Manfred Hegger

Nachhaltiges und Zukunftssicheres Bauen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

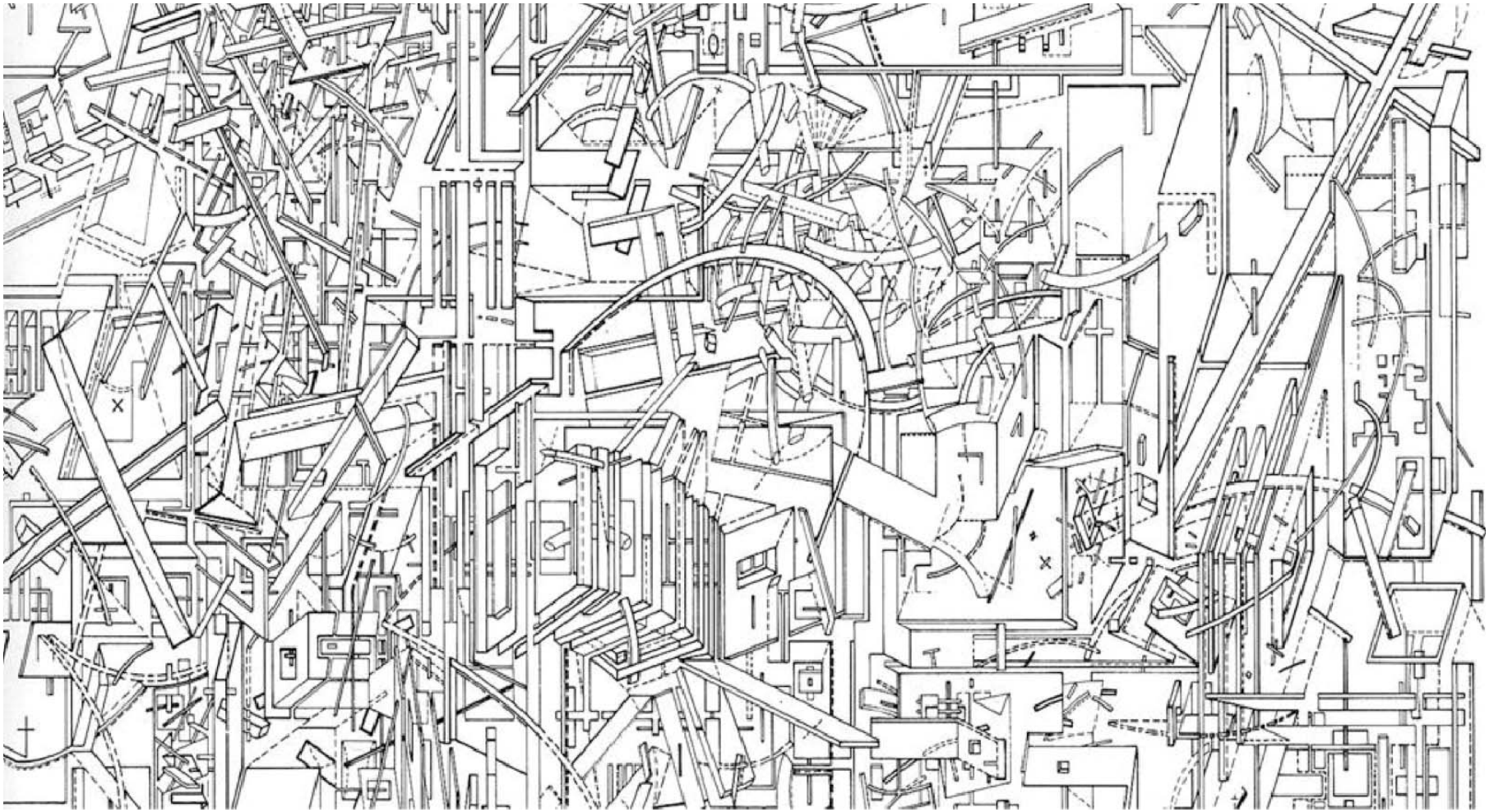
Nachhaltiges und energieeffizientes Bauen – Herausforderung und Chance

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Megathema Energieeffizienz
- Von der Energie- zur Ressourceneffizienz
- Lebenszyklusorientiertes Bauen
- Ökobilanzierung von Baustoffen und Gebäuden
- Potentiale des Recyclings
- Unsere Herausforderungen

Megathema Energieeffizienz

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

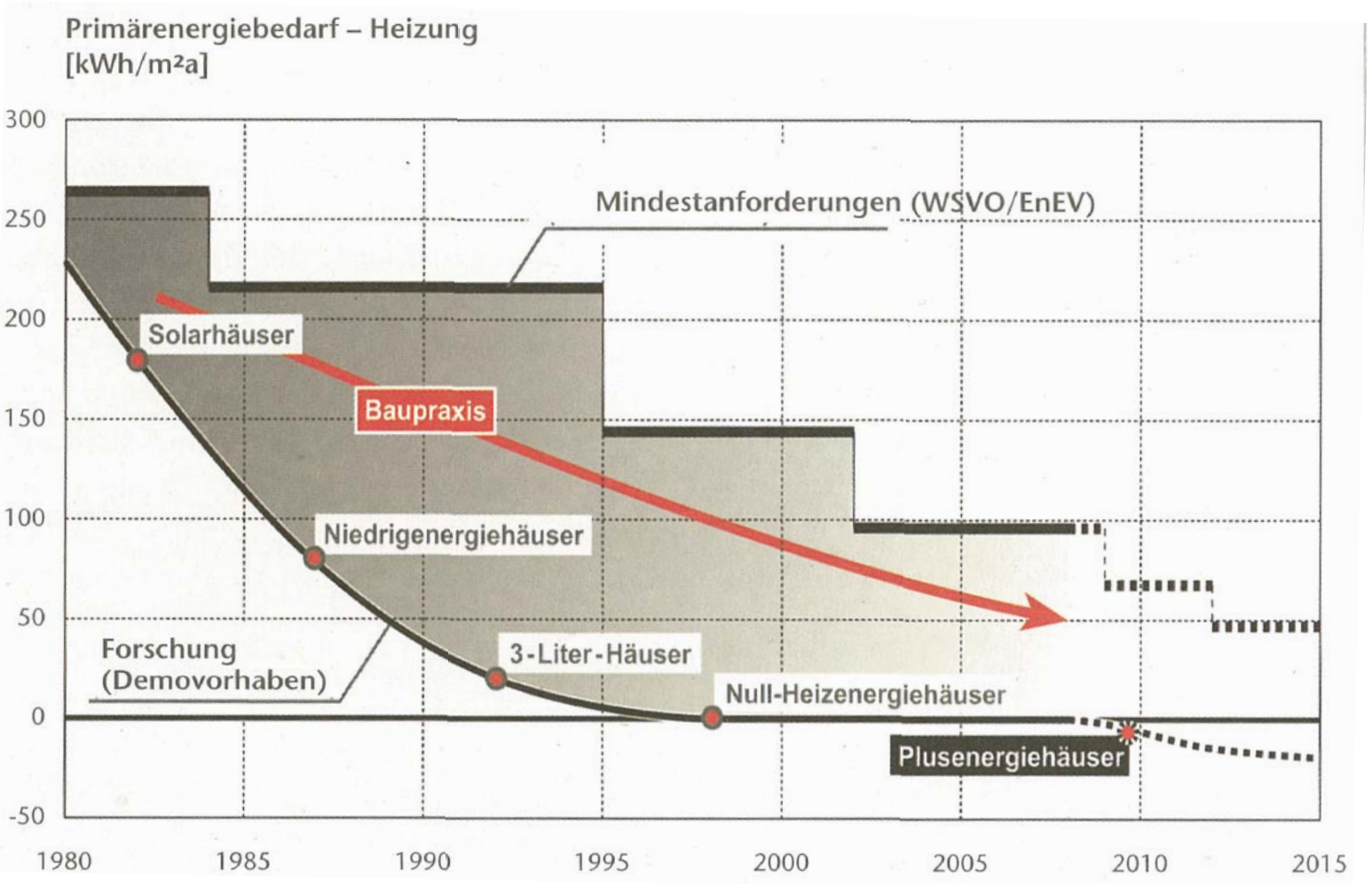


Effizienzsteigerung im Gebäudebetrieb

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

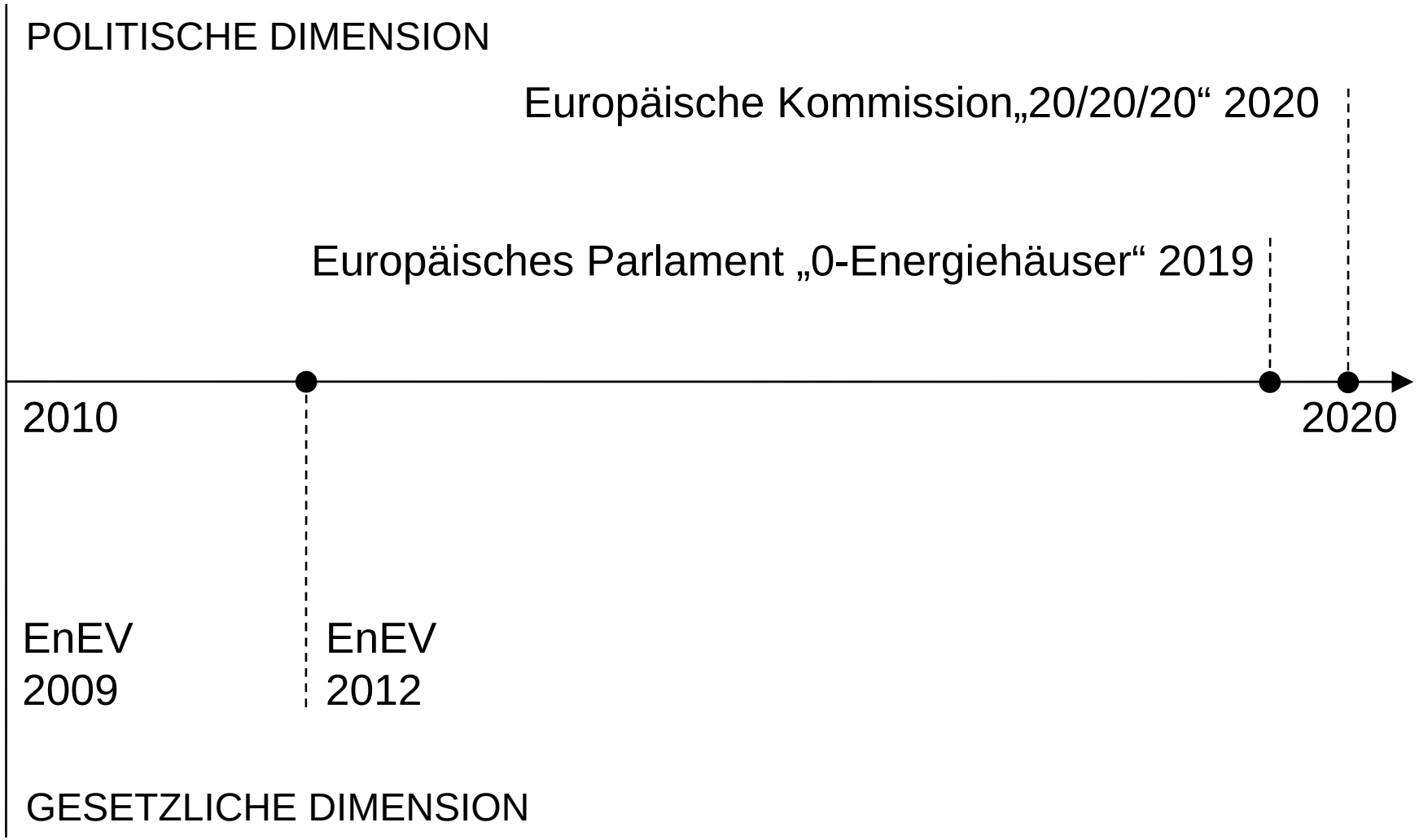
Verringerung des Energiebedarfs

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

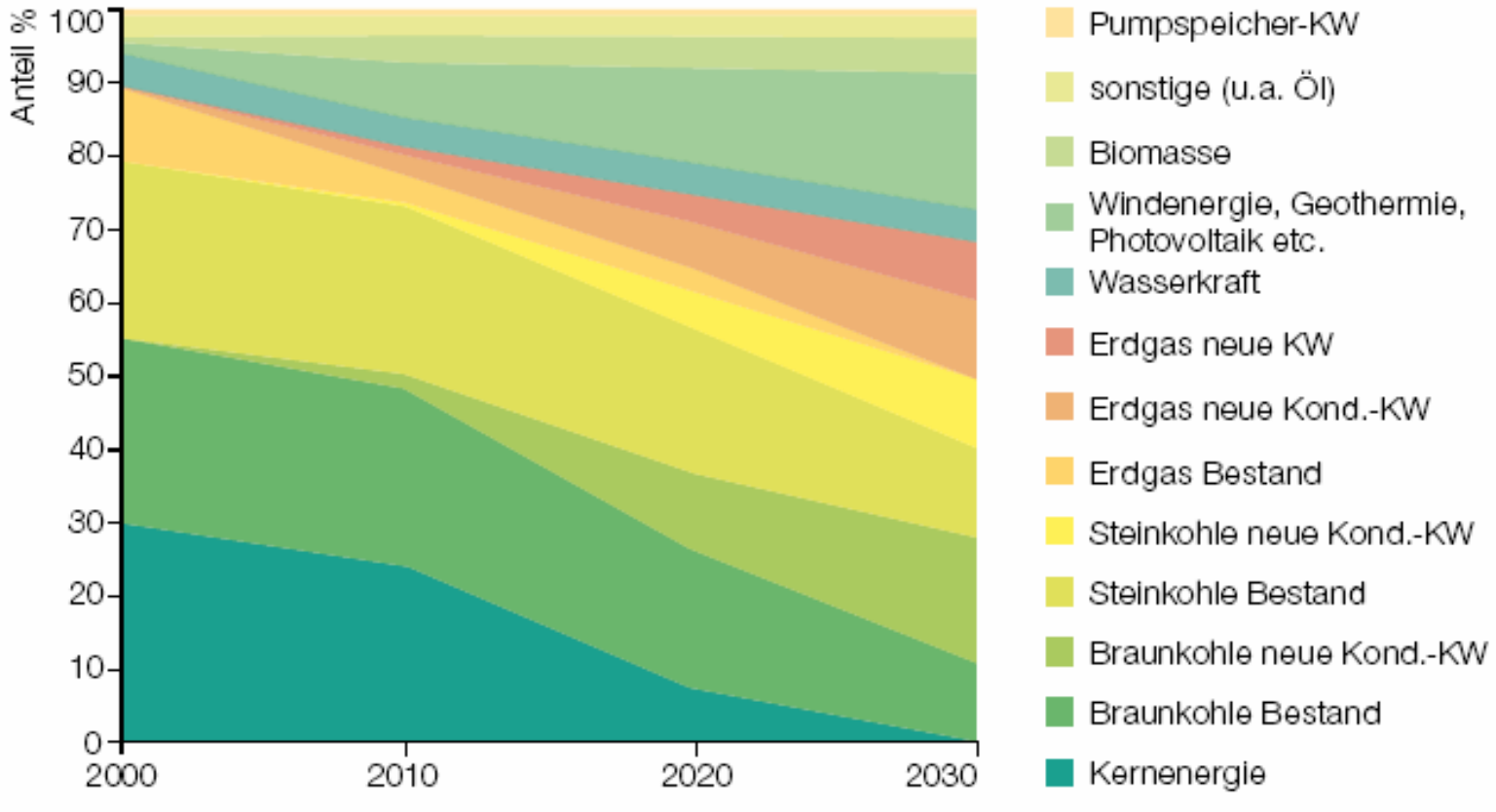


Quelle: Fraunhofer IBP

Gesetze und Vorgaben

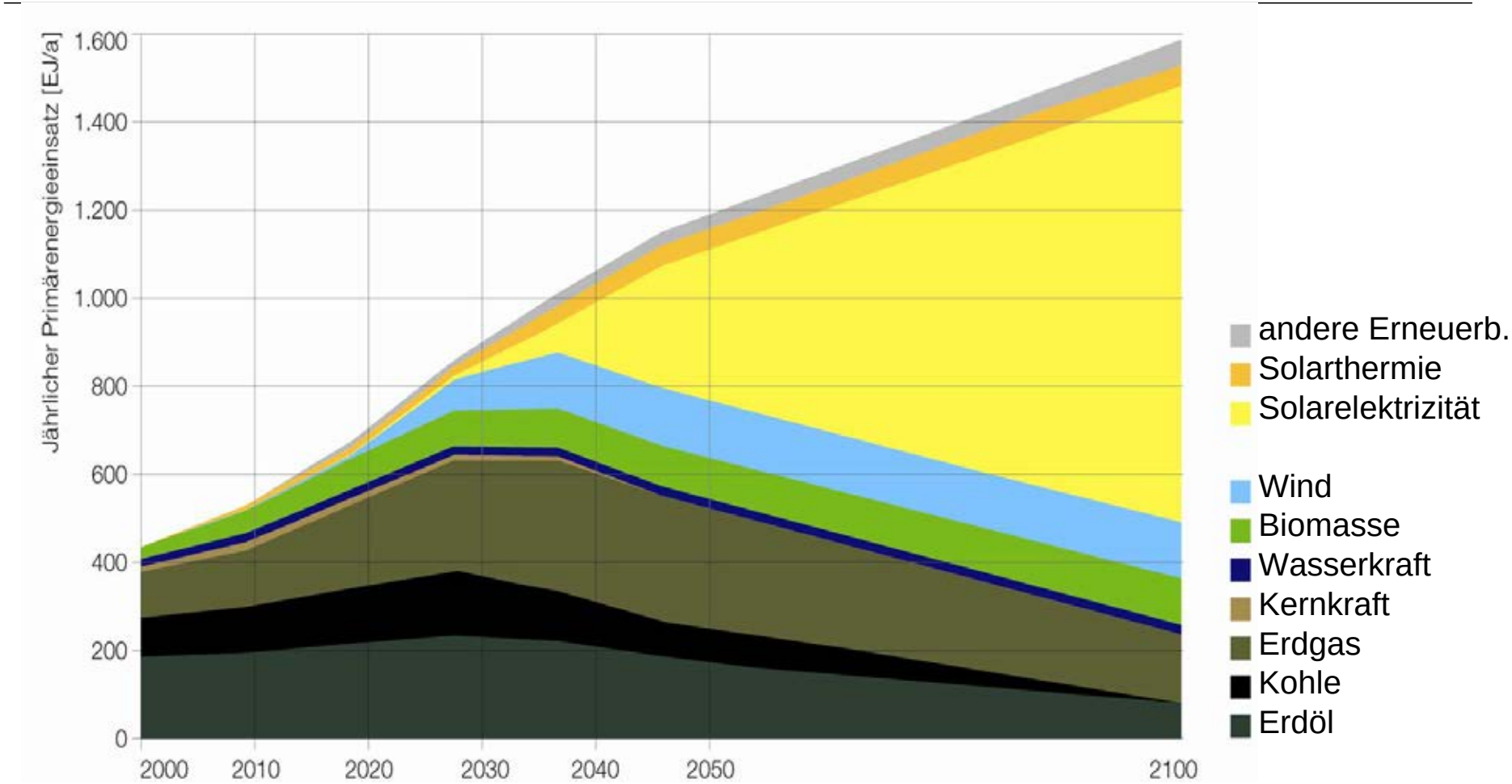


Nutzung von Energieträgern 2000 - 2030



Quelle: Kreißig 2009

Nutzung von Energieträgern 2000 - 21000



Quelle: Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen WBGU

Plusenergiehäuser - Beispiel

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Foto: Thomas Ott

Der Solar Decathlon in Washington, D.C.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Internationaler Hochschulwettbewerb

ausgeschrieben vom DOE – US-amerik. Energieministerium

„Year 2015 Prototype Home“ - energieautarkes Gebäude

prominenter Standort in Washington, D.C.

2007 und 2009 ist die TU Darmstadt die einzige teilnehmende deutsche Universität

Beitrag zur Demonstration deutscher Forschung, Innovation und Design

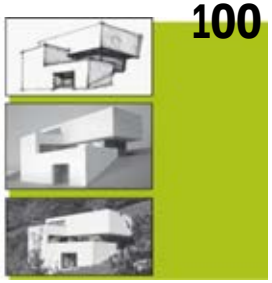
2007: 150.000 Besucher

2009: 300.000 Besucher

Solar Decathlon | … und Ziele in Zahlen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Subjektive Disziplinen



01 Architecture

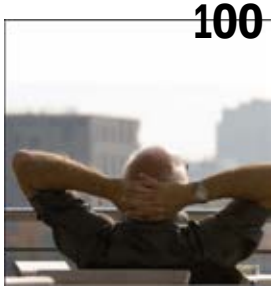
02 Market Viability

03 Engineering

04 Lighting Design

05 Communications

Objektive Disziplinen



06 Comfort Zone

07 Hot Water

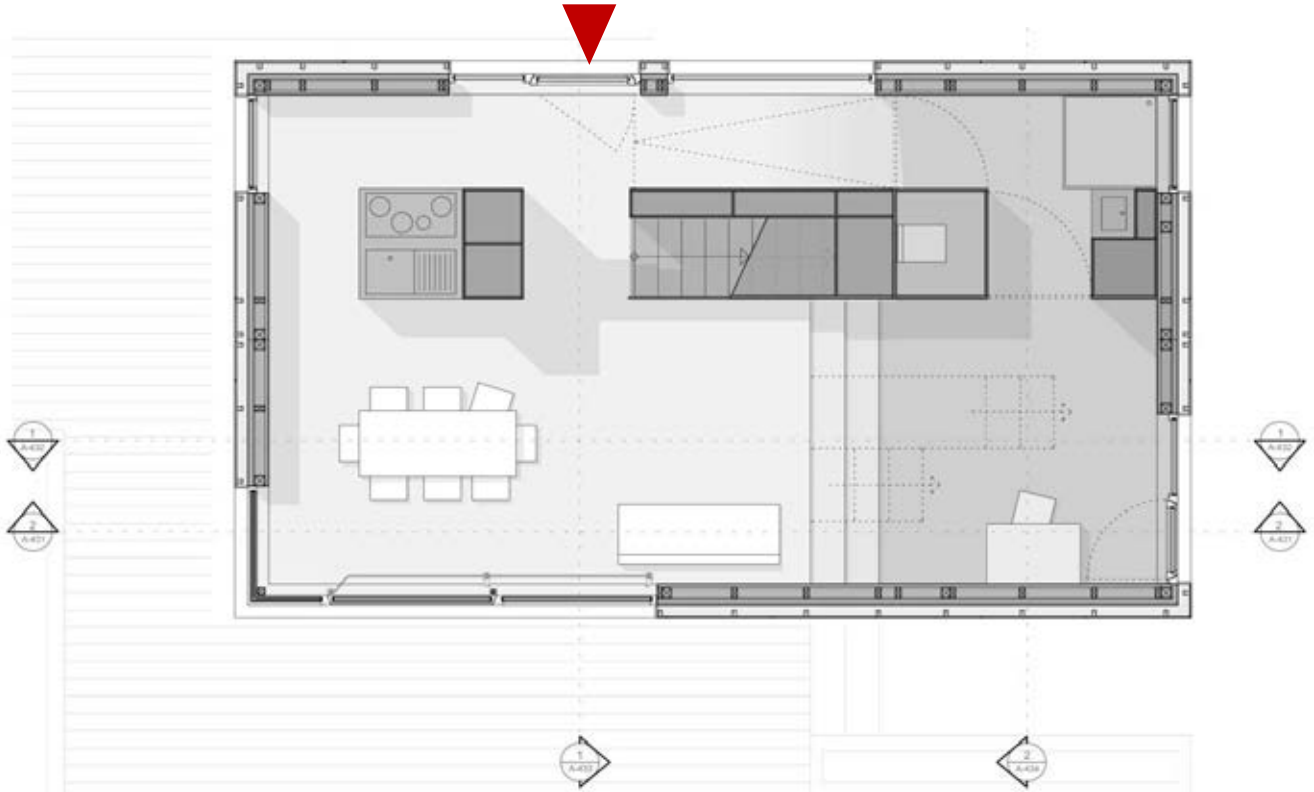
08 Appliances

09 Home Entertainment

10 Energy Balance | Net Metering

Grundriss

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



1 Floor Plan
A-221 Scale 1:50

1:50
mm 500 1000 2000 5000
1' 2' 5' 10'

