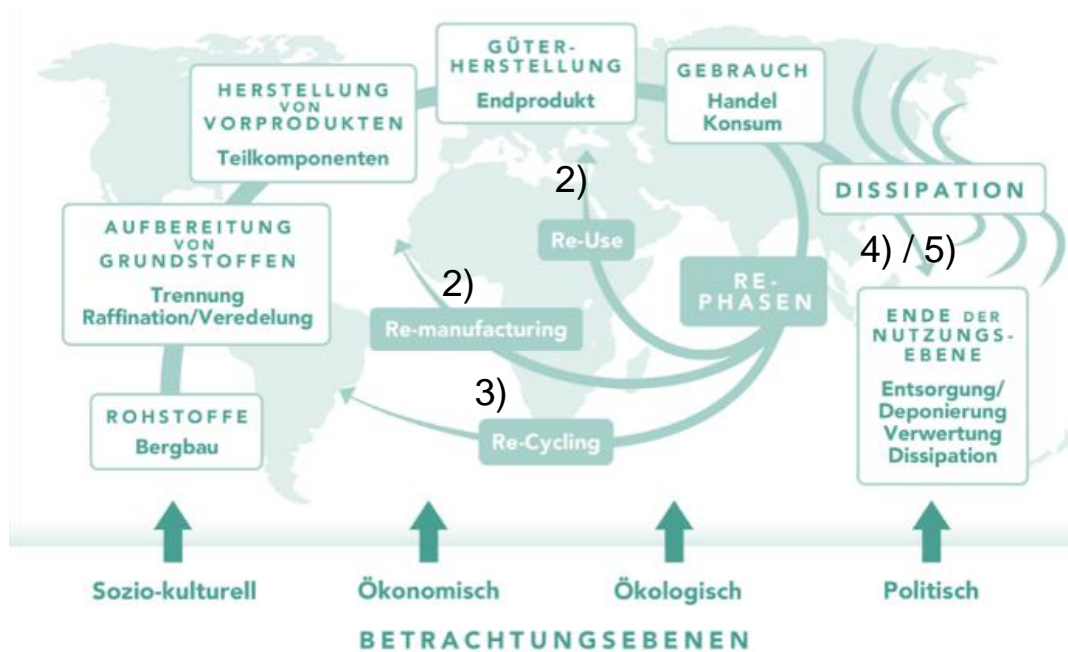
Rückbau



Unsicherheit in der Rückbauplanung von Gebäuden

Quellen: Volk (2017), Dt. Abbruchverband (2007)

