

# **Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung**

**Lebenszykluskosten = Life Cycle Costs (LCC)**

**Ökobilanz = Life Cycle Assessment (LCA)**

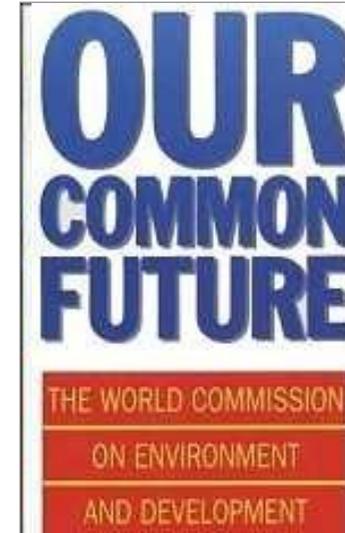
,

**Dipl. Ing. Architekt Holger König**

# Von der Vision zu konkretem Handeln

Brundtland Commission, Sustainable development

*"development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs".*



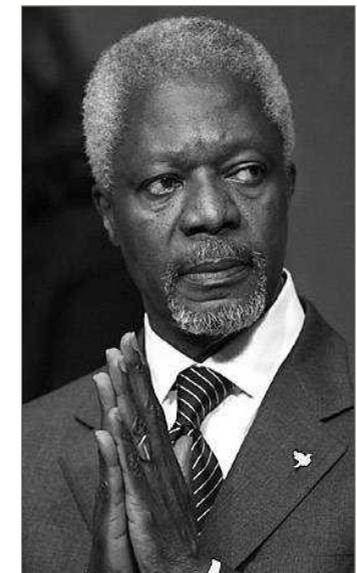
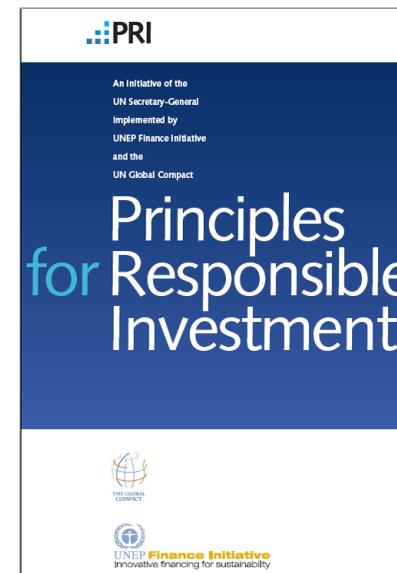
1987

Norwegian Prime-Minister  
Gro Harlem Brundtland

2006

Kofi A. Annan

*„... The predominant factor has been the absence of a set of common guidelines that investors can use to assess risks and opportunities fully. The Principles for Responsible Investment respond to this need.“...*

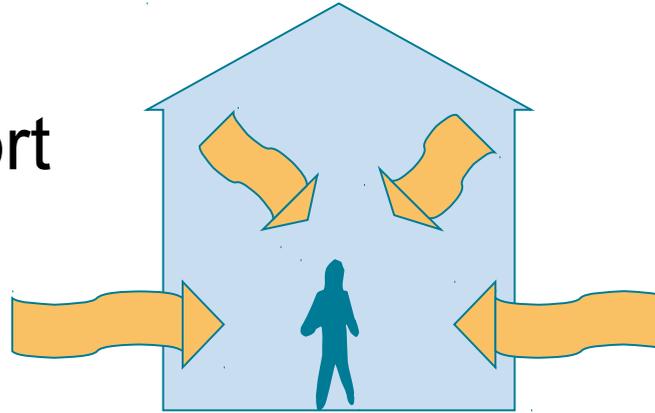


# Das Nachhaltigkeitsdreieck



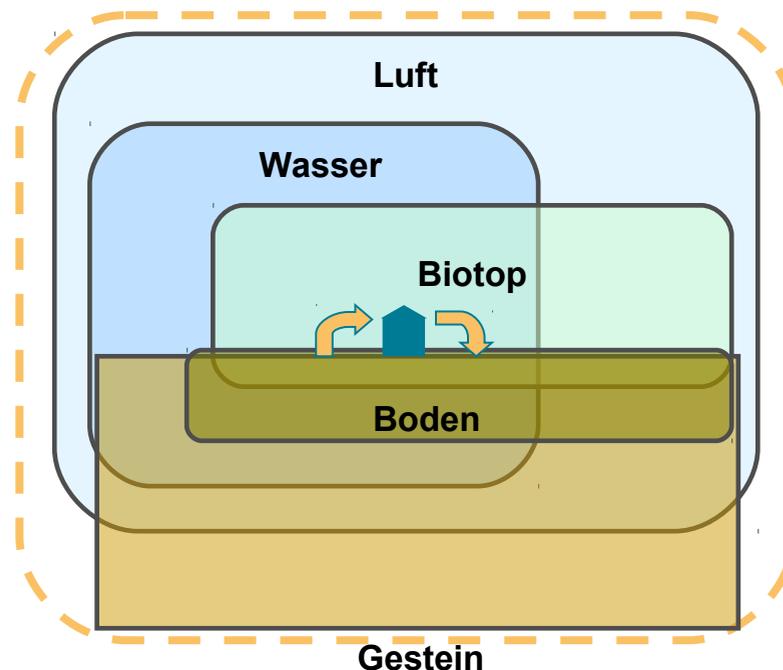
# Ökologie und Gesundheit

- Gesundheit, Komfort



- Egoismus

- Ökologie, Umwelt



- Altruismus

# Ökologische Qualität

Ökologische Qualität	
01 00	Treibhauspotential (GWP)
01 01	Gesamt-GWP Wert (und Referenzwert)
02 00	Ozonschichtzerstörungspotenzial
03 00	Ozonbildungspotential
03 01	Gesamt-POCP-Wert
04 00	Versauerungspotential (AP)
04 01	Gesamt-AP Wert (und Referenzwert)
05 00	Überdüngungspotential (EP)
06 00	Risiken für die lokale Umwelt
07 00	Sonstige Wirkungen auf die lokale Umwelt
07 01	Lichtverschmutzung
07 02	Feinstaubemissionen
08 00	Sonstige Wirkungen auf die globale Umwelt
09 00	Mikroklima
10 00	Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PEne)
11 00	Gesamt-PE (PEgesG) / Anteil erneuerbarer PE (PEe)
12 00	Sonstiger Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen
12 01	n.n
13 00	Abfall nach Abfallkategorien
13 01	Baustellenabfälle
13 02	Abfälle je Abfallkategorie im Lebenszyklus
14 00	Trinkwasserbedarf und Abwasseraufkommen
14 01	Wassergebrauchskennwert
14 02	Trinkwasserbedarf / Abwasseraufkommen durch Mitarbeiter
14 03	Trinkwasserbedarf / Abwasseraufkommen durch Reinigung
14 04	Trinkwasserbedarf für Bewässerung
14 05	Abwasseraufkommen durch abgeleitetes Regenwasser
15 00	Flächeninanspruchnahme

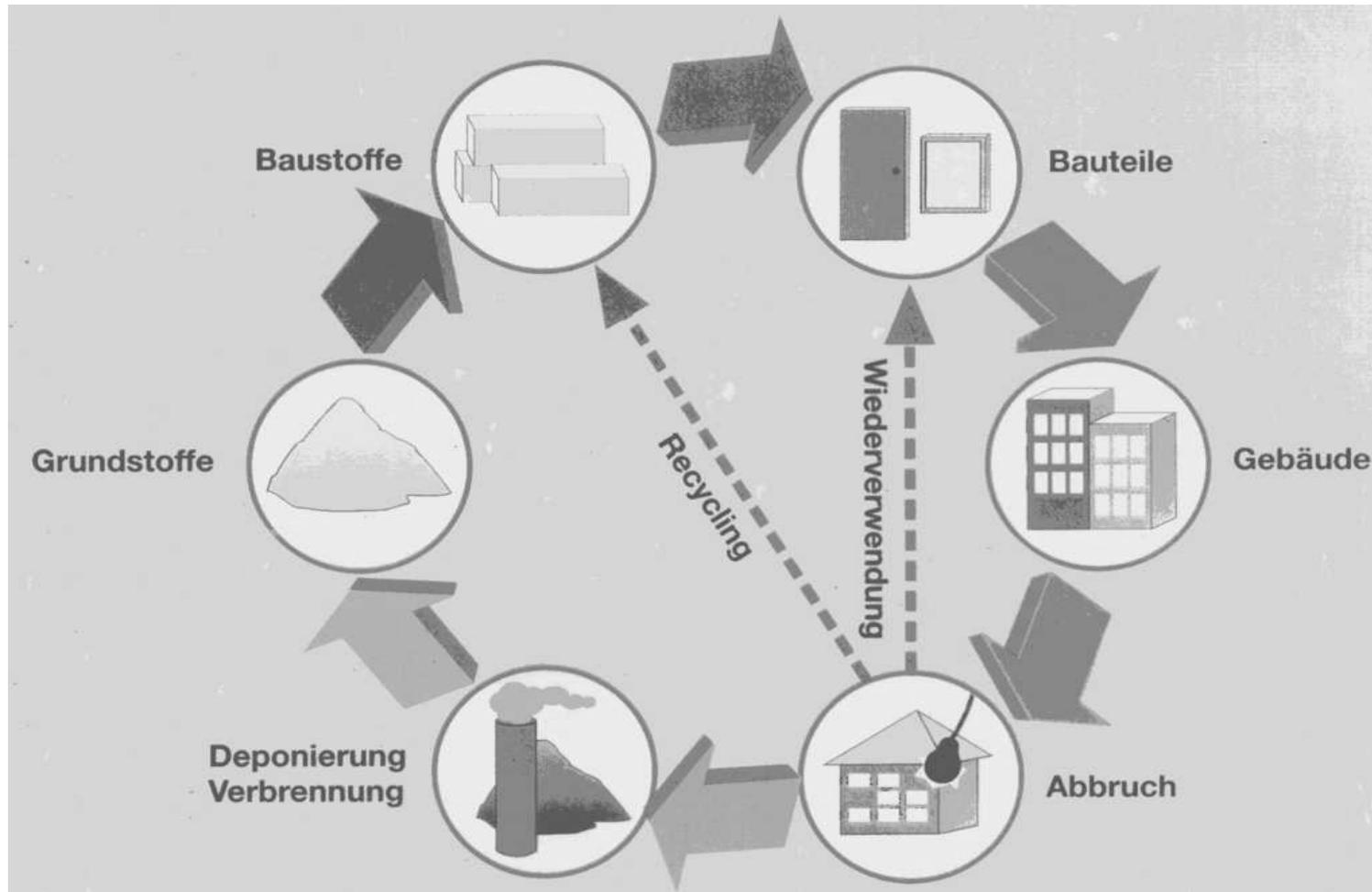
- 15 Steckbriefe  
3 zurückgestellt
- 19 Kriterien  
5 zurückgestellt