Foto: Thomas Ott

Foto: Thomas Ott, www.o2t.de

Foto: Thomas Ott, www.o2t.de

Foto: Thomas Ott, www.o2t.de

Passive Maßnahmen: Vakuumisolation

Passive Maßnahmen: PCM Klimadecke

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

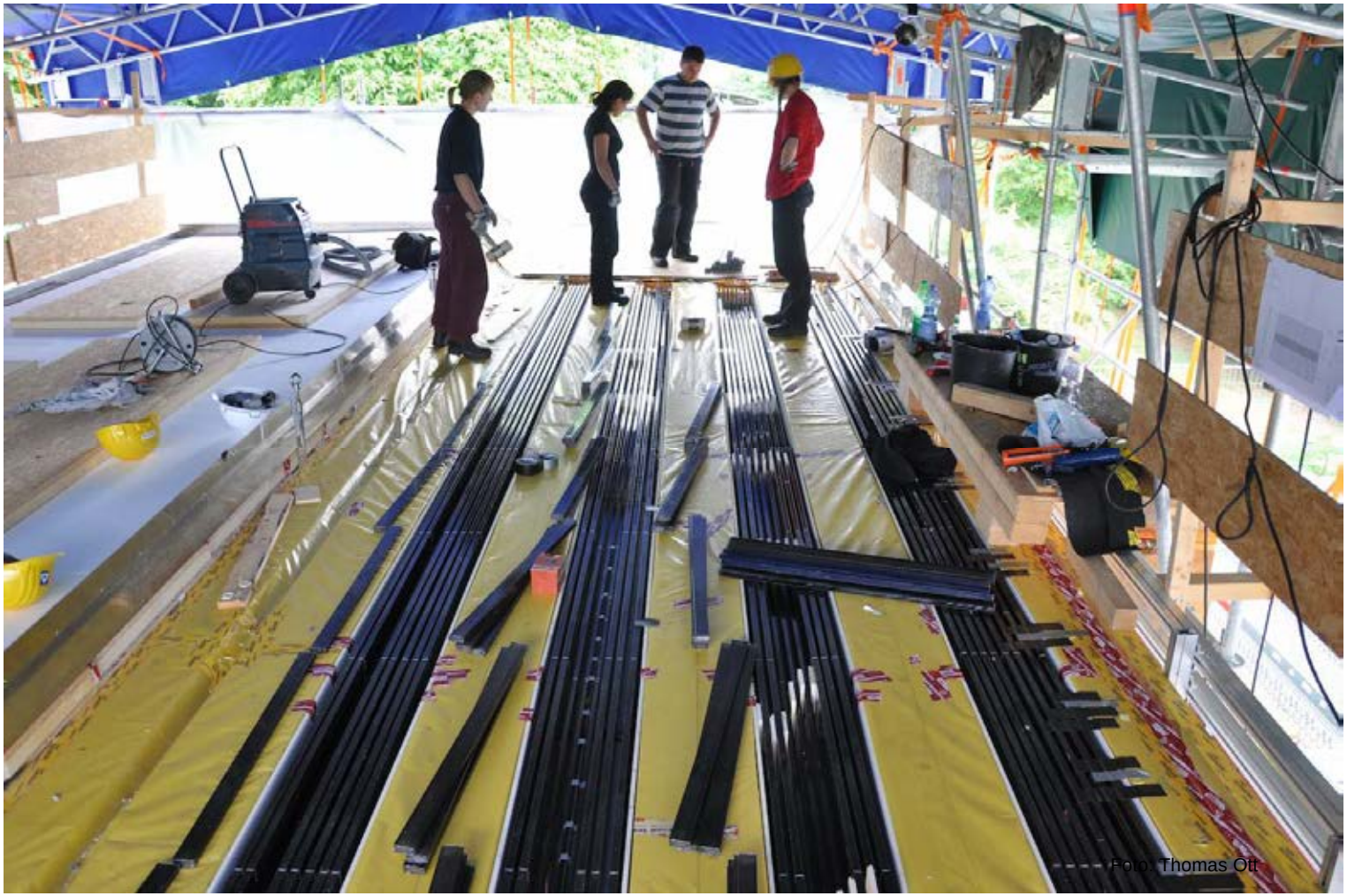
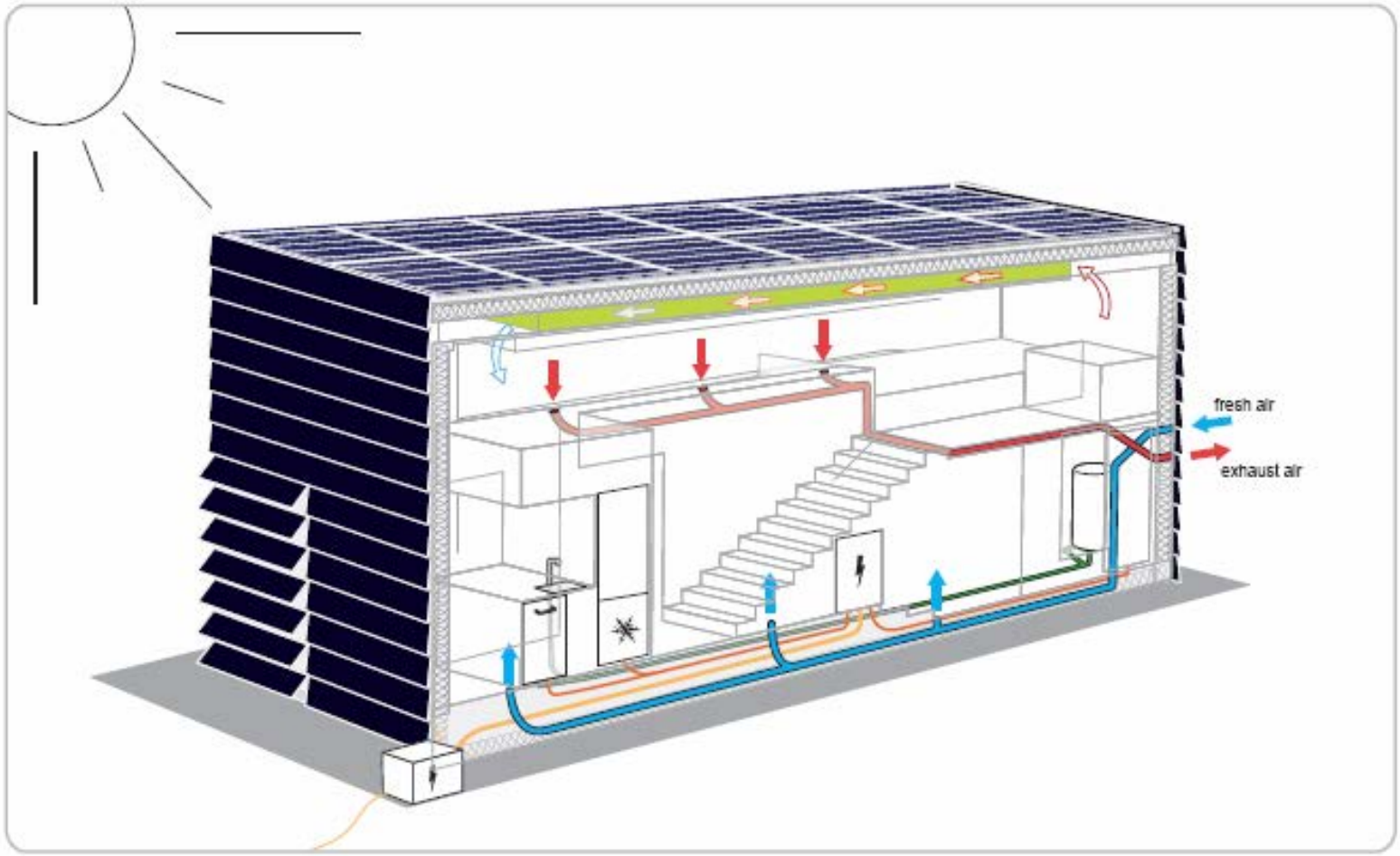


Foto: Thomas Ott

Passive Maßnahmen: PCM Klimadecke



Aktive Maßnahmen: PV-Fassade

Ansicht Norden

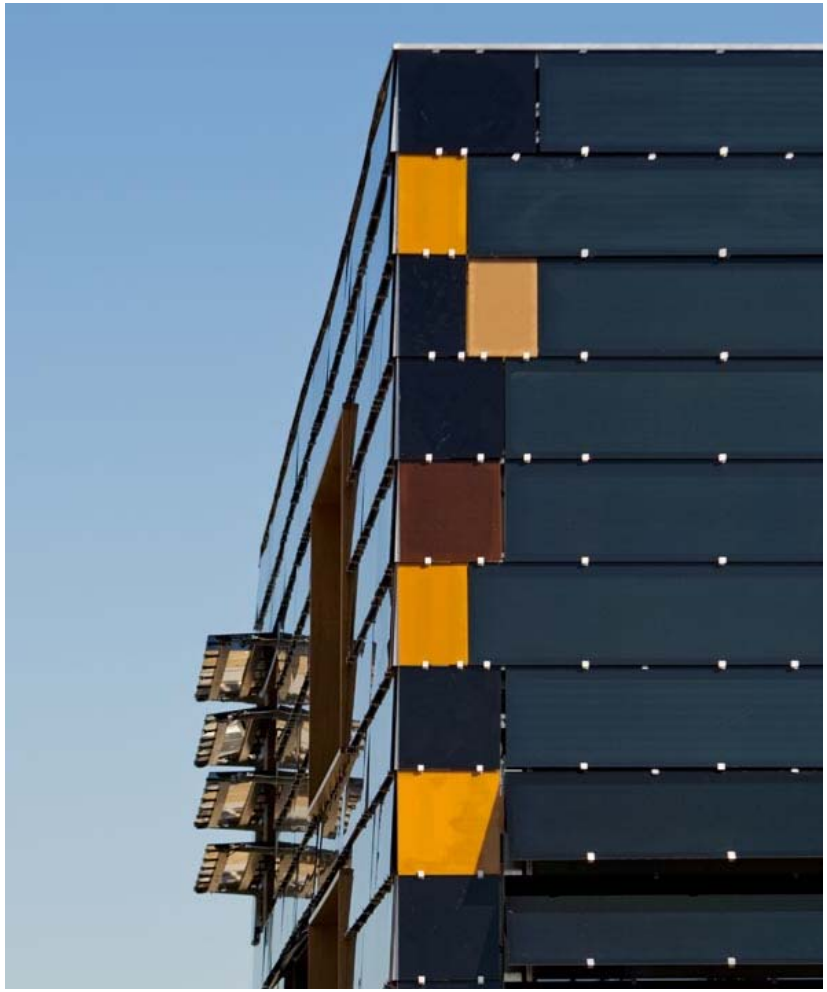
Ansicht Osten

Ansicht Süden

Ansicht Westen

Aktive Maßnahmen: PV-Fassade

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



Aktive Maßnahmen: PV-Fassade

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

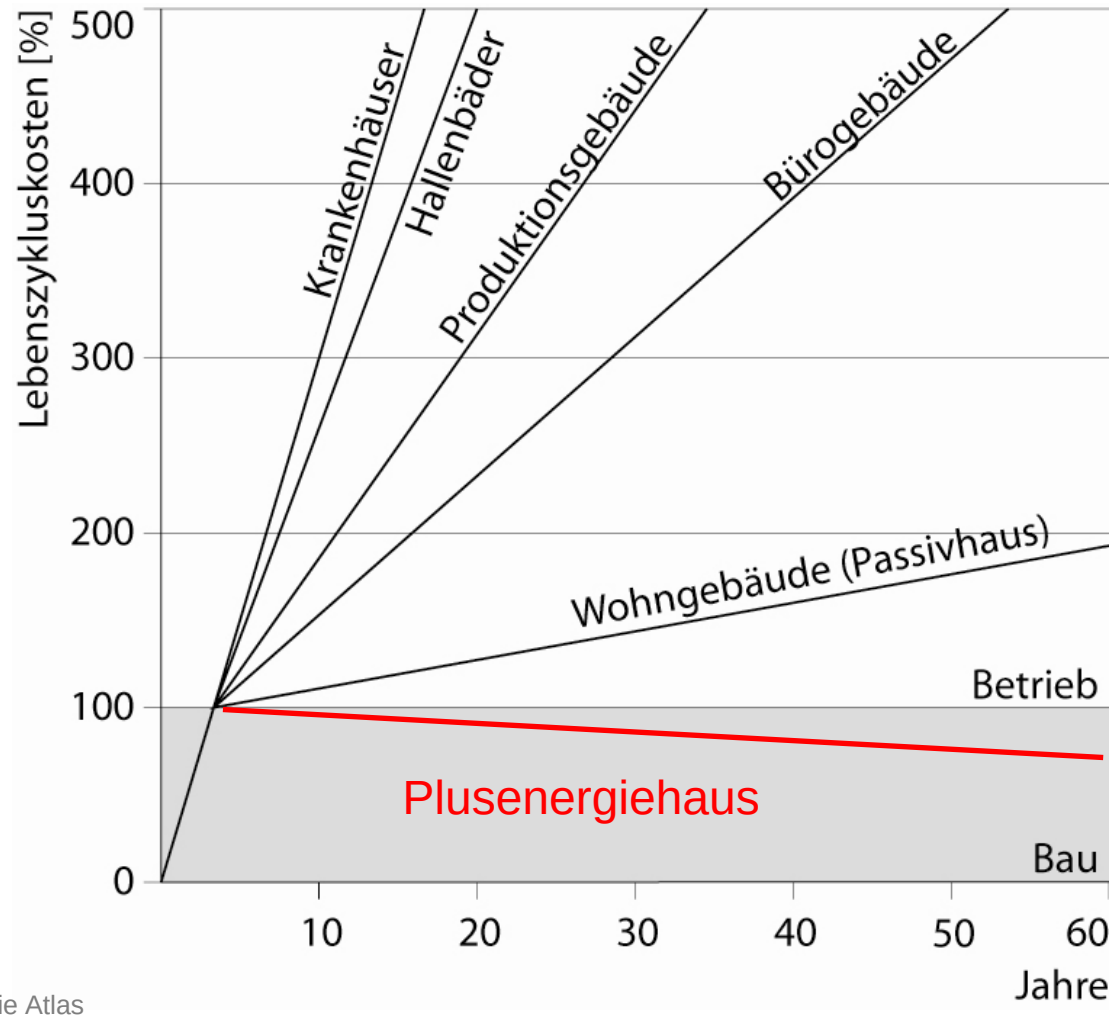
Aktive Maßnahmen: PV Dach

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

+ 9960 kWh/a

Lebenszykluskosten verschiedener Gebäudetypen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



Quelle: Hegger u.a.: Energie Atlas

SMA Wechselrichterfabrik Kassel 2009, HHS Architekten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

SMA Wechselrichterfabrik Kassel 2009, HHS Architekten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

SMA Wechselrichterfabrik Kassel 2009, HHS Architekten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Solarakademie Niestetal 2009 – 2010, HHS Architekten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Solarakademie Niestetal 2009 – 2010, HHS Architekten

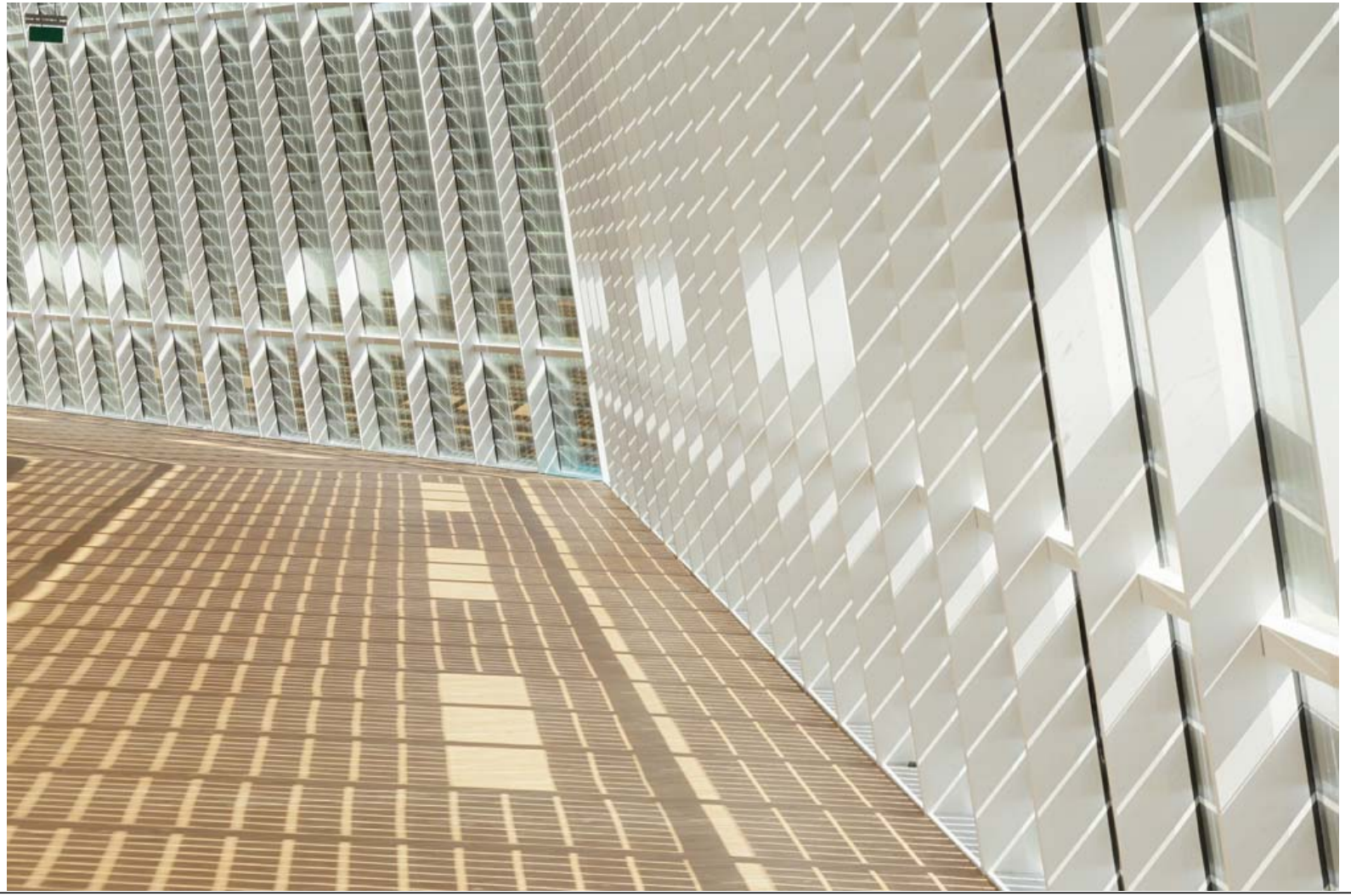
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Solarakademie Niestetal 2009 – 2010, HHS Architekten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Solarakademie Niestetal 2009 – 2010, HHS Architekten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



Plusenergiehäuser ... und dann?
Von der Energie- zur Ressourceneffizienz

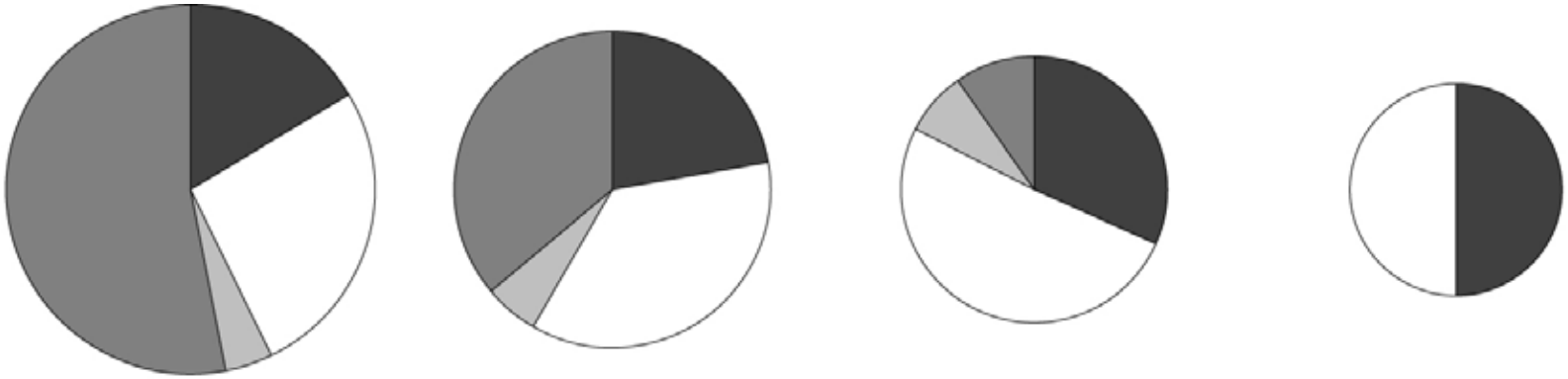
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

© Kurt Michel / pixelio.de

Jürgen Nießen / pixelio.de

Energieverbrauch in Gebäuden

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



WSchVO 1984	EnEV 2002 / 2004	Passivhaus	EU 2019
ca. 300 kWh/m²a	ca. 220 kWh/m²a	ca. 160 kWh/m²a	ca. 100 kWh/m²a*

Erstellung | Strom | Warmwasser | Heizung

*ohne Nutzerstrom

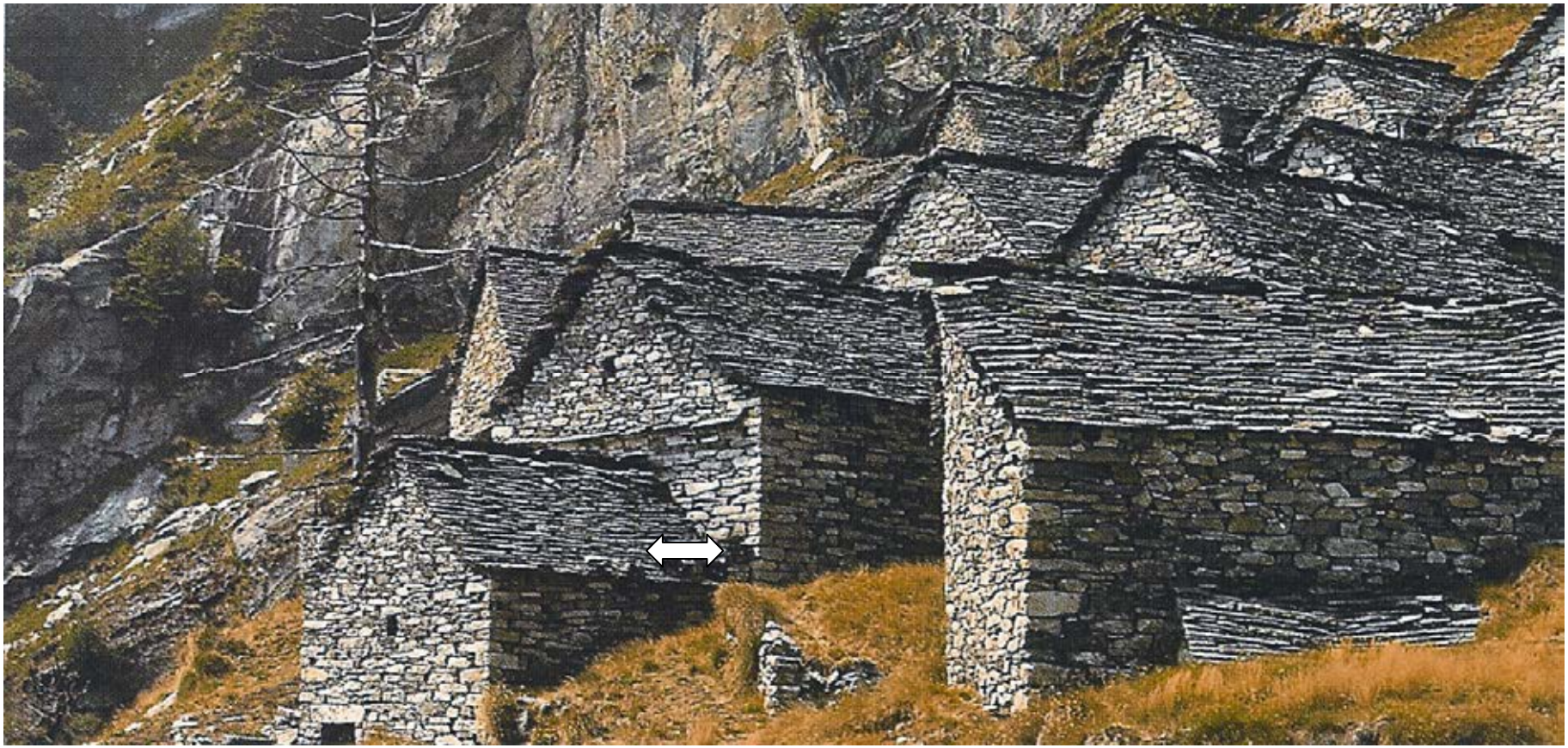
Mobiler Aktionsraum - Raumlabor Berlin

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Historische Materialwahl - Verfügbarkeit