Kreislaufführung - Abfallhierarchie



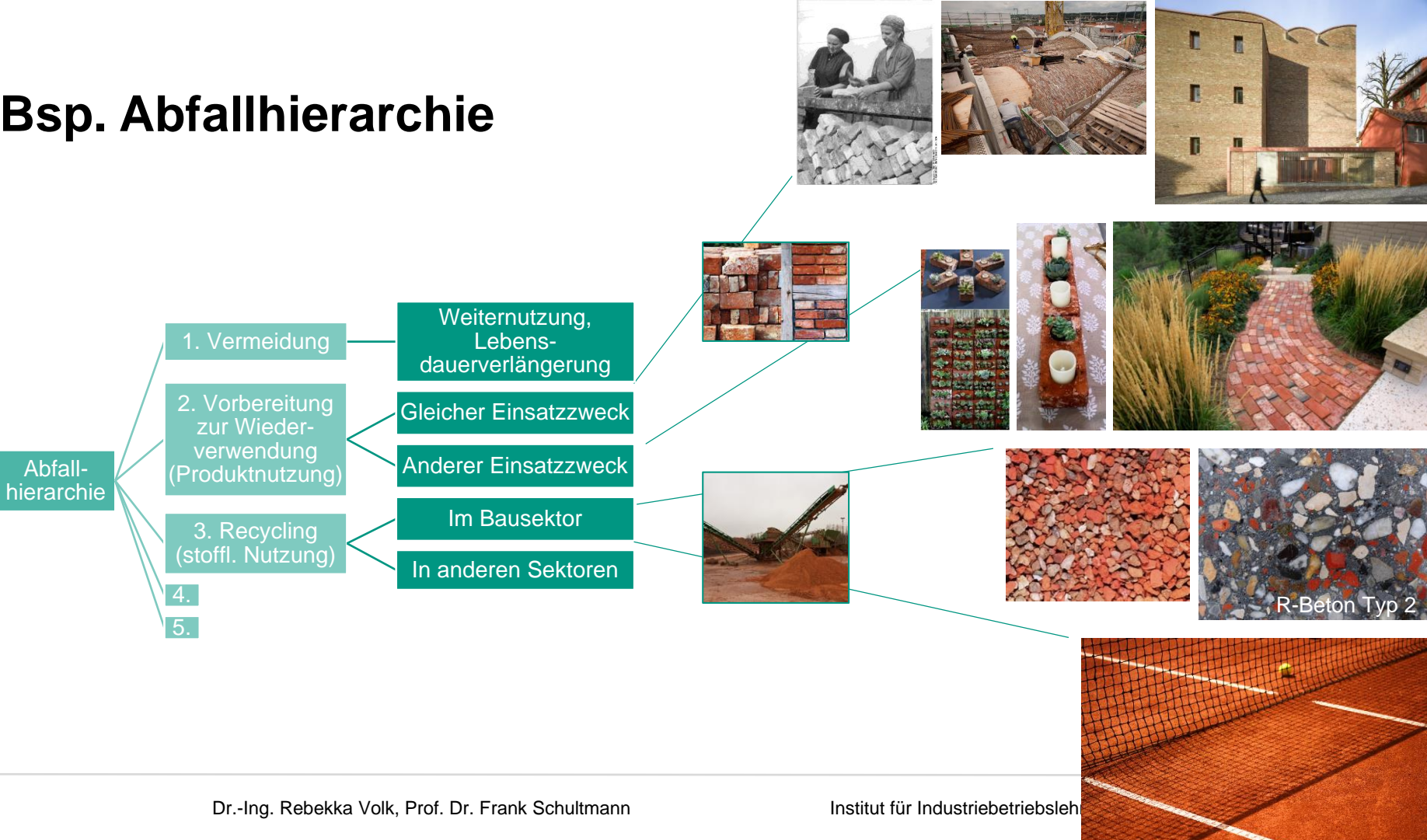
Kreislaufwirtschaftsgesetz
- § 6 Abfallhierarchie:

- 1) Vermeidung,
- 2) Vorbereitung zur Wiederverwendung,
- 3) Recycling,
- 4) sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung,
- 5) Beseitigung.

-> „Je kleiner der Zyklus [2), 3)], desto bessere ökologische Indikatoren.“

Bildquelle: http://www.forcycle.de/sites/default/files/konzept_stoffgeschichten_1200.png

Bsp. Abfallhierarchie



Herausforderungen im Rückbau und der Kreislaufwirtschaft

- **Schlechte Datenlage** vieler Gebäude/Infrastrukturen; Erfassung/Beprobung bzw. detaillierte Inventarisierung ist zeit- und kostenintensiv
- Gebäude/Infrastrukturen sind **nicht für Wiederverwendung oder Recycling ausgelegt/designed worden**
- Gebäude/Infrastrukturen **müssen meist schnell weichen**
- **Sortenreine Trennung der Materialien teils schwierig** (e.g. Verbundwerkstoffe, Verklebungen) -> schlechtere Materialqualität
- **Wiederverwendungen sind technisch möglich**, allerdings gibt es organisatorische/finanzielle Hürden (bspw. Kosten für Handling/Lagerung, Matching von Angebot und Nachfrage, wenig Nachfrage)
- **Closed-loop Recycling ist teilweise technisch möglich** (bspw. Beton, PVC), **wird aber noch weiter erforscht** (bspw. technische Kunststoffe, Porenbeton, Betonbrechsande)



Quelle: Forschungszentrum Jülich GmbH

Agenda

- Kurzvorstellung
- Motivation / Problemstellung
- Herausforderungen des Rückbaus und der Kreislaufwirtschaft
- **Mögliche Handlungsstrategien**
- Ausgewählte Forschungsansätze zur Kreislaufführung von Baustoffen

Welche Konzepte und Strategien gibt es?