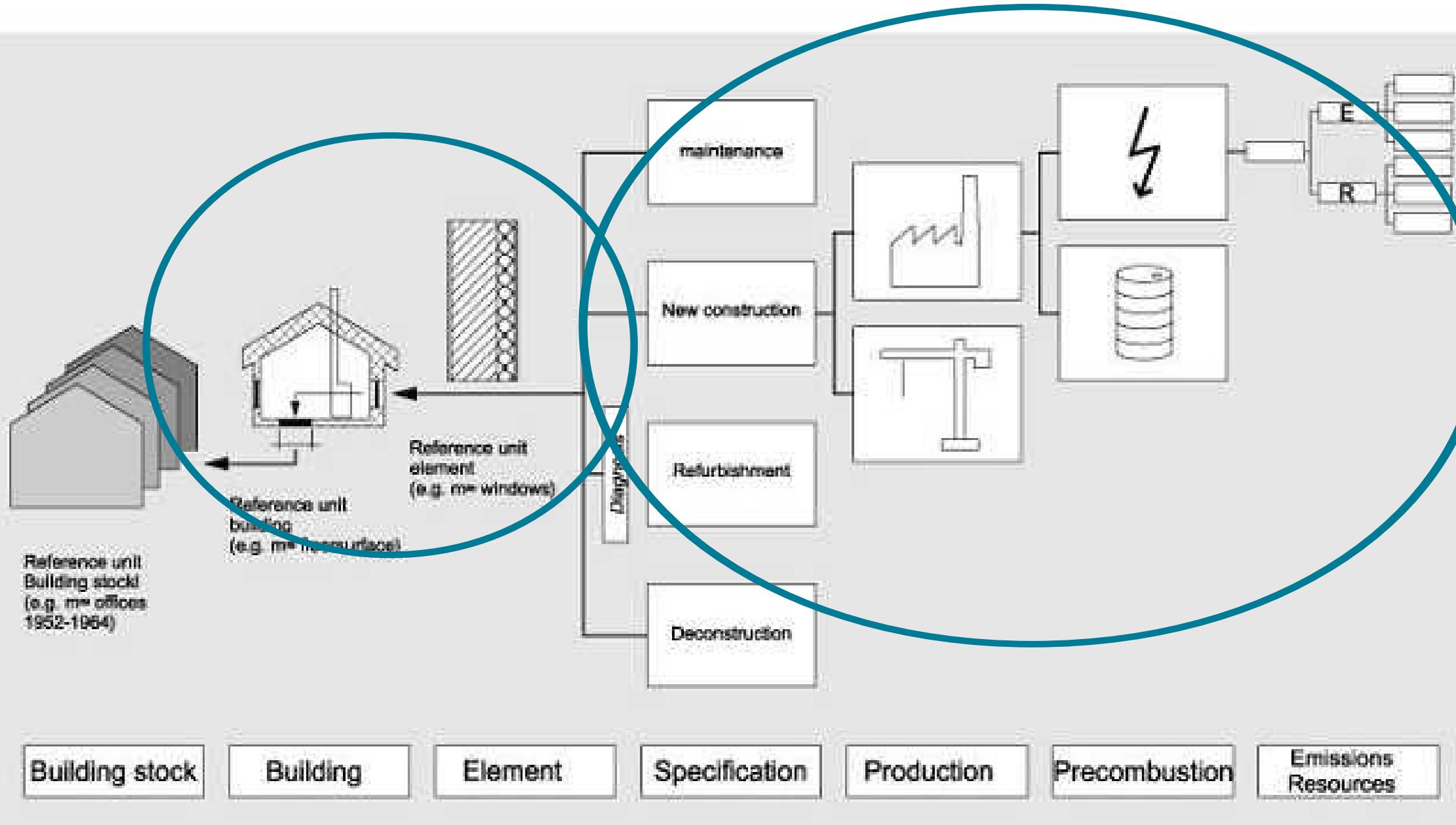
# Kriteriengruppe: Ökologische Qualität

<b>Ökologische Qualität</b>	<b>Wirkungen auf globale und lokale Umwelt</b>	1	Treibhauspotential (GWP)
		2	Ozonschichtzerstörungspotential (ODP)
		3	Ozonbildungspotential (POCP)
		4	Versauerungspotential (AP)
		5	Überdüngungspotential (EUT)
		6	Risiken für lokale Umwelt
		7	Sonstige Wirkungen auf die lokale Umwelt
		8	Sonstige Wirkungen auf die globale Umwelt
		9	Mikroklima
	<b>Ressourceninanspruchnahme und Abfallaufkommen</b>	10	Primärenergiebedarf nicht erneuerbar ( $PE_{ne}$ )
		11	Primärenergiebedarf erneuerbar ( $PE_e$ )
		12	Sonstiger Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen
		13	Abfall nach Abfallkategorien
		14	Frischwasserverbrauch Nutzungsphase
		15	Flächeninanspruchnahme

# Der Energie- und Stoffweg – vom Rohstoff zum Gebäude, über die Nutzung bis zum Rückbau



# Problem 1: Betrachtungsraum und Phase



**Von der Wiege bis zur Bahre**

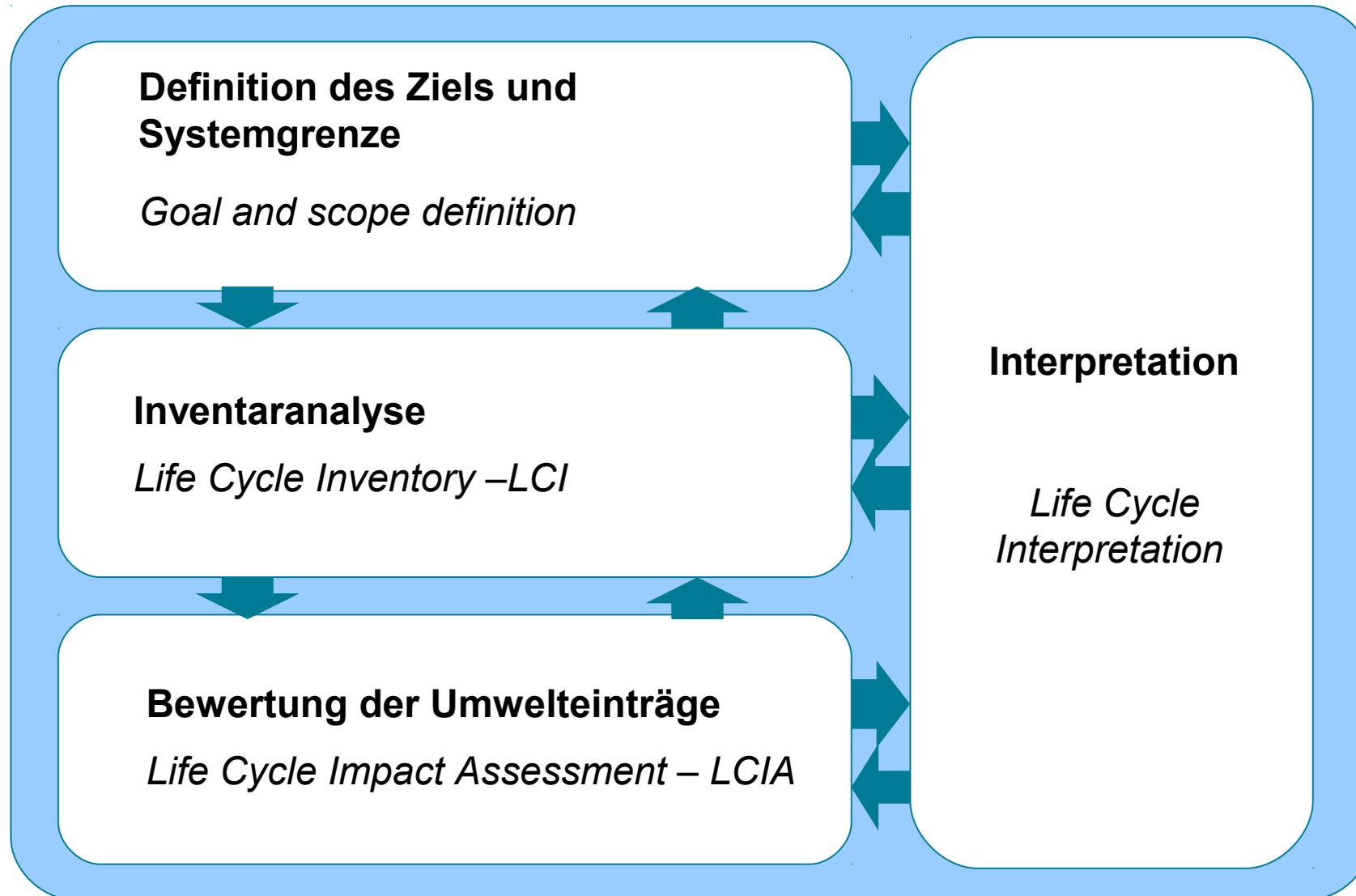
**From cradle to grave**

**Von der Wiege bis zum**

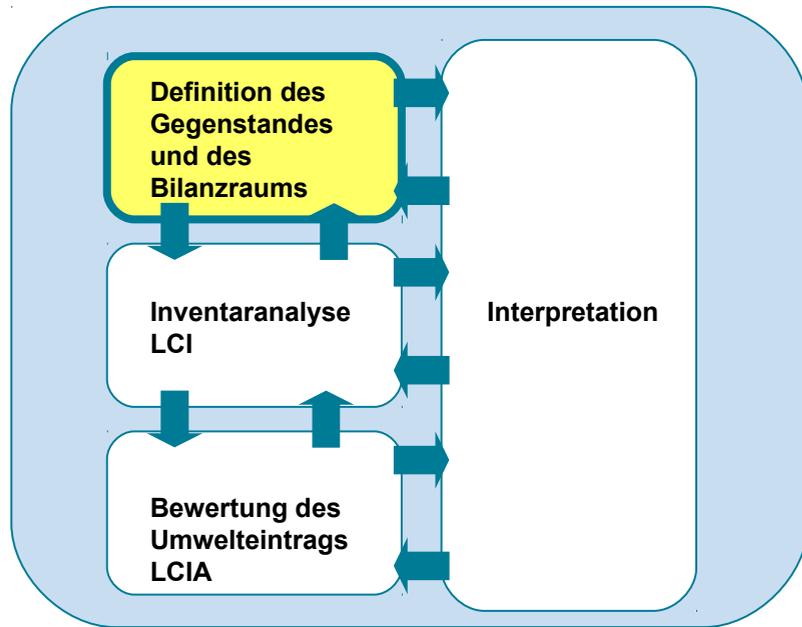
**Werktor**

**From cradle to grate**

# Life Cycle Assessment in ISO 14040 und -44



# Definition des Gegenstandes und des Betrachtungsraums der LCA : Produktion von 1 t Ziegelsteine

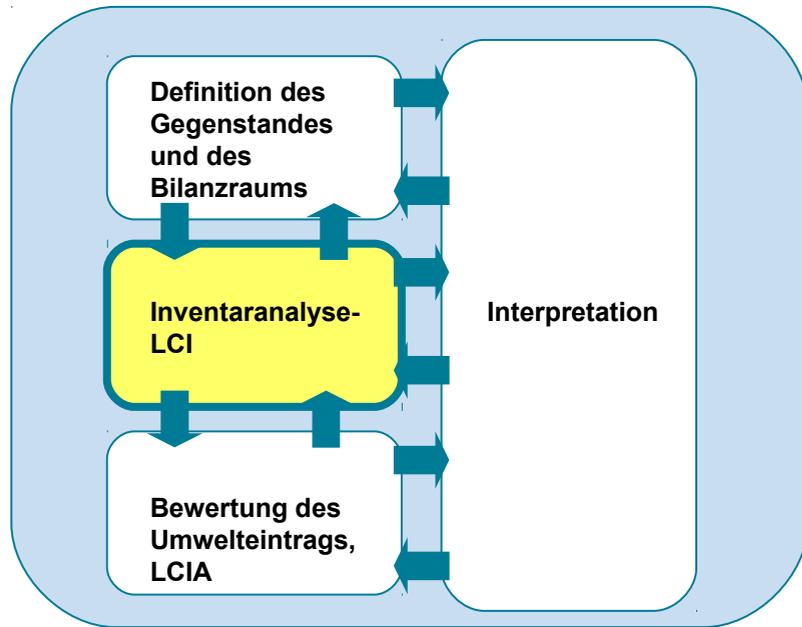


Von der Wiege

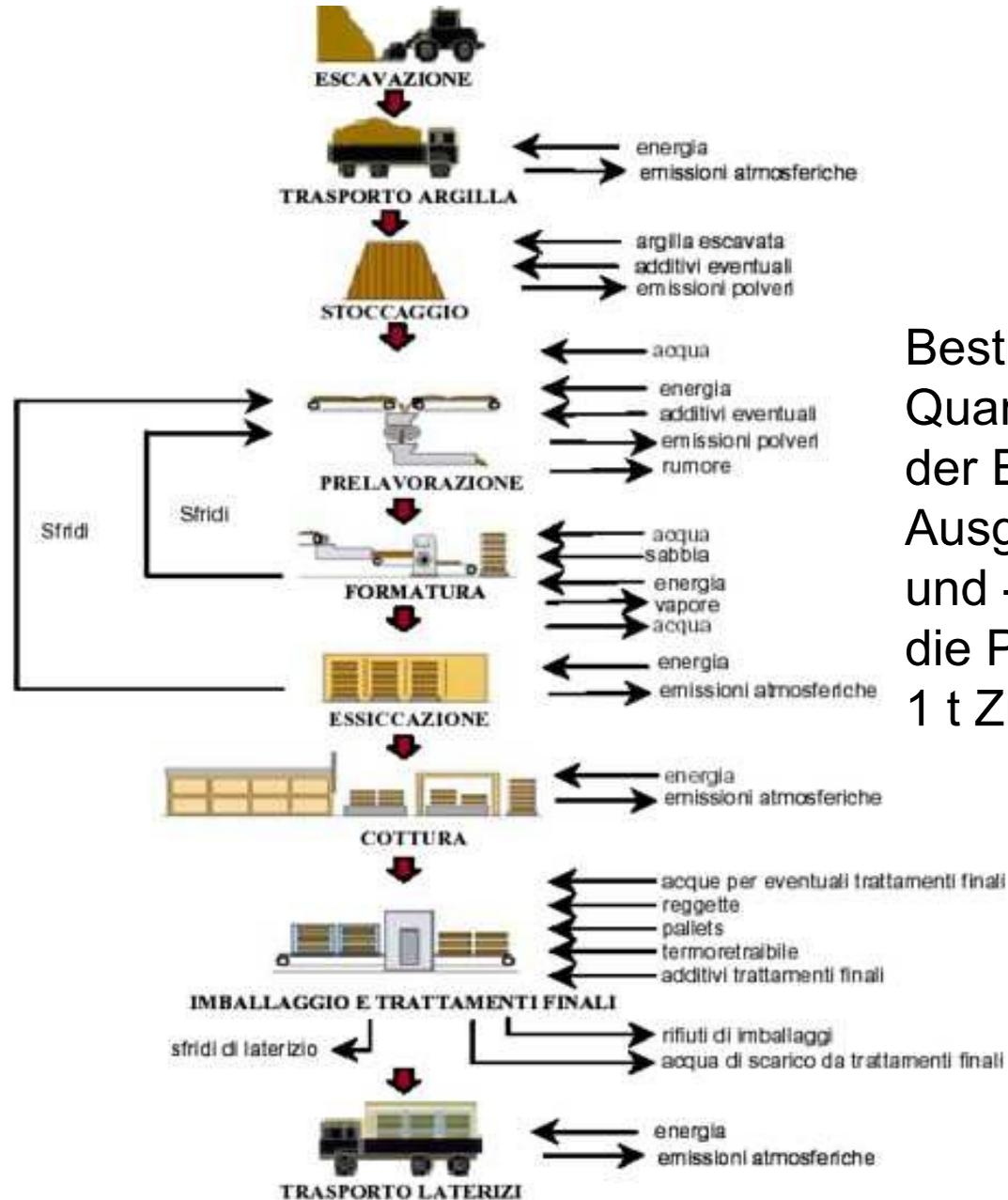
Bis Werk-  
tor aufgel.