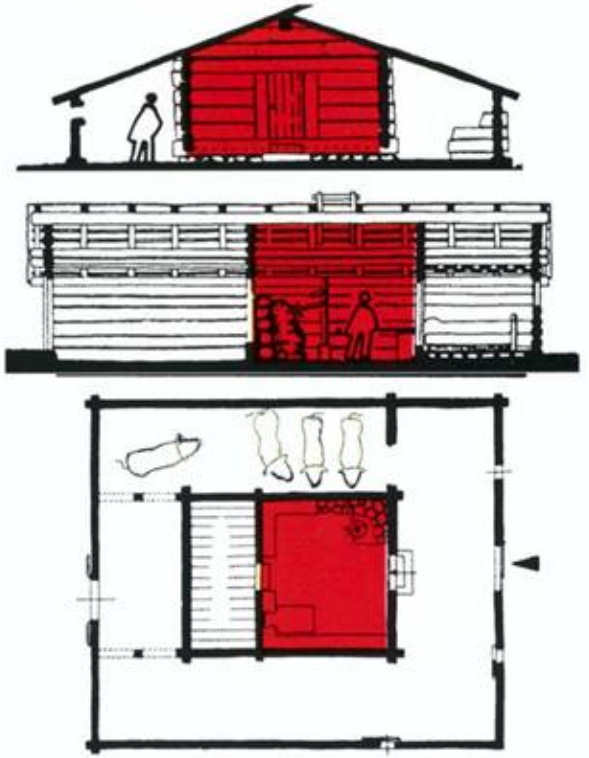
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Historische Materialwahl - Verfügbarkeit



Material und Energie

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



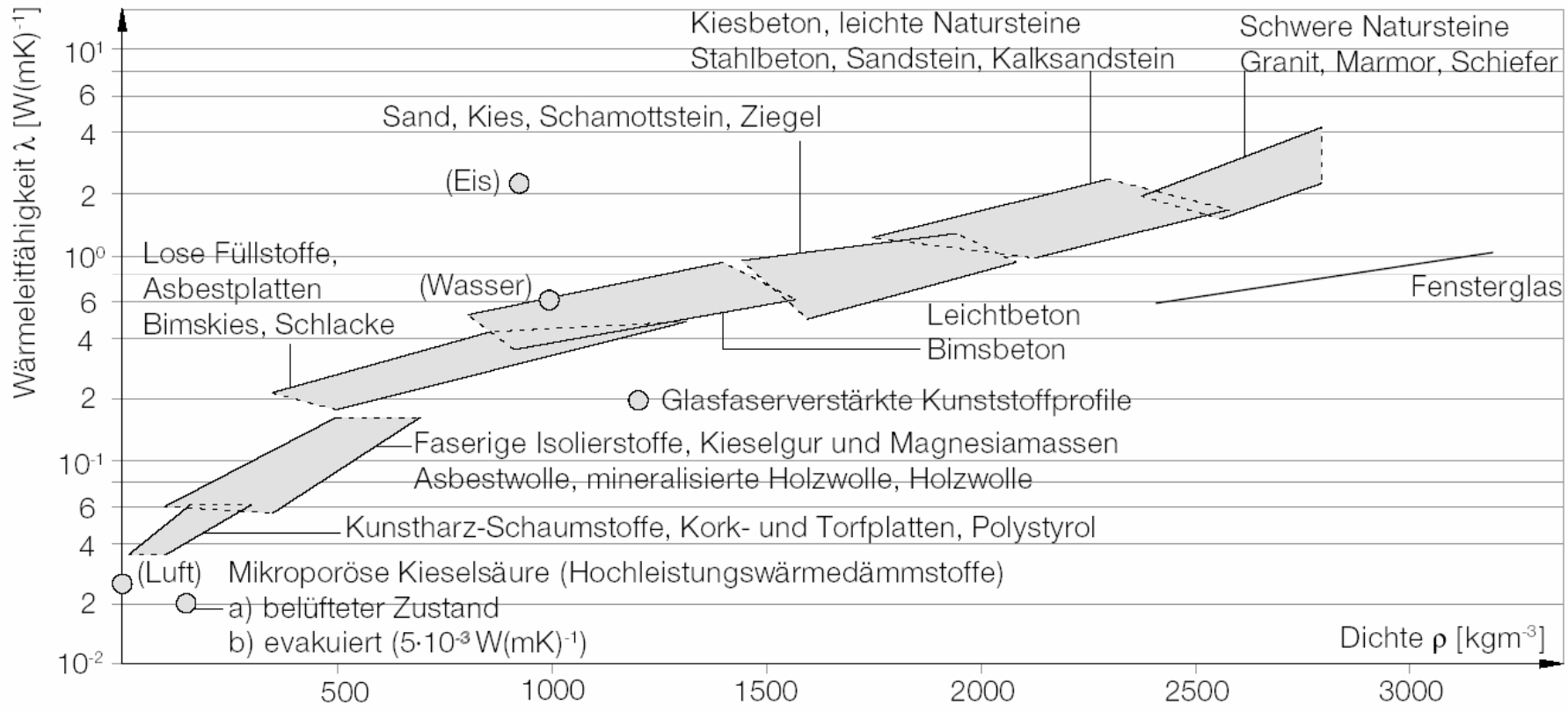
Quelle: Solpower

Steigender Wohlstand – steigender Anspruch

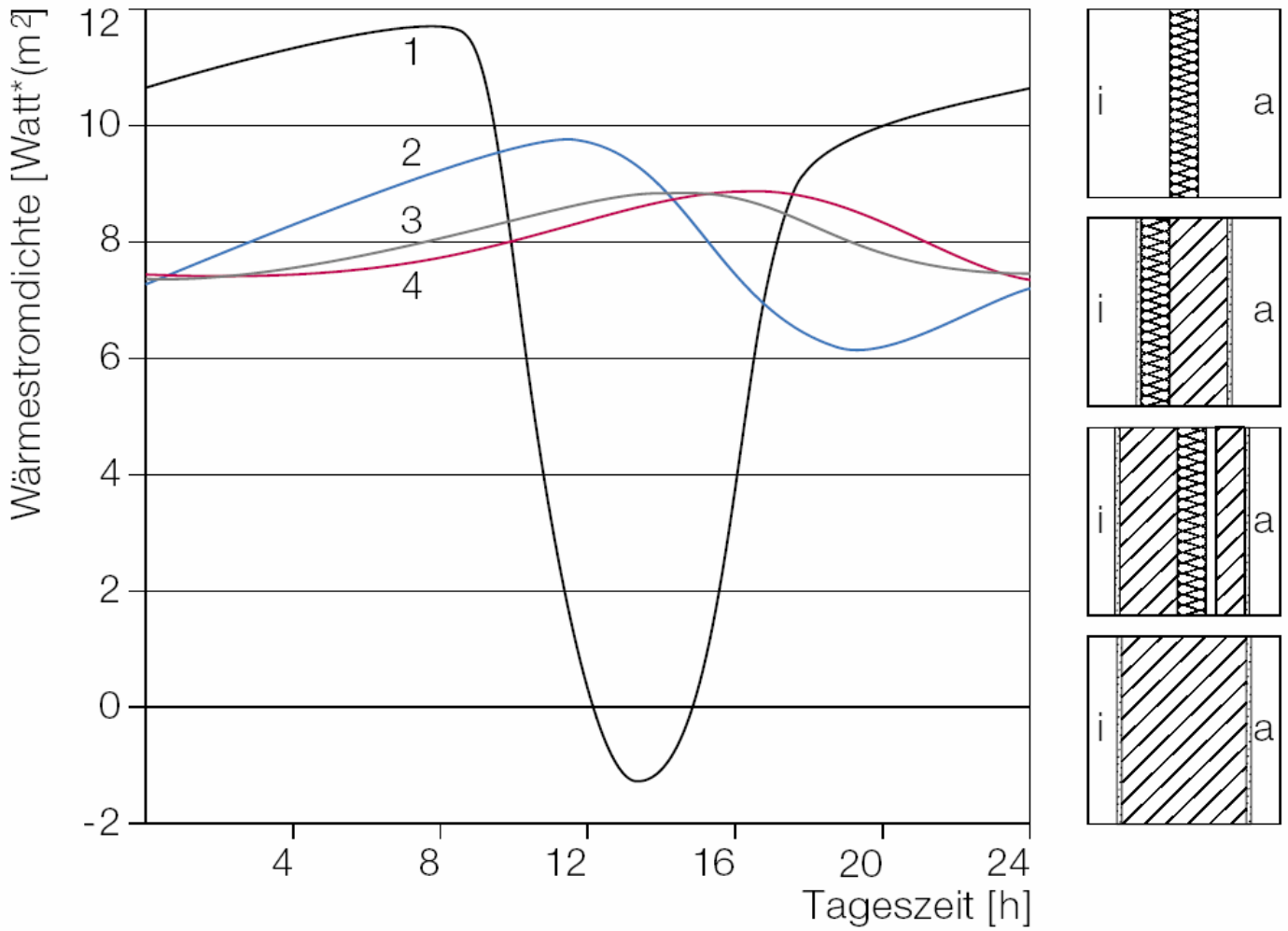
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Quelle: Elke Handke / pixelio.de

Kriterium Wärmeleitfähigkeit

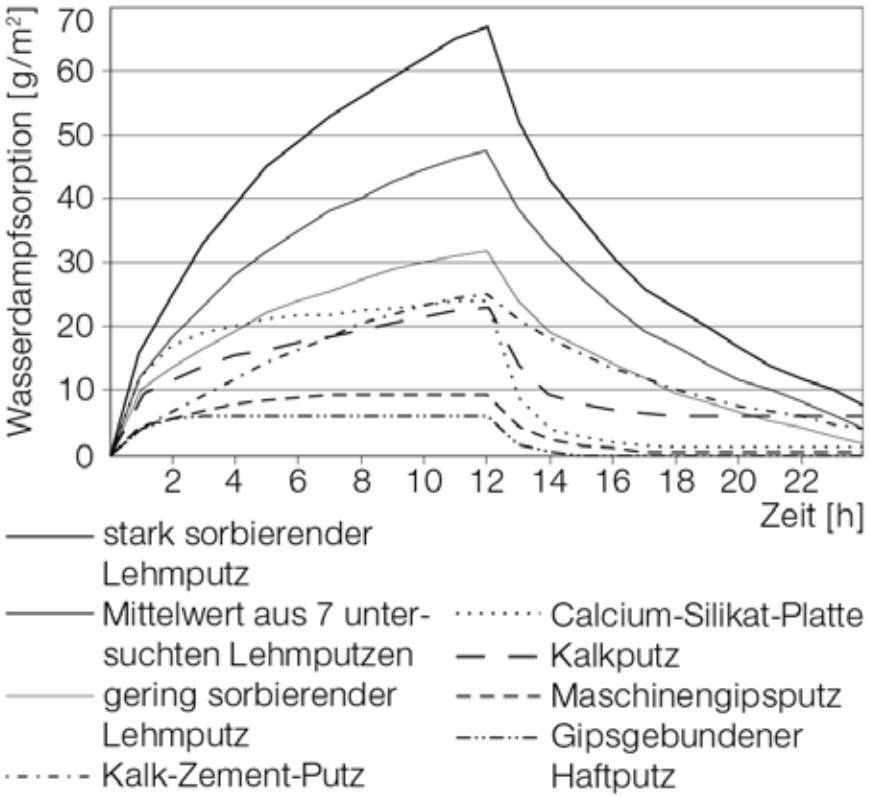


Kriterium Wärmespeicherung

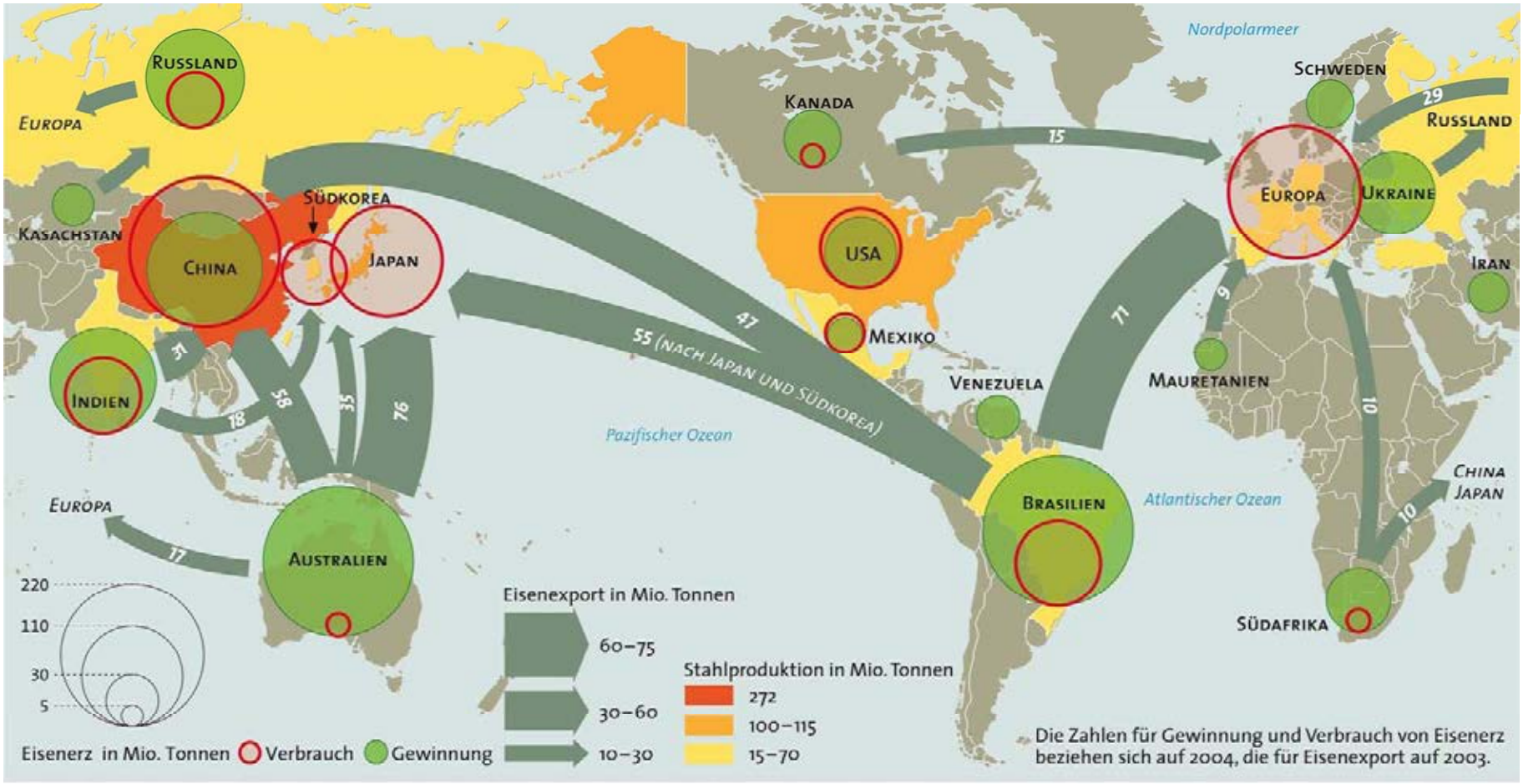


Kriterium Regulierung der Raumluftfeuchte

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



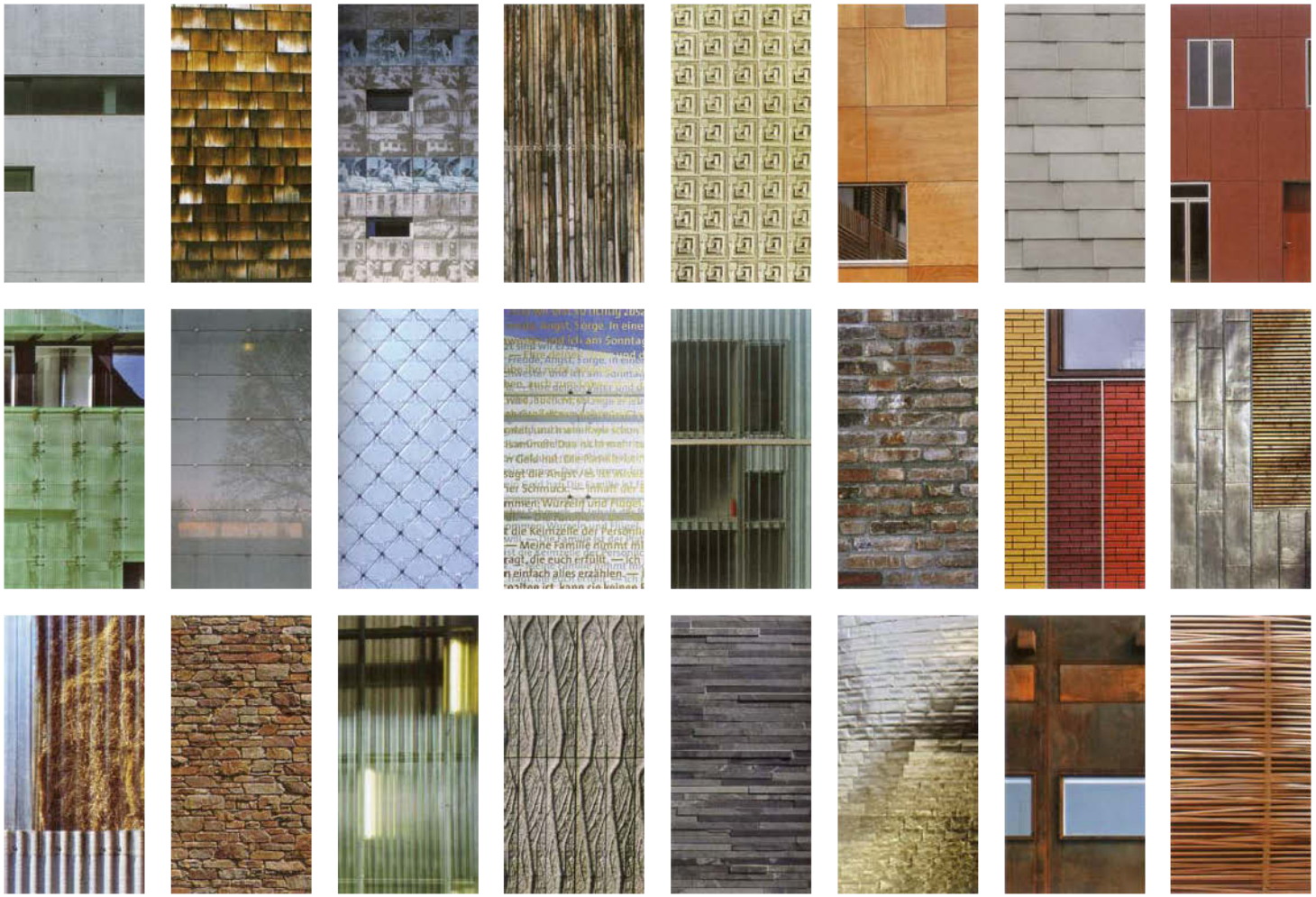
Kriterium Verfügbarkeit
Beispiel: Eisenerz / Stahl



© Le Monde diplomatique, 2007

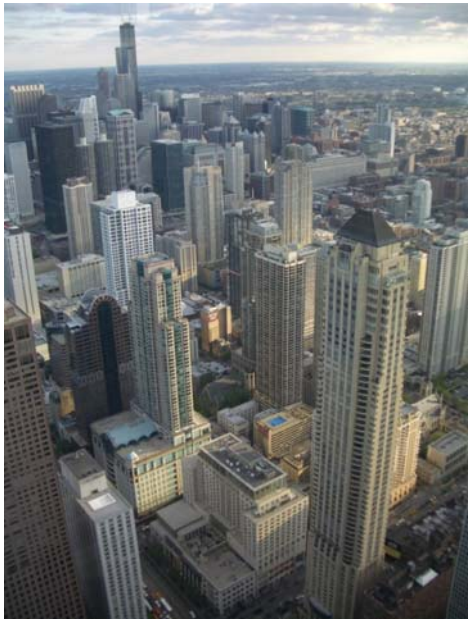
Zunehmende Materialvielfalt

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

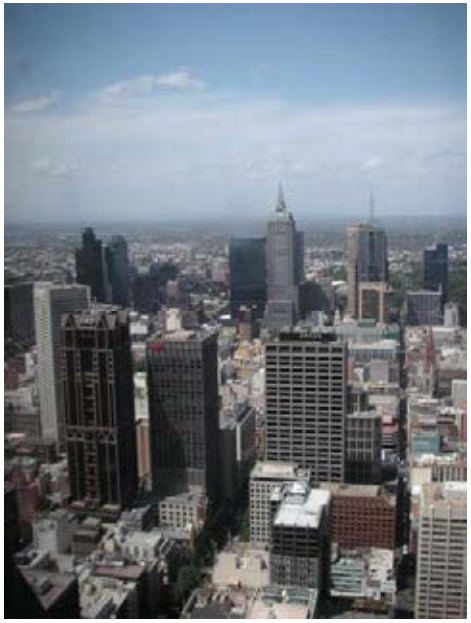


Abnehmende lokale Individualität

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



Chicago



Hongkong

London

Tokyo

Herausforderungen und Trends

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Klimawandel

Bevölkerungsentwicklung

Energetische Ressourcen

Globalisierung

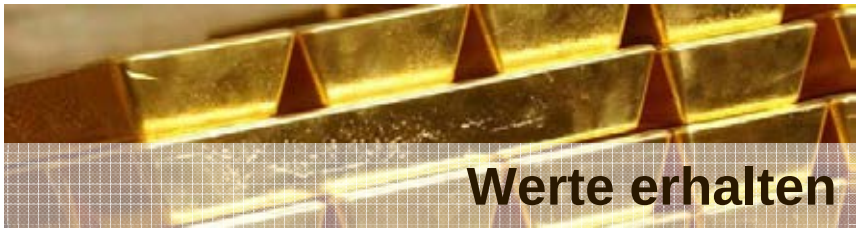
Abiotische Ressourcen

Abfallaufkommen

u.v.m.

Worauf es ankommt...

