



Center for
Environmental
Systems Research

U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T

Die Stadt der Zukunft aus der Sicht eines Umweltforschers

Keynote Vortrag

beim DHV-Symposium 2022

Nachhaltiger, digitaler und lebenswerter?

Die Zukunft der Stadt im Spiegel der Wissenschaft

Wissenschaftszentrum Bonn

17. Nov. 2022

Prof. Dr. Stefan Bringezu

Center for Environmental
Systems Research

Kassel Institute for Sustainability

Universität Kassel

Übersicht

- Die Stadt als Organismus
- Nachhaltigkeitsziele
- Ressourceneffizienz und Recycling
- Bioökonomie und Bionikomie
- Solarisierung und Funktionsintegration
- Bestandsgleichgewicht
- Monitoring- und Planungsinstrumente

A futuristic cityscape with flying vehicles and vertical launchers. The scene is set in a dense urban environment with various skyscrapers and domes. Several vertical launchers are positioned throughout the city, some with glowing blue tips. A large, multi-segmented flying vehicle is in the upper center, emitting a red laser beam. Another similar vehicle is in the lower right, also emitting red laser beams. The sky is filled with clouds and a large, dark, spherical object is visible in the upper left. The overall atmosphere is one of advanced technology and urban mobility.

Die Stadt der Zukunft mit Mobilität in der dritten Dimension?

Sicher nicht mit solchen
Materialmonstern

Bild von Peace, love, happiness auf Pixabay

A nighttime photograph of the Frankfurt skyline, featuring the Commerzbank Tower and other skyscrapers. The image is overlaid with a blue, glowing circuit board pattern, symbolizing digital connectivity. Two white text boxes are superimposed on the image.

Die Stadt der Zukunft voll digital vernetzt?

Wahrscheinlich, aber für welche Funktionen?!

Schlaustadt von Tumiso auf Pixabay

Die Stadt der Zukunft unter eine Glocke?

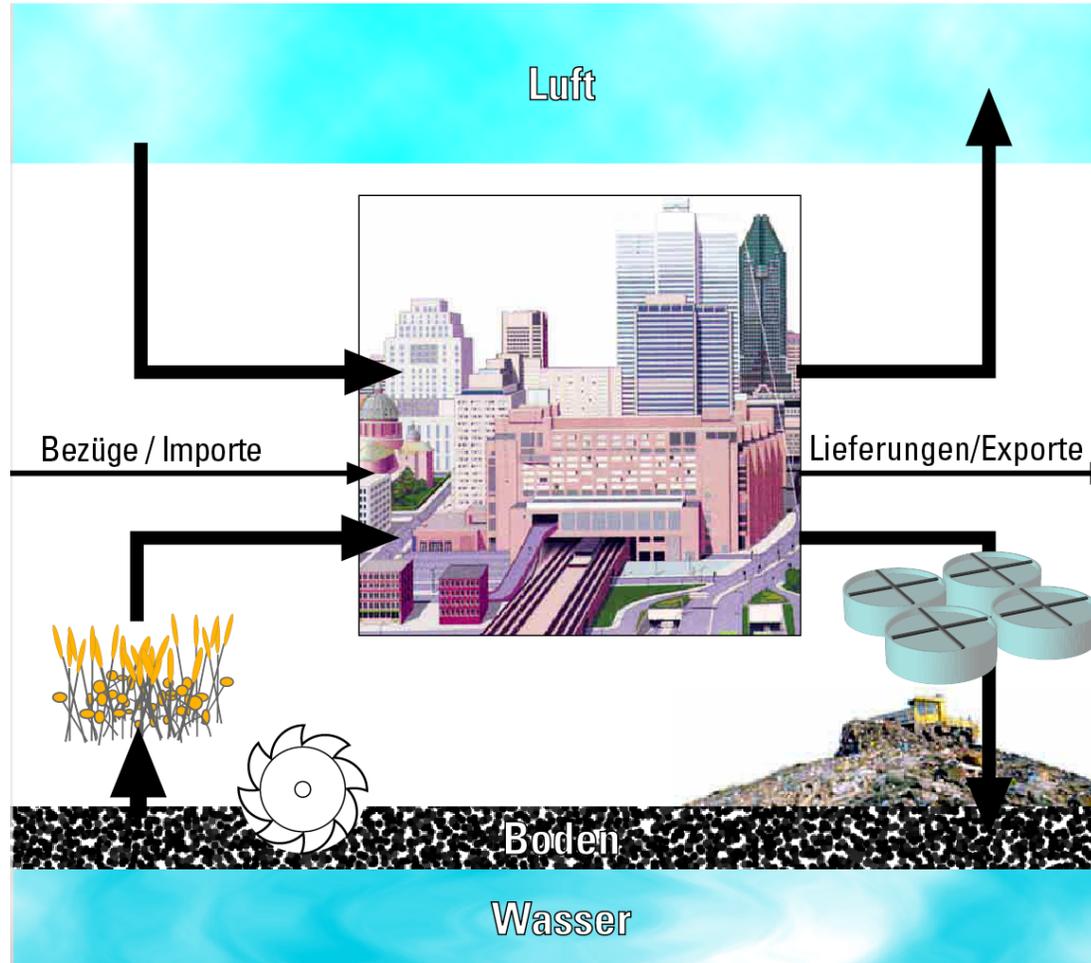
Sie könnte nicht lange überleben



Bild von Gert Altmann auf Pixabay

- Die Stadt als Organismus
- Nachhaltigkeitsziele
- Ressourceneffizienz und Recycling
- Bioökonomie und Bionikomie
- Solarisierung und Funktionsintegration
- Bestandsgleichgewicht
- Monitoring- und Planungsinstrumente