# Inventaranalyse LCI, Produktionsphase

- Flussdiagramm mit allen Elementen des Produktionsaufwands



INPUT	Quantità	OUTPUT	Quantità
Materiale A	kg	Prodotto	kg
Materiale B	kg	Emissioni in aria	kg
Vettore di energia A..		Emissioni in acqua	kg
Vettore di energia B..		Emissioni nel terreno	kg
		Coprodotto	kg
		Sottoprodotto	kg

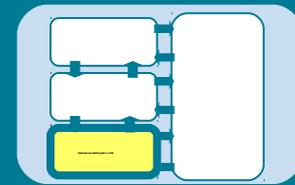


**Von der Wiege**

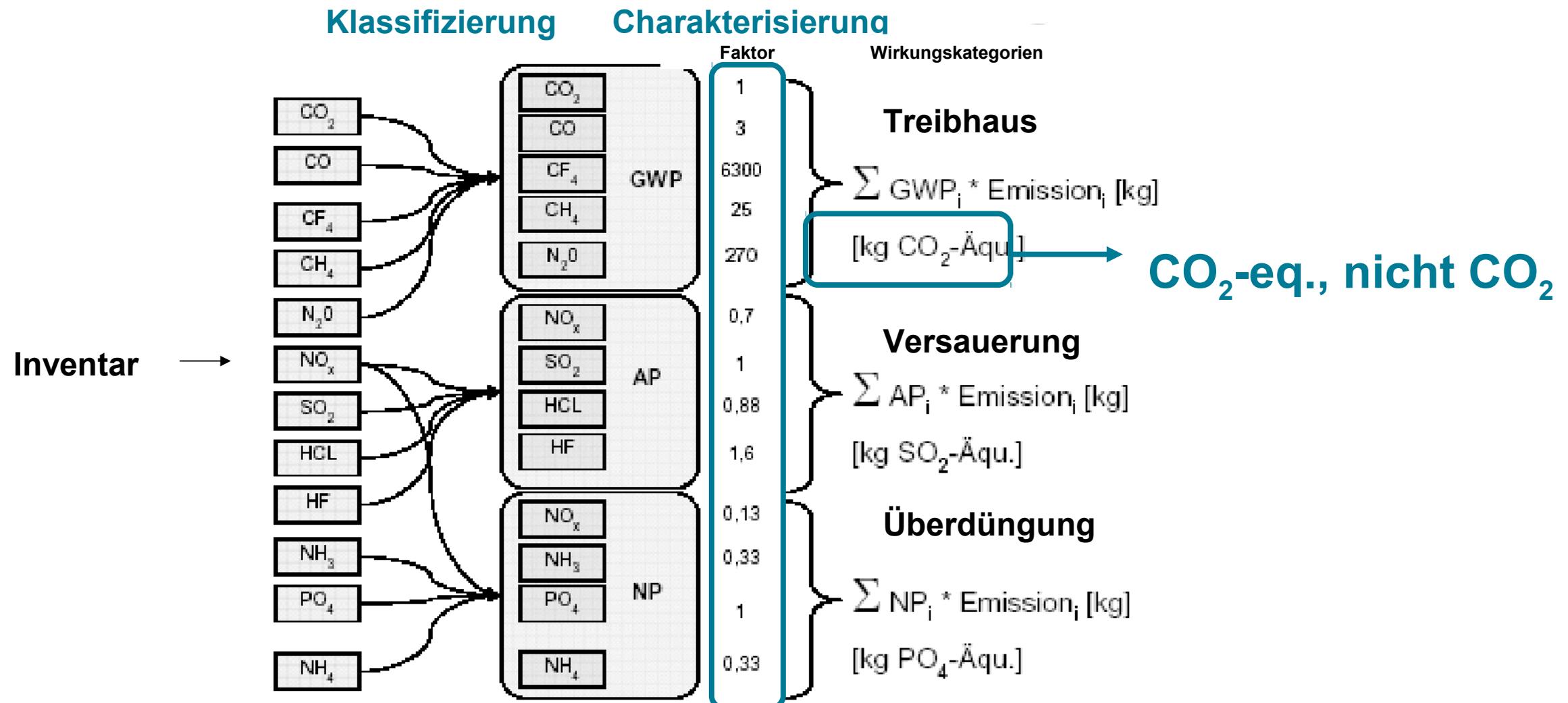
Bestimmung und Quantifizierung der Eingangs- und Ausgangsstoffe und -energien, für die Produktion von 1 t Ziegelsteine

**Bis Werk-  
tor aufgel.**

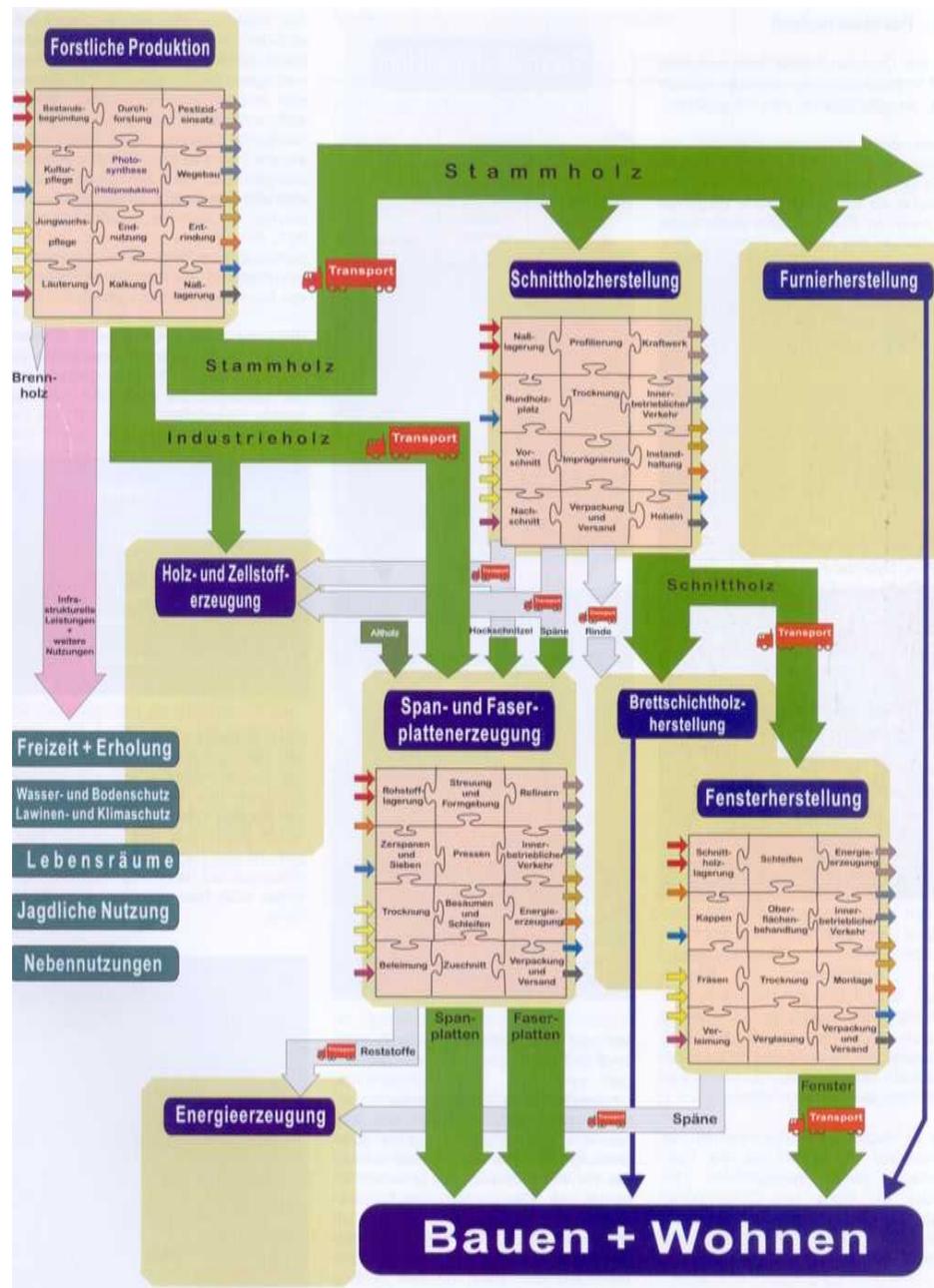
# LCIA: Klassifizierung und Charakterisierung



- Die Ergebnisse des Inventars werden gewichtet und verschiedenen Wirkungskategorien zugeordnet (Charakterisierung)



# Produktionsweg Holz – Holzwerkstoffe als Basis für die Ökobilanz



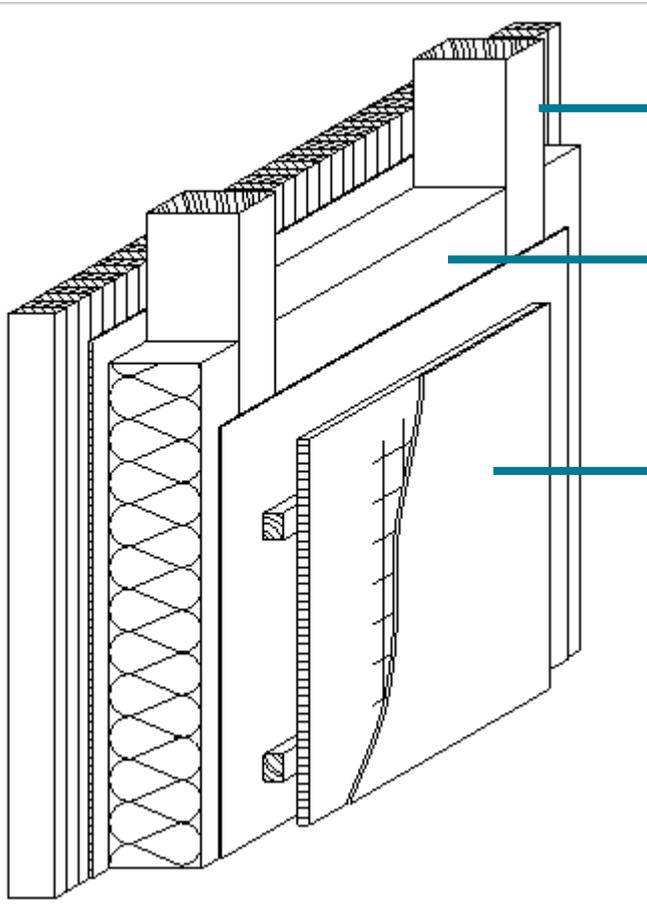


# Daten für Planer: Konstruktions-Elemente mit Ökobilanzdaten

Datenbank: Ökobilanzmodule

Sachbilanz

Input/Output  
Material und  
Energie



LEGEP Sachbilanzen

Bezeichner
S Bitumendichtungsbahn
S Bitumenschweißbahn G 200 S4
S Bitumenschweißbahn PYE-PV 200 S5 rs
S Blähperlit 0 - 1 mm
S Blähperlit 0 - 3 mm
S Blähschiefersand 0 - 2
S Blähvermiculit 0 - 2mm
S Blasstahl
S Blei
S Borax
S Bordenschiefer
S Borsäure
S Brandschutzputz
S Branntkalk, Feinkalk (S
S Branntkalk, Feinkalk (S
S Braunkohlen-Staub

LEGEP Sachbilanz: Kalkhydrat

Werte	Bezeichner	Einheit	Menge	Typ	Art
Rezeptur	S CO2 Kohlendioxid p	kg	430,00000000	↓	
	S Erdgas frei UCPT E, D	m3	78,93723280	↑	
	S Naturkalk, gebrochen, gewaschen	t	1,38000000	↑	
	S Partikel p	kg	0,03190000	↓	
	S Strom Mittelspannung - Bezug in UCPT E	TJ	0,00008104	↑	
	S Wasser	kg	243,00000000	↑	

LEGEP Sachbilanz: Kalkhydrat

Werte	Bezeichner	Einheit	Menge	Typ	Art
Rezeptur	Kalkhydrat	t			
	CO2		472,822200	0,000000	
	SO2		0,268693	0,000000	
	Ozonschicht		0,000024	0,000000	
	Abiotisch		66,865800	0,000000	
	Überdüngung		0,021860	0,000000	
	Sommersmog		0,048338	0,000000	
	Schwermetall		0,000219	0,000000	
	Radioaktivität		12926,130000	0,000000	
	Ecopoints		0,157681	0,000000	
	PEIE		22,146300	0,000000	
	PEINE		4328,141000	0,000000	