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



Anforderungen an Baustoffe 3

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Wahrnehmung	Technisch-funktionale Leistungen	Material im Lebenszyklus		
		Nutzungsbezogene Anforderungen	Ökologische Anforderungen	Ökonomische Anforderungen
visuell	Verfügbarkeit	visuell		
taktil	Nutzungseignung		Herstellungs-orientierung	Investitionskosten
thermisch	Wärmeschutz	Pflegeaufwand		Betriebskosten
akustisch	Feuchteschutz	Lebenszyklusbezug		Lebenszykluskosten
olfaktorisch	Brandschutz		Materialkreislauf-gerechtigkeit	
	Schallschutz			
	Gesundheitliche Unbedenklichkeit			

Lebenszyklusorientiertes Bauen: Grundlagen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Avoid solving a problem...

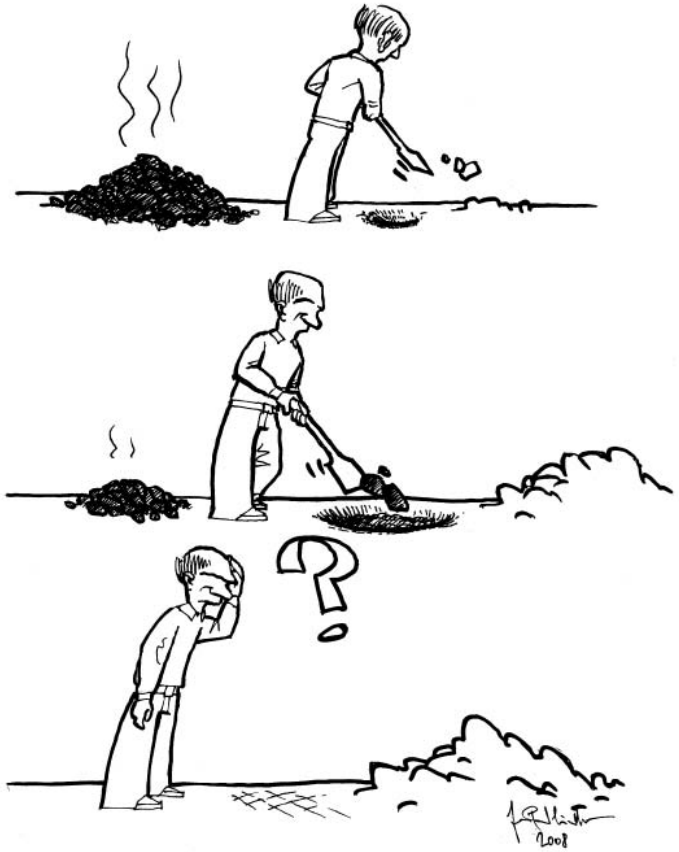
Quelle: PE International / IBP Uni Stuttgart

Lebenszyklusorientiertes Bauen: Grundlagen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Avoid solving a problem...

...by creating a new problem



Quelle: PE International / IBP Uni Stuttgart

Rohstoffabbau

Herstellung von Vorprodukten

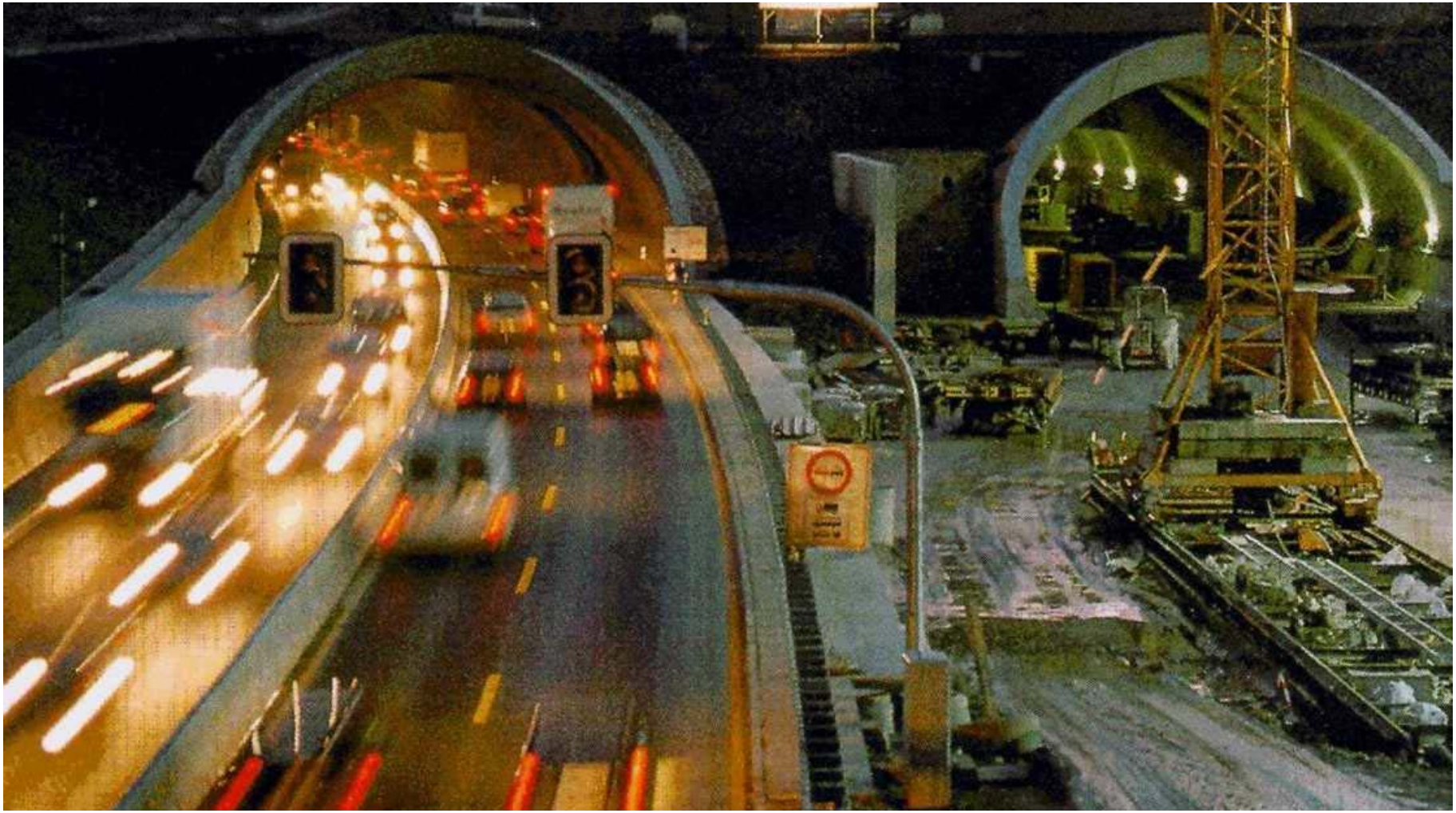
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Herstellung Produkt

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Nutzungsphase

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



End of life

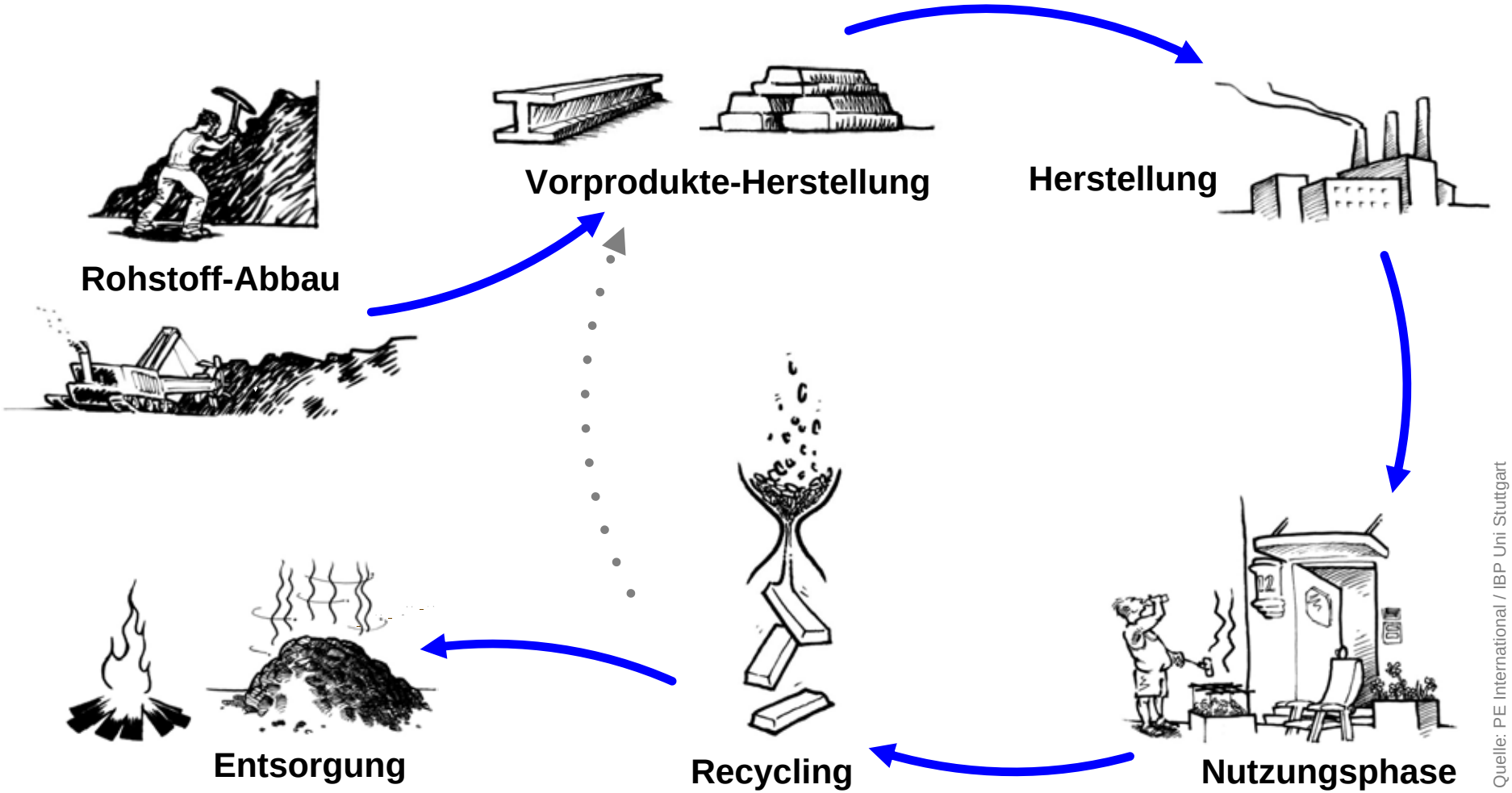
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Recycling...

... oder thermische Verwertung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Lebenszyklus



Quelle: PE International / IBP Uni Stuttgart

Das richtige Material für den richtigen Zweck

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Betrieb

Energiebedarf
Facility Management
Wartung
Instandhaltung / Pflege
Instandsetzung

Modernisierung

Nachrüstung
Anpassung / Ausbau
Umnutzung
Sanierung

Inbetriebnahme

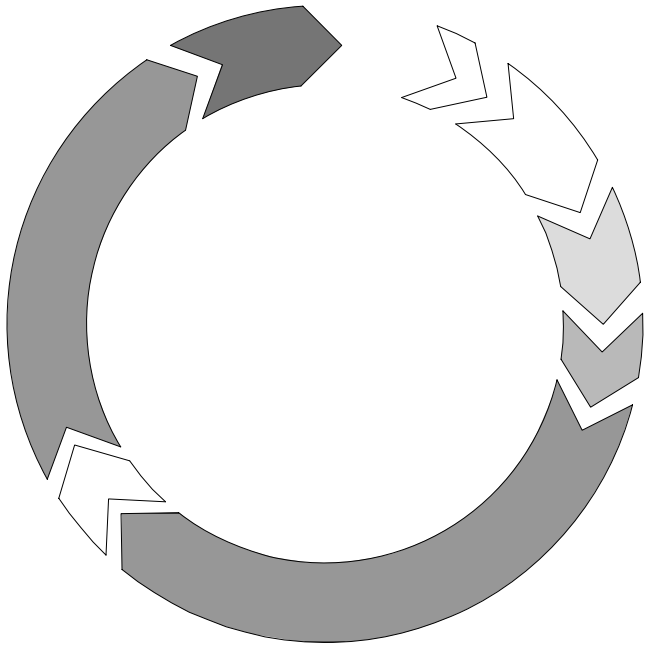
Abnahme
Dokumentation
Gebäudeausweis

Ausführung

Bauüberwachung
Abfallrecycling
Qualitätskontrolle

Abbruch

Recycling
Entsorgung



Analyse

Standort
Nutzung
vorhandene Bausubstanz
Finanzierung
Nutzungszeitraum
Projektentwicklung

Planung

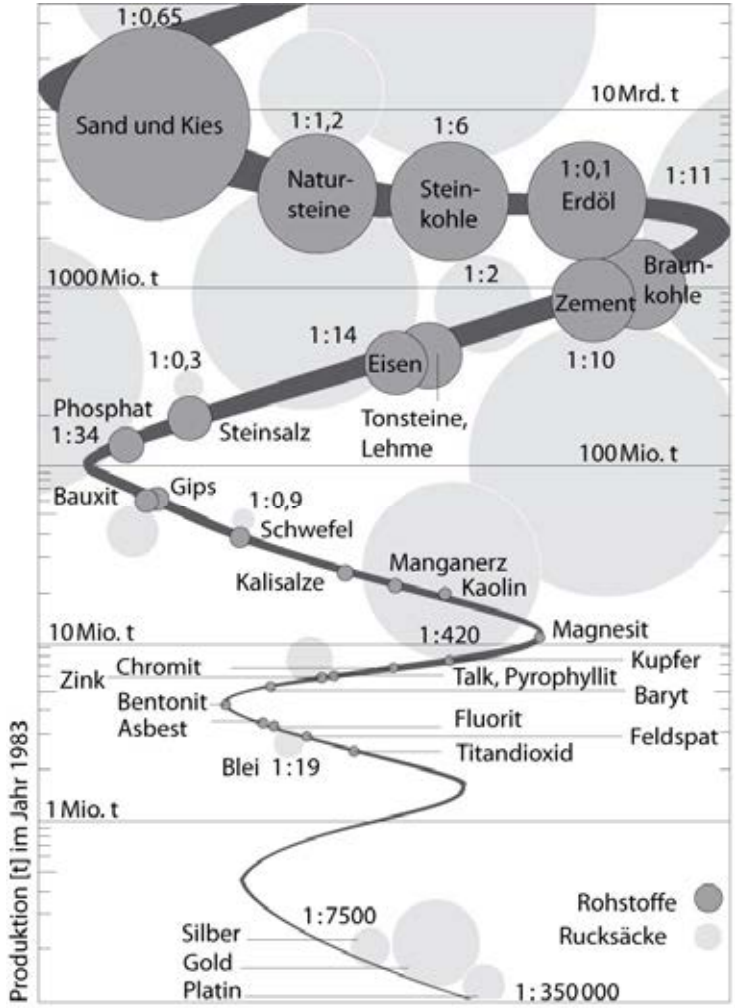
Projektentwicklung
Vorentwurf
Entwurf
  Energieminimierung
Materialauswahl
  Materialherstellung
  Schadstoffe
  Dauerhaftigkeit
  Rückbaubarkeit
Werkplanung
  Materialminimierung
Leistungsbeschreibung
Vergabe

Quelle: Hegger u.a.: Energie Atlas

Ressourcen schonen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

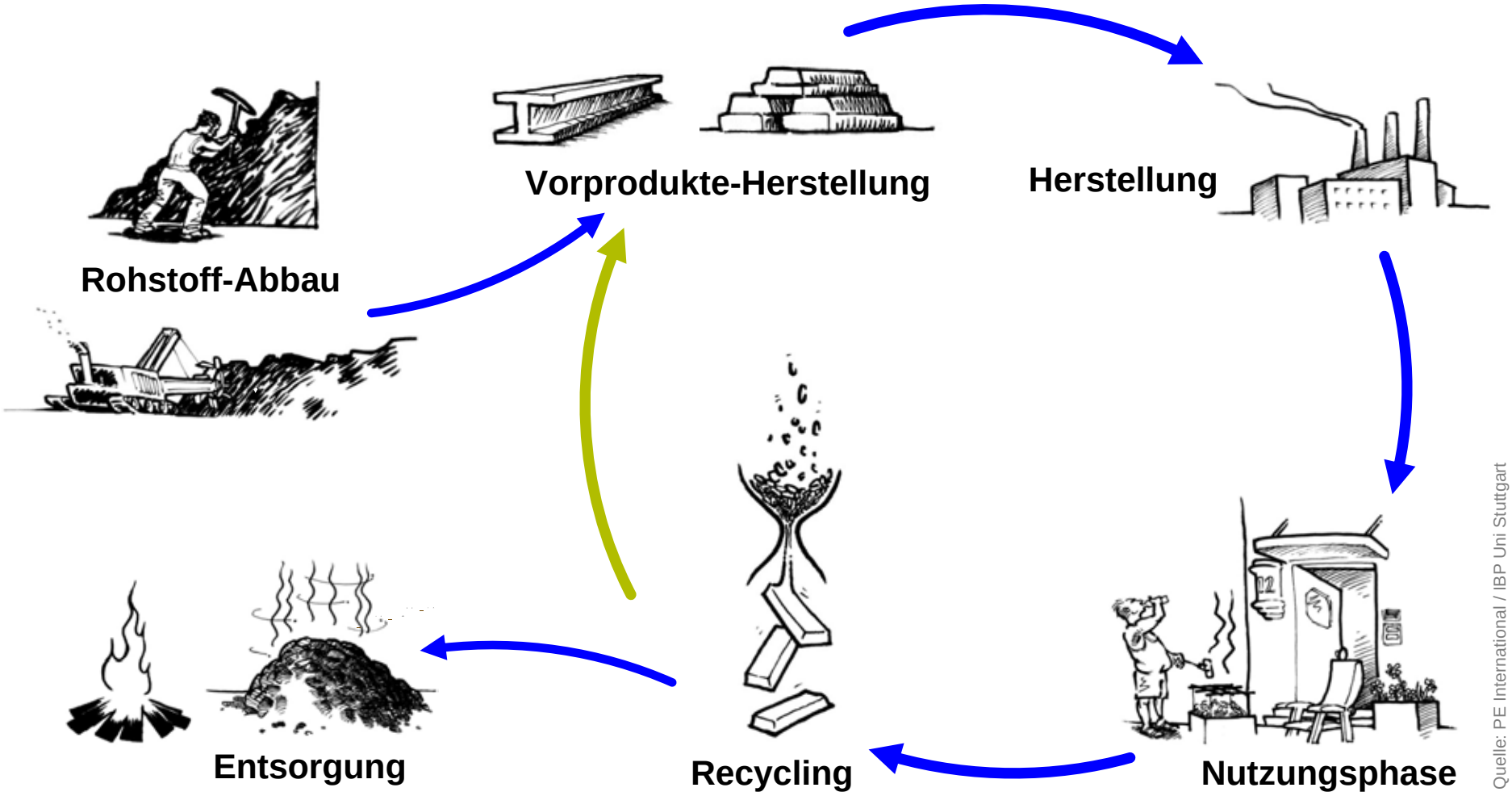
Abiotischer Ressourcenverbrauch
Beispiel: Ökologischer Rucksack



Quelle: Hegger u.a.: Energie Atlas

Lebenszyklusanalyse / Ökobilanz

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



Quelle: PE International / IBP Uni Stuttgart

Ökobilanz: Definition

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

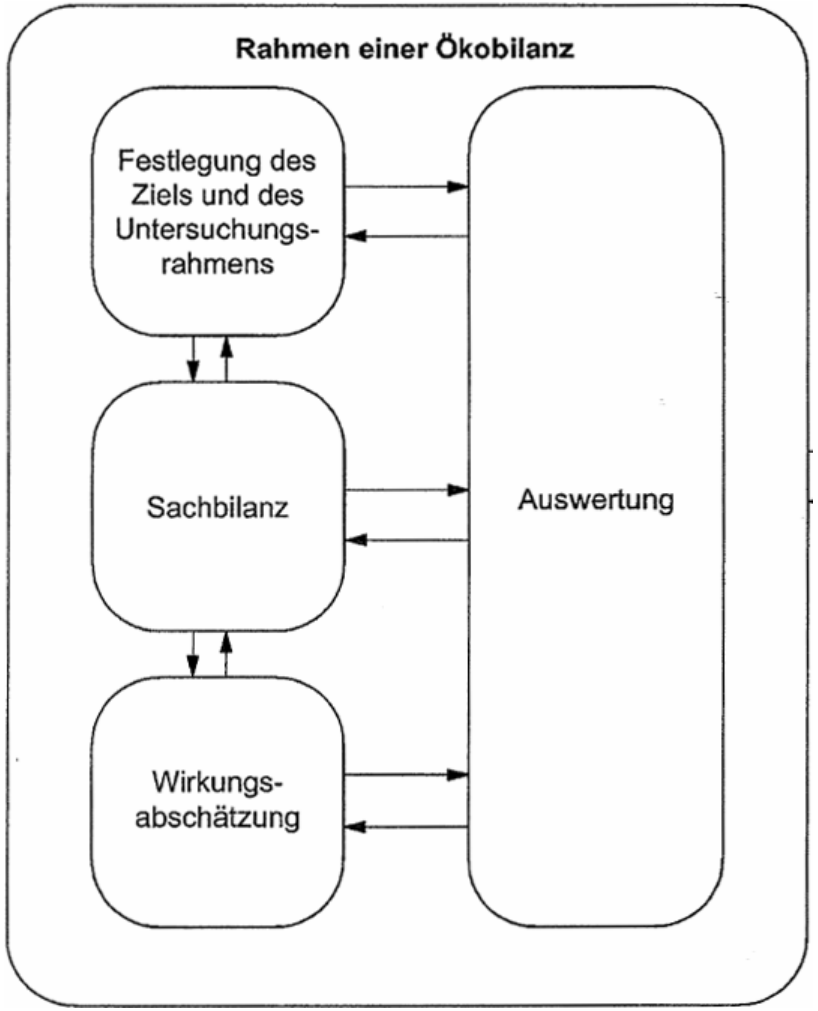
DIN EN ISO 14040:

„Die Ökobilanz bezieht sich auf die Umweltaspekte und potenziellen Umweltwirkungen (z.B. Nutzung von Ressourcen und Umwelt-auswirkungen von Emissionen) im Verlauf des Lebensweges eines Produkts von der Rohstoffgewinnung über Produktion, Anwendung, Abfallbehandlung, Recycling bis zur endgültigen Beseitigung (d.h. ‚von der Wiege bis zur Bahre‘).“

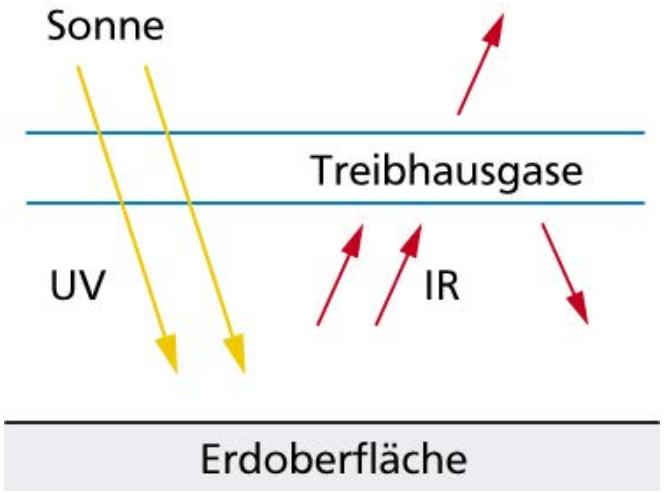
Ablauf einer Ökobilanzierung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen
- Sachbilanz: Ermittlung aller Stoffströme im System
- Wirkungsabschätzung: Umweltrelevanz der ermittelten Stoffströme
- Auswertung: Schlussfolgerungen, Empfehlungen und Entscheidungshilfen
- iterativer Prozess



Treibhauspotenzial
Global warming potential (GWP)



- Beschreibt die Auswirkungen von Treibhausgasen in der Atmosphäre auf die Erderwärmung
- Verursacher: Alle Treibhausgase z.B. Kohlendioxid, Methan
- Gemessen in kg CO_2 Äquivalent
- Betrachtungszeitraum: 100 Jahre

Treibhauspotenzial: Wirkungsäquivalente

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

4.3.5 Climate change

Table 4.3.5.1: GWP_{100} factors for characterising climate gases.