Effizienz

Suffizienz

Konsistenz

Effizienz, Konsistenz, Suffizienz

- **Effizienz:** Materialien und Ressourcen sollen ergiebiger, also effizienter, genutzt werden. Für den gleichen Einsatz von Rohstoffen soll sich ein größerer Nutzen ergeben.
 - **Reduktion des Energie-/Rohstoffbedarfs,**
 - **Erhöhung des Wirkungsgrads** von Maschinen, Arbeitsschritten oder Prozessen,
 - **Verminderung von Verlusten** in Wandlung, Transport und Speicherung.

„schneller, höher, weiter“ - aber weiter wie bisher

Operationale Optimierung
(Technologien, Prozesse, Organisation)

stößt an physikalische und technische Grenzen
(Stöchiometrie, Thermodynamik, Prozessintegration)

LEAN: muda / Verschwendung reduzieren

Energieeffizienz

Materialeffizienz

Quelle: https://www.sfv.de/artikel/effizienz_konsistenz_suffizienz (Abruf: 21 Dez 2021)

- **Suffizienz:** Verringerung der Nachfrage an Gütern zur Senkung des Ressourcenverbrauchs.
 - Das „**rechte Maß**“ und den **klugen Einsatz** von Ressourcen.
 - **Wahrnehmung** von Suffizienz als **Verzicht oder asketische Lebensweise** (↔ kapitalistisches System).

Reduzierter Ressourcenverbrauch

Längere Produktlebensdauern

(mögl. geringe Zerstörung von embodied energy/emissions)

Kreislauf- oder mindestens Kaskadennutzung

Verhaltens-/Konsumänderung & Wohnfläche/Kopf (Flächeninanspruchnahme)
(Corona ändert hier bspw. Verkehr/Reisenotwendigkeit)

Dienstleistungen

Quelle: https://www.sfv.de/artikel/effizienz_konsistenz_suffizienz (Abruf: 21 Dez 2021)

- **Konsistenz oder Substitution**: Nutzung naturverträglicher Technologien, um Stoffe und Leistungen von Ökosystemen zu **nutzen**, ohne diese zu zerstören.
 - **Natur und Technik werden zusammen gedacht** (erneuerbare statt fossile Energiequellen).
 - **Materialflüsse und der Energieverbrauch** müssten **theoretisch nicht gesenkt werden** (hohes Konsumniveau mit Umweltschutz).

Ressourcenmanagement

erneuerbare Energien und erneuerbare Rohstoffe (Bioökonomie)

nicht alle Rohstoffe sind nachwachsend
(bspw. Metalle, Mineralien, fossile Kunststoffe)

Innovationen und
ihr Transfer

Geschäftsmodelle

Kreislaufführung nicht-erneuerbarer Rohstoffe
gezielter Einsatz von Recyclingmaterial

Neues Produktdesign und Materialwahl für Produkte

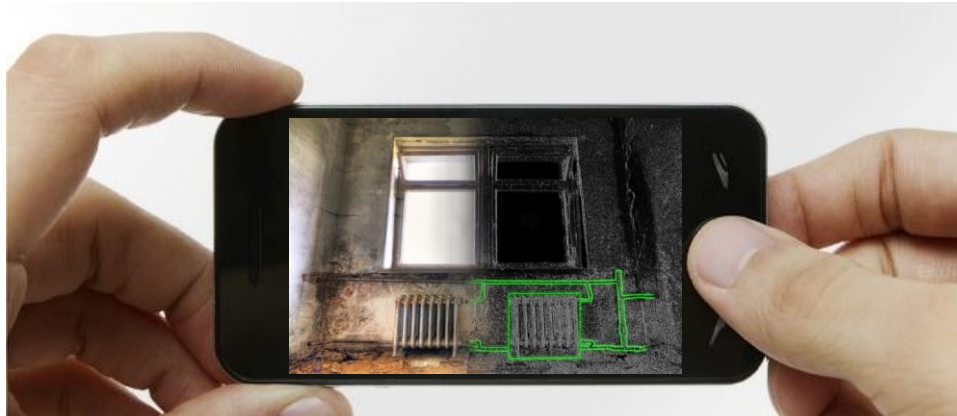
Quelle: https://www.sfv.de/artikel/effizienz_konsistenz_suffizienz (Abruf: 21 Dez 2021)