**Wirkungs-bilanz**

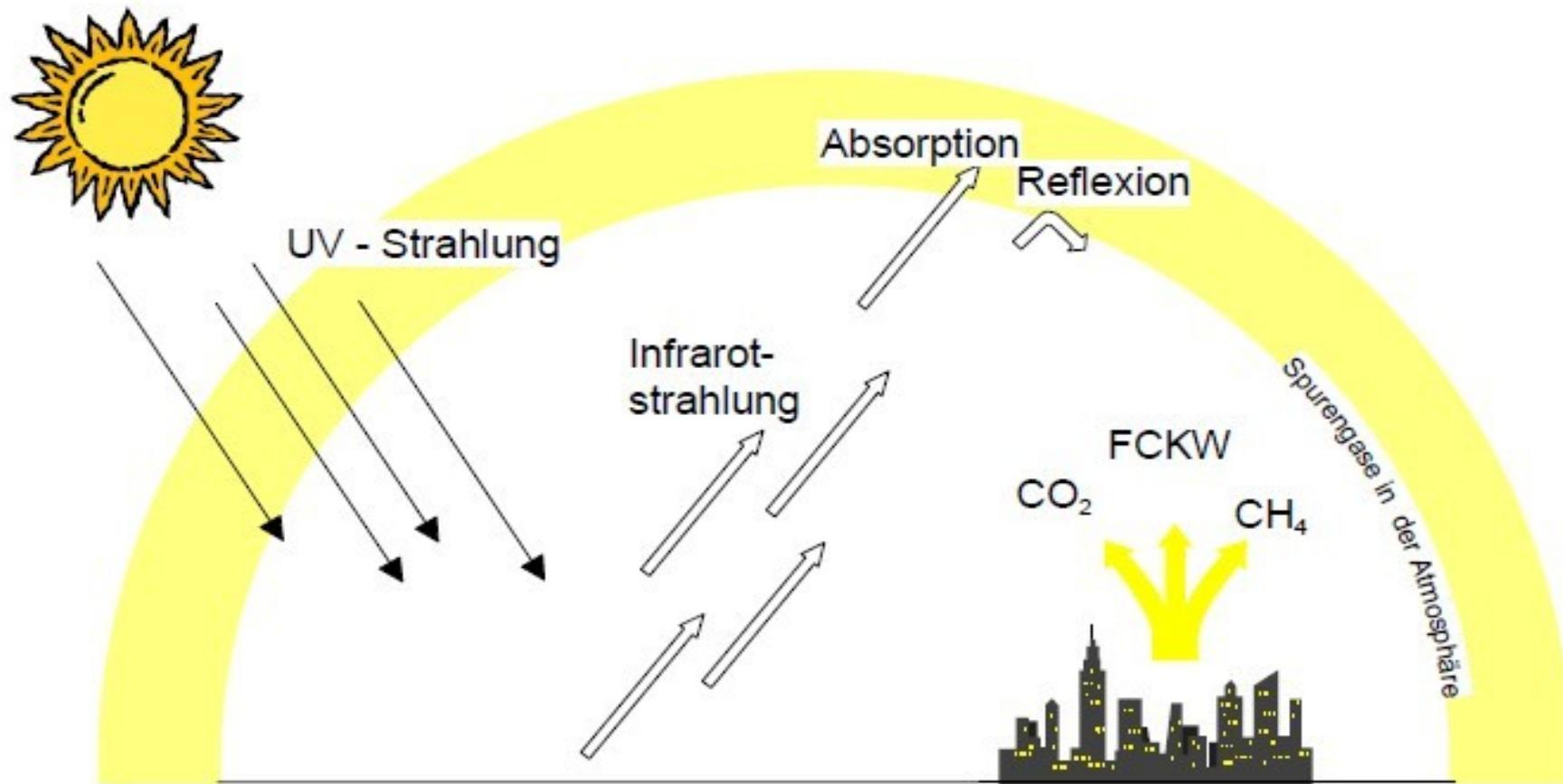
Neu berechnen

Generisch ←  
Spezifisch ←

LCA: CO<sub>2</sub>-äq., SO<sub>2</sub>-äq., PEI /m<sup>2</sup>

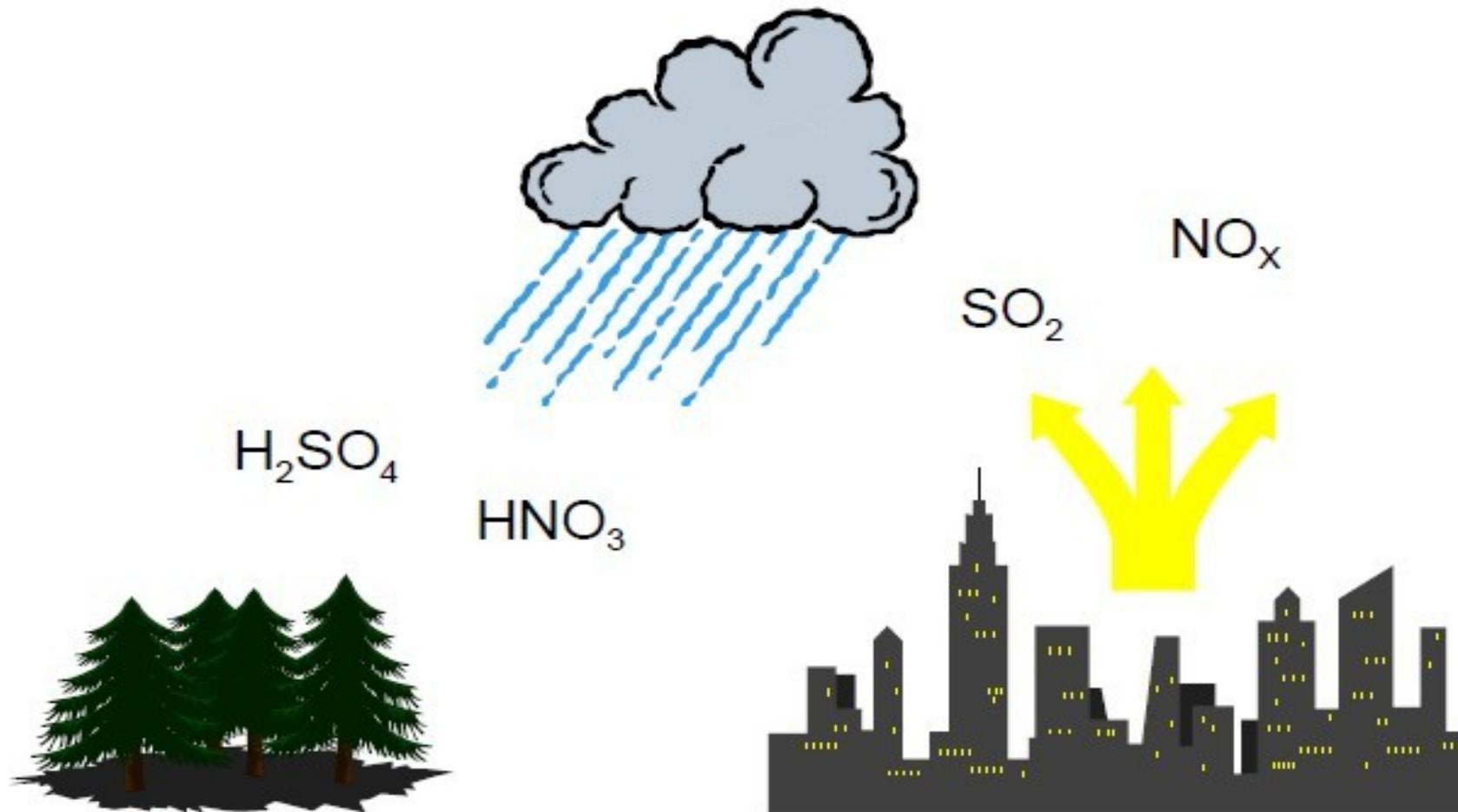
# Treibhauspotenzial (Global Warming Potential, GWP)

Potentieller Beitrag eines Stoffes zur Erwärmung der bodennahen Luftschichten



Bildquelle: Kreißig, J.; Kümmel, J.: Baustoff-Ökobilanzen. Wirkungsabschätzung und Auswertung in der Steine-Erden-Industrie. Hrsg. Bundesverband Baustoffe Steine + Erden e.V. 1999 in: Albrecht, S. u.a.: ÖkoPot - Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern. Abschlussbericht zum BMBF-Projekt FKZ 0330545, Stuttgart, 2008

# Versauerungspotenzial (Acidification Potential, AP)

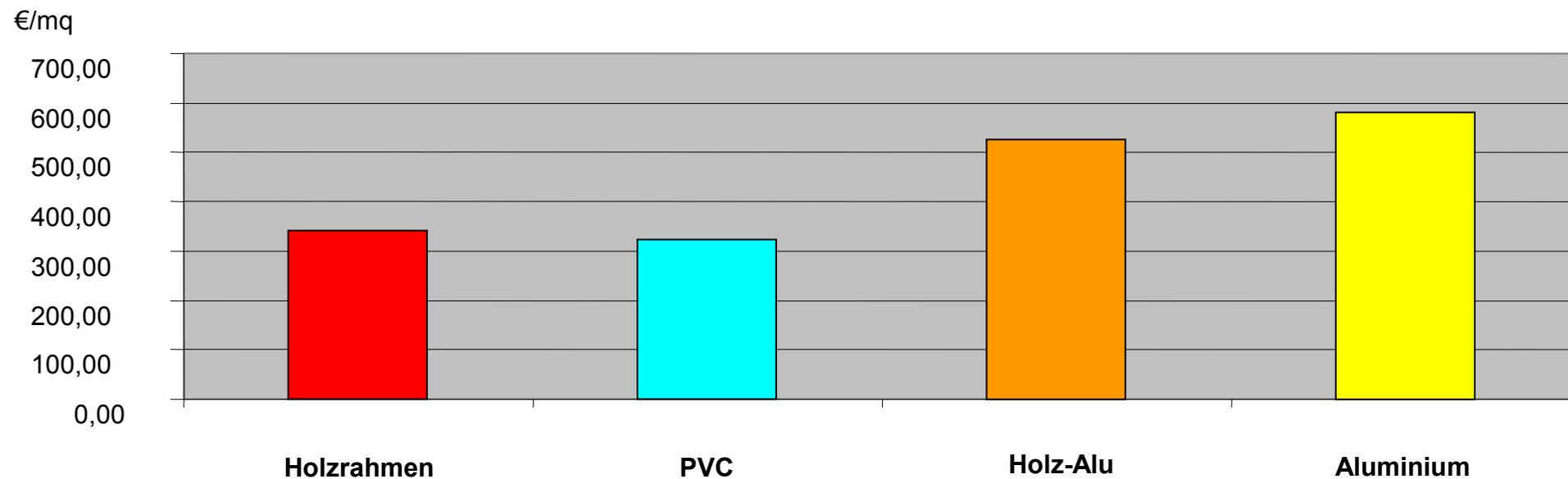
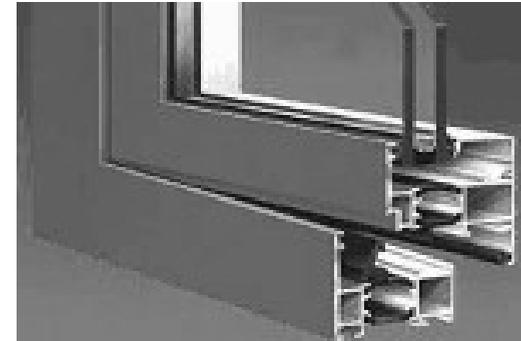


Bildquelle: Kreißig, J.; Kümmel, J.: Baustoff-Ökobilanzen. Wirkungsabschätzung und Auswertung in der Steine-Erden-Industrie. Hrsg. Bundesverband Baustoffe Steine + Erden e.V. 1999 in: Albrecht, S. u.a.: ÖkoPot -Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern. Abschlussbericht zum BMBF-Projekt FKZ 0330545, Stuttgart, 2008