Substance	Comp.	CAS number	GWP_{100} (in kg CO2 eq./kg)
1,1,1-trichloroethane*	air	71–55–6	110
Carbon dioxide	air	124–38–9	1
CFC–11*	air	75–69–4	4000
CFC–113*	air	26523–64–8	5000
CFC–114*	air	1320–37–2	9300
CFC–115*	air	76–15–3	9300
CFC–12*	air	75–71–8	8500
CFC–13*	air	75–72–9	11700
Dichloromethane	air	75–09–2	9
Dinitrogen oxide	air	10024–97–2	310
HALON–1301*	air	75–63–8	5600
HCFC–123*	air	306–83–2	93
HCFC–124*	air	63938–10–3	480
HCFC–141b*	air	27156–03–2	630
HCFC–142b*	air	75–68–3	2000
HCFC–22*	air	75–45–6	1700
HCFC–225ca*	air	422–56–0	170
HCFC–225cb*	air	507–55–1	530
HFC–125	air	354–33–6	2800
HFC–134	air	811–97–2	1000
HFC–134a	air	811–97–2	1300
HFC–143	air	430–66–0	300
HFC–143a	air	420–46–2	3800
HFC–152a	air	75–37–6	140
HFC–227ea	air	431–89–0	2900
HFC–23	air	75–46–7	11700
HFC–236fa	air	690–39–1	6300
HFC–245ca	air	679–86–7	560
HFC–32	air	75–10–5	650
HFC–41	air	593–53–3	150
HFC–43–10mee	air	138495–42	1300
Methane	air	74–82–8	21
Perfluorobutane	air	355–25–9	7000
Perfluorocyclobutane	air	115–25–3	8700
Perfluoroethane	air	76–16–4	9200
Perfluorohexane	air	355–42–0	7400
Perfluoromethane	air	75–73–0	6500
Perfluoropentane	air	678–26–2	7500
Perfluoropropane	air	76–19–7	7000
Sulphur hexafluoride	air	2551–62–4	23900
Tetrachloromethane*	air	56–23–5	1400
Trichloromethane	air	67–66–3	4

Treibhauspotenzial: Wirkungsäquivalente

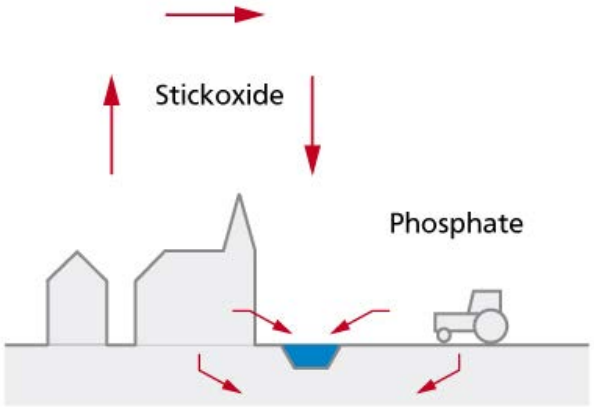
Sachbilanzwert	*	GWP Faktor	=	Wirkungspotenzial*
25 kg CO2	*	1	=	25 [kg CO2-Äquivalent]
2 kg CH4	*	21	=	42 [kg CO2-Äquivalent
...	*	...	=	...

Total: 67 [kg CO_2-Äquivalent]

1 kg CH_4 Emission ist äquivalent zu 21 kg CO_2 Emission

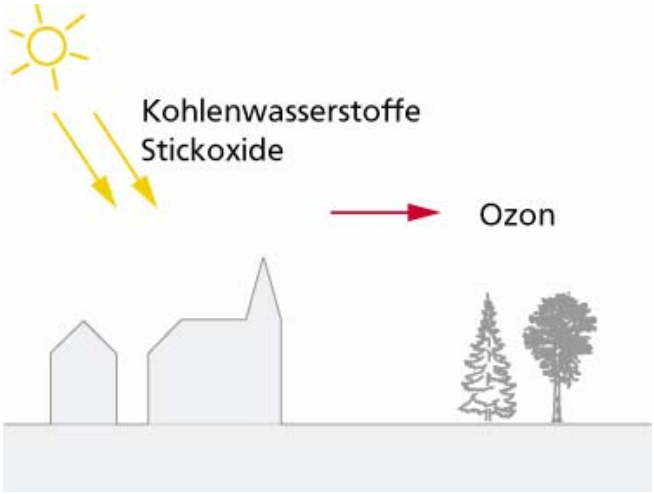
***** *Wirkungspotenzial = Wirkungsindikatorwert*

Eutrophierungspotential (EP), Überdüngung



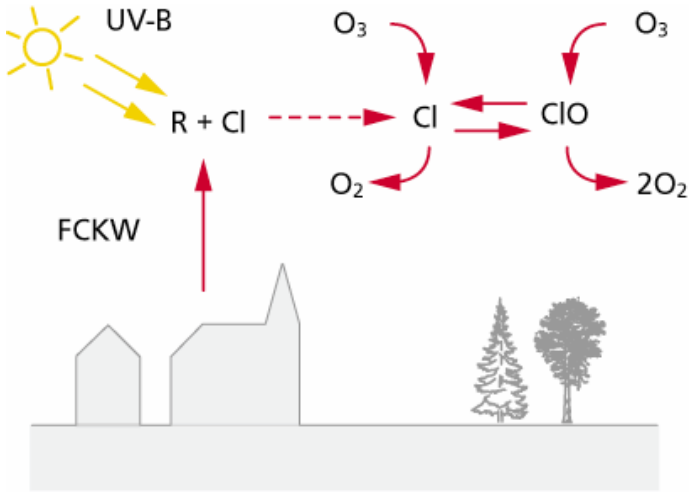
- Beschreibt die Anreicherung von Nährstoffen an einem Standort eines Ökosystems
- Unterscheidung zwischen terrestrischer und aquatischer Eutrophierung
- Beschleunigt durch Stickoxide und Phosphate
- Gemessen in kg Phosphat Äquivalent (PO_4-Äquivalent)
- Auswirkungen können regional stark unterschiedlich sein

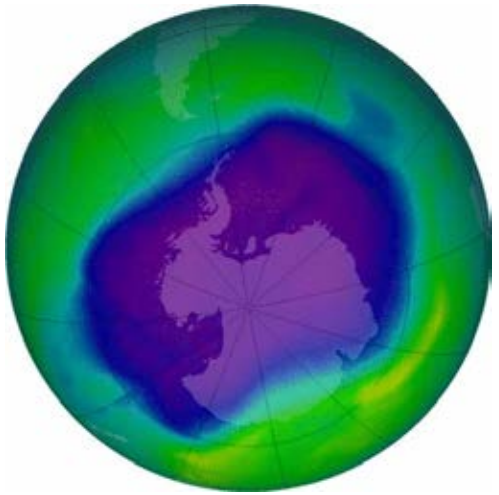
Photochemisches Oxidantienbildungspotential (POCP), Bodennahe Ozonbildung



- Beschreibt die Ozonbildung in der Troposphäre (Sommersmog)
- In höheren Konzentrationen toxisch für den Menschen
- Verursacher: Stickoxide und Kohlenwasserstoffe in Kombination mit Sonneneinstrahlung
- Gemessen in kg Ethen-Äquivalent (C_2H_4-Äquivalent)
- Höhere Ozonkonzentrationen treten eher in Reinluftgebieten (z.B. Wäldern) auf

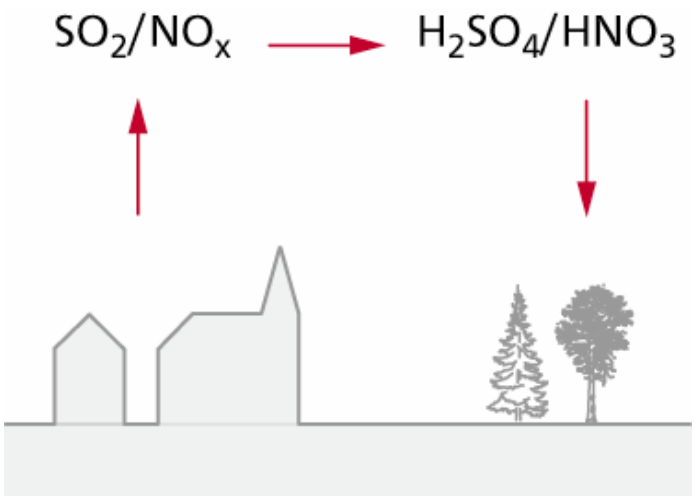
Ozonabbaupotenzial (ODP)





- Beschreibt den Abbau der Ozonschicht in der Atmosphäre
- Durch den Rückgang der Ozonschicht können mehr UV-Strahlen die Erdoberfläche erreichen und dort Menschen, Tiere und Pflanzen schädigen
- Verursacher: Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW)
- Gemessen in R11-Äquivalent (Trichlorfluormethan)
- Der Ozonabbau wirkt global, die lokale Ausbildung ist allerdings stark unterschiedlich (Ozonloch über der Antarktis)

Versauerung (AP)



- Beschreibt die Versauerung von Böden und Gewässern durch die Umwandlung von Luftschadstoffen in Säuren
- Beispiele für Versauerung sind der saure Regen und das Waldsterben
- Verursacher: Stickoxide und Schwefeldioxid
- Gemessen in Schwefeldioxid-Äquivalent (SO_2-Äquivalent)
- Versauerung wirkt theoretisch global, Auswirkung unterscheiden sich jedoch regional

Primärenergieinhalt nicht erneuerbar (PEI)

- beschreibt den Verbrauch nicht regenerierbarer energetischer Ressourcen (Primärenergieträger)
- Beispiele: Eröl, Erdgas, Kohle
- Gemessen in MJ Energie

Quellen für Ökobilanzdaten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Umweltproduktdeklarationen für Bauprodukte (EPD)
  - Hersteller
  - Institut Bauen und Umwelt e.V.
    http://bau-umwelt.de/hp1/Startseite.htm
- Literatur
  - z.B. Baustoffatlas
- Datenbanken im internet:
  - „Ökobaudat“ des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Standentwicklung
    http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeudedaten/oekobaudat.html
  - European platform on LCA
    http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/index.vm
  - Bauteilkatalog (nur graue Energie)
    http://www.bauteilkatalog.ch

Umwelt Kennzeichnungen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Typ I: Umweltzeichen

Typ II: Selbstdeklaration

GESUND BAUEN
NATÜRLICH MINERALISCH.

Typ III: Umwelt - Produktdeklaration
(EPD, Environmental Product Declaration)

Umweltkennzeichnungen Typ 1: Umweltzeichen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Anforderungen sind charakteristische Grenzwerte oder qualitative Anforderungen, deren Einhaltung das Produkt deutlich umweltfreundlicher machen als Produkte, die die Anforderungen nicht erfüllen
- Die Anforderungen werden nachjustiert, so dass immer nur eine bestimmter Prozentsatz des Produktangebots das Logo erhält
- Überprüfung der Produkteigenschaften erfolgt durch geeignete Messungen
- Prüfzeugnisse werden von unabhängigen Dritten bestätigt

Umweltkennzeichnungen Typ 2: Selbstdeklaration

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Jede Art der Deklaration von Umwelteigenschaften eines Produkts
- Grundlage ist die ISO 14021. Keine weiteren speziellen Anforderungen an Inhalte und Überprüfungsverfahren
- Veröffentlichung durch den Hersteller
- Überprüfung durch unabhängige Dritte nicht vorgeschrieben

Umweltkennzeichung Typ 3
Umwelt – Produktdeklaration
(EPD, Environmental Product Declaration)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Systematische und umfassende Beschreibung der Umweltleistung des Produkts
- Ohne Wertung
- Grundlage Ökobilanzierung + weitere Indikatoren (z.B. Innenraumluftbelastung)
- Beschrieben in ISO 14025
- Nicht die Untersuchungsergebnisse einzelner Messungen, sondern die Einhaltung der Regeln für die Beschreibung eines Produkts werden durch Dritte überprüft
- In Deutschland: Institut Bauen und Umwelt (früher AUB)

Internationale EPD Systeme

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

EPD

RT ENVIRONMENTAL DECLARATION

Institut Bauen und Umwelt e.V.

GROUPE AFNOR

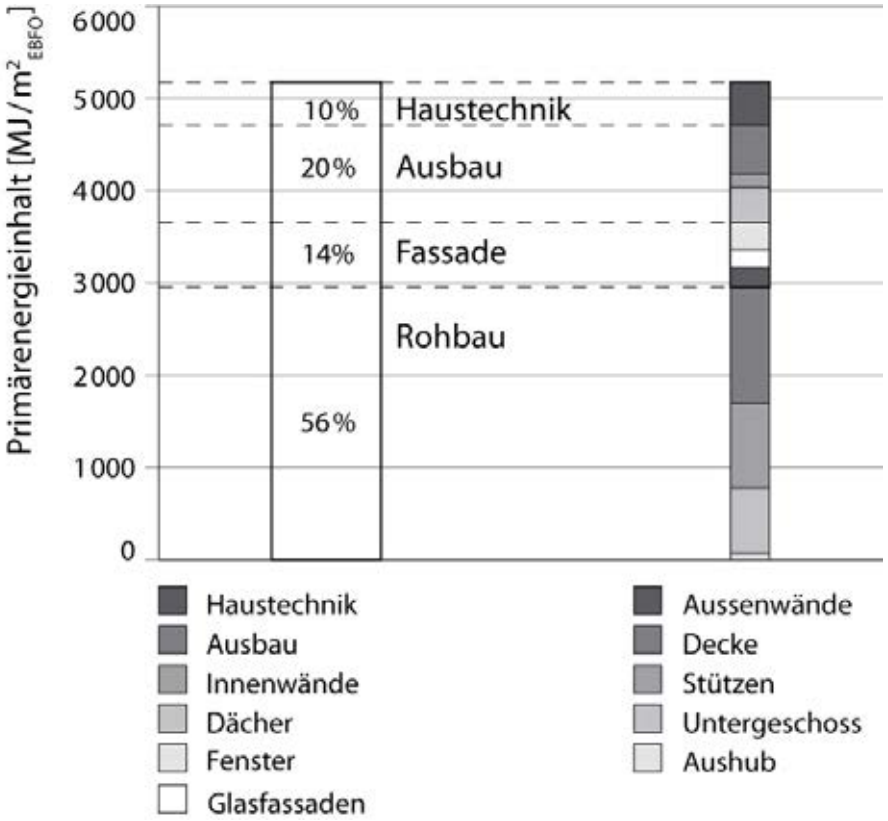
Product Environmental Aspects Declaration
ECO LEAF
製品環境情報
http://www.jemai.or.jp

EcoLeaf is a type III label.

BRE

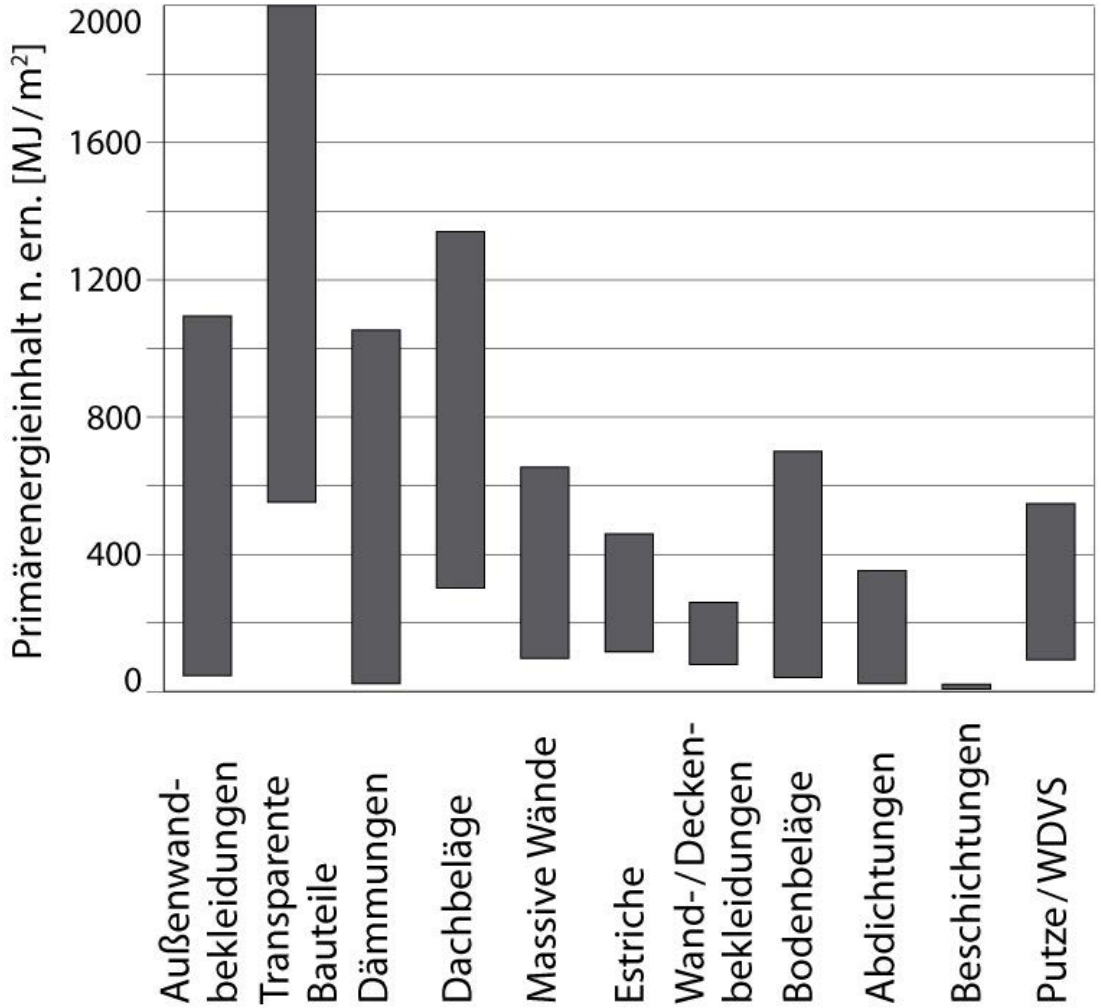
epd-norge.no

Primärenergieinhalt nach Bauteilgruppen



Quelle: Hegger u.a.: Energie Atlas

Primärenergieinhalt verschiedener funktionaler Schichten



Quelle: Hegger u.a.: Energie Atlas

Ökobilanz Herstellung verschiedene Wandaufbauten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

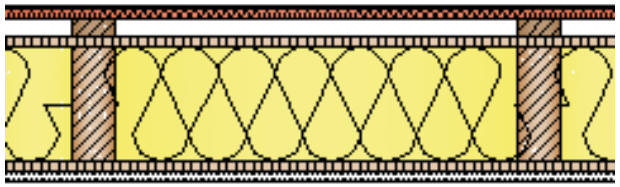
Wände pro m² Schichtaufbau	PEI Primärenergie n. erneuerbar [MJ]	PEI Primärenergie erneuerbar [MJ]	GWP Klimagase [kg CO_2eq]	Dauer- haftigkeit [a]
Massive Wände				
Stahlbeton	650	83	45	70–100
Stahlbeton (C 25/35), 2 % Stahlanteil (FE 360 B), 200 mm				
Lehmstein	96	1,2	4,2	70–90
Lehmstein luftgetrocknet, ρ = 1400 kg/m³, 240 mm Lehmmörtel				
Porenbetonstein	410	14	65	70–90
Porenbetonstein (PPW 4-0,6 NuF), 240 mm Mauermörtel MG III				
Bims-Leichtbetonstein	247	5,1	26	80–90
Bims-Leichtbetonstein (VBL 2), 240 mm Mauermörtel MG III				
Kalksandstein	517	14	56	90–100
Kalksandstein (KSL 12/1,4), 240 mm Mauermörtel MG II				
Gipsdiele	186	2,5	8,9	90
Gipsdiele, 100 mm Gipsmörtel MG IV				
Hochlochziegel	599	12	79	90–100
Hochlochziegel (HLz 12/1,2), 240 mm Mauermörtel MG II				
Ständerwände				
Holzständerwand	182	179	-5,9	40–60
Gipsplatte (Typ A), 12,5 mm Holzständer, 80/40 mm, Mineralwolle, 40 mm Gipsplatte (Typ A), 12,5 mm				

Quelle: Hegger u.a.: Energie Atlas

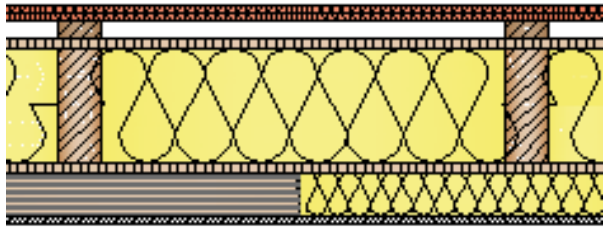
Graue Energie in Baustoffen
Vergleich verschiedener Wandaufbauten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Holzbau

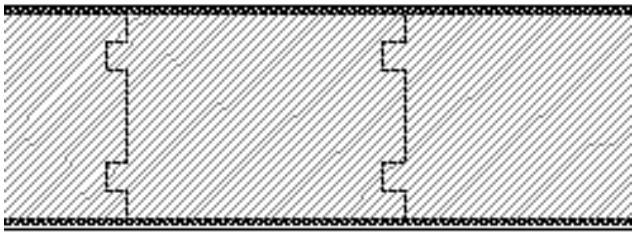


Holzständerwand ohne Installationsebene

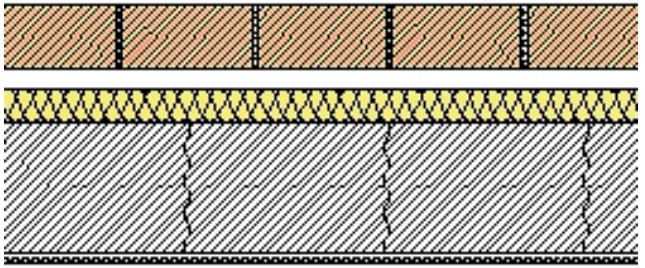


Holzständerwand mit Installationsebene

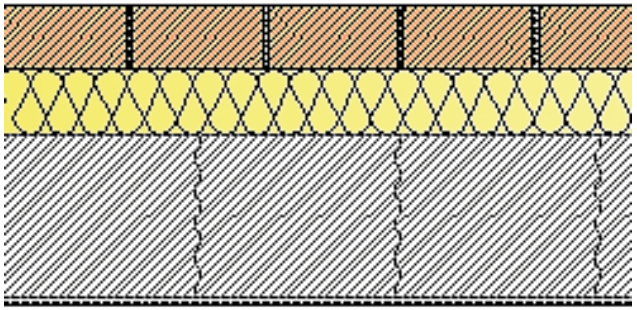
Massivbau



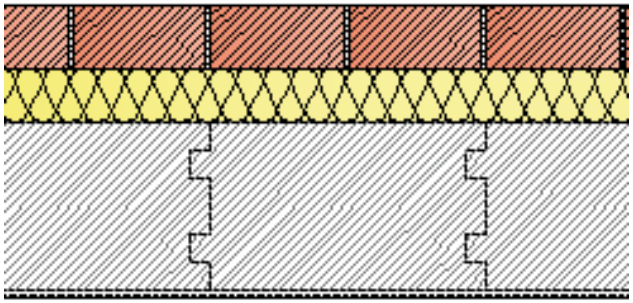
Massivwand Porenbeton, einschalig



Massivwand Poroton, Luftsch./Dämmung



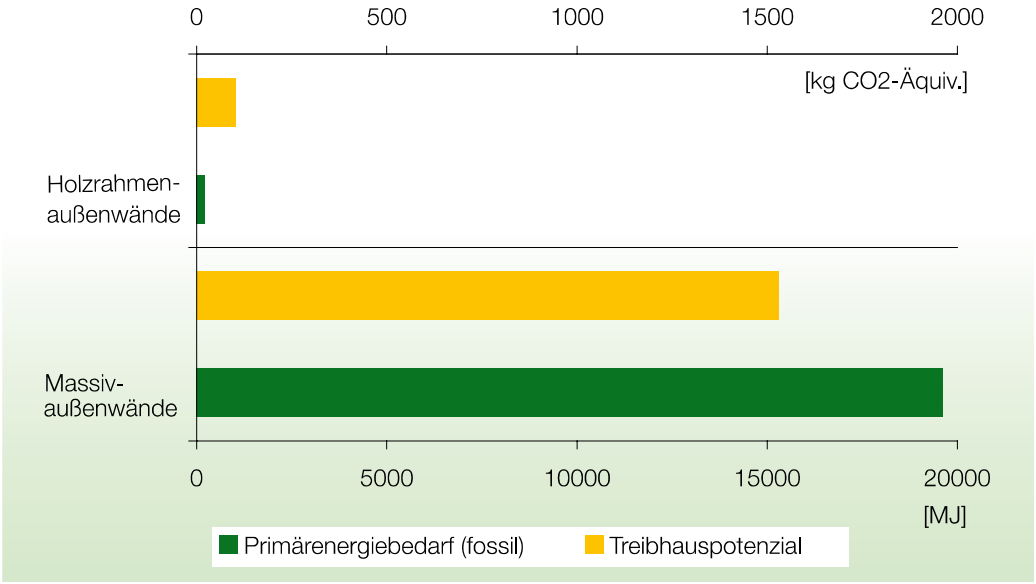
Massivwand Poroton, Kerndämmung

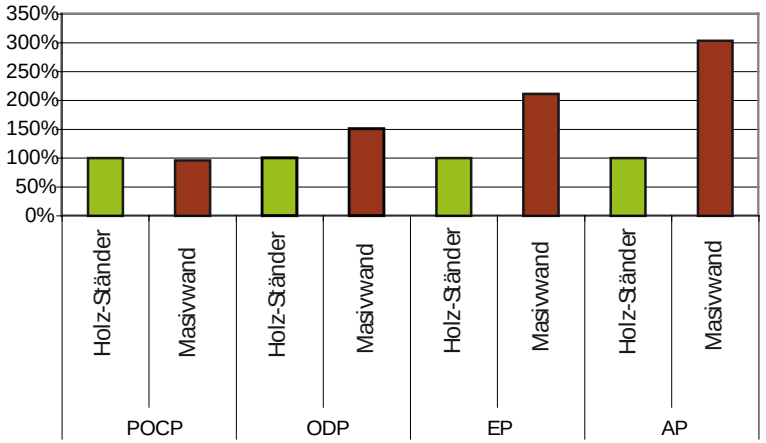


Massivwand Poroton, zweisch./Kerndämmung

Uni Hamburg, Uni Stuttgart, PE International, BMF, u.a: Ökopot Studie.