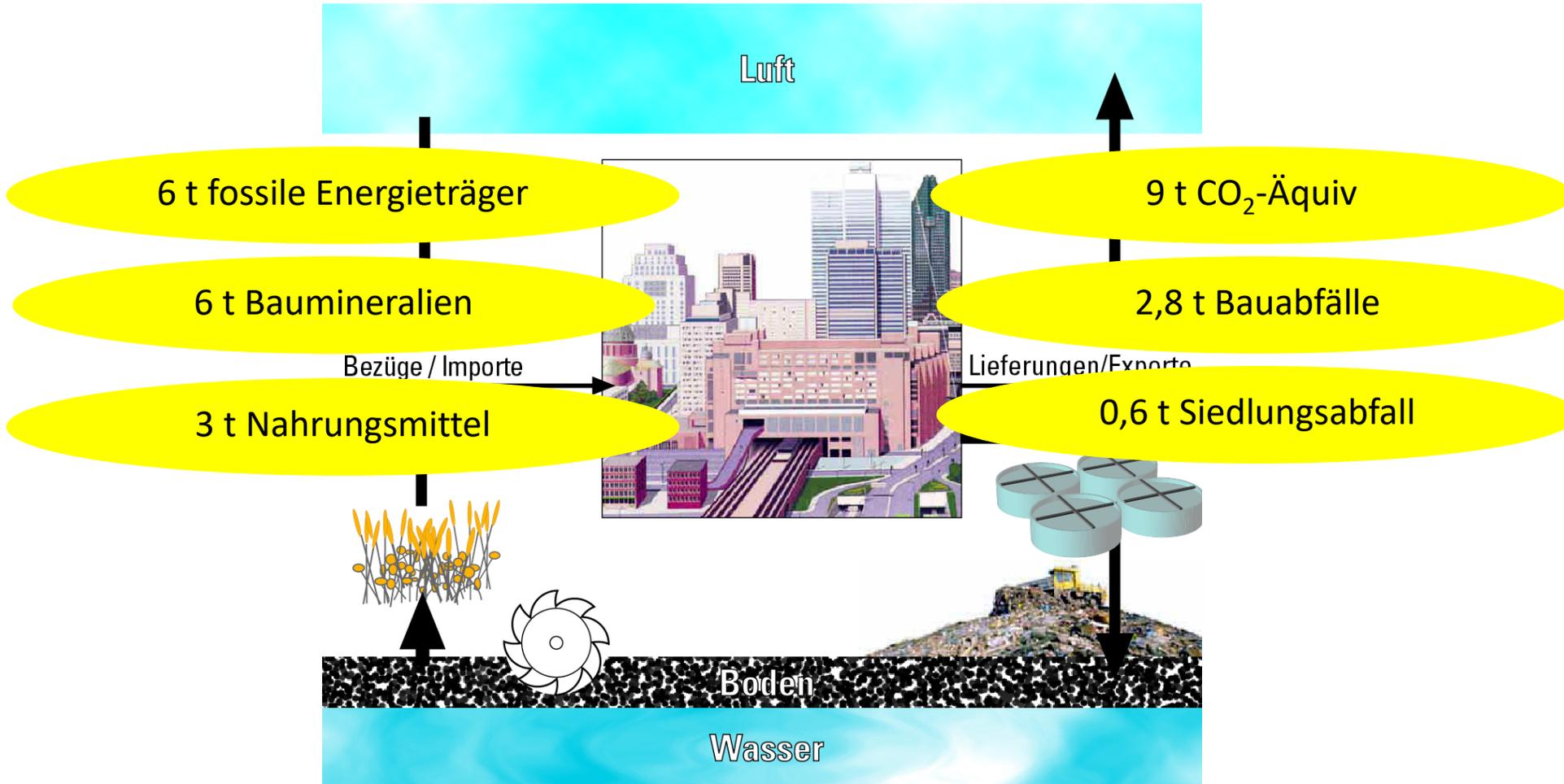
Die Stadt ist ein Organismus



- angewiesen auf Versorgung von außen
- und auf Entsorgung nach draußen

Die Stadt im Fluss

Pro Person und Jahr – Durchschnitt für Deutschland

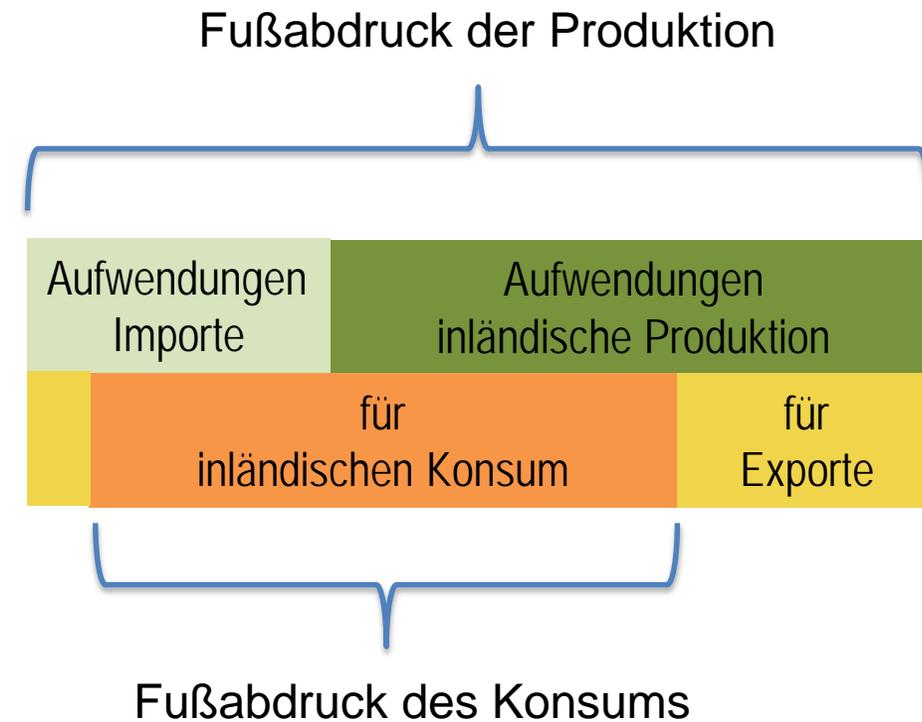


- aus Inland oder Importen
- ins Inland und die Welt

Inputwerte bez. auf DMI 2015, Outputwerte 2020; UBA, DESTATIS

Die ökologischen Fußabdrücke

Ressourcen- und Klimafußabdrücke



Die globalen Fußabdrücke der deutschen Wirtschaft

Ressourcen- und Klimafußabdrücke



Materialfußabdruck

Agrarfußabdruck

Forstfußabdruck

Wasserfußabdruck

THG-Fußabdruck

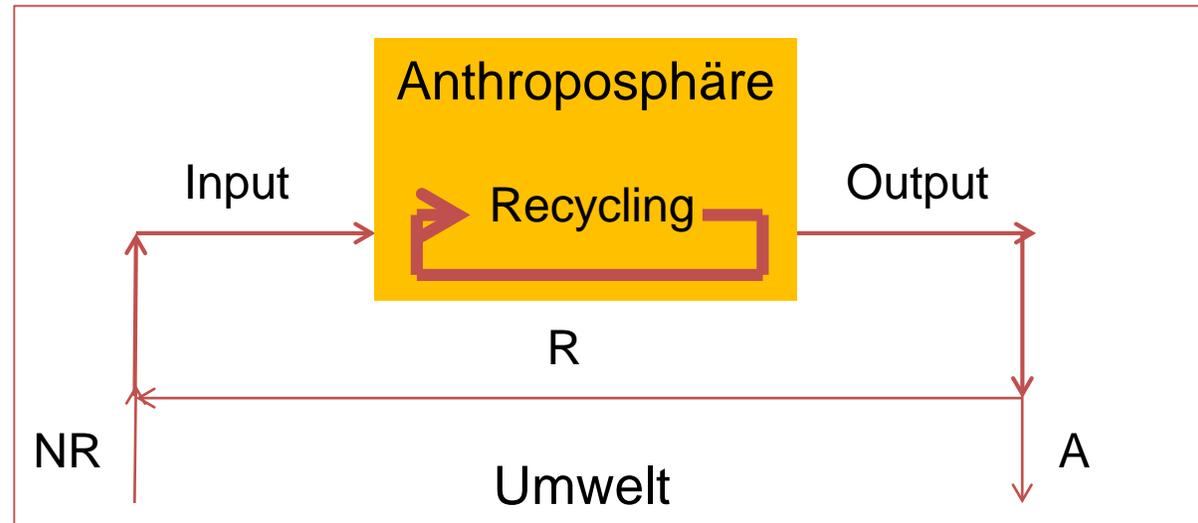


Die globalen Fußabdrücke nicht nur des urbanen Lebens durch den Konsum aller Produkte in Deutschland

- Klimafußabdruck: **12 t/Person**
- Rohstoffverbrauch: **19,5 t/Person**
- Ackerland: **3.000 m²/Person**
- Wasserverbrauch: **50%**
in Wasserstressregionen
(Bewässerung f. Importe)

- Die Stadt als Organismus
- **Nachhaltigkeitsziele**
- Ressourceneffizienz und Recycling
- Bioökonomie und Bionikomie
- Solarisierung und Funktionsintegration
- Bestandsgleichgewicht
- Monitoring- und Planungsinstrumente

Bedingungen für einen zukunftsfähigen sozio-industriellen Stoffwechsel



- Stoffversorgung beruht zum Großteil auf *innerhalb* der Anthroposphäre regenerierten Stoffflüssen (Recycling)
- Energieversorgung erfolgt über regenerative Quellen (Solar, Wind, etc.)
- Stofflicher Input und Output bleiben innerhalb eines "sicheren", risikoarmen Bereichs ("Safe Operating Space")
- Die Anthroposphäre wächst nur soweit, dass wesentliche Ökosystemdienstleistungen nicht verloren gehen; Netto-Bestandszuwachs = 0

Managementziele für einen zukunftsfähigen sozio-industriellen Stoffwechsel bezogen auf den jährlichen Verbrauch von Produkten

- Klimafußabdruck: 12 t/Person
- Rohstoffverbrauch: 19,5 t/Person
- Ackerland: 3.000 m²/Person
- Wasserverbrauch: 50%
in Wasserstressregionen
(Bewässerung f. Importe)

Nachhaltig wären

→ 0 CO₂äqu (klimaneutral)

→ 5 t/Person

→ 2.000 m²/Person

→ 0 %

- Die Stadt als Organismus
- Nachhaltigkeitsziele
- **Ressourceneffizienz und Recycling**
- Bioökonomie und Bionikomie
- Solarisierung und Funktionsintegration
- Bestandsgleichgewicht
- Monitoring- und Planungsinstrumente

Ressourcen- und Klimabelastung durch den Baubereich

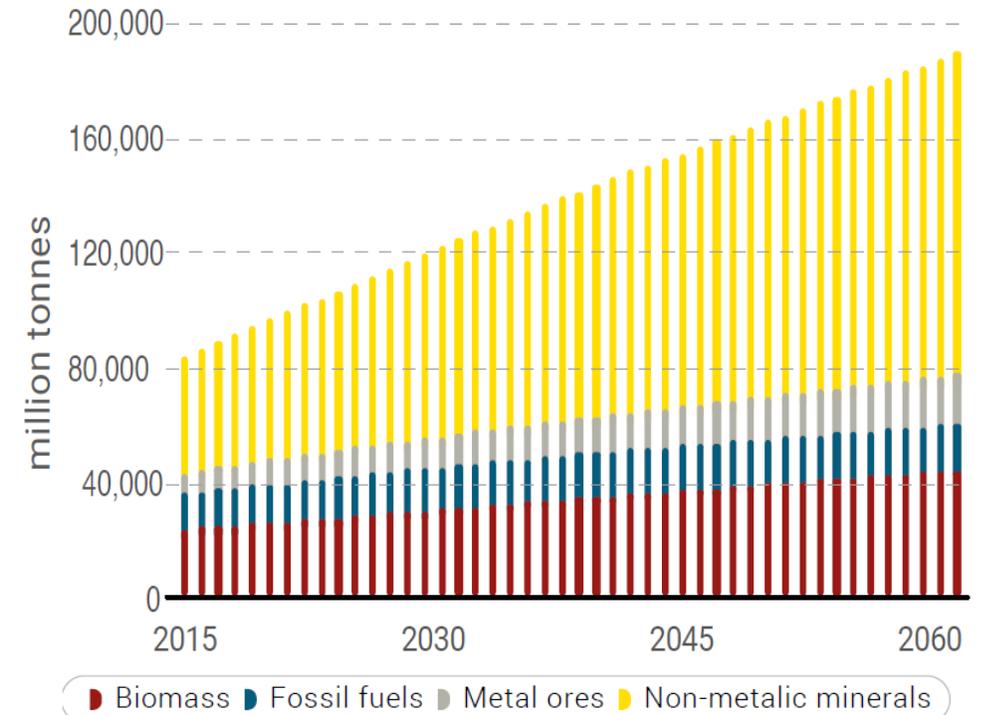
Weltweit

40 Mrd t/a nicht-metallische Mineralien (Sand, Kies, Ton etc.) aus geogenen Lagerstätten

BusinessAsUsual → **110 Mrd t/a** bis 2060

Zement: 0,56 t CO₂äq/t → **7%** weltweit (2019)

Stahl: 1,85 t CO₂äq/t → **8%** weltweit (2018)