Agenda

- Kurzvorstellung
- Motivation / Problemstellung
- Herausforderungen des Rückbaus und der Kreislaufwirtschaft
- Mögliche Handlungsstrategien
- **Ausgewählte Forschungsansätze zur Kreislaufführung von Baustoffen**

Projekt ResourceApp: Urban mining in Gebäuden

Entwicklung eines mobilen Systems zur Erfassung und Erschließung von Ressourceneffizienzpotentialen beim Rückbau von Infrastruktur und Produkten



http://www.r3-innovation.de/r3/img/handy_ressourcen.jpg

Projektpartner:



Gefördert durch:



Projektdauer: 3 Jahre (April 2013 – April 2016)

Projektziele:

- Bilderkennung und Identifikation von Gebäuden und Bauteilen, 3D-Modellierung von Bestandsgebäuden, Material-Früherkennung zur effizienteren Materialtrennung
- Risikoreduzierung in der Kostenplanung, Verbesserung der Rückbausicherheit hinsichtlich Schad-/Störstoffen und Statik
- Techno-ökonomische Rückbauoptimierung

Studien zur Lieferantenauswahl in der Stahl- und Aluminium-Herstellung

Motivation:

- Sinkende THG-Emissionen der Nutzungsphase erhöhen die relative Wichtigkeit von THG-Emissionen der Baustoffherstellung.
- Lieferantenauswahl ist aktuell kosten- und qualitätsgesteuert.

Ziel/Problem:

- Integration von CO₂e als Entscheidungskriterium,
- Standortspezifische und vergleichbare Daten zu CO₂e-Emissionen der Lieferkette sind nicht vorhanden.

Studie:

- Berechnungsmodell für CO₂e-Emissionen je Standort (ohne vertrauliche Herstellerinformation); Anwendung auf 22 integrierte Stahlwerke in EU-15 bzw. 4 Aluminiumwerke in D.
- 1.879 – 2.990 kg CO₂e/t Rohstahl und 13.689 – 14,946 kgCO₂e/t Rohaluminium zwischen den Werken (aufgrund unterschiedl. Levels der Prozessintegration)

Schießl et al. (2020): Integrating site-specific environmental impact assessment in supplier selection – exemplary application to steel procurement, *Journal of Business Economics*, <https://doi.org/10.1007/s11573-020-00967-1>
Schießl et al. (2021): Site-specific environmental impact assessment as a basis for supplier selections – exemplary application to aluminum, *Journal of Cleaner Production*, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125703>

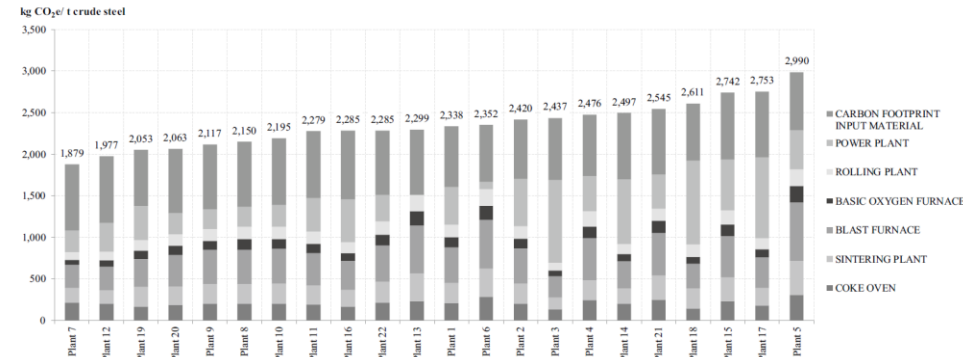


Fig. 7 Results of the 22 integrated steel mills in EU-15 after the emission adjustment