Graue Energie in Baustoffen
Ökobilanz verschiedener Wandaufbauten

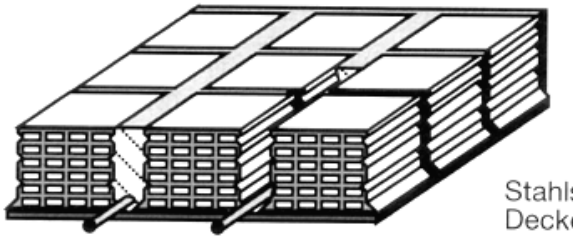




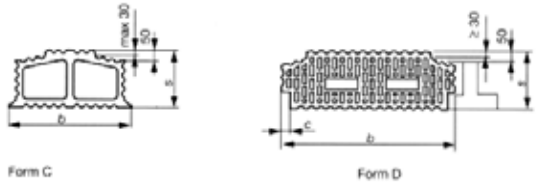
Uni Hamburg, Uni Stuttgart, PE International, BMF, u.a: Ökopot Studie.

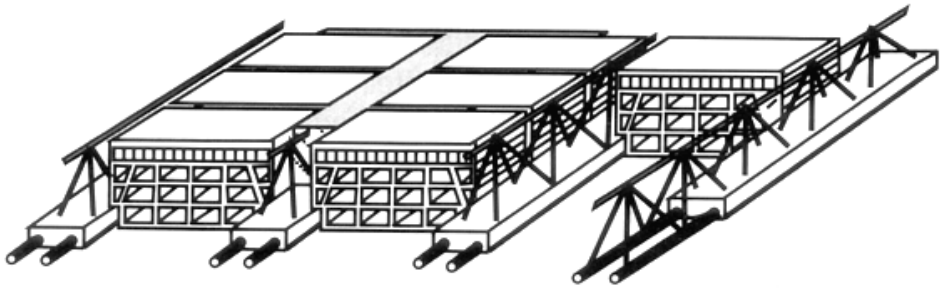
- Vergleich der Umweltwirkungen von 14,5m² Außenwand bei einer Nutzungsdauer von 50 Jahren

Materialeffizienz - Deckenziegel

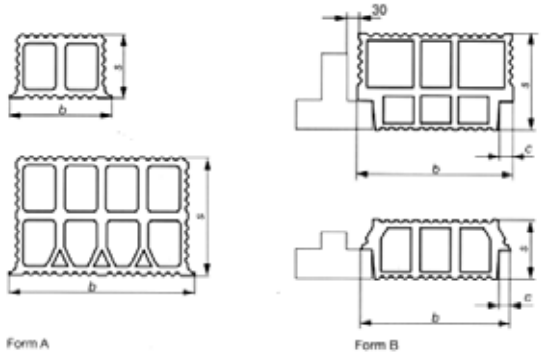


Stahlsteindecke mit statisch mitwirkenden Deckenziegeln für voll vermörtelbare Stoßfugen





Stahlbetonrippendecke mit statisch mitwirkenden Deckenziegeln



Materialeffizienz - Deckenziegel

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

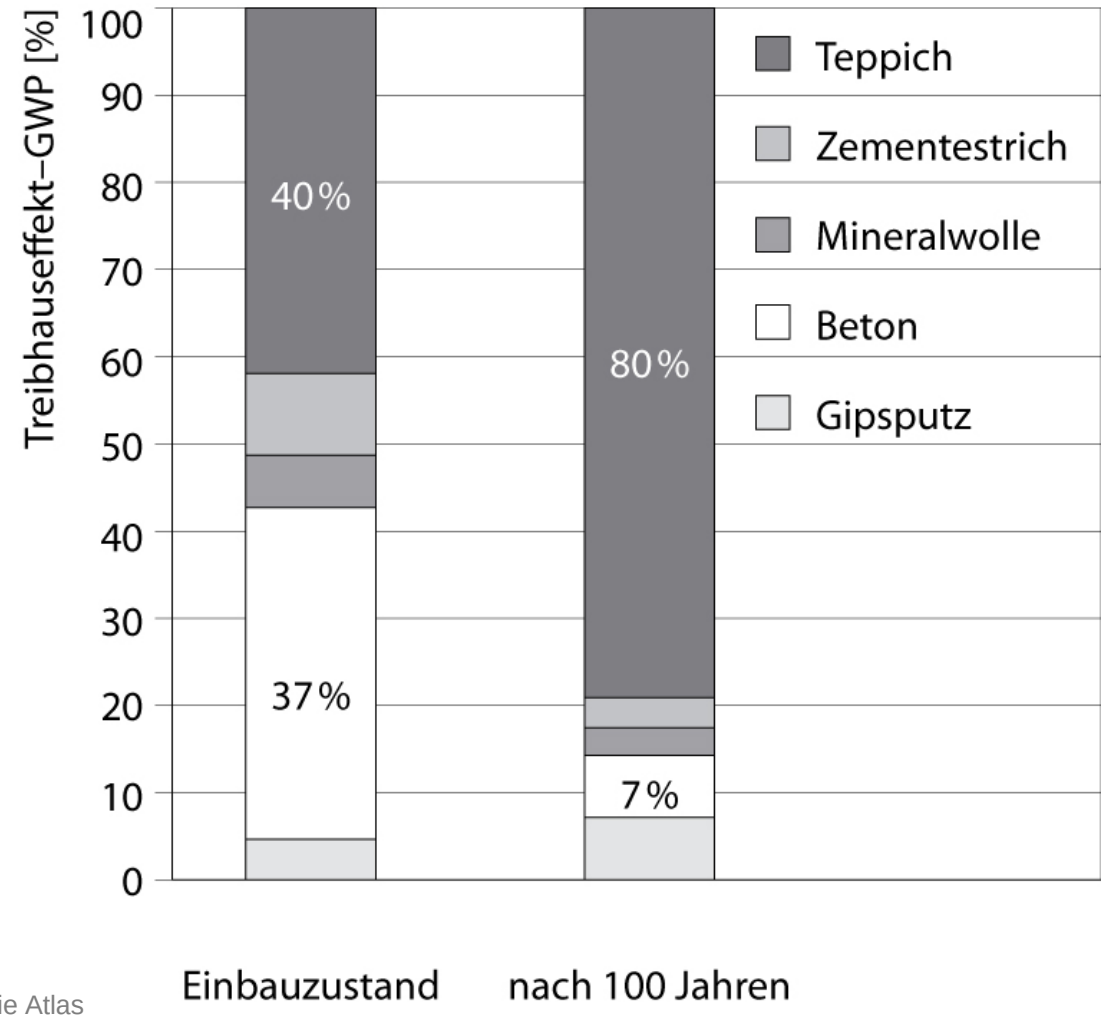
Materialeffizienz - Deckenkonstruktion

Warehouse Montevideo ROU
(1968) Eladio Dieste

Dauerhaftigkeit

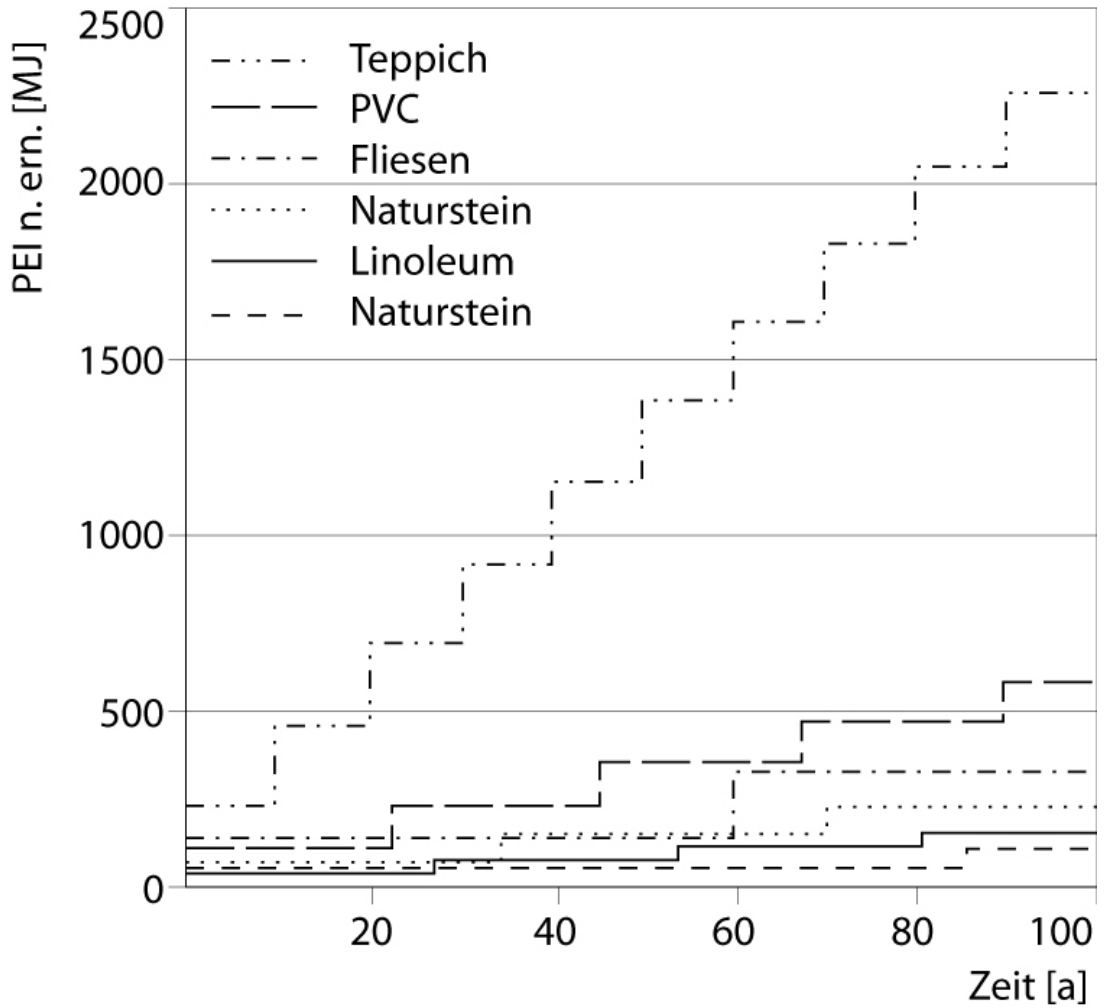
Quelle:http://static.panoramio.com/photos/original/6481993.jpg

Entwicklung des Treibhauspotentials einer Geschossdecke im Verlauf der Lebensdauer



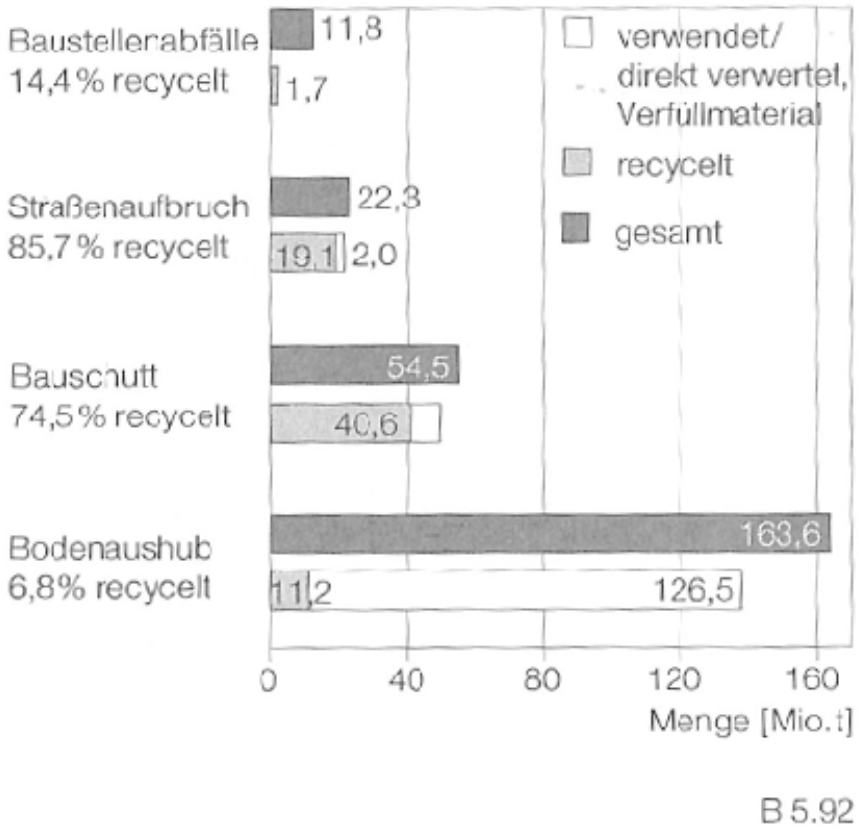
Quelle: Hegger u.a.: Energie Atlas

Abhängigkeit von Primärenergieinhalt und Austauschzyklen für verschied. Bodenbeläge

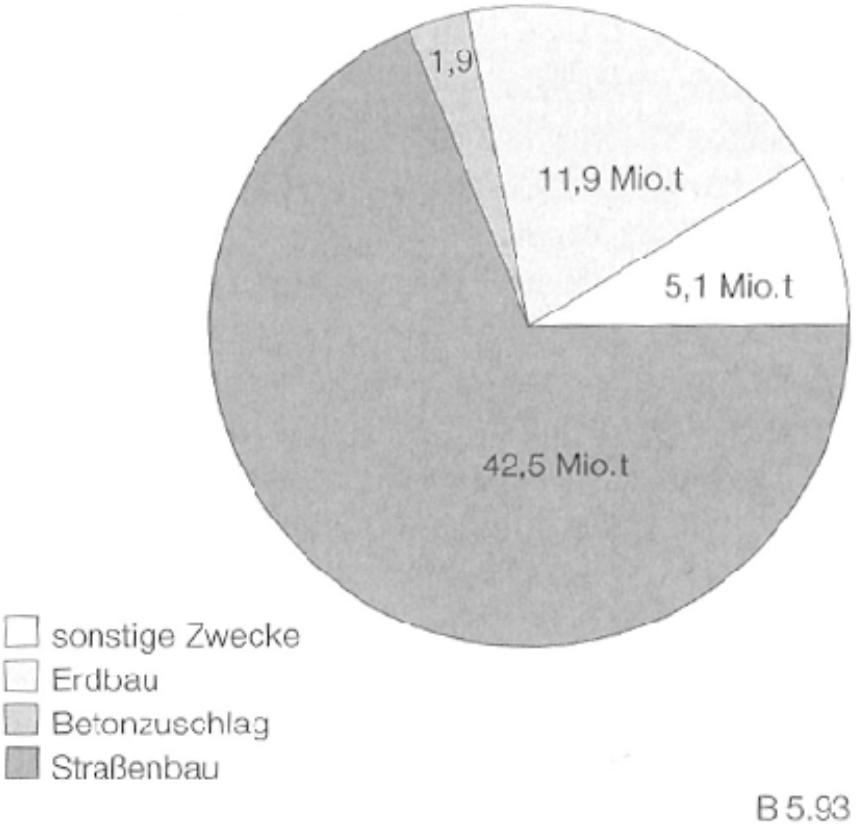


End of life

Bauschuttaufbereitung und Nutzung



B 5.92



B 5.93

Herkunft: Baustellenabfälle

„Saubere Baustelle“

11,8 Mio t/a Baustellenabfälle,
davon 14 % recycelt

Herkunft: Straßenaufbruch

Wiederverwendung von Baurestmasse im Strassenbau

22,3 Mio. t/a Straßenaufbruch,
davon 85,7 % recycelt

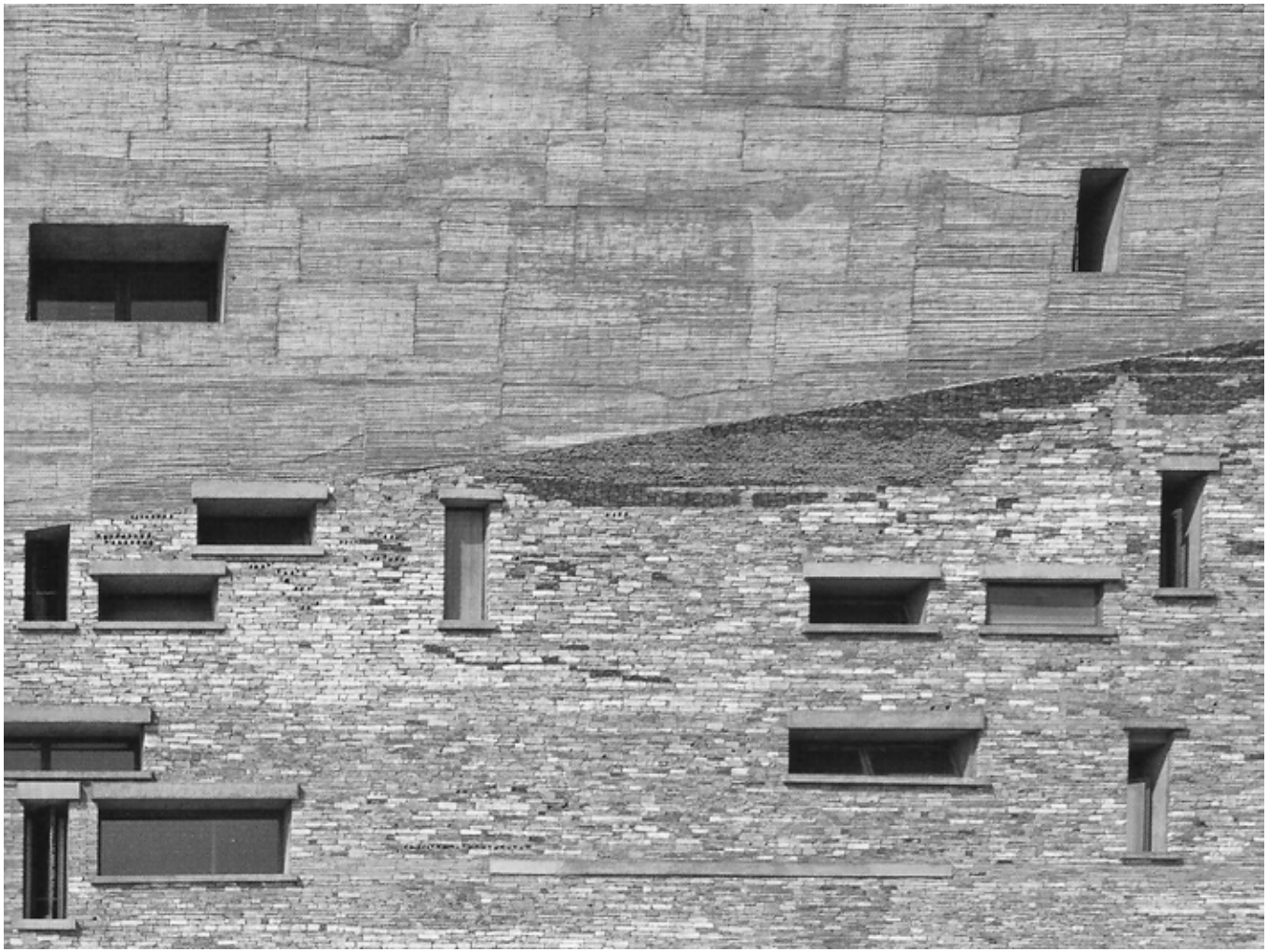
Herkunft: Baustoffhöfe

Baustoffhöfe

54,5 Mio. t/a Bauschutt,
davon 74,5 % recycelt

Recycling

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



Bauschuttaufbereitung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Reyclingfähigkeit - Baustoffe

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Recycling mineralische Baustoffe

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Betonbruch kann z.B. als Ersatz von Kies im Straßen- oder Erdbau (91,3 %, 2004) oder als Recyclingzuschlag bei der erneuten Betobherstellung als „Festbetonrecycling“ verwendet werden (4,9 % 2004).

- Bei einem Anteil von maximal 45 % Recycling-Zuschlag bei Neubauten und einer aktuellen Recyclingquote von 70 % bedeutet dies allerdings weniger als 10 % des Gesamtbedarfs an Zuschlägen in Deutschland.

Recycling Ziegel

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Ziegelbruch ist als Füll- und Stabilisierungsmaterial verwendbar. Feuchteverhalten und Probleme der Verdichtung führen jedoch zu einer wenig gefragten Materialqualität.

- Der dadurch entstandene Abnahmestau bei Recyclingunternehmen hat dazu geführt, dass Ziegelbruch häufig auf Deponien landet.

Recycling Gips und Gipskarton

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Die kostenintensive Entsorgung und der unter den mineralischen Baustoffen stark ansteigende Marktanteil von Gipsprodukten hat zu Überlegungen zur Aufbereitung von Gipsbauplatten geführt.
- In Dänemark wird seit 2007 eine Wiederverwertungsanlage betrieben, die beim zurückgewonnenen Recyclinggpis einen Reinheitsgrad von über 95 % erreicht.
- Recyclinggips konkurriert dabei mit Gips aus der Rauchgasentschwefelung, der preiswert und in großen Mengen verfügbar ist

Recycling Holz- und Holzwerkstoffe

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Eine durchschnittliche Spanplatte hat heute einen Recyclingholzanteil von etwa 70 %.