IRP (2019): GRO2019 Report

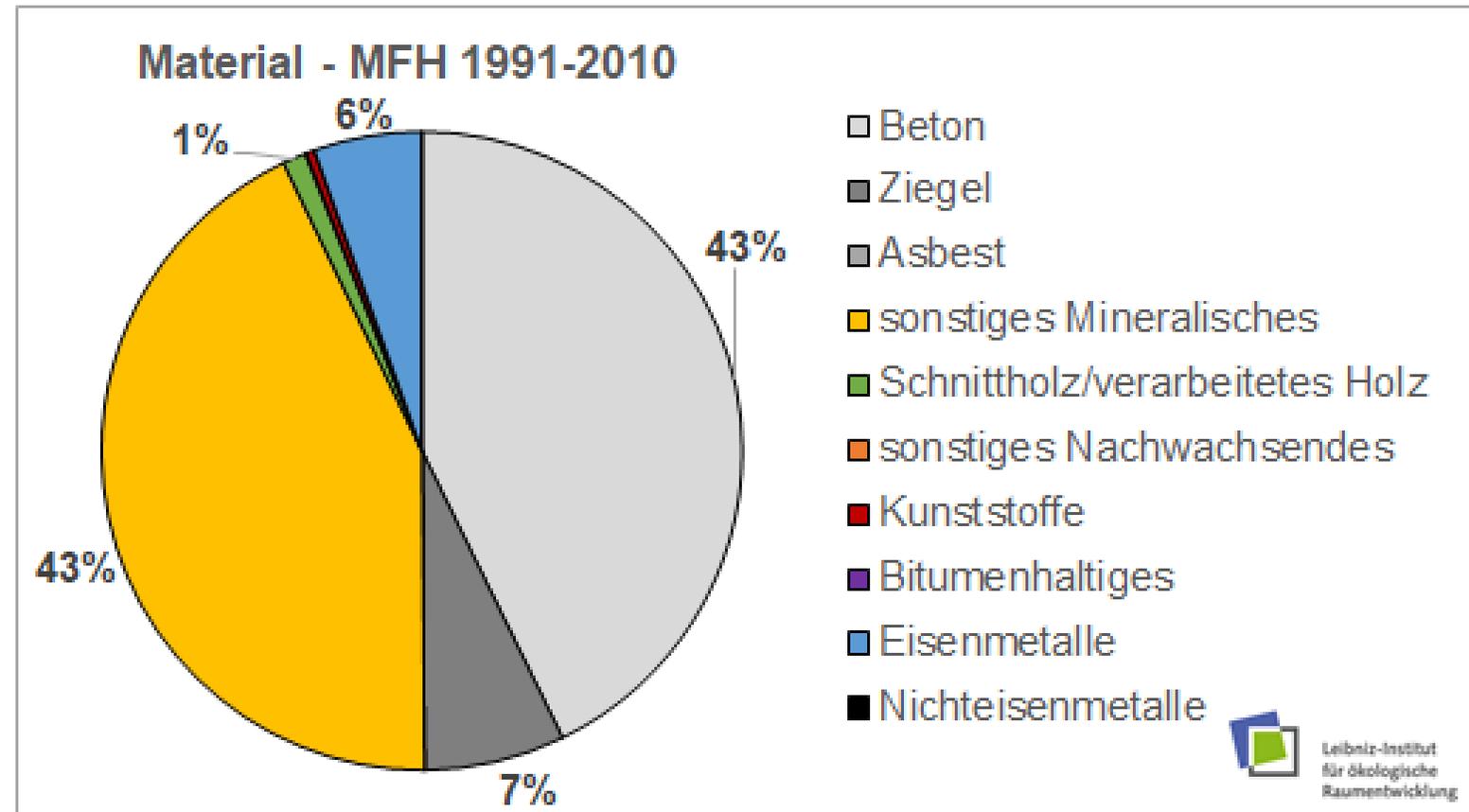
Das „anthropogene Lager“ ist die Mine der Zukunft

- Metallgehalte, Mindestabschätzungen für D (UBA Texte 83/2015)
 - Stahl: 1 Mrd. t
 - Kupfer: 8 Mio t
 - Aluminium: 7 Mio. t
- Gesamtwert nach aktuellen Schrottpreisen (Aug. 2022):
 - Stahl: 360 Mrd. €
 - Kupfer: 59 Mrd. €
 - Aluminium: 13 Mrd. €
- Abrissrate 0,1% bei Wohngebäuden, 0,35% bei Nichtwohngebäuden
→ ca. 430 – 1.500 Mio. € pro Jahr dürften Erlöst werden



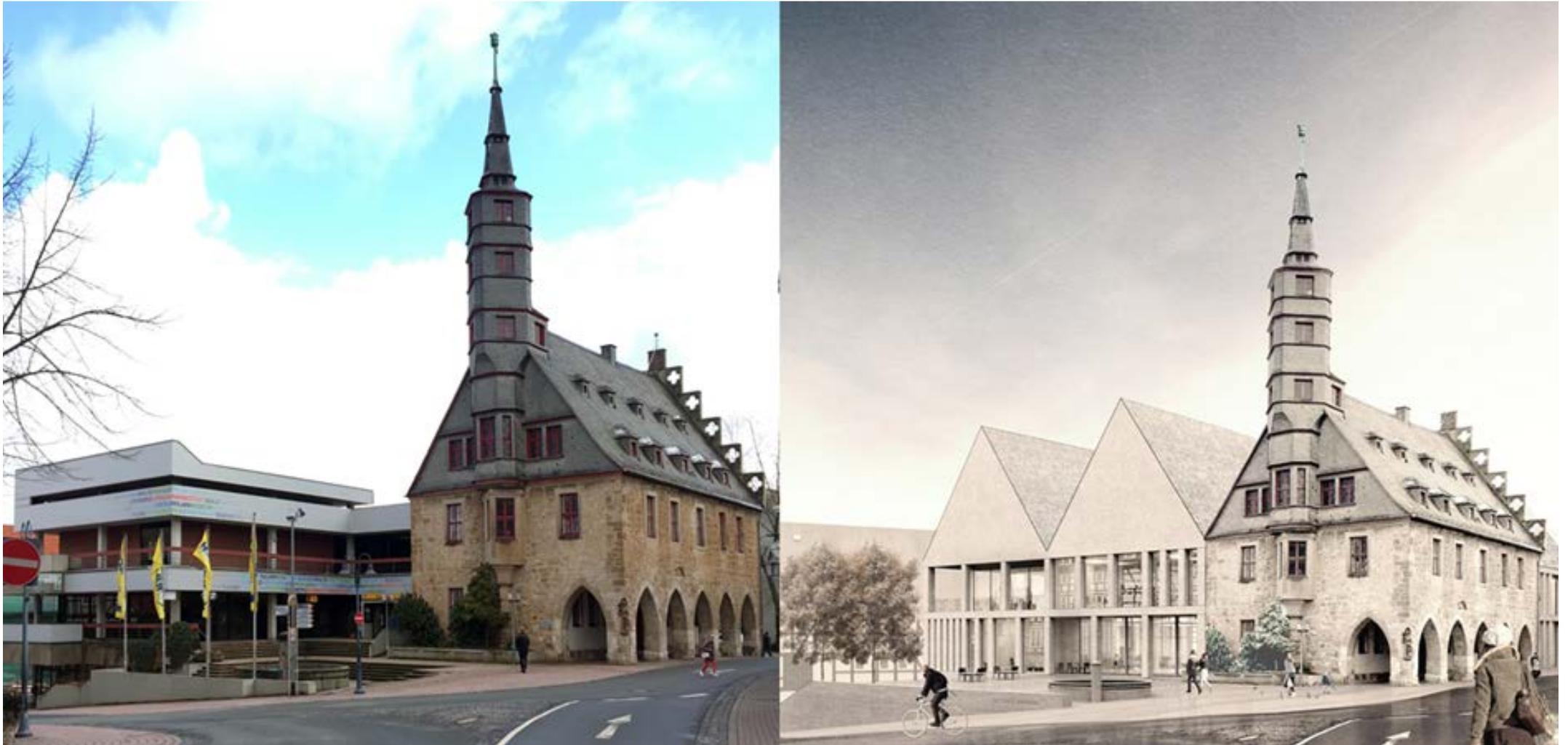
Metalle machen nur einen geringen Anteil am Gehalt von Gebäuden aus

- Der Hauptanteil wird von Beton bestimmt.



<http://ioer-bdat.de/bauwerksdaten/wohngebaeude/mfh-1991-2010/>

Rathaus Korbach: Rückbau und Neubau mit RC-Beton daraus



Historisches Rathaus und der 70er-Jahre Anbau links und das Design-Konzept für den Neubau rechts (ARGE agn-heimspielarchitekten, 2017)

Rathaus Korbach: Schadstoffausbau und Entkernung



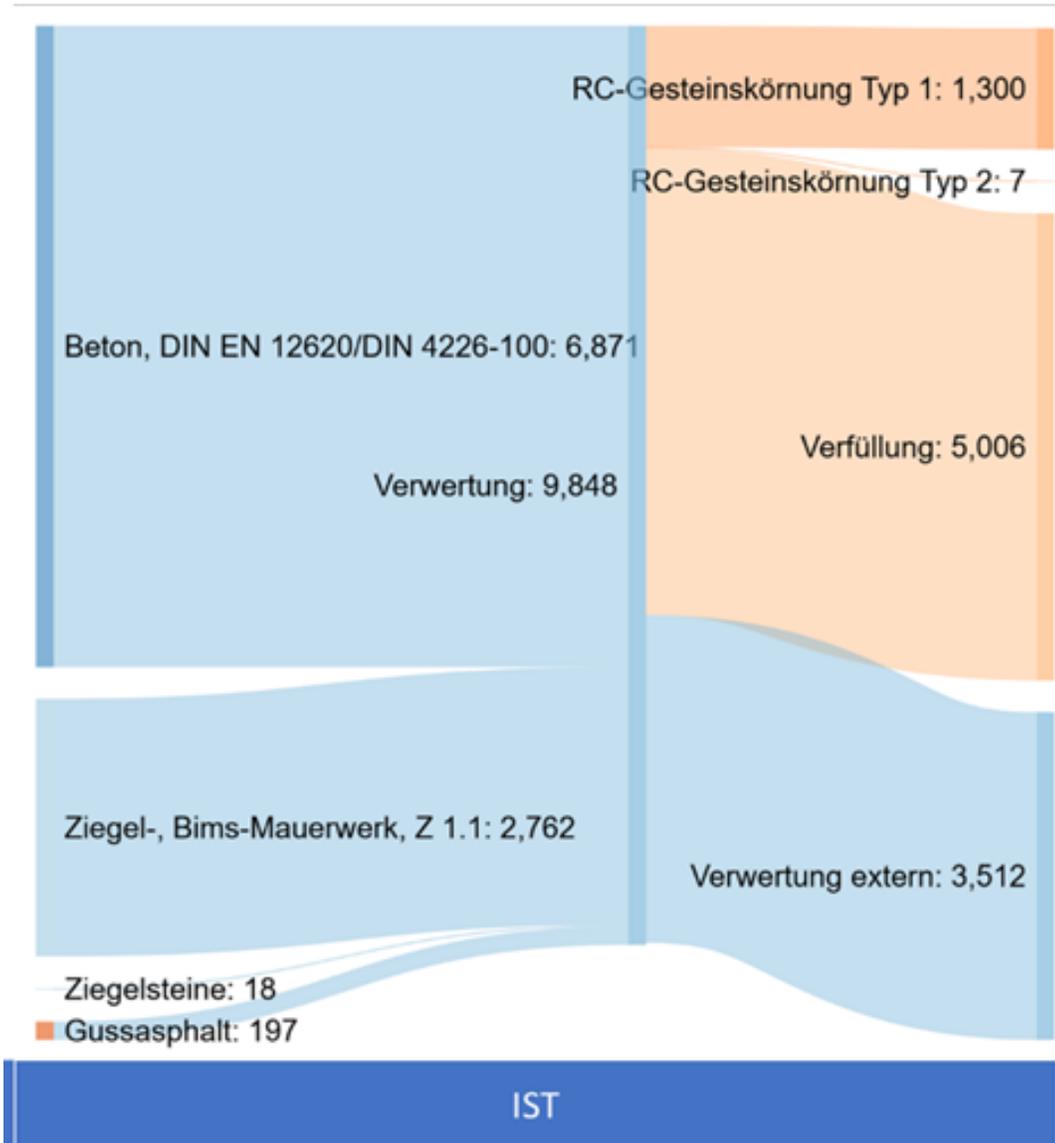
Beispiele für separat gelagerte Fraktionen aus dem Schadstoffausbau und die Entkernung
(A) Rigips Platten (B) Metall (Lüftung) (C) KMF-Dämmmaterial (D) gemischte Bauabfälle