# Elementevergleich

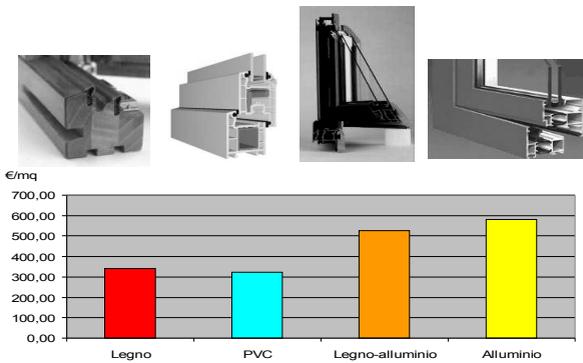
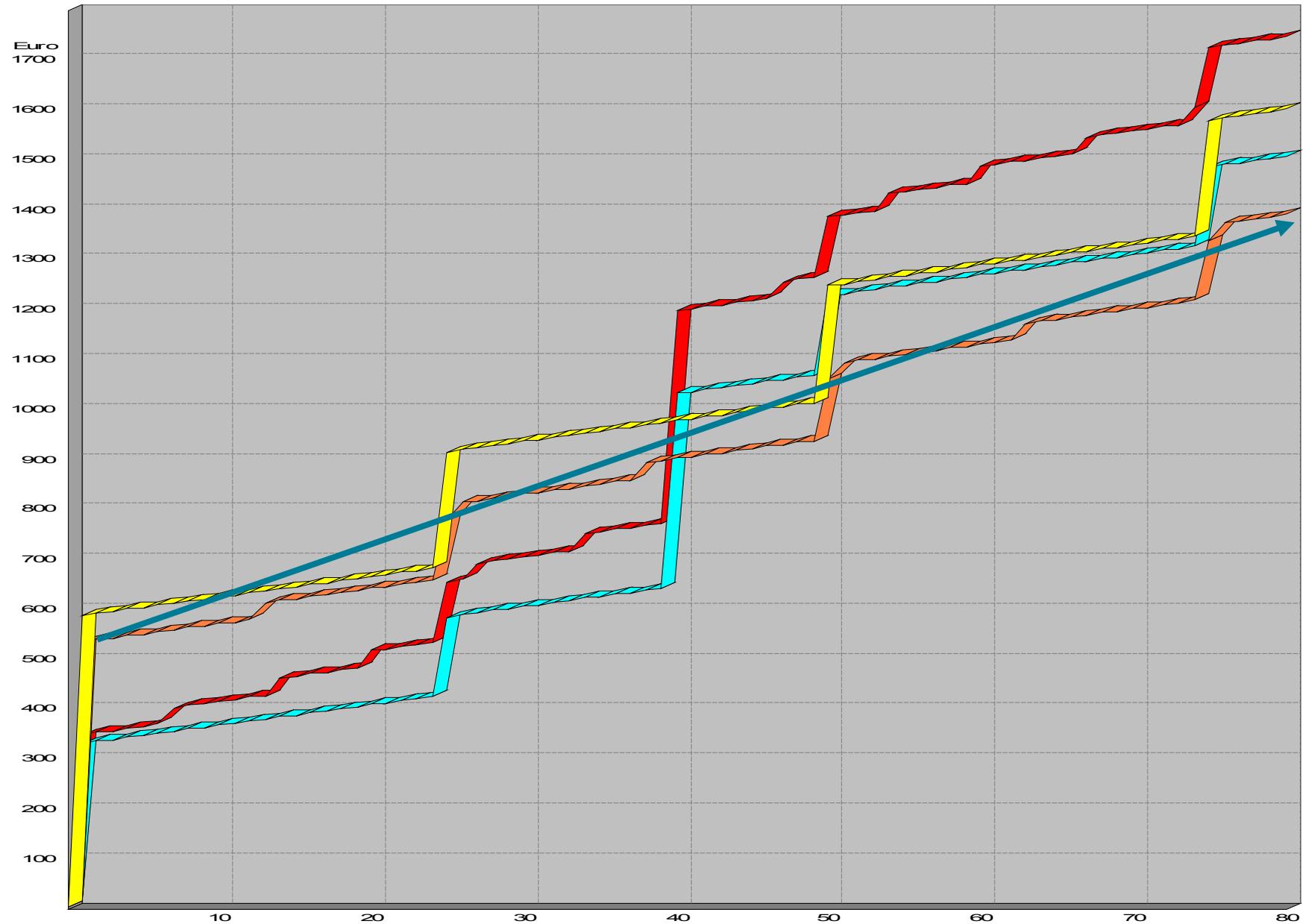
Fenster mit Verglasung, 0,5-2 m<sup>2</sup>, U<sub>g</sub>=1,1 W/m<sup>2</sup>xK

- Kosten €/m<sup>2</sup>



# Elementevergleich: Fenster

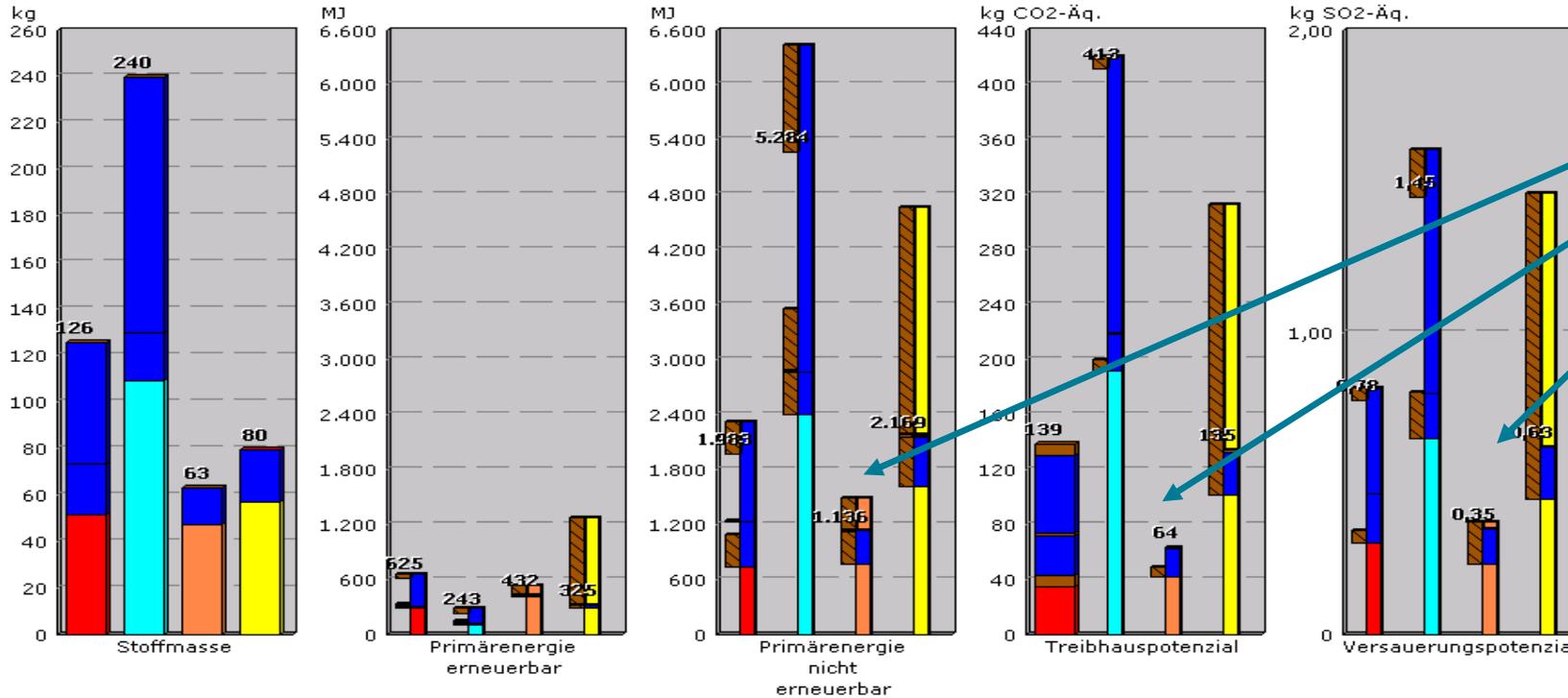
- LCC €/m<sup>2</sup>
- 80 Jahre



# Ökobilanz – vier Fensterkonstruktionen

**BEST-WERTE**

Betrachtungszeitraum 50 a (Ökobau.dat 4/2010)



- AW Fenster Fi, 1-flügelig, Fe-Bänke, 2,0-3,0 m<sup>2</sup>, ohne Sprossen, Uw=0,88
- AW Fenster KST, 1-flügelig, 2,0-3,0 m<sup>2</sup> Passivh., Uw ca. 0,7
- AW Fenster Alu-Holz, 2,0-3,0 m<sup>2</sup>, Passivhaus geeignet, Uw ca. 0,88
- AW Fenster Alu 2,0-3,0 m<sup>2</sup>, Passivhaus geeignet, Uw ca. 0,90

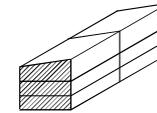
## Umweltbelastung von vier Fensterbauteilen

Phase: Herstellung Holzkonstruktion (rot), Kunststoffkonstruktion (türkis), Holz-Aluminiumkonstruktion (orange), Aluminiumkonstruktion (gelb)

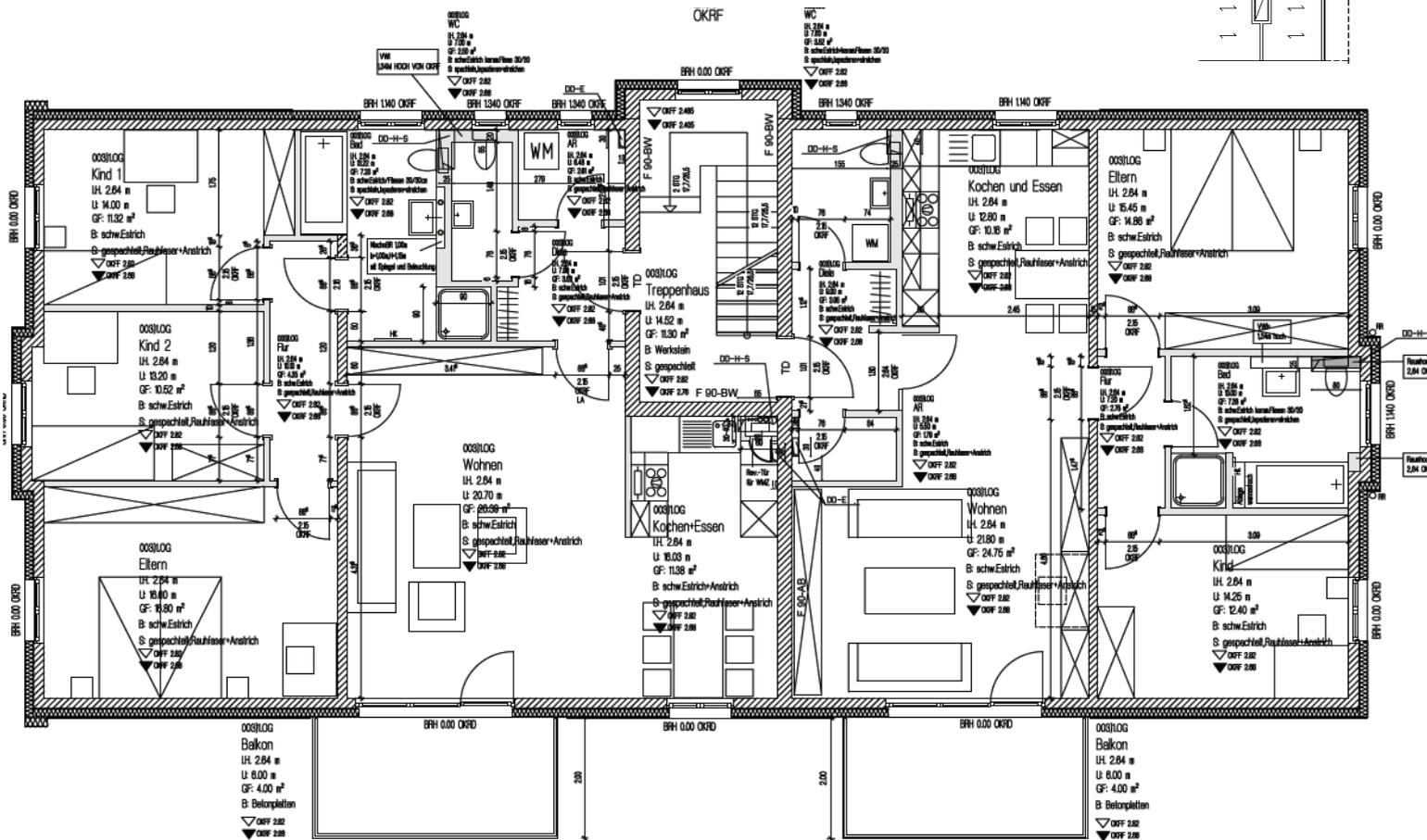
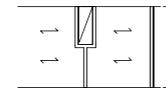
Phase: Instandsetzung (blau), Entsorgung (braun)