- Neue Anlagen können die Spanplatten aber auch in ihre ursprünglichen Bestandteile, Späne und Kleber, zerlegen. Diese Späne haben die Qualität von Frischspänen, wobei die an den Recyclingspänen anhaftenden Reste des ursprünglichen Bindemittels „reaktiviert“ werden können. Dies verringert den Verbrauch von neuem Bindemittel und reduziert sowohl die Umweltwirkungen als auch Kosten in der Herstellung.

Recycling Metalle

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Aufgrund der hohen Energiemenge, der hohen Wertigkeit des Materials und der Weiterverarbeitung ohne Qualitätsverlust bestehen für Metalle insgesamt die höchsten Recyclingquoten.

- Mittlerweile werden in Deutschland etwa 45 % aller Metalle aus Metallschrott gewonnen.

Recycling Kunststoffe

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- *Werkstoffliches Recycling – Rezyklat*
  Werkstoffliches Recycling wird zurzeit fast ausschließlich dort eingesetzt, wo große Mengen sortenreiner, thermoplastischer Kunststoffe (wie z.B. PE, PET, PVC) zur Verfügung steht. Das aus werkstofflichem Recycling gewonnene Rezyklat besitzt jedoch in der Regel eine schlechtere Qualität als der Originalkunststoff. Außerdem lässt sich dieser Prozess nicht dauerhaft wiederholen.

- *Rohstoffliches Recycling – Monomere, Gas, Öle*
  Rohstoffliches Recycling hingegen basiert auf der chemischen Zerlegung der Makromoleküle und der Verwendung der Bruchstücke in neuen Synthesen. Dieser Prozess bedarf zwar in der Regel eines höheren Energieaufwands als die Herstellung von Rezyklat, dafür kann er (wie z.B. bei PMMA) häufig wiederholt und mit gleich bleibender Qualität vollzogen werden.

Recycling Glas

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Große Probleme bereitet das Recycling von Fensterglas:
  Nach Lösen des Rahmenverbundes muss das Glas im Scheibenzwischenraum gesammelt werden. Weiter wird heute nahezu kein Glas ohne Beschichtung ausgeliefert, wobei besonders die Low-E Beschichtungen mit ihrem typischen Edelmetallanteil eine potenziell wertvolle Ressource darstellen.

- Die Schwierigkeiten der Materialtrennung führen dazu, dass das Recycling von Fensterglas heutzutage kaum üblich ist.

Thermische Verwertung

Verwertungspotential erkennen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

	Verwertung			**Beseitigung**
Wiederverwendung des Bauteils	Bauteil das die technischen / gesetzlichen Anforderungen für Neubauten erfüllt	Bauteil das die technischen / gesetzlichen Anforderungen für Bestandsgebäude erfüllt	Bauteil das technisch noch funktionsfähig ist, aber nicht dem Stand der Technik entspricht	-
Stoffliches Recycling	Zu technisch / wirtschaftlich vergleichbaren Produkt	Zu hochwertigem Rohstoff mit hohem Marktwert	Zur hochwertigem Baustoff mit geringem Marktwert	Technisch möglich, aber nicht wirtschaftlich; Downcycling
Thermische Verwertung	Verursacht keine Abfallspezifischen Schadstoffe; hoher Brennwert	In größeren Anlagen unproblematisch; mittlerer Brennwert	In Abfallverbrennungsanlage; niedriger Brennwert	nach Aufbereitung
Ablagerung (Deponie)	Kompostierung bzw. Vererdung	Auf Baurestmassen bzw. Inertstoff-deponien	Auf Baurestmassendeponie, aber nicht unproblematisch	Auf Massenabfall- oder Reststoffdeponie; Emissionen möglich

Verwertungspotential

Reyclingfähigkeit - Bauteilrecycling

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Plattenpalast, 2009, Forschungsprojekt TU Berlin, Claus Asam mit wiewiorra hopp architekten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Der Plattenpalast besteht aus demontierten Großflächenplatten des Plattenbautyps WBS 70.
- Der Ausbau erfolgte nach Kriterien des nachhaltigen Bauens. Es wurden nur recyclebare, umweltschonende und nachhaltige Baustoffe eingesetzt. Die Scheiben wurden aus dem Palast der Republik entnommen und in dem recycelten Plattenbau in Berlin-Mitte eingebaut.
- Grundfläche des Gebäudes: 36 m²
- Höhe des Gebäudes: 5,76 m
- verwendete Platten WBS 70: 13 Teile
- Fenster: 12 Scheiben mit Aluminiumrahmen aus dem Palast der Republik

Hessenkolleg Wolfhagen 2010 - 2011, HHS Architekten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Hessenkolleg Wolfhagen 2010 - 2011, HHS Architekten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Gründerzentrum Hamm-Heessen, 1996-1998, HHS Architekten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Gründerzentrum Hamm-Heessen, 1996-1998, HHS Architekten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Gründerzentrum Hamm-Heessen, 1996-1998, HHS Architekten

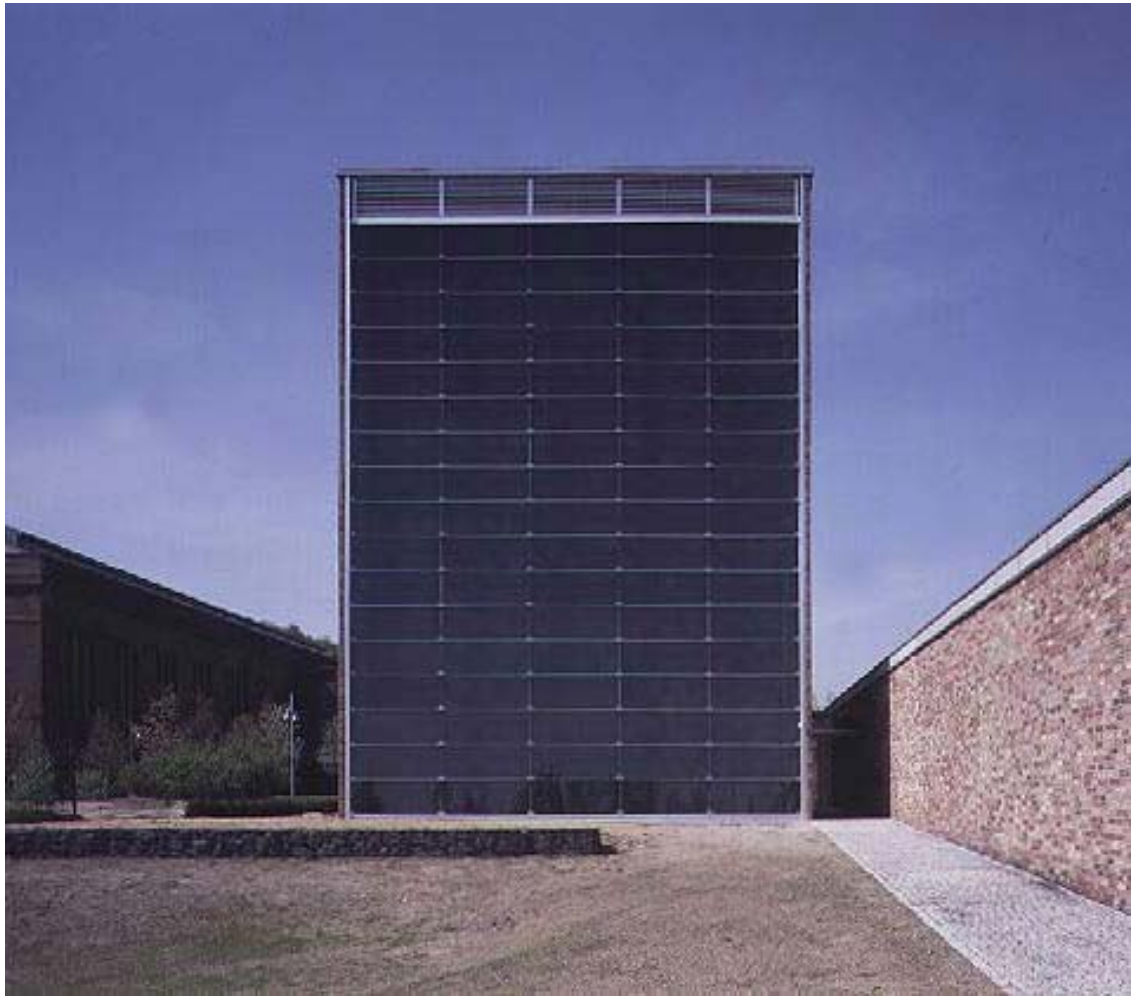
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Gründerzentrum Hamm-Heessen, 1996-1998, HHS Architekten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Gründerzentrum Hamm-Heessen, 1996-1998, HHS Architekten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



Gründerzentrum Hamm-Heessen, 1996-1998, HHS Architekten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

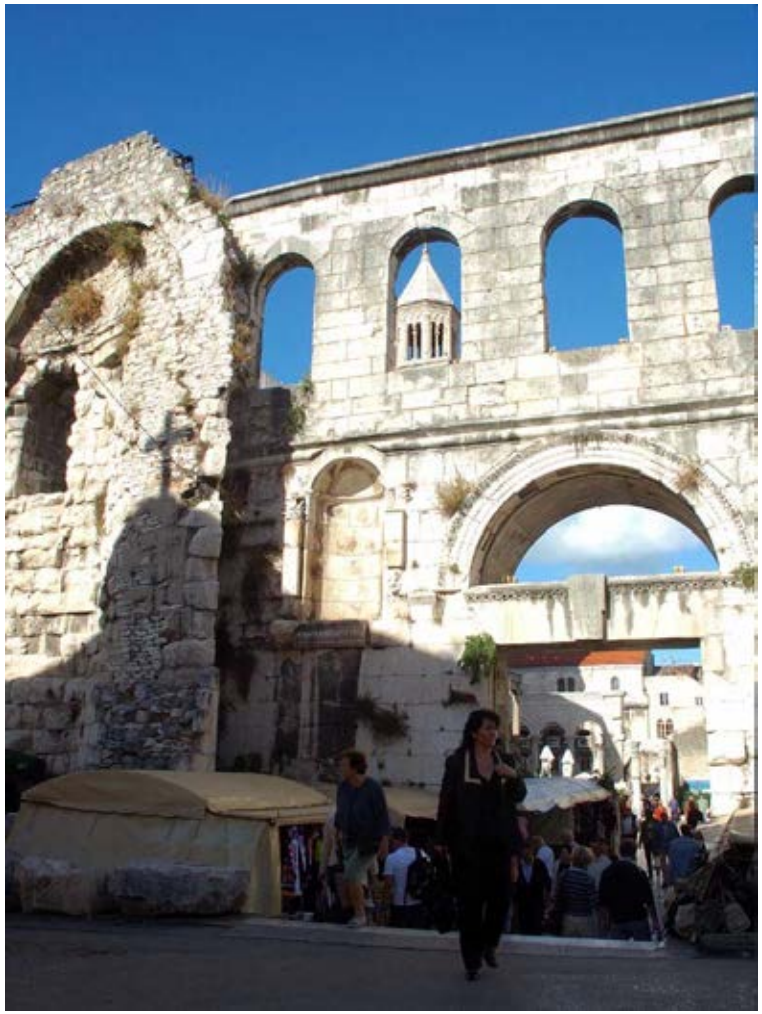
- Bei der Konstruktion der Gebäude wurden nachwachsende Rohstoffe und Recyclingmaterial (Klinker) verwendet.
- Die Geschossdecken des Büros sind als Brettstapelverbundkonstruktionen gefertigt.
- Das Stahlskelett der Hallen ist mit Recyclingsteinen einer benachbarten Zeche ausgemauert.
- Die Holzdachmodule der Hallen sind mit recycelter Zellulose gedämmt.

Recycling von baulichen Strukturen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Recycling von baulichen Strukturen
Deokletianspalast - Split

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



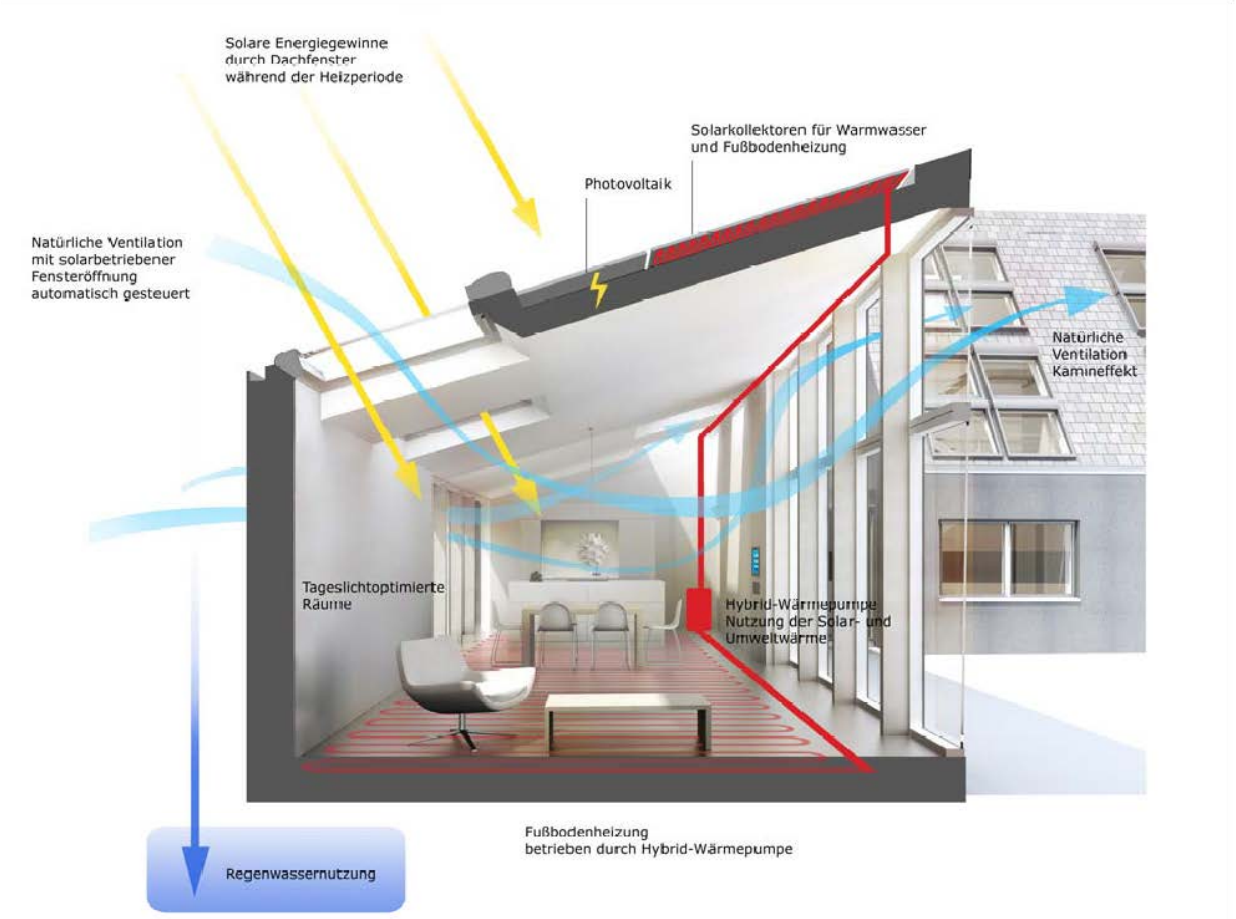
Plusenergiehaus im Bestand
Beispiel: Velux Model Home „LichtAktiv Haus“

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

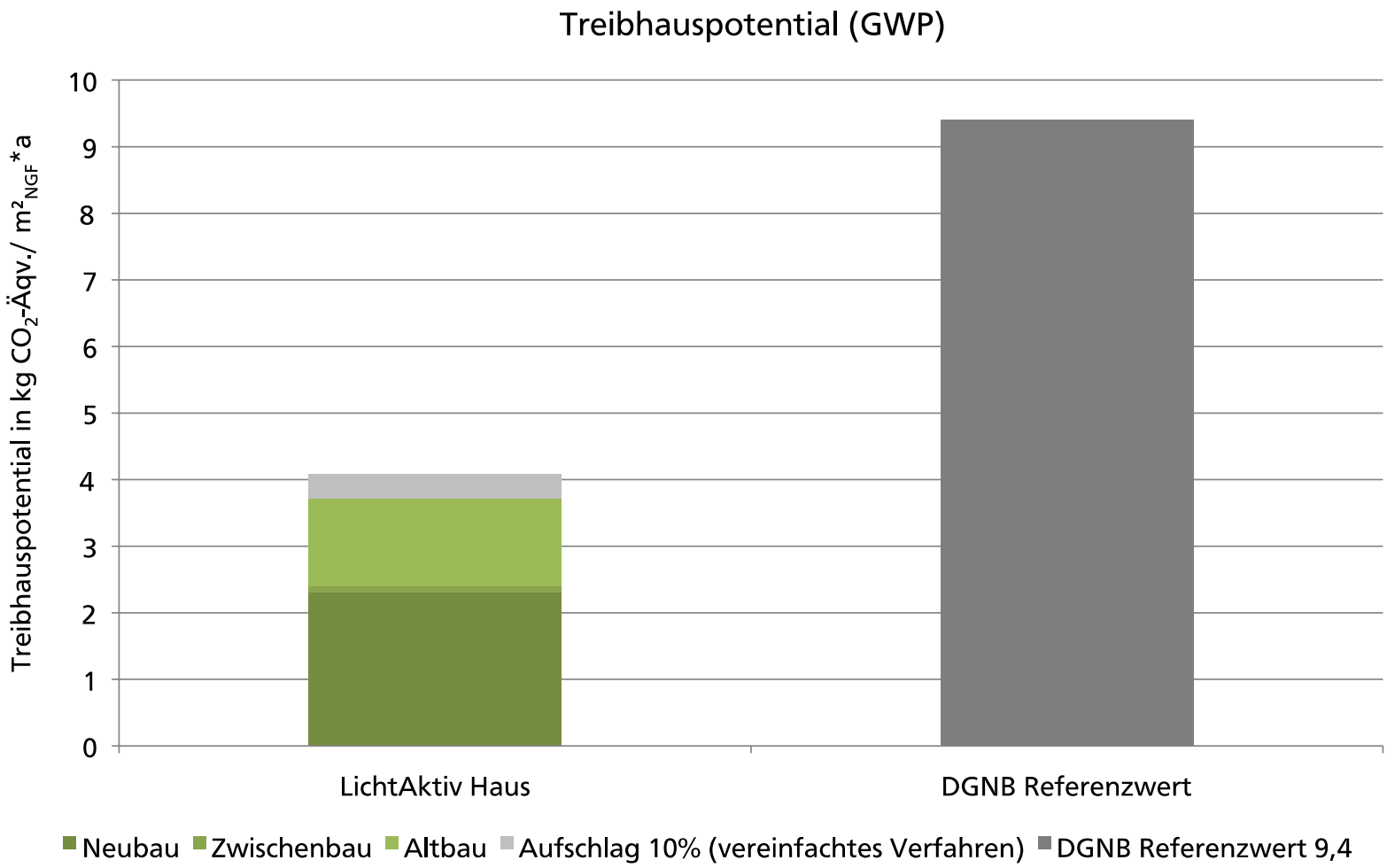
Plusenergiehaus im Bestand
Beispiel: Velux Model Home „LichtAktiv Haus“

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

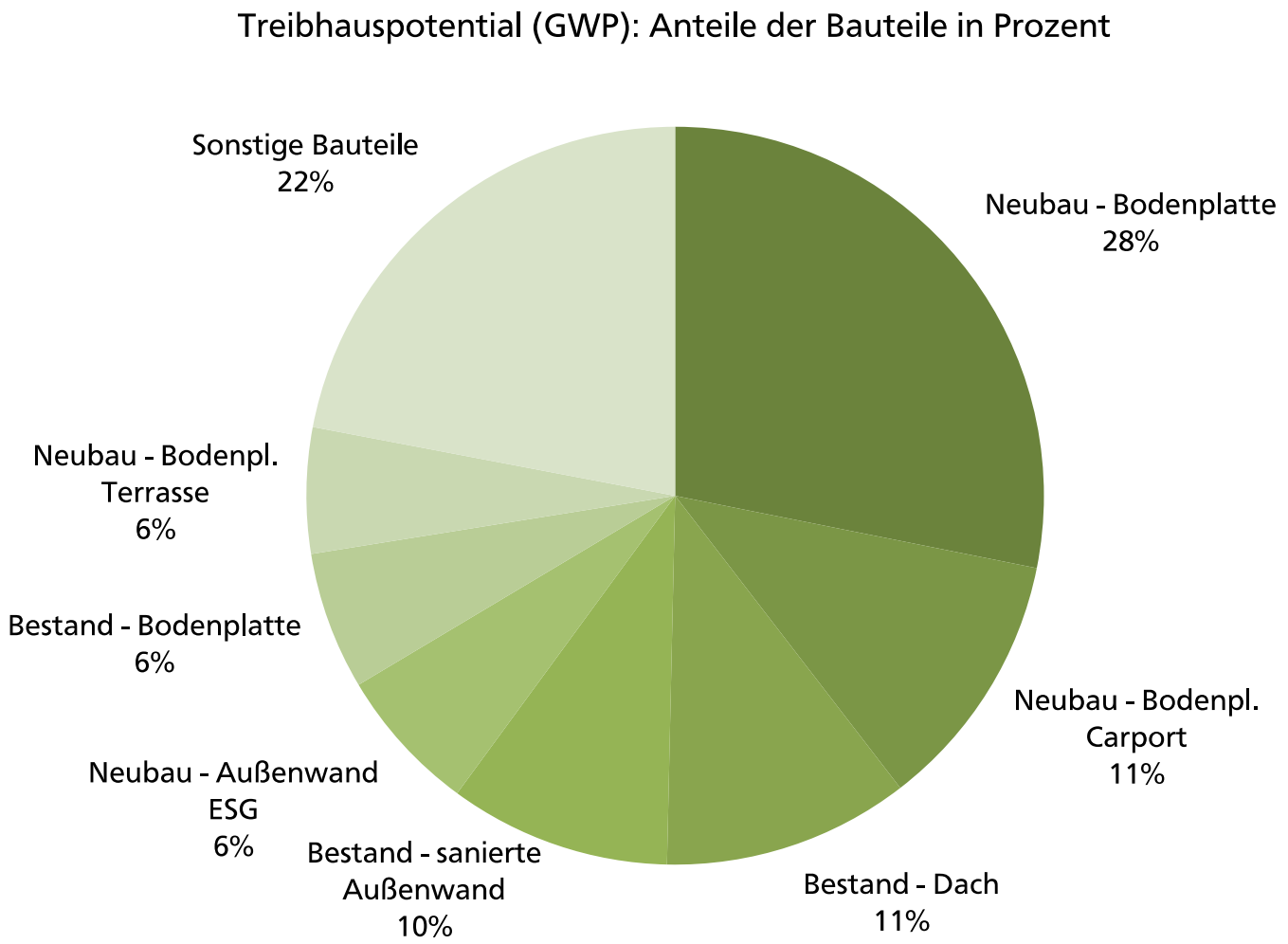
Energiekonzept „LichtAktiv Haus“



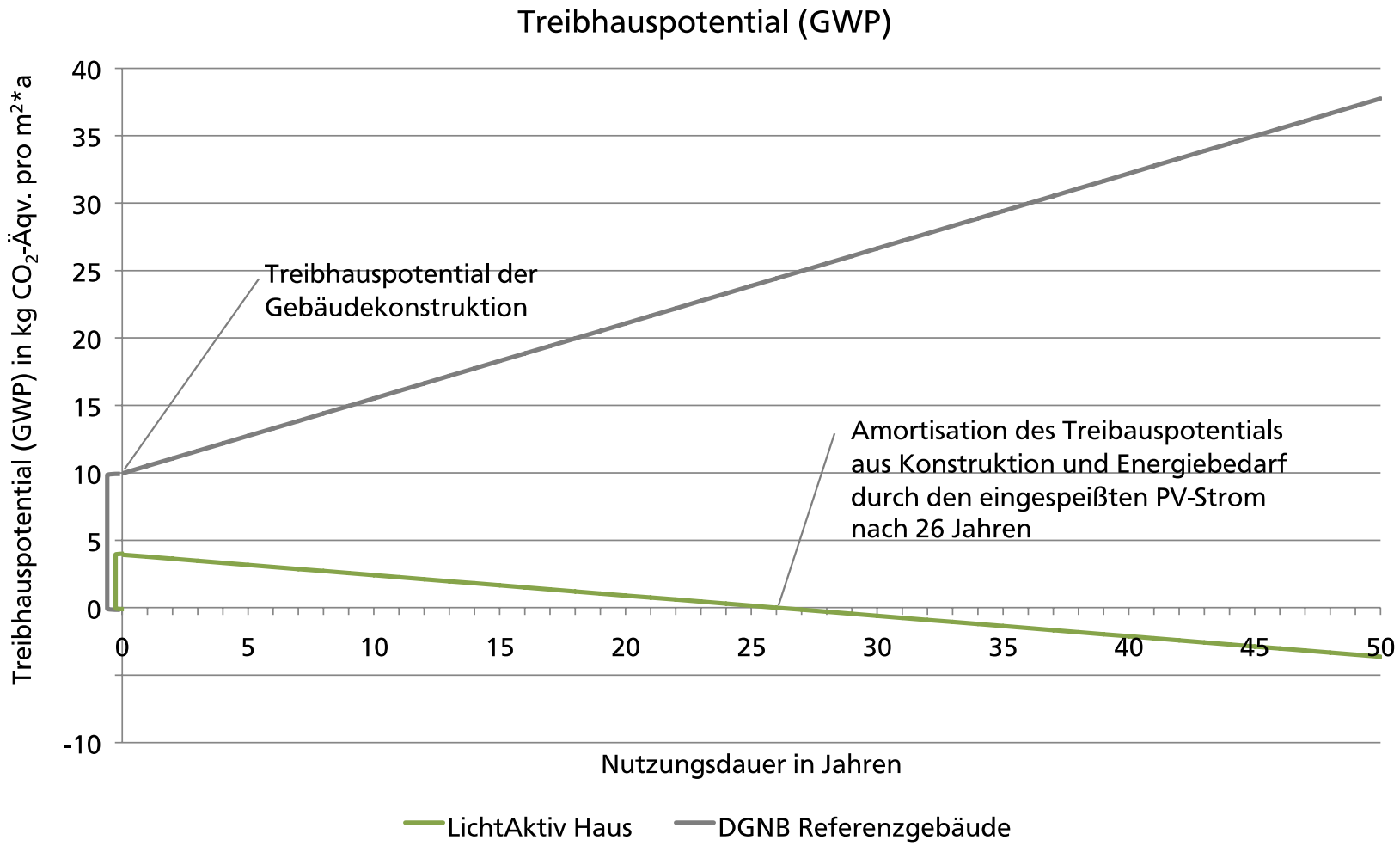
CO_2-Bilanz


Treibhauspotential (GWP)
Treibhauspotential in kg CO2-Äqv./ m²NGF*a
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
LichtAktiv Haus
DGNB Referenzwert
Neubau
Zwischenbau
Altbau
Aufschlag 10% (vereinfachtes Verfahren)
DGNB Referenzwert 9,4