Rathaus Korbach: Aufbereitung des mineralischen Bauschutts



Schritte der Aufbereitung in der mobilen Anlage: Aufgabe (Bagger), Brechen (Prallbrecher) Sieben, Klassieren (Windsichter) und Transport (Radlader)

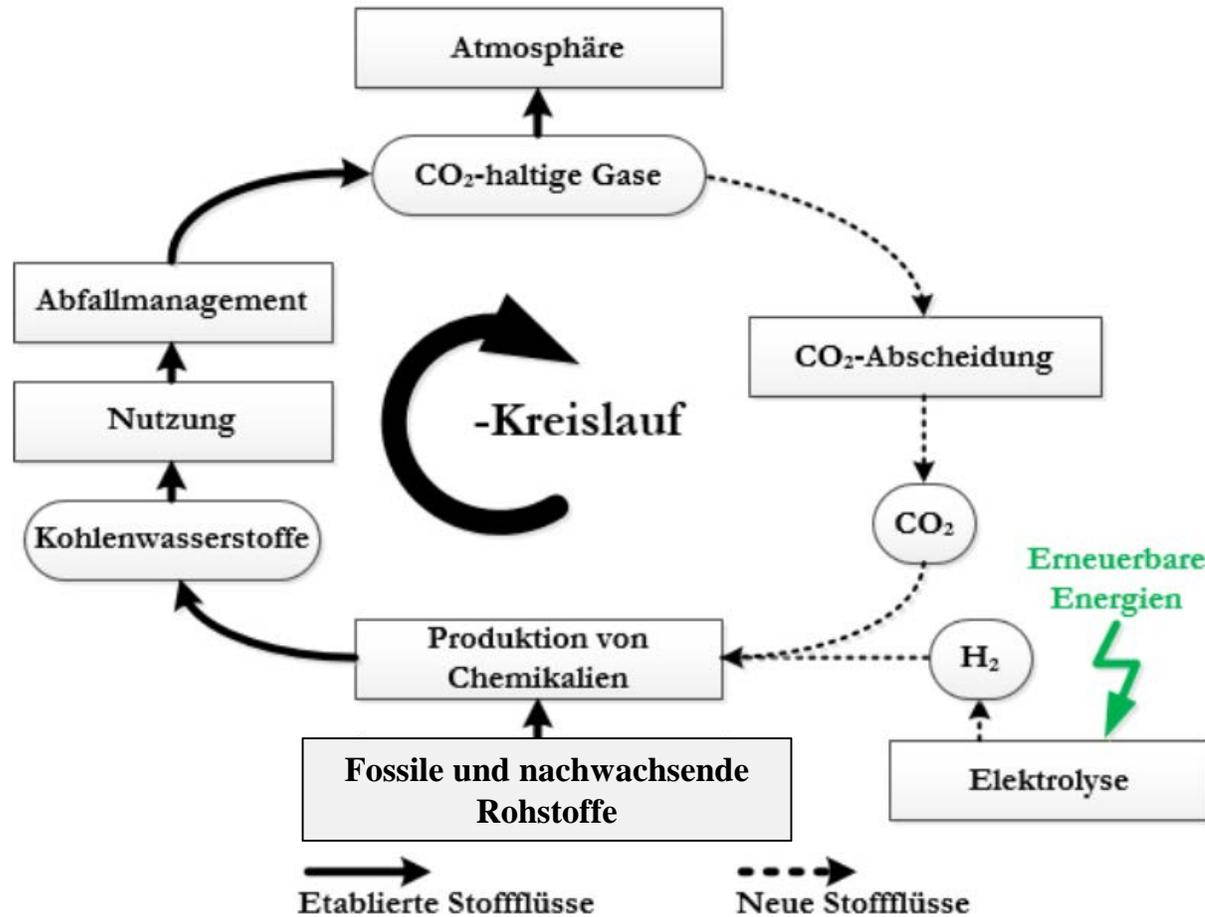
Rathaus Korbach: Massenflüsse des Rückbaus



- Erhebliche Rückbaumengen konnten für den Neubau verwertet werden
- Der Rohstoff-Fußabdruck wurde signifikant verringert

Carbon Recycling mit Nutzung von CO₂ als Rohstoff

"Carbon Capture and Use – CCU"



- CO₂ kann aus Abgasen oder der Luft abgeschieden werden
- Um es zu Kohlenwasserstoffen umzuwandeln, braucht man viel Energie
- CCU macht daher nur mit Erneuerbaren Energien Sinn
- Die technische Kreislaufführung des Kohlenstoffs vermeidet den Einsatz fossiler Rohstoffe und entlastet die Biomasse produzierenden Systeme

Quelle: Nach Hoppe & Bringezu (2016)

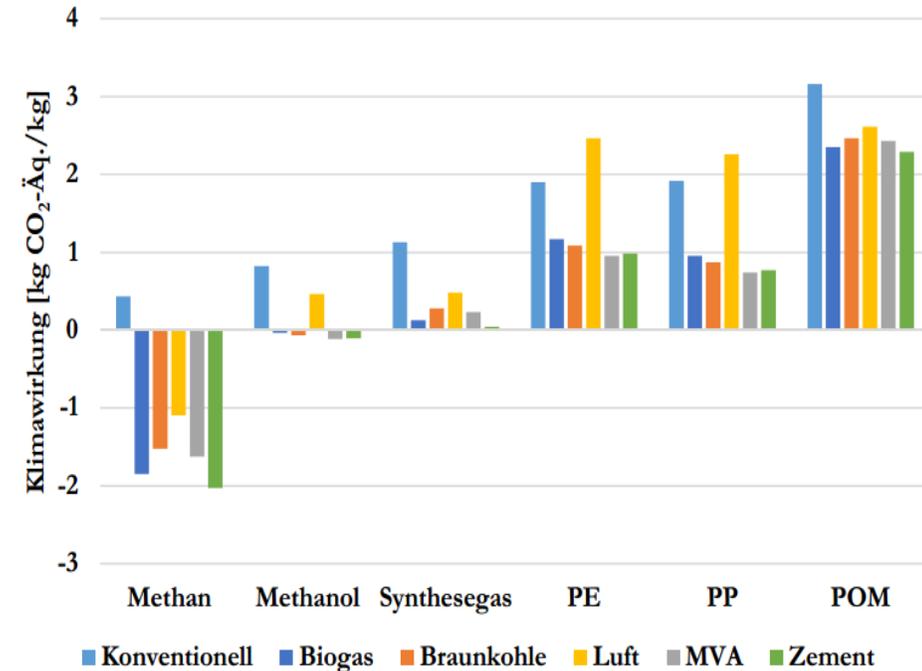
Carbon Recycling mit Nutzung von CO₂ als Rohstoff

"Carbon Capture and Use – CCU"

- Es gibt erste Pilotanlagen zur Abscheidung von CO₂
- Mittels H₂ aus Elektrolyse Umwandlung in CH₄ und CH₃-OH
- Einsatz als Treibstoff oder Grundstoff in chemischer Industrie



Quelle: <http://www.energienachrichten.net/files/2013/07/Gasaufbereitungsanlage-mit-MT-Aminw%C3%A4sche-in-Werlte-Foto-AUDI-AG-642x336.jpg>



Quelle: Hoppe (2018)

- Vorteile: Negative oder verminderte CO₂ Emissionen
- Nachteile: Erhöhter stofflicher Aufwand (RMI, TMR) für die Energieinfrastruktur

Perspektive: CO₂-basierte Werkstoffe im Bauwesen

Die Technosphäre wird zum Kohlenstoff-Speicher

- Kunststoffe: Polyurethan, PP, PE, Polycarbonate
→ Dicht- und Dämmmaterialien, Fenster
- Carbonfasern → Carbonbeton
- Mineralische Materialien: z.B. CO₂-basierte Karbonate aus Olivin
→ Ersatz von Zuschlagsstoffen, Schüttmaterialien

Ermöglicht letztlich auch Carbon Capture Use and Sequestration (CCUS)



Covestro: Cardyon®

<https://solutions.covestro.com/de/marken/cardyon>



<https://tu-dresden.de/bau/ingenieurwesen/imb/das-institut/news/feierliche-einweihung-des-weltweit-ersten-gebauedes-aus-carbonbeton-cube-1>

Ressourceneffiziente Mobilität in der Stadt

Transportsysteme werden leicht und elektrisch ausgelegt

- Lasten e-bikes werden Standard
- Frachtdrohnen ersetzen Straßenverkehr



https://www.globe-flight.de/bilder/kk_dropper_uploads/_AB_095933.jpg



Foto: S. Bringezu

e-bike Shenzhen 2018

- Die Stadt als Organismus
- Nachhaltigkeitsziele
- Ressourceneffizienz und Recycling
- **Bioökonomie und Bionikomie**
- Solarisierung und Funktionsintegration
- Bestandsgleichgewicht
- Monitoring- und Planungsinstrumente

Urban farming

Nicht wirklich viel Platz in der Stadt

CITY	URBAN GARDEN AREA (m ² /person)	TYPE OF AREA
Shanghai	1.15	Green space
Mumbai	1.95	Open Space
Lagos	2.44	Area suitable for market gardening
New York	4	Open space and roofs
London, Elephant and Castle district	5.25	Potential area
Oakland	11.5	Potential area