Fig. 5 Geographic location of the considered integrated iron- and steel mills in Europe

Projekt StAR-Bau: Stofffluss- und Akteursmodell als Grundlage für ein aktives Ressourcenmanagement im Bauwesen von Baden-Württemberg

- Projektlaufzeit: 3 Jahre (01.04.2015 – 01.04.2018)
- Projektpartner: IFEU GmbH, KIT-FIWI

Ziele:

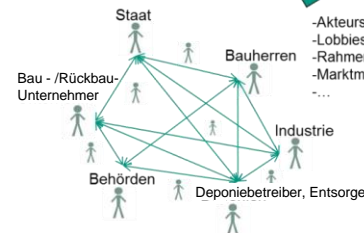
- **Minimierung der Gesamtumweltinanspruchnahme**
- **Differenzierte Prognose von Baustoffnachfrage und -angebot**
- **Bewertung der prognostizierten Stoffströme und Verwertungspfade** unter ökonomischen, ökologischen und soziokulturellen Aspekten
- **Identifizierung geeigneter ressourcenschonender Maßnahmen zur Realisierung einer nachhaltigen, regionalen Kreislaufwirtschaft im Bauwesen von BW**

Stoffstrom- & Gebäudebestandsmodell



- Baualterklassen
- Nutzungsarten
- Amtliche Statistiken
- Gebäudetypologien
- Stoffklassen
- 3D-Modelle
- ...

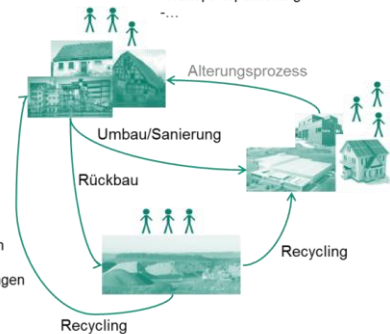
Akteursmodell



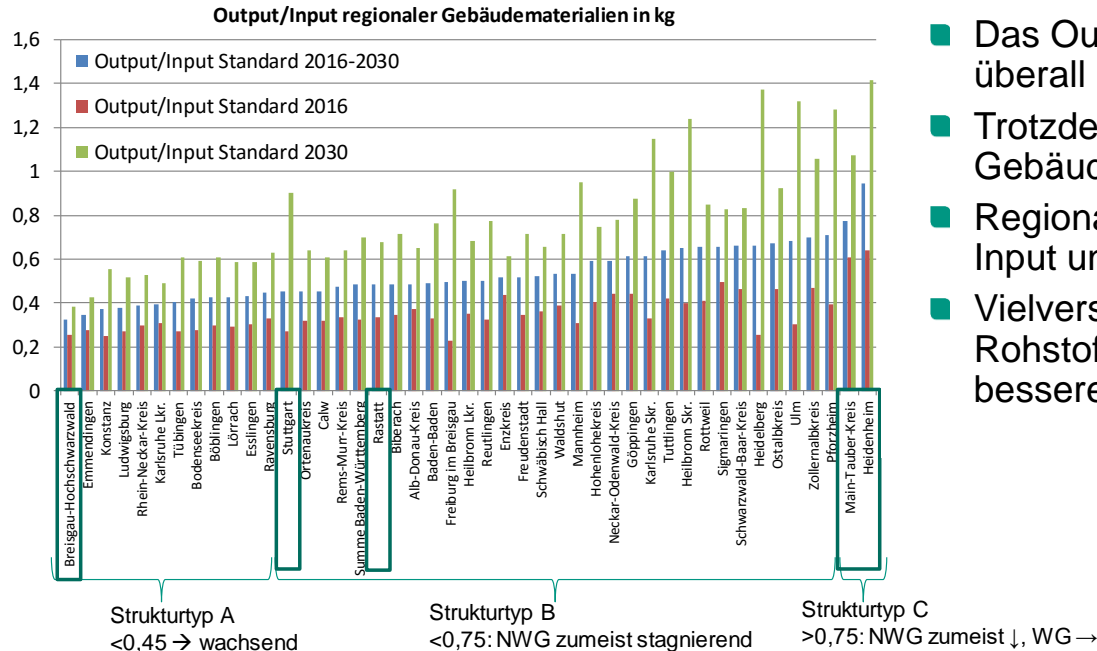
- Akteursinteressen
- Lobbies
- Rahmenbedingungen
- Marktmacht
- ...