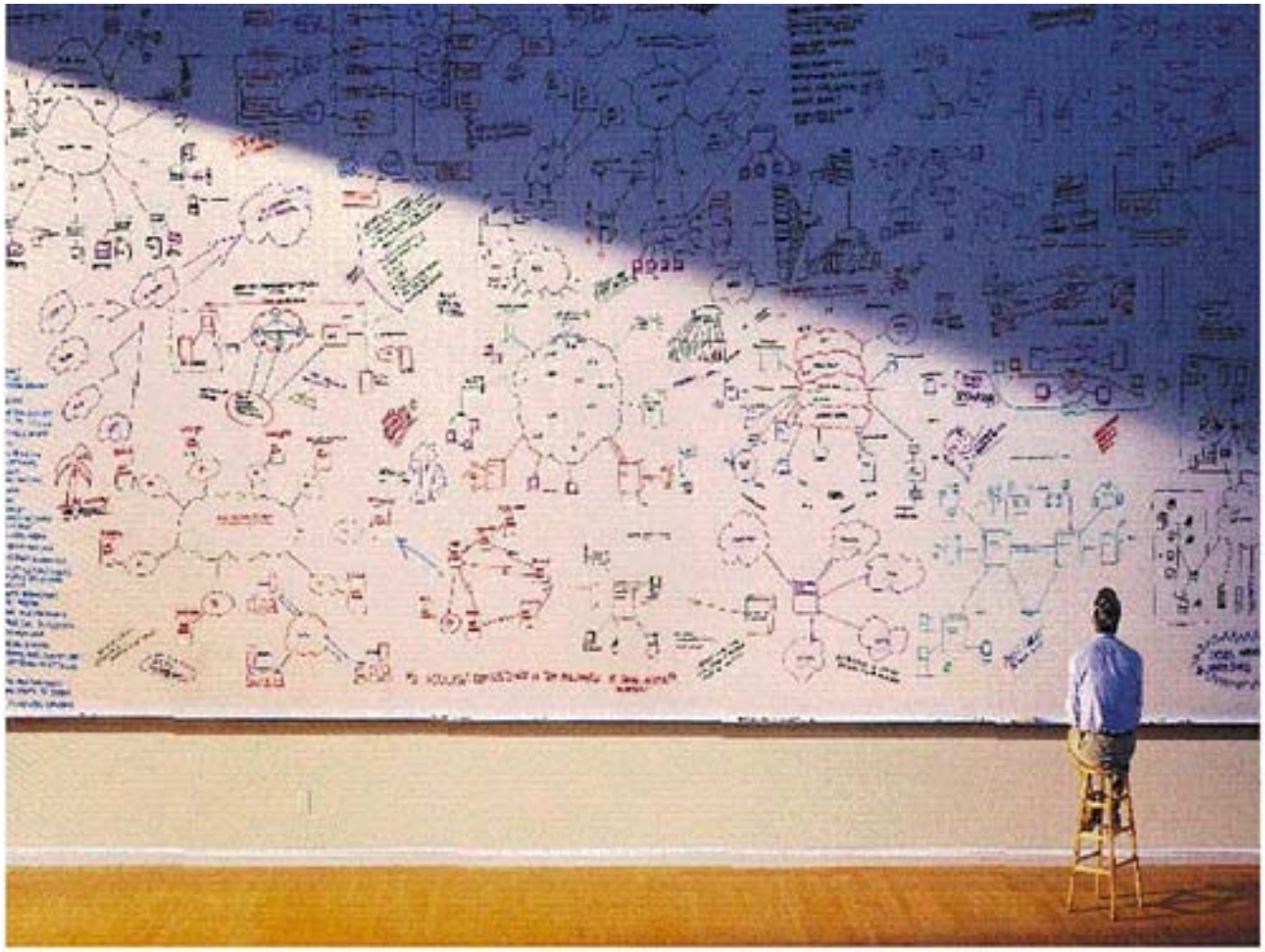
Verteilung auf die Bauteile



CO_2-Bilanz über den gesamten Lebenszyklus



Materialwahl



Materialwahl

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Verbrauche und Emissionen aus Herstellung, Nutzung und Entsorgung berücksichtigen.
- Die Reduktion auf das konstruktiv Notwendige birgt Vorteile
- Eine homogene Materialwahl und eine Kennzeichnung / Dokumentation der verwendeten Baustoffe erleichtert später das Recycling
- Je länger die erwartete Nutzungsdauer eines Gebäudes ist, desto wichtiger wird die Betrachtung der Nutzungsphase
- Das Material entsprechend der erwarteten Nutzungsdauer wählen

Konstruktion

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

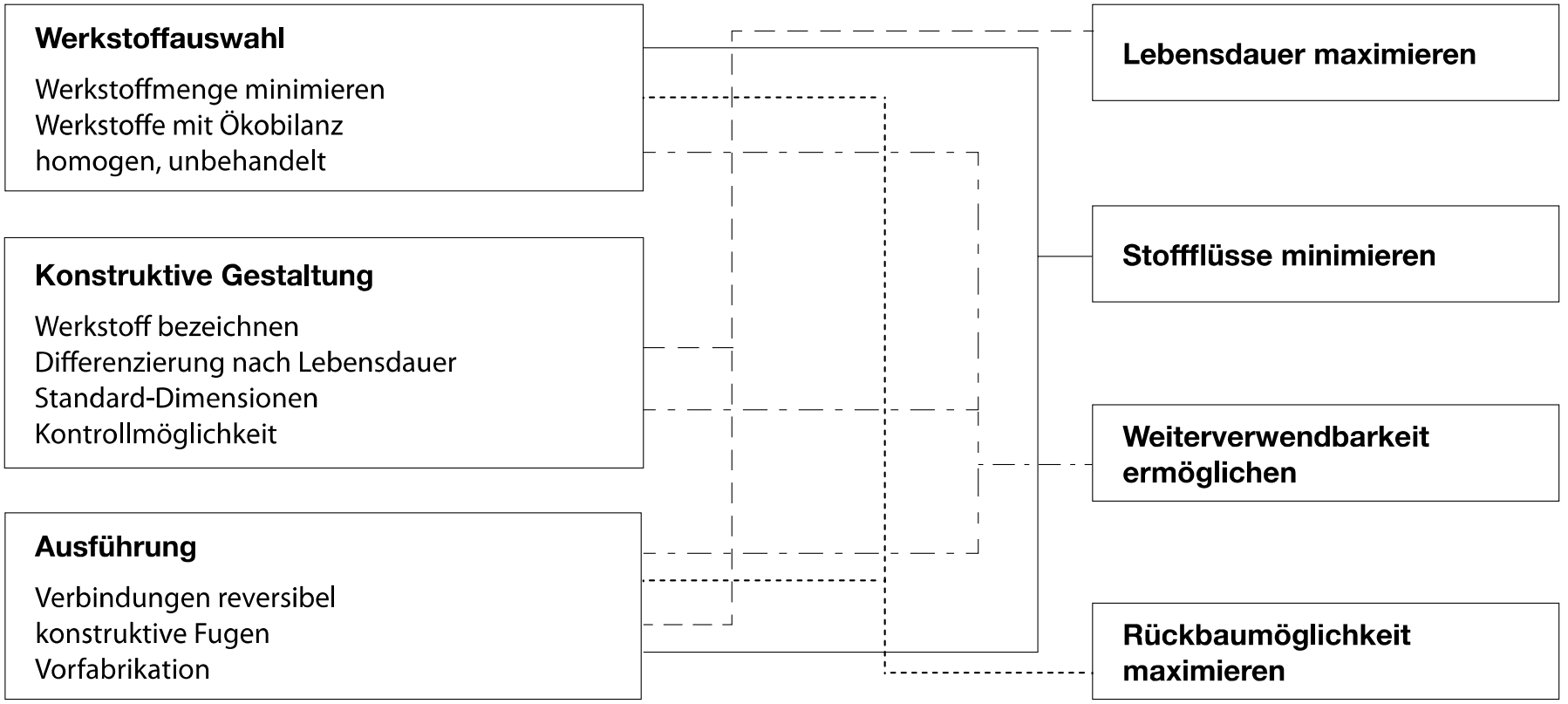
- Reversible Konstruktionen wählen / Verbundbaustoffe vermeiden
- Nicht sichtbare Bauteile sind unproblematisch optimierbar
- Langlebige, leichte Konstruktionen sind vorzuziehen
- Bauteile mit geringer Dauerhaftigkeit tragen erhöht zur Umweltbelastung bei
- Im Wohnungsbau sind die Umwelteinwirkungen aus Baustoffen aufgrund des hohen Ausstattungsgrads besonders bedeutsam

Vielfalt statt Einfalt

Quelle: laurenatclemson, wikipedia.org

Quelle: Grandy02, wikipedia.org

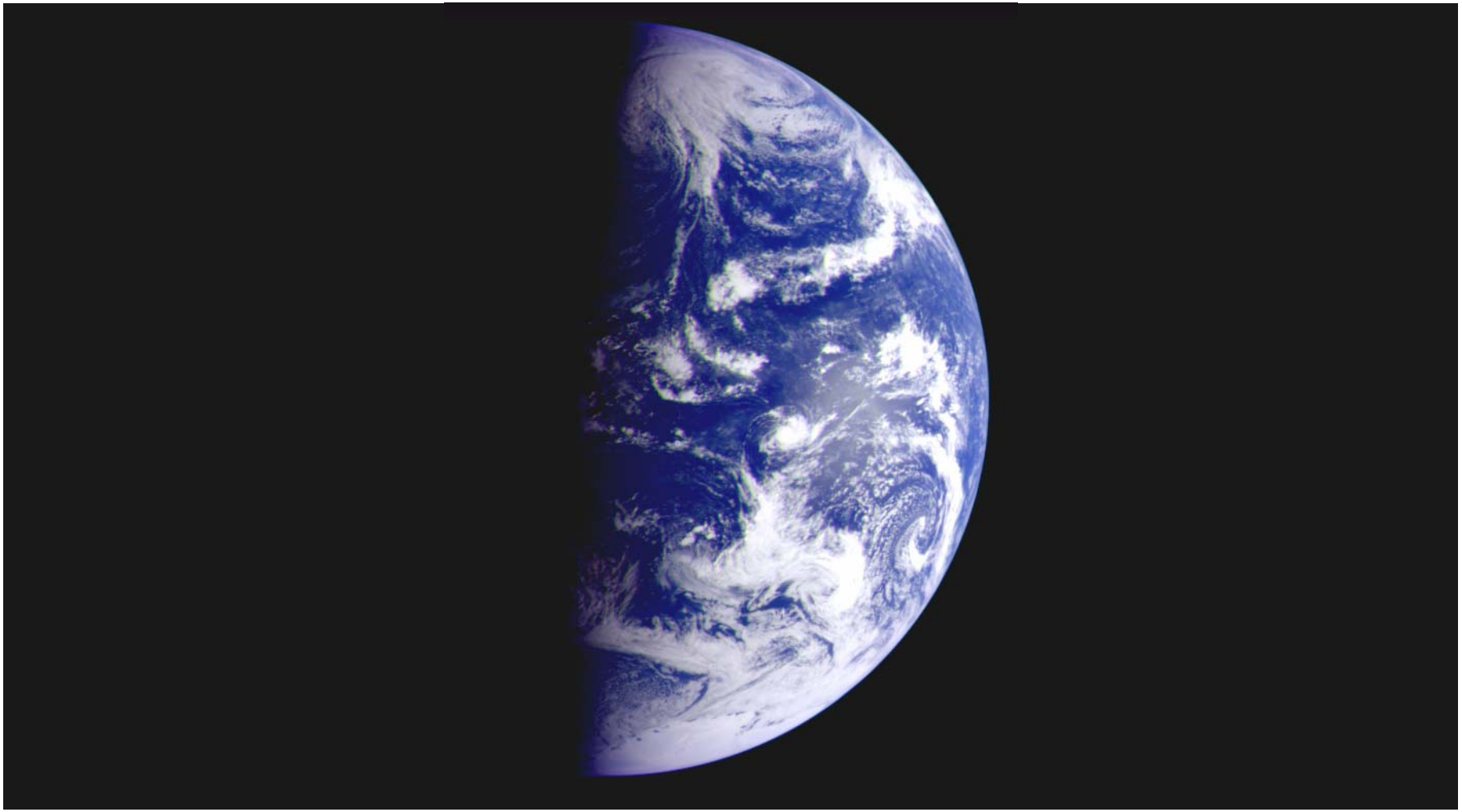
Das richtige Material für den richtigen Zweck



Quelle: Hegger u.a.: Energie Atlas

Unsere Herausforderungen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



Klimawandel

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Bevölkerungsentwicklung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Urbanisierung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Demographischer Wandel

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Ressourcenknappheit

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Verantwortung des Bauwesens

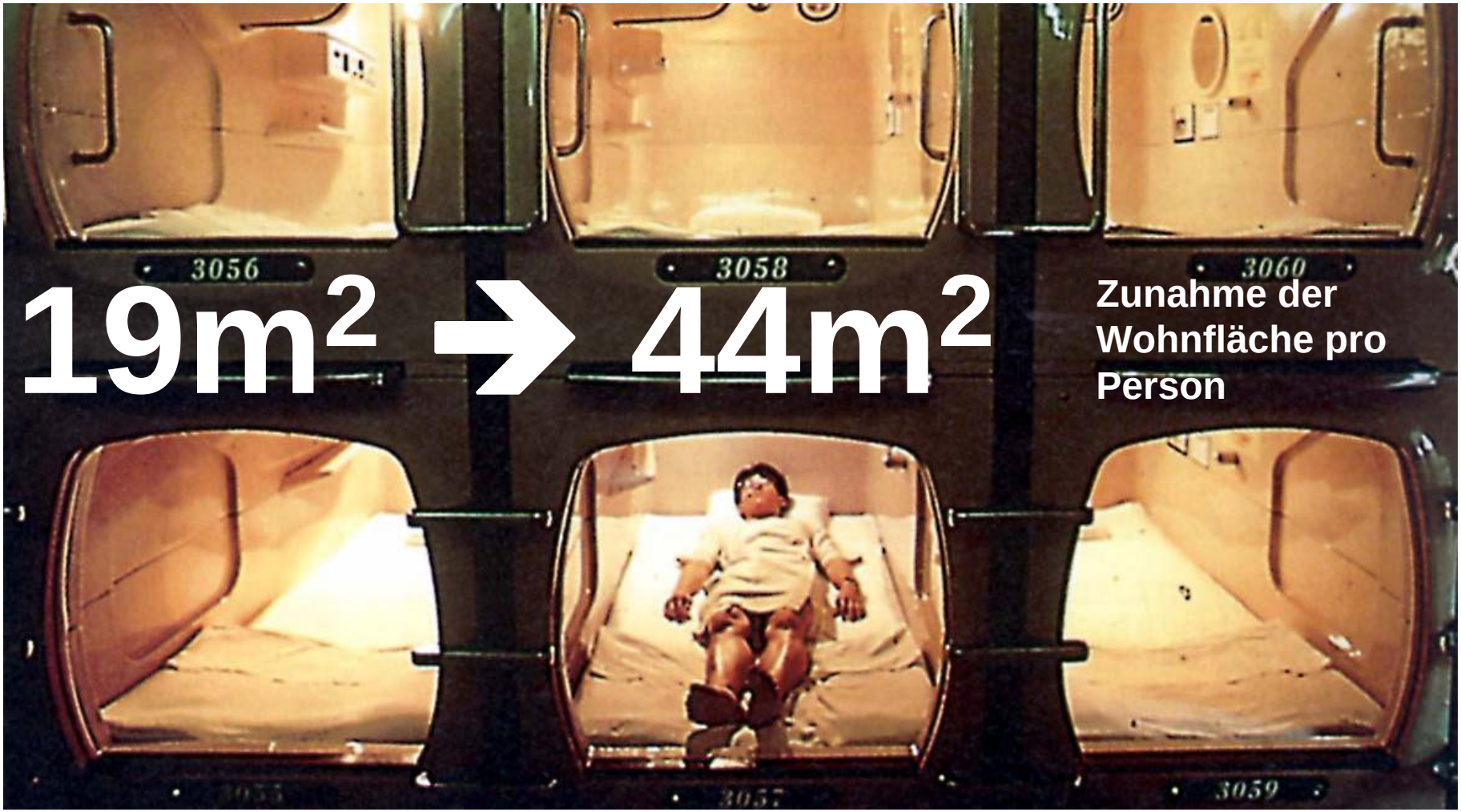
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Verantwortung des Bauwesens

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Verantwortung des Bauwesens

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



Verantwortung des Bauwesens

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

© Daniel Bleyenberg, pixelio.de

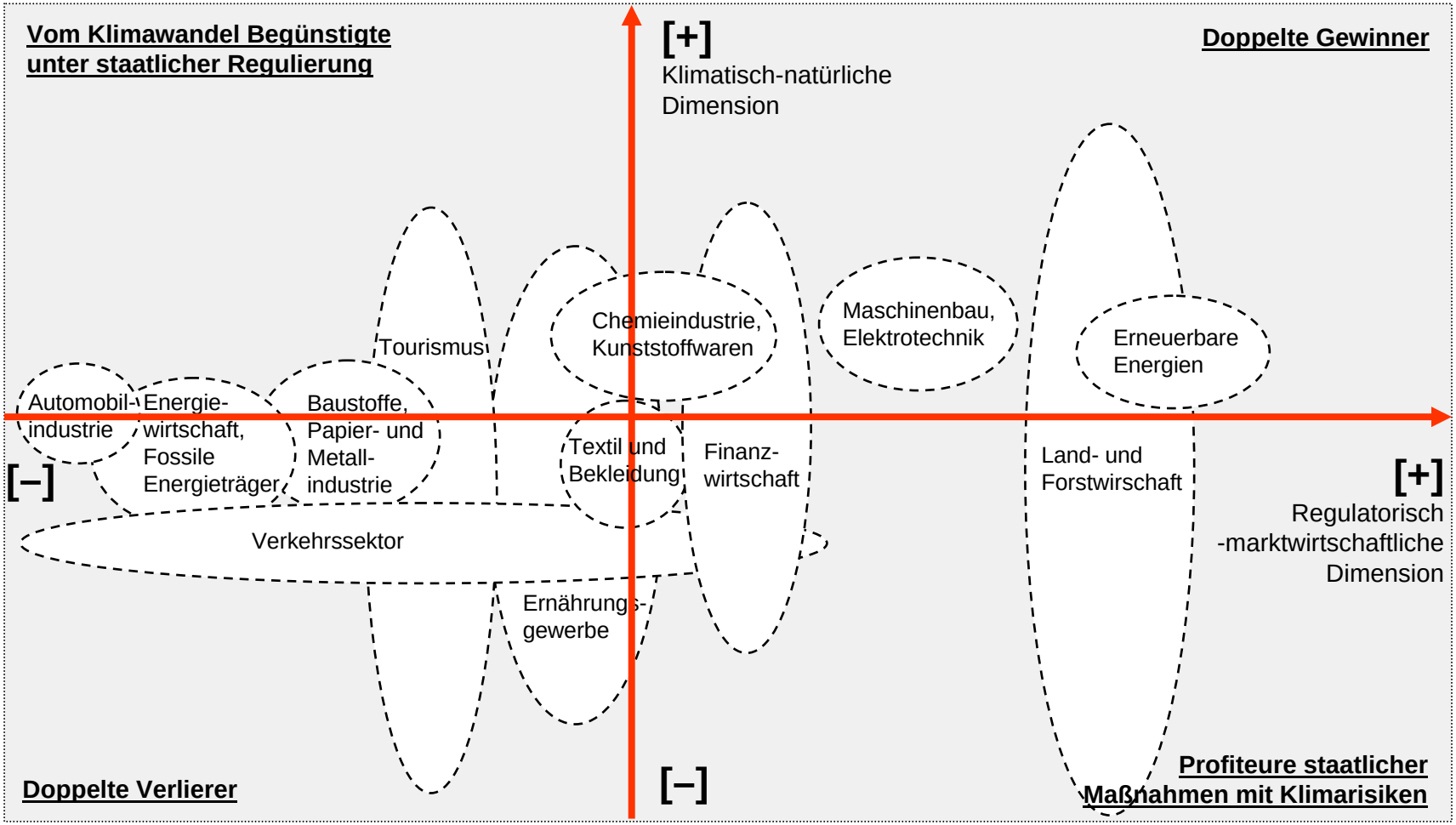
Verantwortung des Bauwesens

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Verantwortung des Bauwesens

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Chance des Bauwesens



Quelle: Deutsche Bank 2007

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!