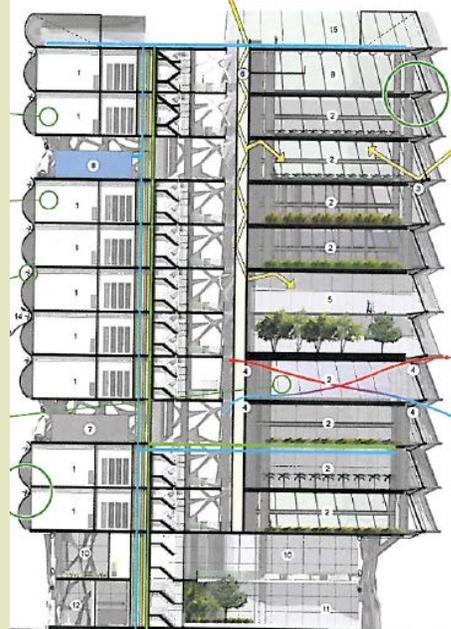
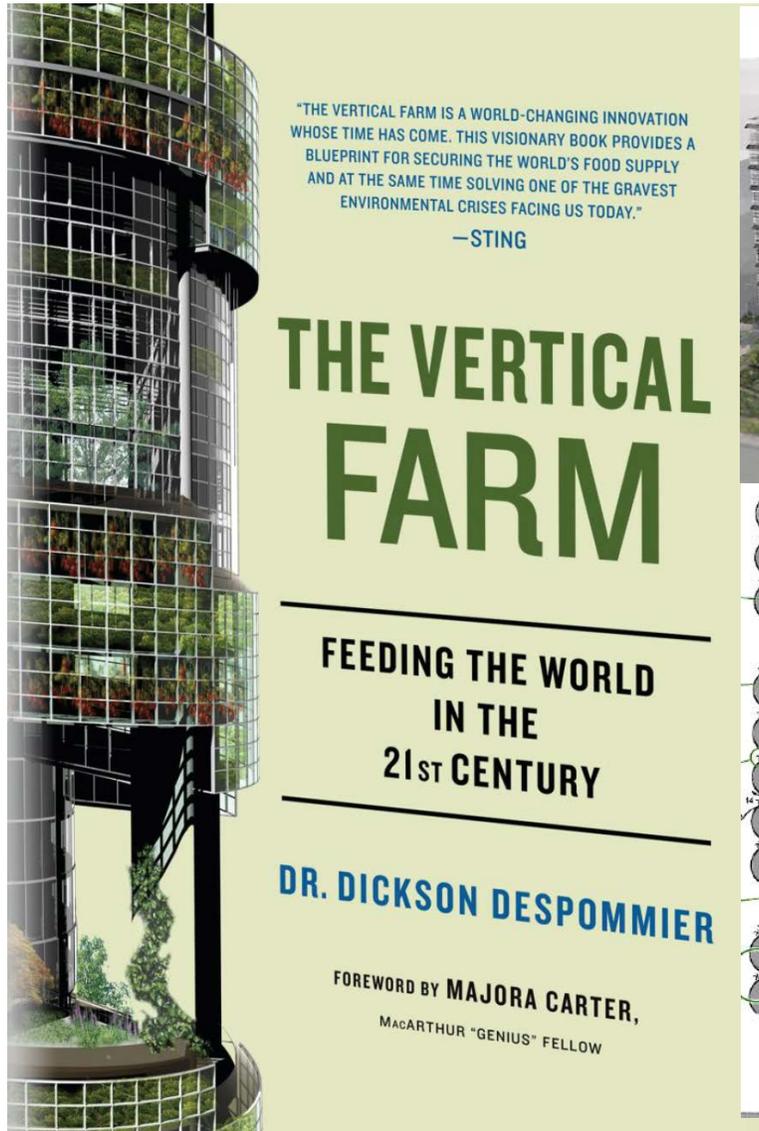


Bringezu et al. 2014



- Eher Verschönerung als substantielle Versorgung

Die vertikale Farm



- Klinische Hygiene erforderlich
- Hoher Energieaufwand
→ Wellenlängen spezifische LED
- Kurzgeschlossene Nährstoffkreisläufe → Aquaponik



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7f/CDC_South_Aquaponics_Raft_Tank_1_2010-07-17.jpg/1280px-CDC_South_Aquaponics_Raft_Tank_1_2010-07-17.jpg

Die begrünte Stadt als Lebensraum

Schmuck und Kühlung



- Schön, aber pflegeintensiv
- Wasser- u. materialintensiv



Die begrünte Stadt als Lebensraum

Grünflächen werden auch künftig wichtig sein



Image by Samuel Stone from Pixabay

- Nachweislich gesundheitsfördernd
- Frischluftschneisen und Kühlflächen



Foto S. Bringezu

Die begrünte Stadt als Lebensraum

Grünflächen als integraler Bestandteil

- Auch künftig wird es mittelgroße Städte geben
- In Metropolen wachsen die Gärten nach oben



Foto S. Bringezu

September 2017



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/a/ac/Bosco_Verticale%2C_Milano.jpg

Seite 32

- Die Stadt als Organismus
- Nachhaltigkeitsziele
- Ressourceneffizienz und Recycling
- Bioökonomie und Bionikomie
- **Solarisierung und Funktionsintegration**
- Bestandsgleichgewicht
- Monitoring- und Planungsinstrumente

Solarisierung der Gebäude

Die Oberfläche der Bebauung solar nutzen

- Wände und Fenster können Solarenergie passiv oder aktiv nutzen
- Schaltbare Oberflächen erlauben die Reflexion nicht gewünschter Einstrahlung und die Aufnahme von nutzbringender Einstrahlung



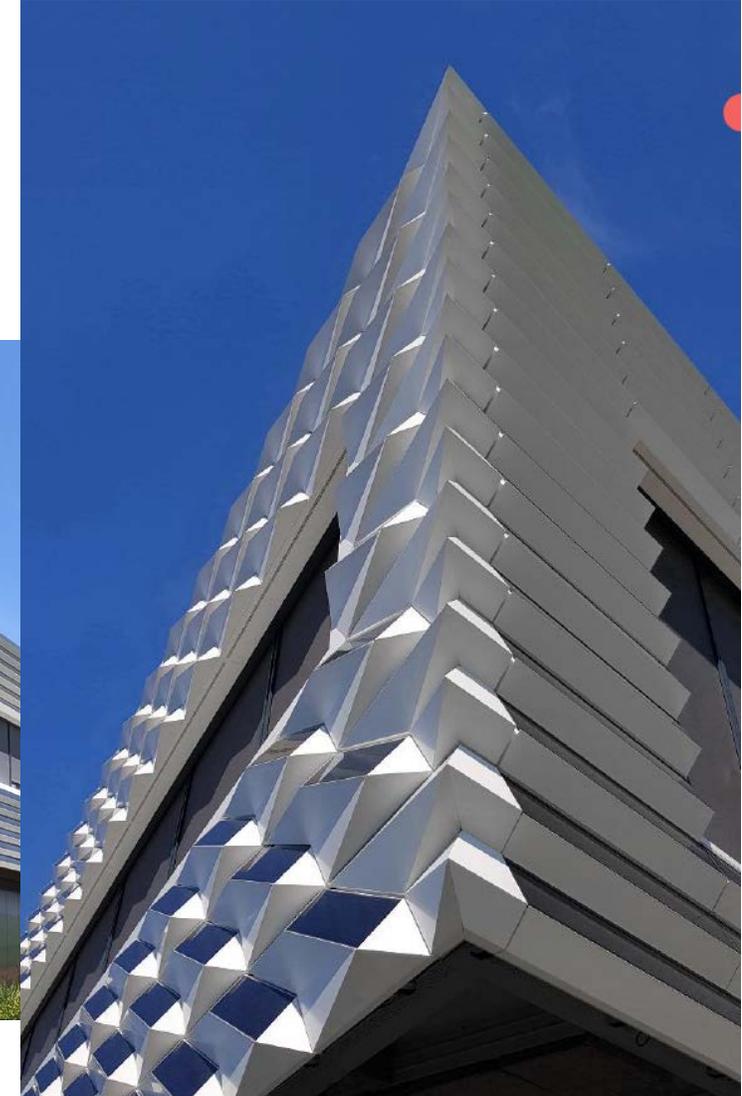
Quelle: Sage Electrochromics, Faribault/Saint-Gobain Glass, Aachen

Solarisierung der Gebäude

Die Oberfläche der Bebauung solar nutzen

- Fotovoltaik auch an Ost- und Westfassaden

SOLAR.shell Transfer
HTWK Leipzig
Fotos: Frank Hülsmeier



Solarisierung der Gebäude

Aktivhäuser

- Aktivhäuser produzieren während der Nutzung mehr Energie produzieren als verbrauchen

- **ABER ACHTUNG:** wie sieht die Lebenszyklusbilanz aus?!
→ Ressourcen- und Klima-Fußabdrücke bestimmen und optimieren

Aktiv-Stadthaus Speicherstraße Frankfurt a.M.