Gesamtmodell

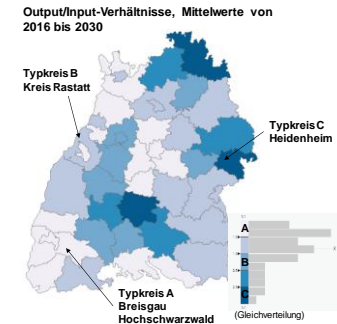
- Dynamische Modellierung
- Szenarioanalysen
- Sensitivitätsanalysen
- Stoffflussminimierung
- Transportoptimierung
- ...



StAR-Bau: Studie zum stoffl. Input und Output in Gebäude/ Infrastrukturen in Baden-Württemberg



- Das Output-Input-Verhältnis wächst mit der Zeit überall -> d.h. tendenziell mehr Output als Input.
- Trotzdem insgesamt steigendes Materiallager im Gebäude-/Infrastrukturbestand.
- Regionale Unterschiede in Bautätigkeit bzw. stoffl. Input und Output -> zu beachten bzgl. Recycling
- Vielversprechende Strategien sind höhere Rohstoffsteuern, Entsorgungsgebühren und bessere Ausbildung.



Volk et al. (2019): An Integrated Material Flows, Stakeholders and Policies Approach to Identify and Exploit Regional Resource Potentials. Ecological economics, 161, 292–320. [doi:10.1016/j.ecolecon.2019.03.020](https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.03.020)

Projekt RePosT – Recycling-Cluster Porenbetonstein

BMBF, 3 Jahre (2019-2022)

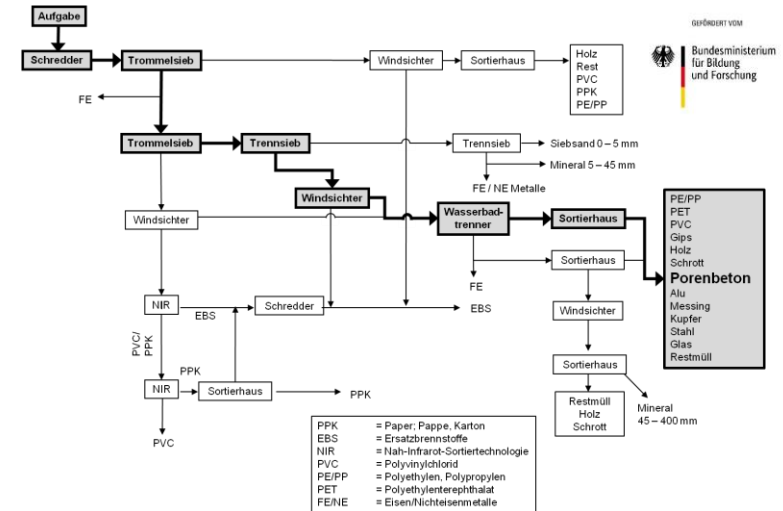
Partner: Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft mbH,
Otto Dörner, KIT/ITC, KIT/IIP

Projektdauer: 3 Jahre

Projektziele:

- Forschung und Entwicklung zweier neuer Recyclingoptionen für Porenbeton
- Techno-ökonomische Systemanalyse der energetischen/ökologischen Auswirkungen,
- Optimierung der integrierten Produktions- und Standortplanung /Logistik
- Szenarioanalyse aktueller und zukünftiger Rahmenbedingungen
- Transfer der Ergebnisse auf nationale Ebene und Ableitung von Handlungsempfehlungen

Weitere Information: https://www.iip.kit.edu/1064_4672.php



Studie zum Porenbetonaufkommen bis 2050 in Deutschland

Motivation:

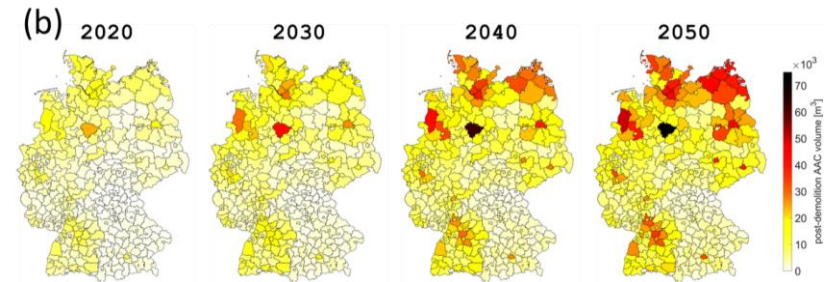
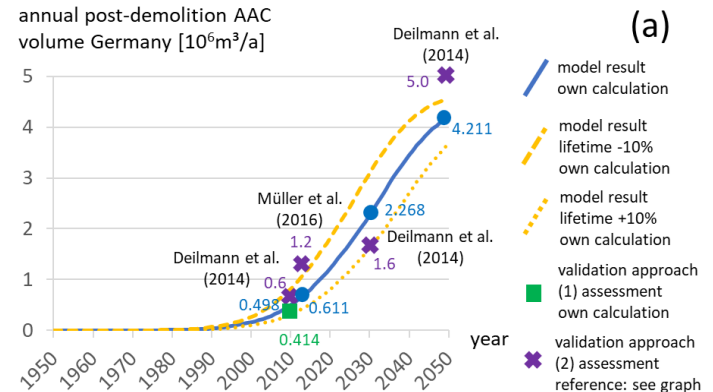
- Porenbeton aus dem Abbruch wird aktuell deponiert.
- Sinkende Deponiekapazitäten in Deutschland und steigende Deponierungskosten/-preise.

Ziel/Problem:

- Quantifizierung des Porenbetonaufkommens
- Entwicklung einer Recyclingtechnologie

Studie:

- Neues, dynamisches retrospektiv-prospektives Modell zur Berechnung des nationalen Porenbetonaufkommens (post-demolition), bis 2050 in Deutschland.
- Validierung anhand von Literaturdaten
- Ergebnisse liefern Entscheidungsunterstützung für das Management von Porenbeton (Kreislauf) und der Auslegung von Wertschöpfungsnetzwerken, Standortplanung, Logistik, Produktion- und Recyclingprozessen.



Steins, J.J.; Volk, R.; Schultmann, F. (2021): Modelling and predicting the generation of post-demolition autoclaved aerated concrete (AAC) volumes in Germany until 2050. *Resources, Conservation and Recycling*, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105504>