# MFH-Steildach-3Ge-DG-ohne Keller

- MFH, 2 Spänner, 7 WE

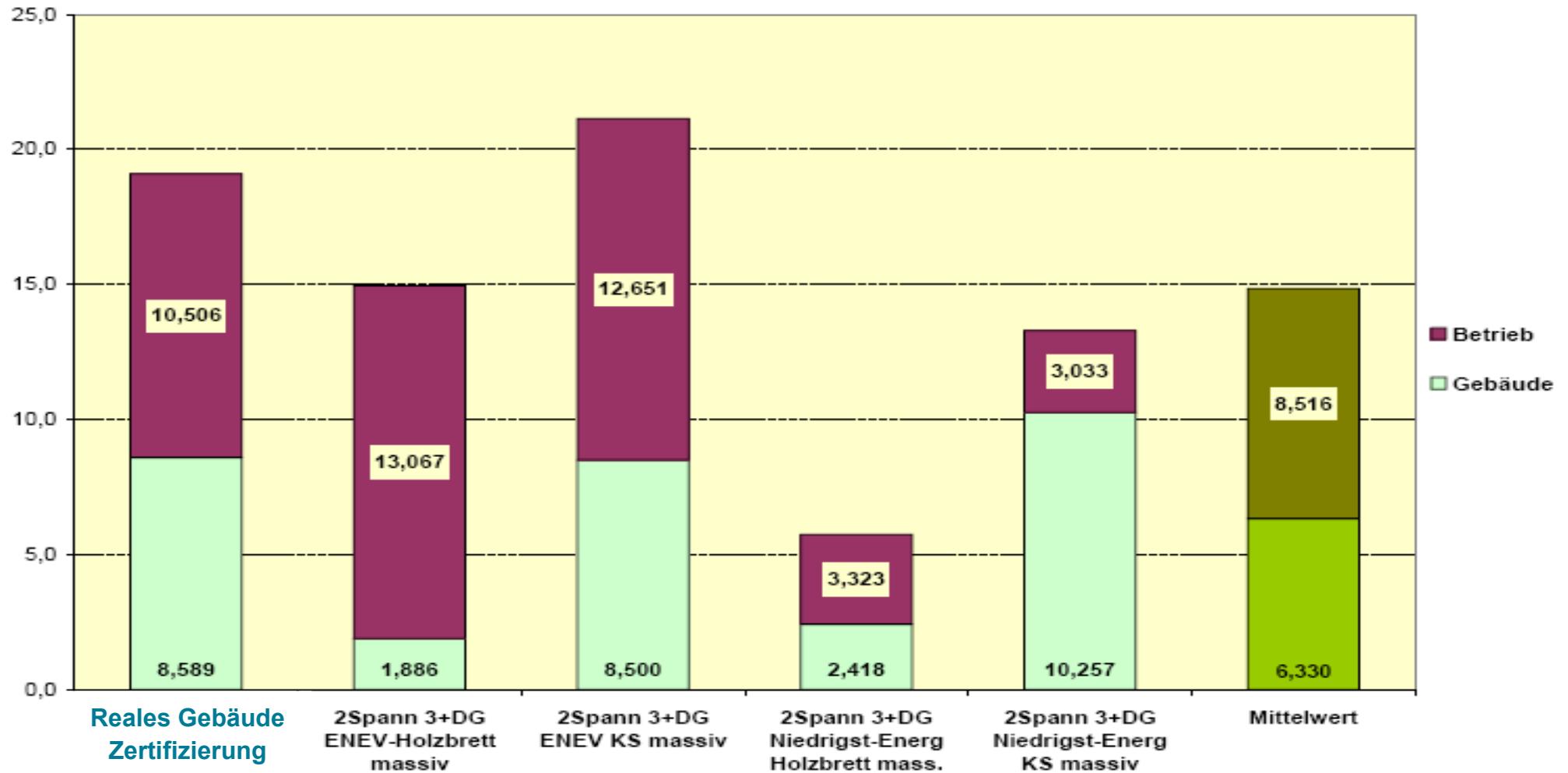


Geschosswohnungsbau  
Zeile

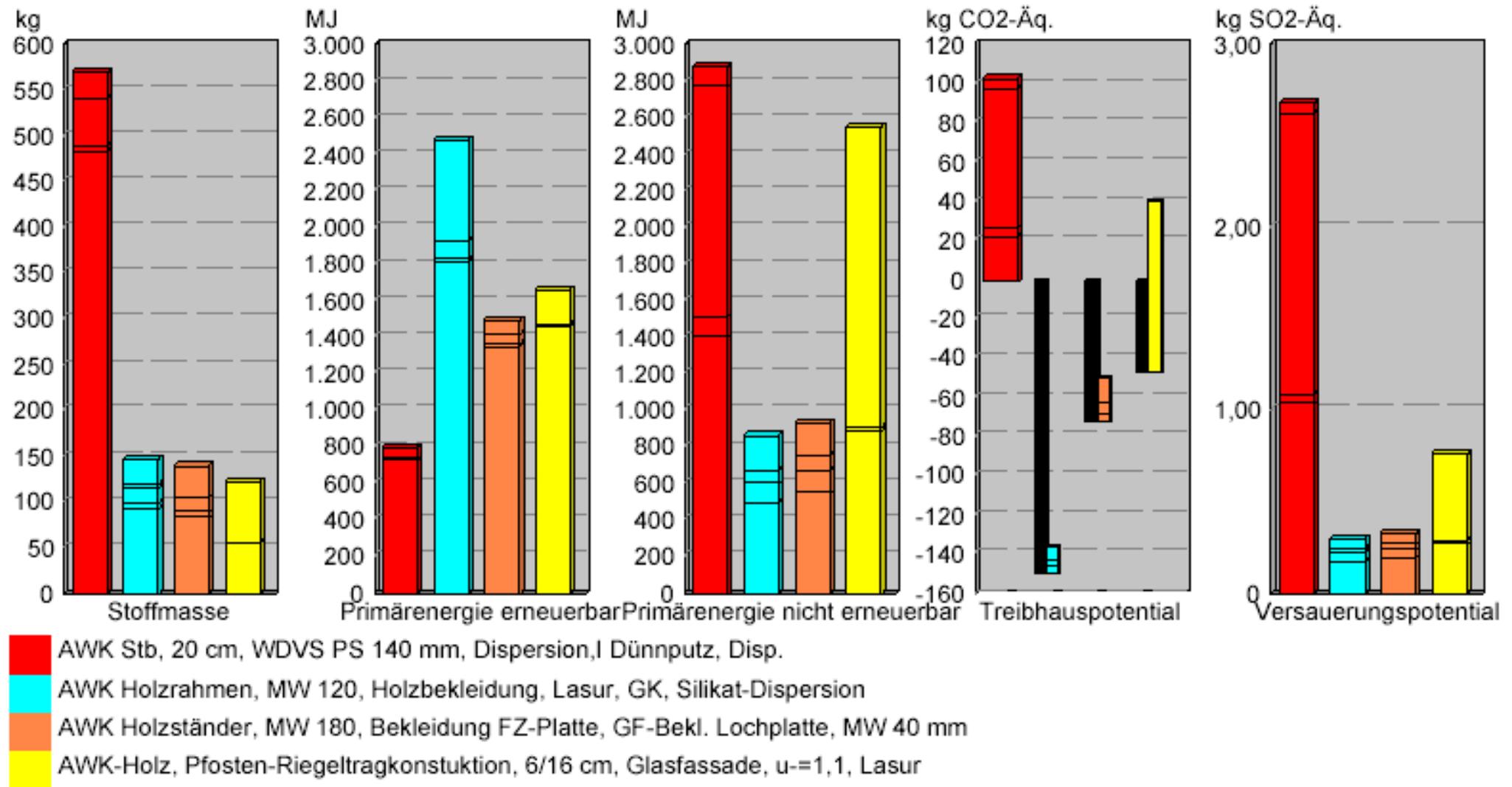


# MFH - Varianten Energie und Material

MFH-SD, 2-Spänner, 3 Geschosse + DG, Vergleich: Gebäude und Betrieb  
Indikator: [Treibhauspotenzial](#) [kg CO<sub>2</sub> äqval./m<sup>2</sup>NGF/a] (a= 50 Jahre)



# Umweltbelastung vier Bauteile Herstellung/Instandsetz.



# Ökonomische Qualität

Ökonomische Qualität	
16 00	Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus
16 01	Erstellungskosten des Gebäudes
16 02	Folgekosten des Gebäudes
16 03	Rückbau- und Entsorgungskosten des Gebäudes
16 04	Erstellungskosten des Referenzgebäudes
16 05	Folgekosten des Referenzgebäudes
16 06	Rückbau- und Entsorgungskosten des Referenzgebäudes
17 00	Wertstabilität
17 01	Flächeneffizienz
17 02	Modularität des Gebäudes
17 03	Räumliche Struktur des Gebäudes
17 04	Elektro- und Medienversorgung
17 05	Heizung, Klimatisierung, Wasserver- und Entsorgung

■ 2 Steckbriefe  
0 zurückgestellt

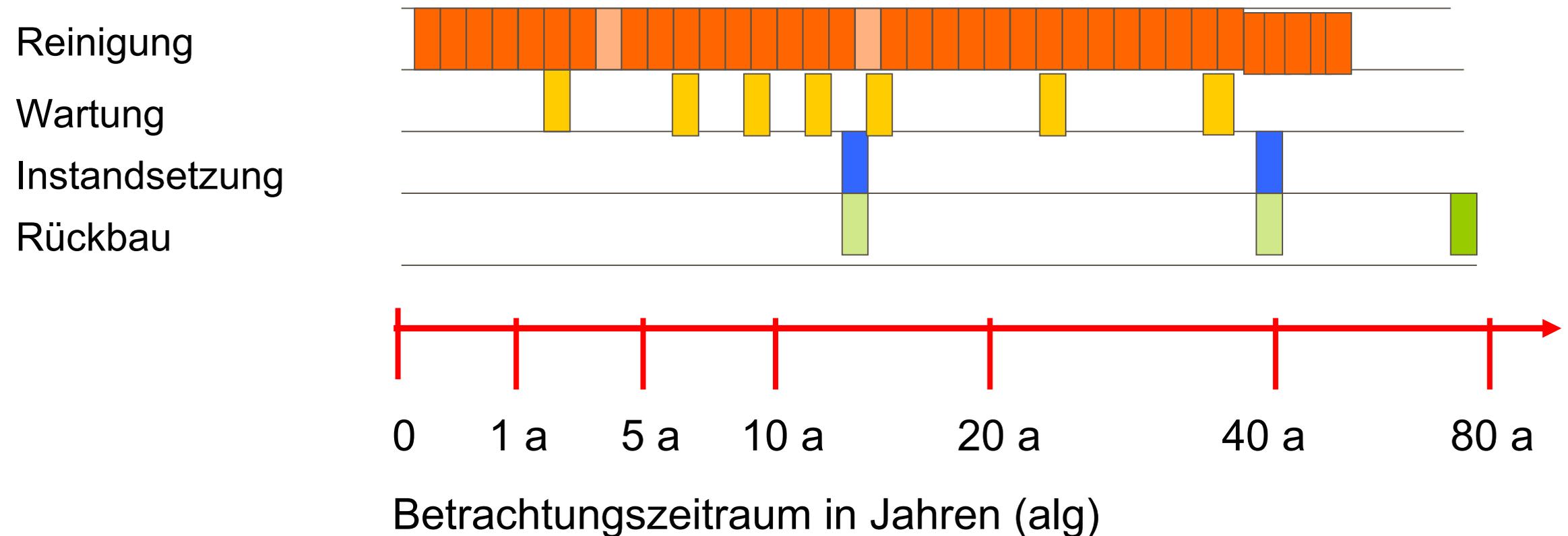
■ 7 Kriterien  
0 zurückgestellt



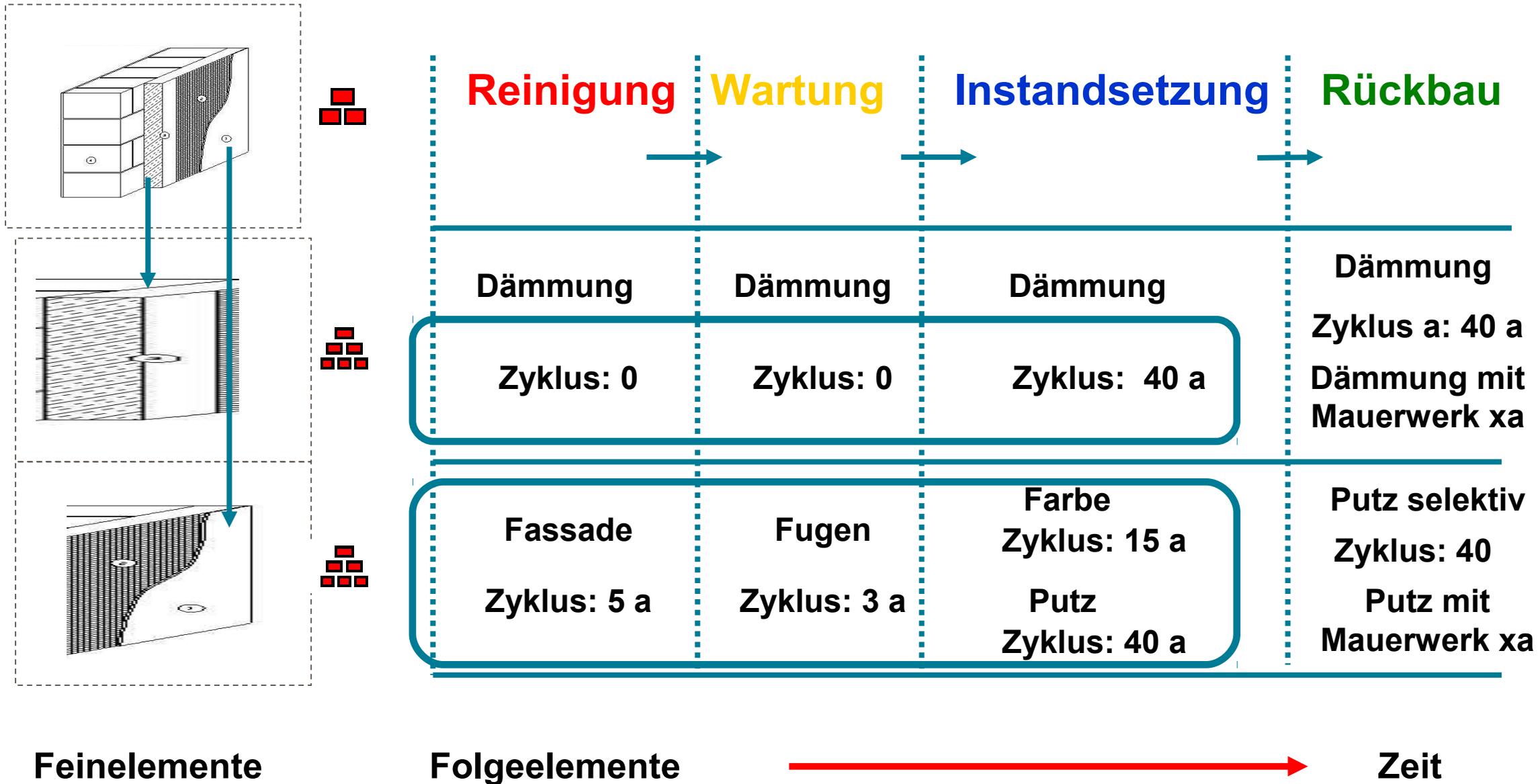
# Zyklen von Dienstleistungen für das Gebäude (exemplarisch)