Quelle; ABG Frankfurt Holding



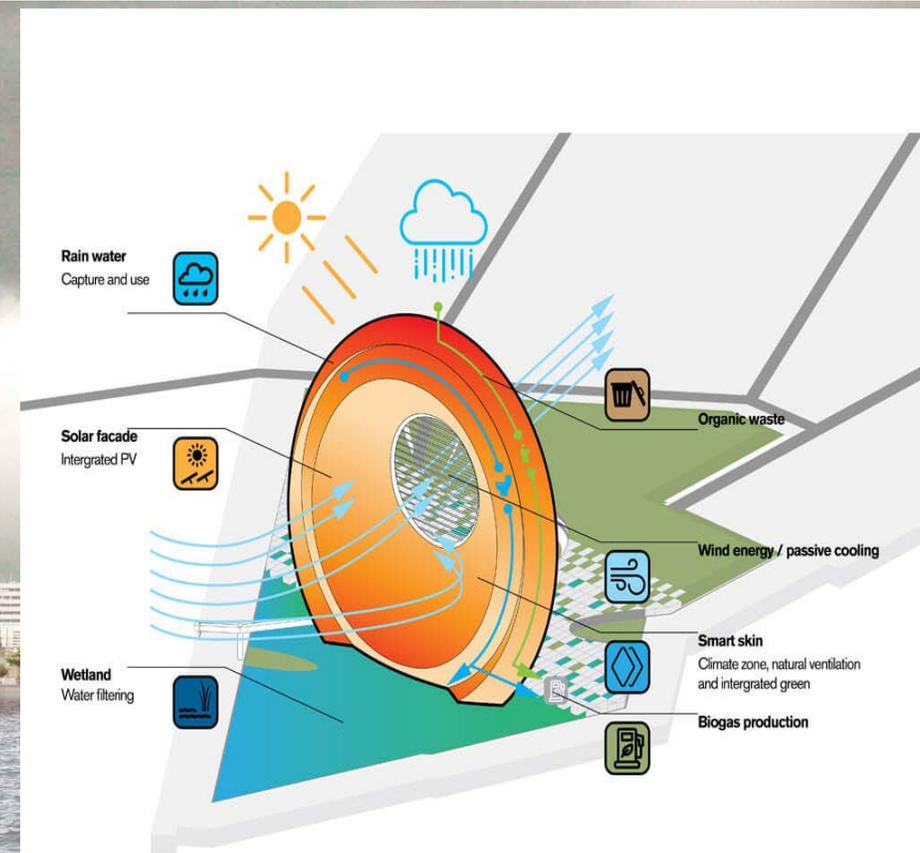
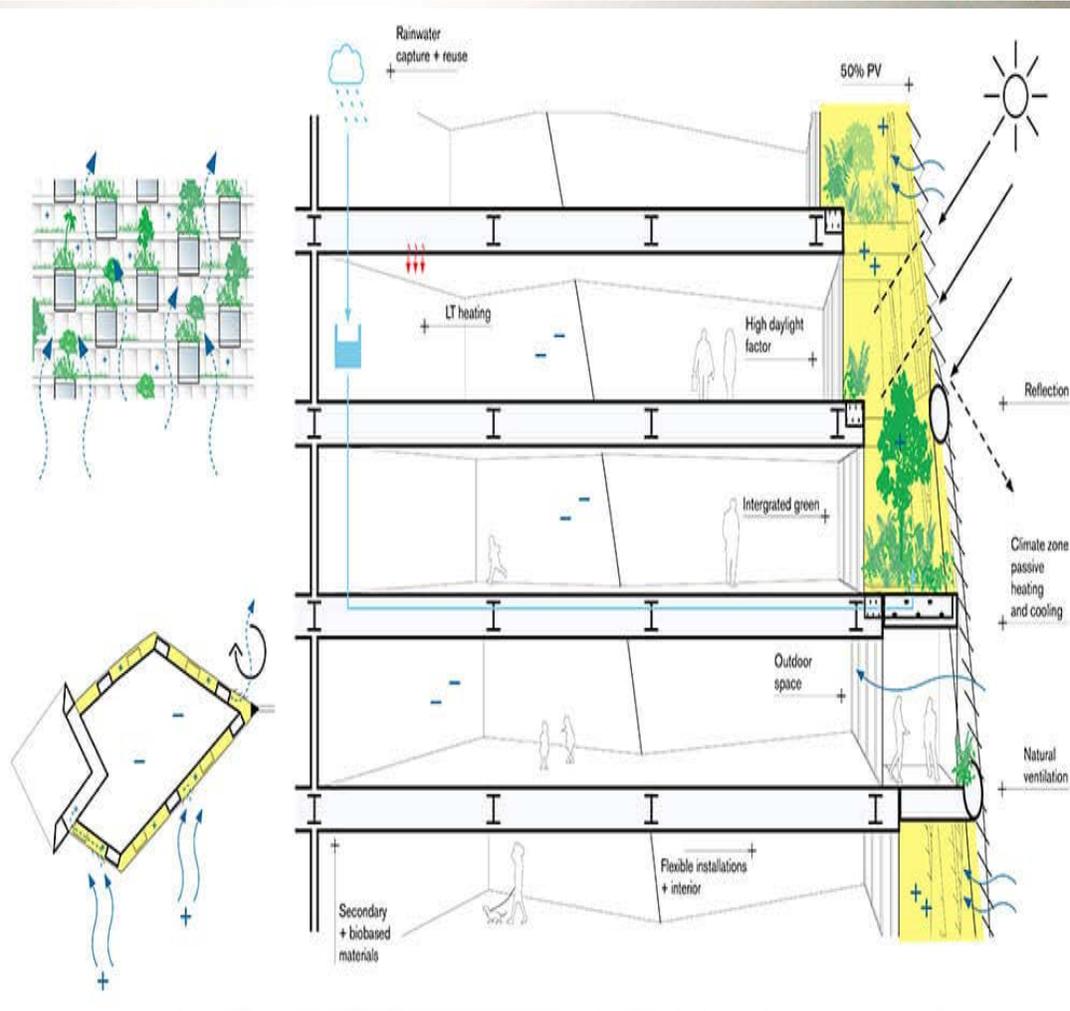
Solarisierung und Funktionsintegration

Leichte Bauweisen, hochgedämmt, passiv und aktiv solarisiert



Funktionsintegration

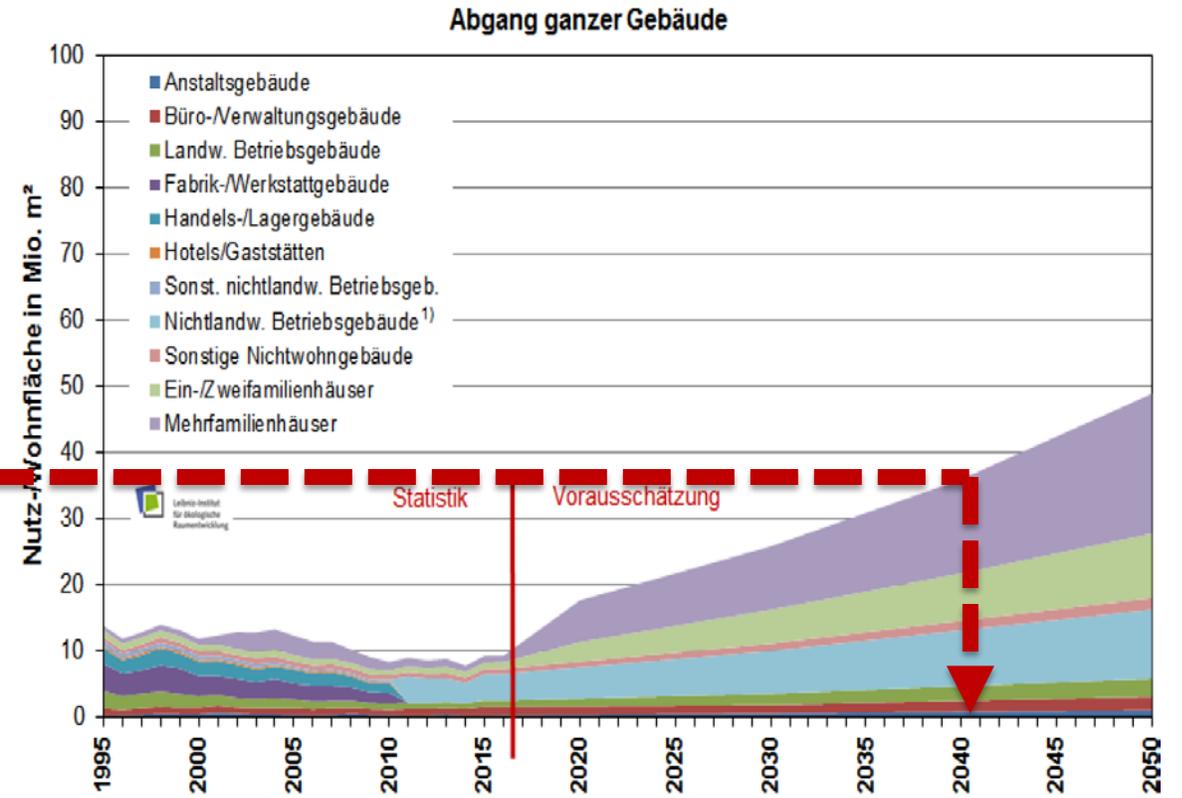
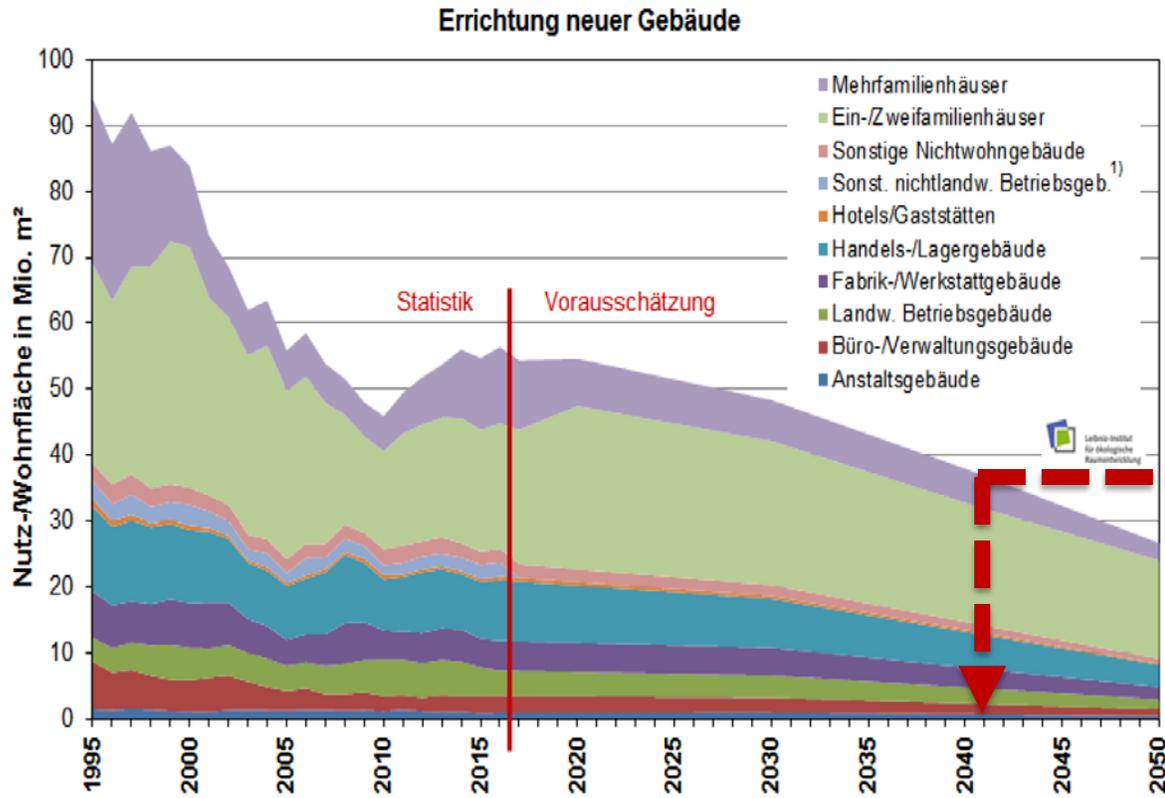
The Rotterdam Wind Wheel