Fazit

- **Baustoffproduktion und -recycling wird relativ immer wichtiger**, je geringer die THG-Emissionen bzw. ökol. Auswirkungen der Nutzung/Betrieb
- **Zement/Beton ist wichtig, aber nicht das einzige Material**, das betrachtet werden sollte
- **Netto-Materialzuwachs** in Gebäuden und Infrastrukturen (in BaWü) und **leicht steigende Pro-Kopf-Wohnfläche** (in Deutschland)
- **Viele Herausforderungen im Rückbau und Kreislaufwirtschaft im Hochbau**, e.g. Sortenreinheit/Materialqualität, Matching von Angebot und (theor.) Nachfrage, closed-loop Recycling
- THG, Energie und Stoffe sollten **gemeinsam betrachtet** werden, um **Zielkonflikte** und **Problemverlagerungen** zu vermeiden
→ **Aufwändige Systembetrachtung** je Stoff/Produkt, Rahmenbedingungen, eingesetzten Technologien, erwarteter Lebensdauer und zukünftiger Verwertung erforderlich.
- **Intransparenz in Wertschöpfungsnetzwerken, Datenverfügbarkeit**
- **Effizienzmaßnahmen und Recycling haben technische Grenzen**, daher
→ Konsistenz-/Suffizienz-Strategien (e.g. Produktdesign, Verhaltens-/Konsumänderung, Lebensdauererlängerung, neue Verfahren/Materialien).

Quellen

Deutscher Abbruchverband e.V. (Hrsg.) (2007): Abbrucharbeiten. Grundlagen, Vorbereitung, Durchführung ; mit 114 Tabellen. Unter Mitarbeit von Jürgen Lippok und Dietrich Korth. 2., aktualisierte und erw. Aufl. Köln: R. Müller.

Haas et al. (2020): Spaceship earth's odyssey to a circular economy - a century long perspective, *Resources Conservation and Recycling* 163:105076, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105076>

Hübner, F. (2019): Planung und Modellierung des Rückbaus kerntechnischer Anlagen unter der Berücksichtigung von Unsicherheiten - Ein Beispiel zur Planung von Großprojekten. Dissertation, 2019. KIT Scientific Publishing. <https://doi.org/10.5445/KSP/1000091848>

Hübner, F.; Gerhards, P.; Stürck, C.; Volk, R. (2021): Solving the nuclear dismantling project scheduling problem by combining mixed-integer and constraint programming techniques and metaheuristics. In: *Journal of Scheduling*. <https://doi.org/10.1007/s10951-021-00682-x>.

Schießl et al. (2020): Integrating site-specific environmental impact assessment in supplier selection – exemplary application to steel procurement, *Journal of Business Economics*, <https://doi.org/10.1007/s11573-020-00967-1>

Schießl et al. (2021): Site-specific environmental impact assessment as a basis for supplier selections – exemplary application to aluminum, *Journal of Cleaner Production*, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125703>

Steins, J.J.; Volk, R.; Schultmann, F. (2021): Modelling and predicting the generation of post-demolition autoclaved aerated concrete (AAC) volumes in Germany until 2050.

Resources, Conservation and Recycling, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105504>

Volk, R. (2017): Proactive-reactive, robust scheduling and capacity planning of deconstruction projects under uncertainty. Dissertation, 2017. KIT Scientific Publishing. <https://doi.org/10.5445/KSP/1000060265>

Volk, R. et al. (2019): An Integrated Material Flows, Stakeholders and Policies Approach to Identify and Exploit Regional Resource Potentials. *Ecological economics*, 161, 292–320. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.03.020>

Volk, R.; Steins, J.J.; Stapf, D.; Yogish, S.P.; Müller, R.C.; Schultmann, F. (2021): Techno-economic Assessment and Comparison of Different Plastic Recycling Pathways – a German Case Study, *Journal of Industrial Ecology*, <https://doi.org/10.1111/jiec.13145>

Vielen Dank!

Dr.-Ing. Rebekka Volk
Prof. Dr. Frank Schultmann

Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion
Forschungsgruppe
“Projekt- und Ressourcenmanagement in der bebauten Umwelt”
Karlsruher Institut für Technologie,
Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP)
+49 (0) 721 608 – 44699,
Mail: rebekka.volk@kit.edu; frank.schultmann@kit.edu
Web: www.iip.kit.edu



Projektmanagement (unter Unsicherheit) / Optimierung

Kreislaufwirtschaft / Circular Economy, Rückbau

Techno-ökonomische und ökol. Analysen (neuer
Produkte, Verfahren und Prozesse)

System- und Marktanalysen

Standort-/Logistikplanung, Entscheidungsunterstützung

Ressourcenmanagement