## Serviceleistung

## Relative Häufigkeit

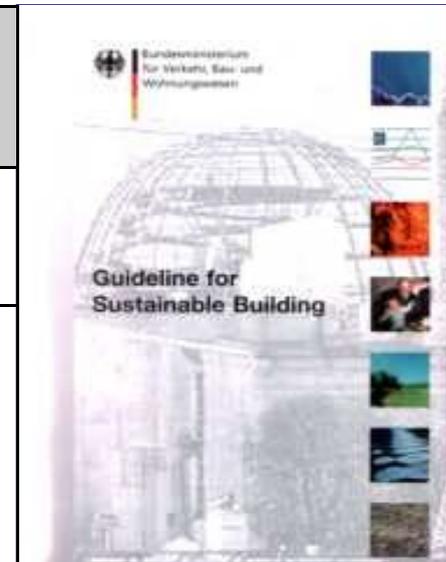


# Datenbank mit Lebenszykluselementen



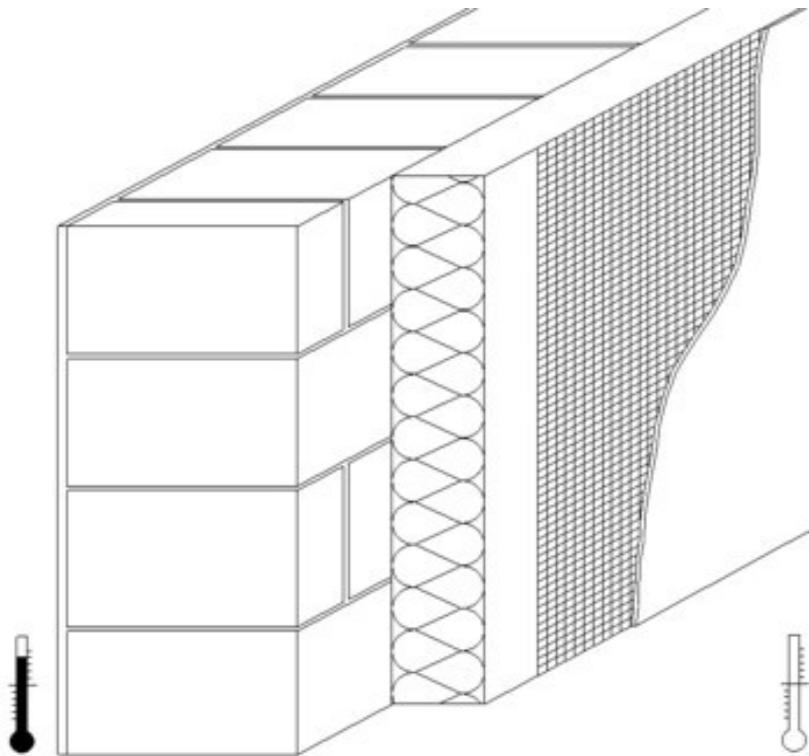
# Leitfaden “Nachhaltiges Bauen” des BMVBS

	Bauteil / Bauteilschicht , Kursivdruck Erweiterung der Tabelle des „Leitfadens“ um weitere Bauteile oder Materialgruppen	Lebenserwartung von - bis [a]	mittlere Lebenserwartung [a]	Abweichung (a)	Zyklus	KGR nach DIN 276
1 Tragkonstruktion	1.1 Fundament Beton	80 - 150	100			320
	1.2 Außenwände/-stützen					330
2	1. Beton, bewehrt, bewittert	60 - 80	70	+10		331.2 333.2
	2. Naturstein, bewittert	60 - 250	80			331.1 333.1
	3. Ziegel, Klinker, bewittert	80 - 150	90			331.1 333.1
	4. Beton, Betonstein, Ziegel, Kalksandstein, bekleidet	100 - 150	120			
1	5. Leichtbeton, bekleidet	80 - 120	100			331.2 333.2
	6. Verfugung, Sichtmauerwerk	30 - 40	35	+15	0,02	



(Guideline for sustainable Building“/„Leitfaden Nachhaltiges Bauen“, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, 2001. )

# Konstruktionen und Information



Außenwandkonstruktion aus Kalksandstein, d=24 cm, Wärmedämmverbundsystem Mineralwolle 100 mm mit Silikatbeschichtung, innen Gipsputz mit Tapete

**Erstellung**

**Folgekosten**

**-Reinigung**

**-Wartung**

**-Instandsetzung**

**-Rückbau**

**Bauphysik**

**Umwelt**

**Gesundheit**

**PREIS € pro m<sup>2</sup>**

**PREIS € pro m<sup>2</sup>/Zyklus**

**U-Wert: W/m<sup>2</sup>K**

**LCA: CO<sub>2</sub>-äq, SO<sub>2</sub>-äq, PEI /m<sup>2</sup> Deponieklasse**

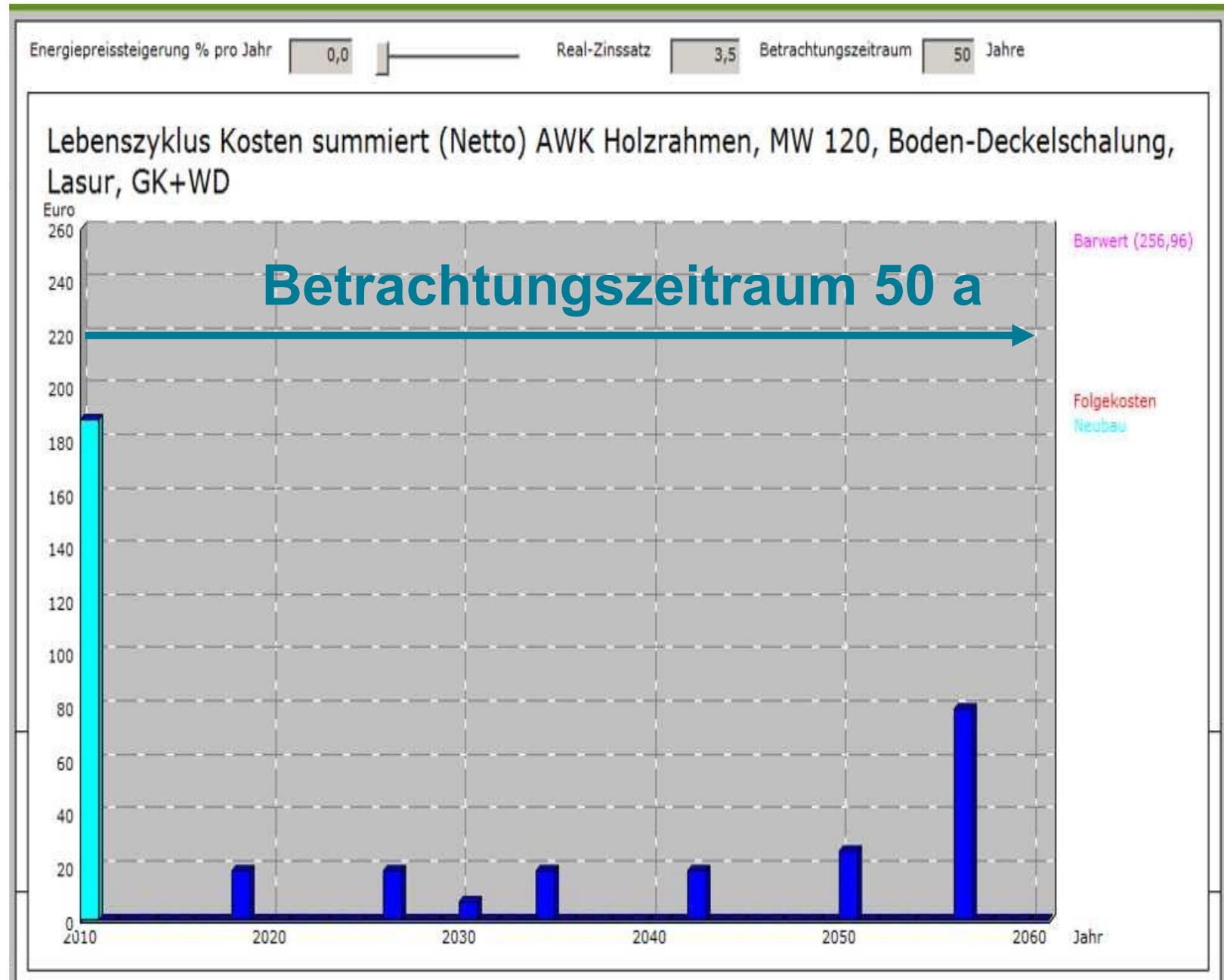
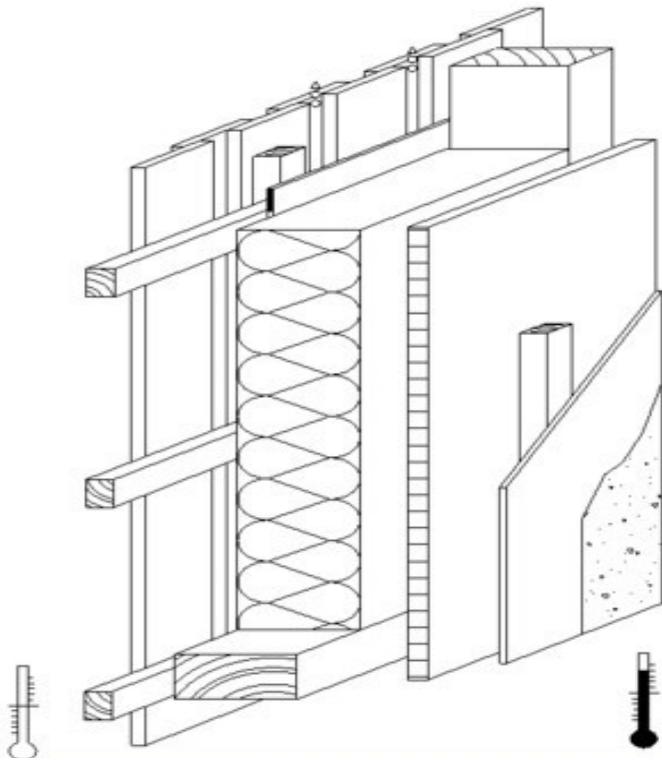
**Risiken/  
Inhaltsstoffe**

# Kostenermittlung statisch für 50 a

■ <b>Herstellung 1 x €</b>	<b>188,00</b>
■ Anstrich außen alle 8 a = 5x 12,50€	62,50
■ Schalung 1x 40a =	79,66
■ Rückbau Schalung 1 x 40 a =	7,80
■ Wartung Fugen und erneuern 1 x 20 a= 2 x 7,30	14,60
■ Silikatanstrich innen alle 8a = 5 x 6,46€	32,30
■ <b>Summe Folgekosten €</b>	<b>196,86</b>
■ <b>Summe Gesamtkosten €</b>	<b>384,88</b>

Ohne Rückbau und Entsorgung nach 50 a

# Folgekosten grafisch 50 a



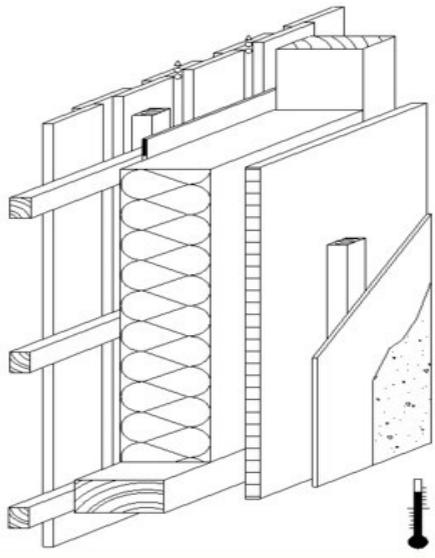
# Abzinsung, Diskontsatz

- Kosten einmalig
- Reinigung täglich, wöchentlich
- Energie monatlich, jährlich,
- Wartung halbjährlich, zweijährig
- Instandsetzung alle 5- 8 Jahre
  