<https://dutchwindwheel.com/en/sustainable-icon>

- Die Stadt als Organismus
- Nachhaltigkeitsziele
- Ressourceneffizienz und Recycling
- Bioökonomie und Bionikomie
- Solarisierung und Funktionsintegration
- **Bestandsgleichgewicht**
- Monitoring- und Planungsinstrumente

Zugang und Abgang ganzer Gebäude in Deutschland



- danach müsste das Fließgleichgewicht im Hochbau in Deutschland bereits kurz nach 2040 erreicht werden
- die Verfügbarkeit von Rückbaumaterial für Recycling und neuen Einsatz wird weiter steigen

Quelle: IÖR Bauwerksdatenbank 2021

Bestand besser nutzen

Erfolgreiche Umnutzungen von alten Gebäuden

Hochbunker in Hamm zum Penthouse umgenutzt
(Architekt: Mick Amort, Bonn)



Reihenhäuser in einem umgenutzten Bunker in Köln-Nippes (Luczak Architekten, Köln)



Das „Siebengebirge“: Zu Wohnlofts umgenutzte historische Speichergebäude im Kölner Rheinauhafen
(Architekten: KSG Köln)



Wohnlofts im Zwillingsmalakowturm der Zeche Holland Schacht 1/2 in Gelsenkirchen-Ückendorf (Architekt: Rahim Sediqie, Gelsenkirchen)



Das zu Altenwohnungen umgebaute Kaufhaus Breuer in Eschweiler (Architekten: Bernhardt und Leiser, Köln)



Wohnungen im ehemaligen Karmelkloster in Bonn-Pützchen
(Architekten: Fischer-von Kietzell, Bonn)



Quelle: MBV NRW 2007

Bestand besser nutzen

Potenziale von „unsichtbarem Wohnraum“ nutzen

U₁

U₂

U₃

V

W

Wohnwünsche

Untermiete
Wohnen für
Hilfe

Umzug
Wohnungstausch

Umbau
Einliegerwohnung
abtrennen

Vermieten
Soziale
Wohnraum-
Vermittlung

Wohnen
gemeinschaftlich,
flächensparend,
flexibel

Etwa 100.000 Wohnungen/ Jahr*

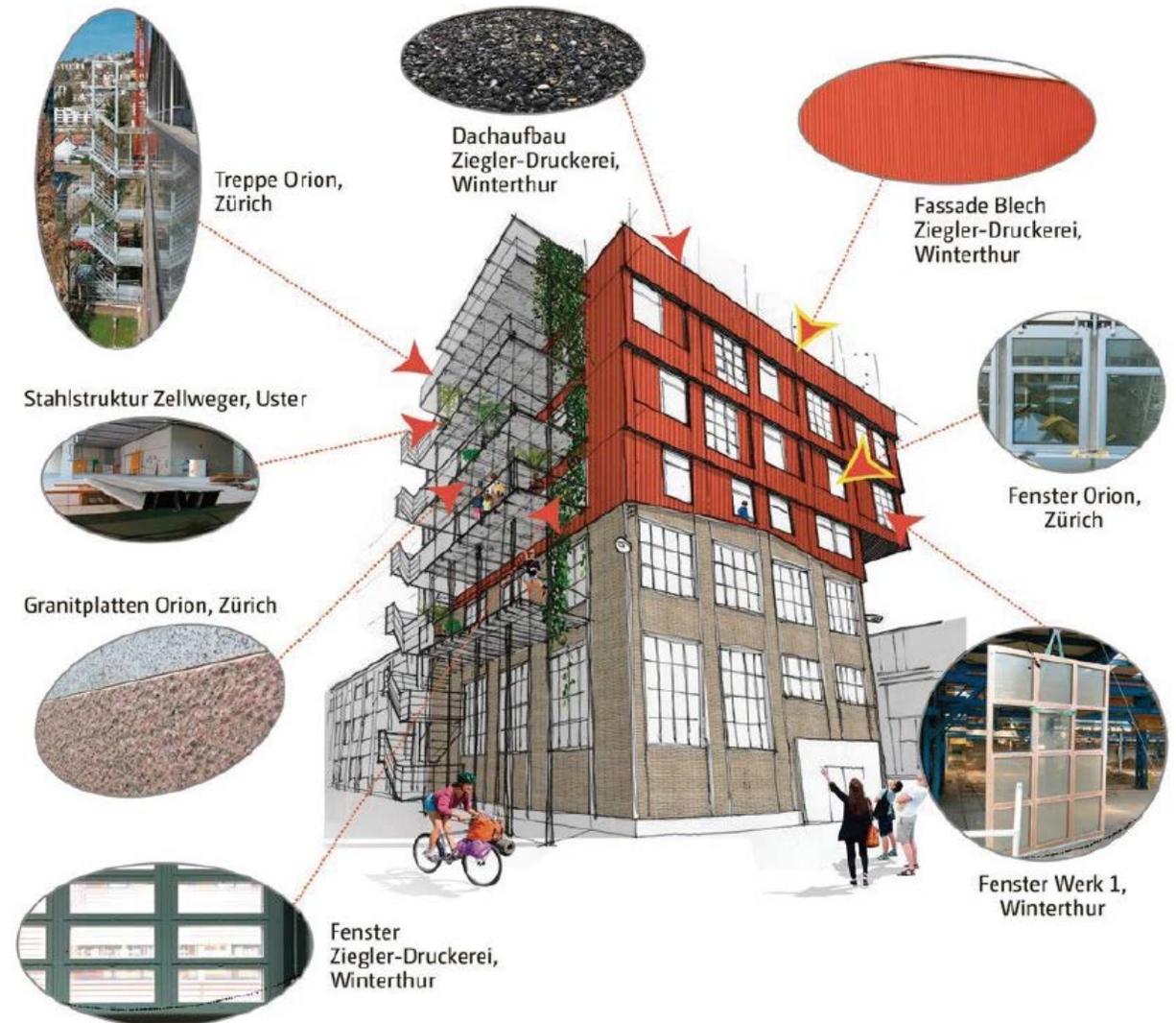


Bild von Gerd Altmann auf Pixabay

* Fuhrhop, Daniel (2023 i.V.): Der unsichtbare Wohnraum. Wohnsuffizienz und das Beispiel „Wohnen für Hilfe“. Dissertation.

Bauteile wiederverwenden

Aufstockung mit wiederverwendeten Bauteilen



Quelle: Barbara Buser

Bauteile wiederverwenden

Aufstockung mit wiederverwendeten Bauteilen



Quelle: Barbara Buser



herausgegeben von zhaw und baubüro in situ, 2021 Park Books , Zürich

Bestand besser nutzen: Schrumpfen mit Qualitätszuwachs



Quelle: www.steg.de; Stadtumbau Stollberg



- Die Stadt als Organismus
- Nachhaltigkeitsziele
- Ressourceneffizienz und Recycling
- Bioökonomie und Bionikomie
- Solarisierung und Funktionsintegration
- Bestandsgleichgewicht
- **Monitoring- und Planungsinstrumente**

Monitoring- und Planungsinstrumente werden benötigt für die nachhaltige Stadt der Zukunft

- Baubestandkataster: Mine der Zukunft
- Ressourcenpass für Produkte und Gebäude
- Erfassung der Ressourcen- und Klimafußabdrücke von Städten
- Zielvereinbarungen: Science-based-Targets
- Planungstools: Gebäude und Stadteile



Wann ist Rückbau besser als Bestandssanierung?

- Bilanzierung der Klima- und Ressourcenfußabdrücke
- Planung für mehrere Nutzungsphasen

Klimagasemissionen

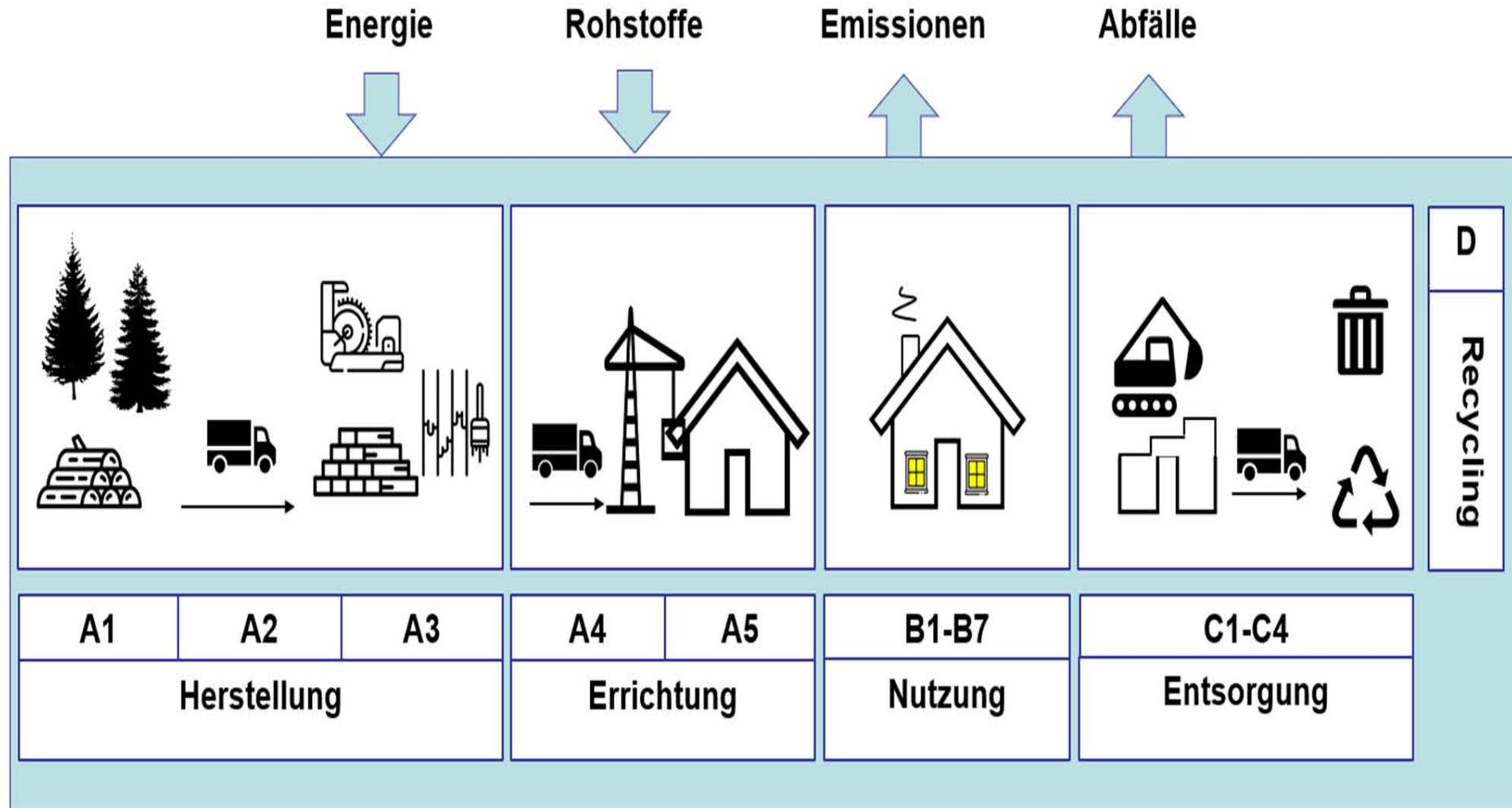
Primär-Materialien

Land

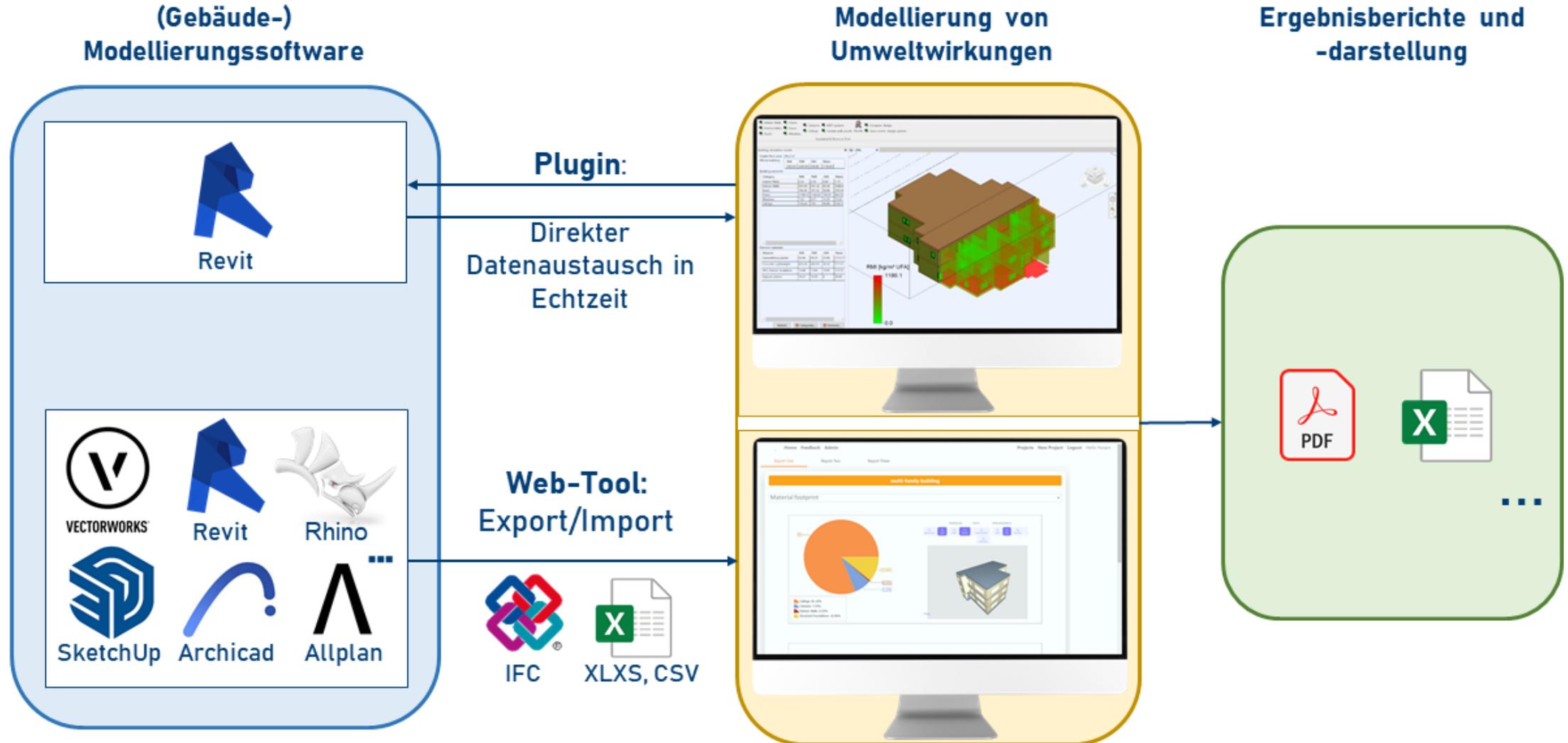
Wasser

Rohstoffeinsatz und Klimabelastung

werden lebenszyklusweit für Bauwerke bestimmt



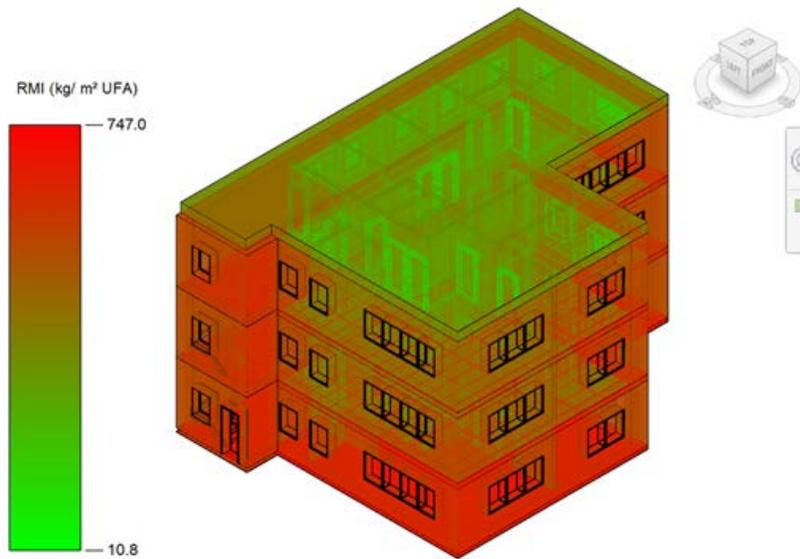
SURAP Sustainable Resource Application



Gebäudebilanzierung mit SURAP

Ergebnisse werden auf Baustoff-, Bauteil- und Gebäudeebene berechnet.

Hotspot-Analyse wird visualisiert



Building calculation results

Usable Floor Area (UFA): 334.48 m²

Whole building:

RMI (kg/ m ² UFA)	TMR (kg/ m ² UFA)	Weighted water (m ³ / m ² UFA)	GWI (kg CO ₂ eq./ m ² UFA)
2592.7	2627.29	3.71	471.27

Building elements:

Category	RMI (kg/ m ² UFA)	TMR (kg/ m ² UFA)	Weighted water (m ³ / m ² UFA)	GWI (kg CO ₂ eq./ m ² UFA)
Interior Walls	320.17	321.86	0.41	69.8
Exterior Walls	532.39	548.76	0.37	205.9
Roofs	347.6	348.83	1.19	49.88
Floors	747.04	758.68	1.26	91.07
Structural foundations	634.7	636.59	0.35	41.8
Ceilings	10.79	12.58	0.14	12.81

Element materials:

Material	RMI (kg/ m ² UFA)	TMR (kg/ m ² UFA)	Weighted water (m ³ / m ² UFA)	GWI (kg CO ₂ eq./ m ² UFA)
Bitumen	2.77	2.82	0.01	0.96
Concrete C 25/30	352.83	353.98	0.14	28.08
Concrete C12/15	88.54	88.89	0.02	7.61
Crushed stone	190.56	190.9	0.17	5.15

Refresh Results visualization Elements

Entwurfalternativen können in Echtzeit in der Planungsumgebung verglichen werden

SURAP Revit-PlugIn

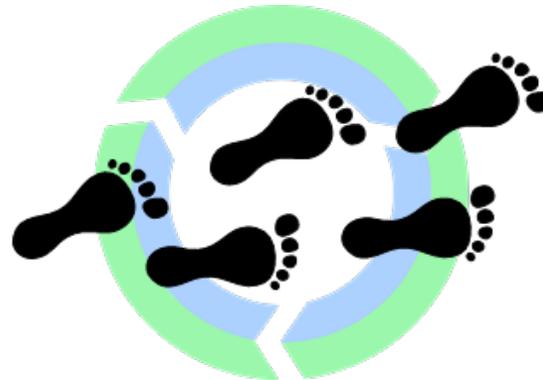
Kundenpilotversion wird aktuell getestet

Lebensphasen:

- Herstellung (A1-A3)
- Austausch (B4)
- Abfallbehandlung (C3) und Beseitigung (C4)

Fußabdruckanalyse:

- Klima-,
- Energie-,
- Material- und
- Wasser-Fußabdrücke



Fazit: Die Zukunft hat schon begonnen

- Städte werden organisch wachsen und schrumpfen
- Sie werden stets von außen versorgt und nach außen entsorgt werden
- Ihr Stoffwechsel kann sich „gutartig“ entwickeln und Menschen werden sich darin wohlfühlen, wenn
 - Ressourceneffizienz und Recycling
 - eine balancierte Bioökonomie und Bionikomie
 - die Solarisierung und Funktionsintegration
 - ein Bestandsgleichgewicht mit nachhaltigem Bauwesen gefordert und gefördert werden
- Digitale Monitoring- und Planungstools helfen, die Stadt der Zukunft zukunftsfähig zu gestalten

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

bringezu@uni-kassel.de

Weitere Publikationen

<https://www.uni-kassel.de/forschung/cesr/publikationen>

Zur App

<http://surap.de/>