- Unterschiedliche Kapitalabflüsse

# Einfluss des Diskontsatzes

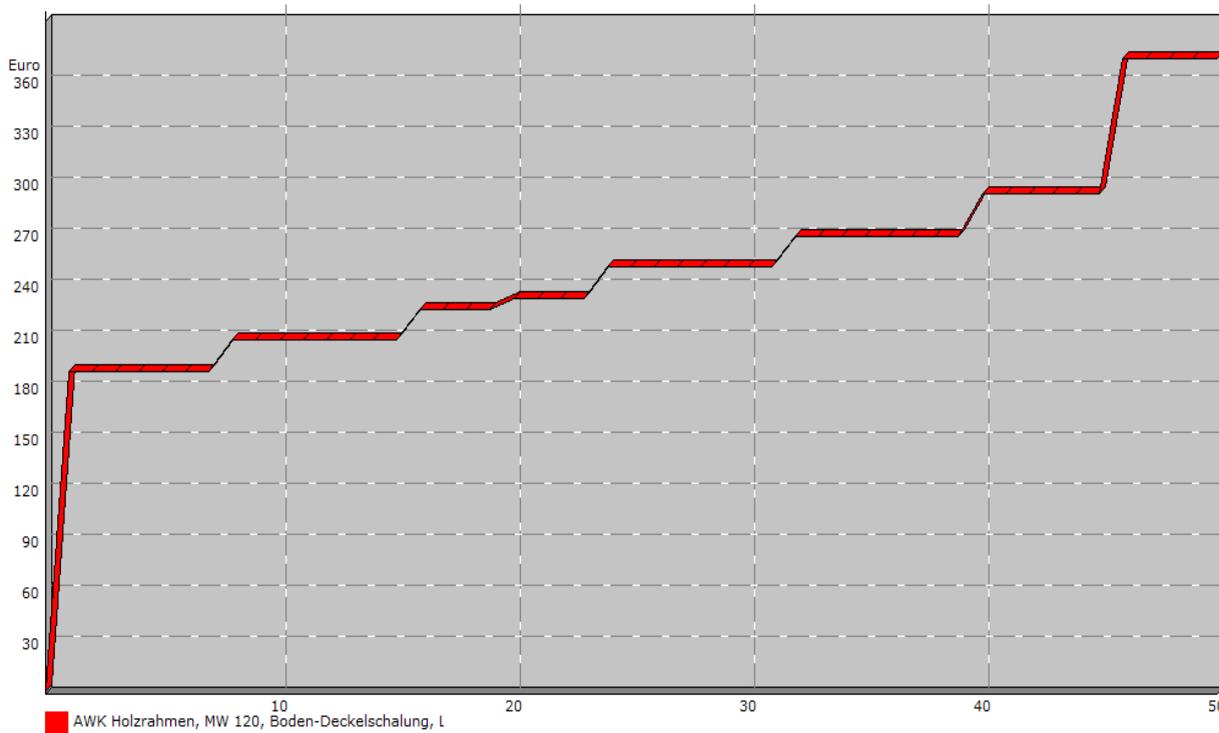
- Der Diskontsatz berücksichtigt den Zinsgewinn durch spätere Mittelabflüsse.
- Je nach Höhe des Diskontsatzes haben spätere Mittelabflüsse z.B. Abbruch und Entsorgung einen geringeren Einfluss auf die Gesamtlebenszykluskosten.
- Elementvergleiche und Gebäudevergleiche können in LEGEP mit 0% bis x Prozent gerechnet

# LCC dynamisch Barwert -Annuität

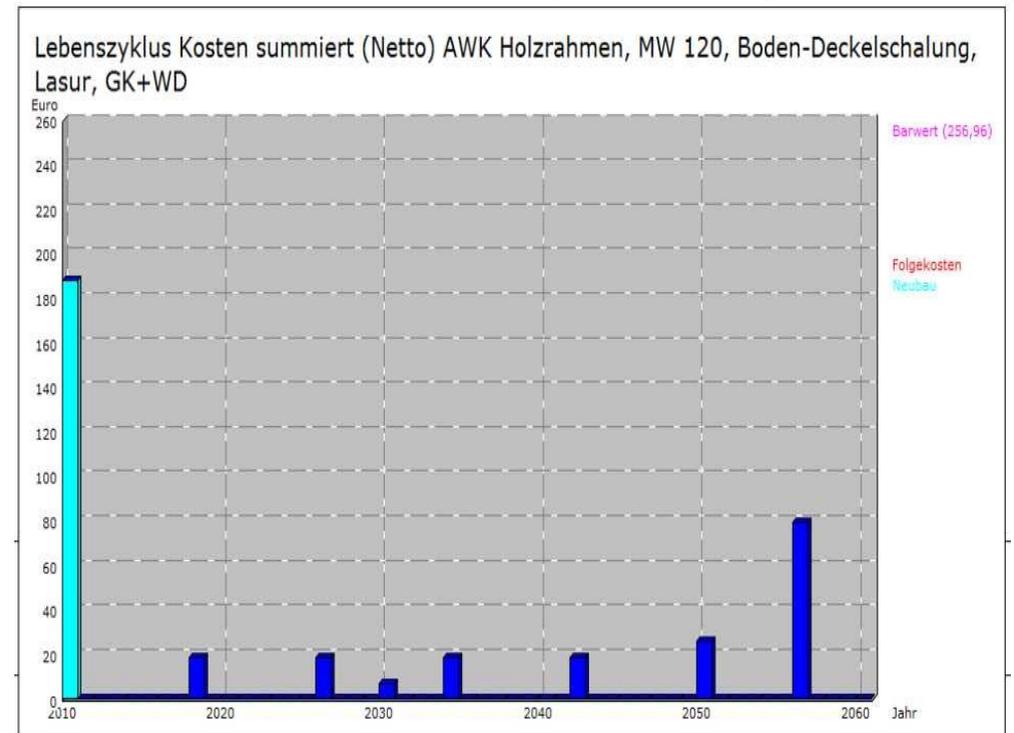


- Lebenszykluskosten statisch 384,88 €
- Barwert bei 3,5% Realzins 256,96 €
- Annuität bei 50 a 10,95 €/a

Betrachtungszeitraum 50 a, Energiepreissteigerung 0%, Barwertzins 0%

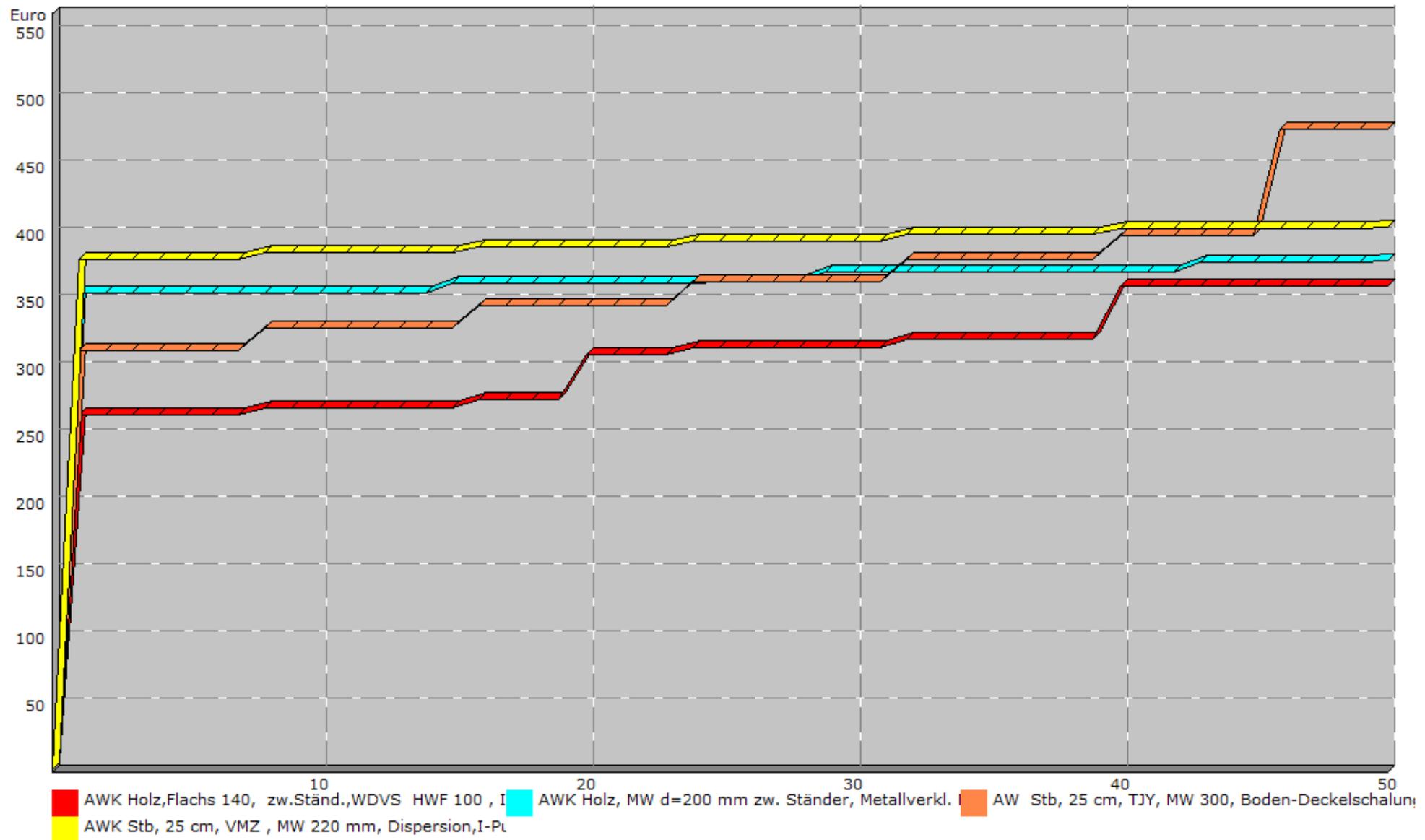


Energiepreissteigerung % pro Jahr 0,0 Real-Zinssatz 3,5 Betrachtungszeitraum 50 Jahre



# Bauteilvergleich, statisch, 50 a

Betrachtungszeitraum 50 a, Energiepreissteigerung 0%, Barwertzins 0%



# Werkstätte für behinderte Menschen, Lindenberg

Architekt Lichtblau, München

## Zwei Lösungen

- **Standard:** Stb-Konstruktion, Mineralische Bausteine, MW, Dämmung Standard EnEV
- **Solarbau:** Holzkonstruktion, Brettstapel, Zellulosedämmung, Dämmung Standard SOLARBAU Benchmark: Heizbedarf 40 kWh/m<sup>2</sup>, Endenergie (m.Beleuchtung): 70 kWh/m<sup>2</sup>, PE: 100 kWh/m<sup>2</sup>

## Räume:

- Verwaltung/Büros, Cafeteria, Werkstraße, Werkstätten



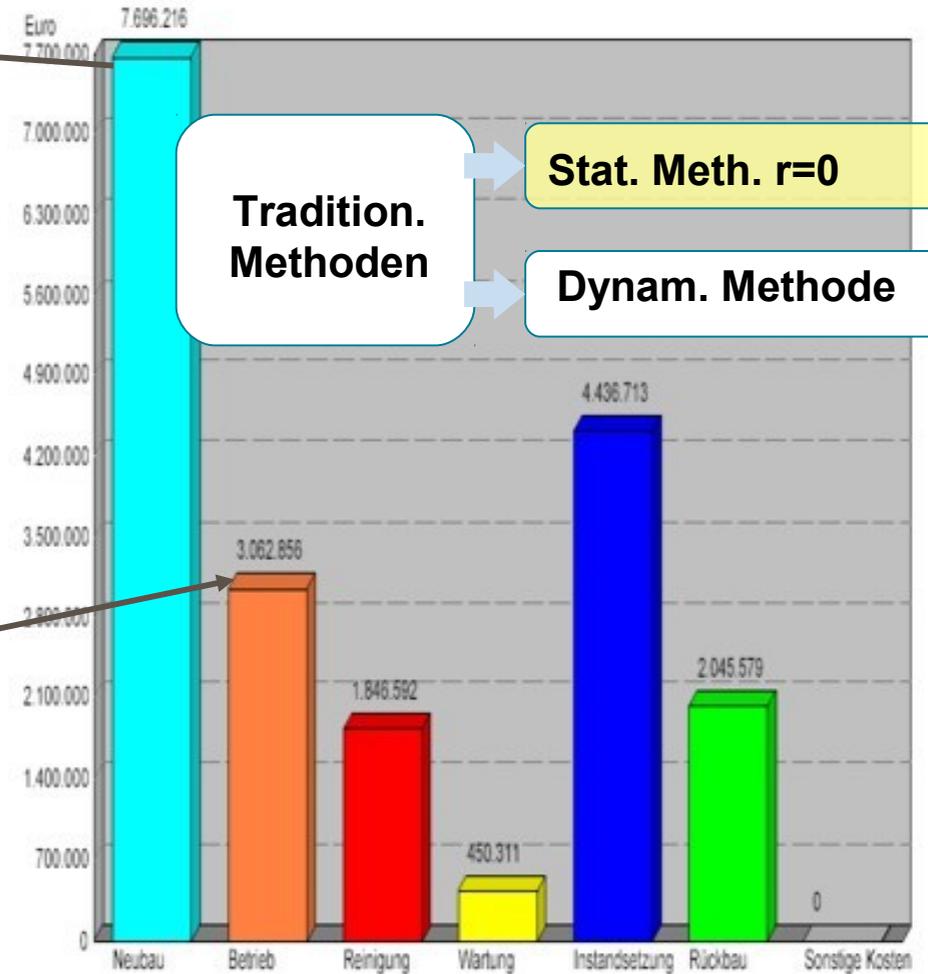
# Lebenszykluskosten Vergleich

## Neubau- und Nutzungskosten nach DIN 276/ DIN 18960

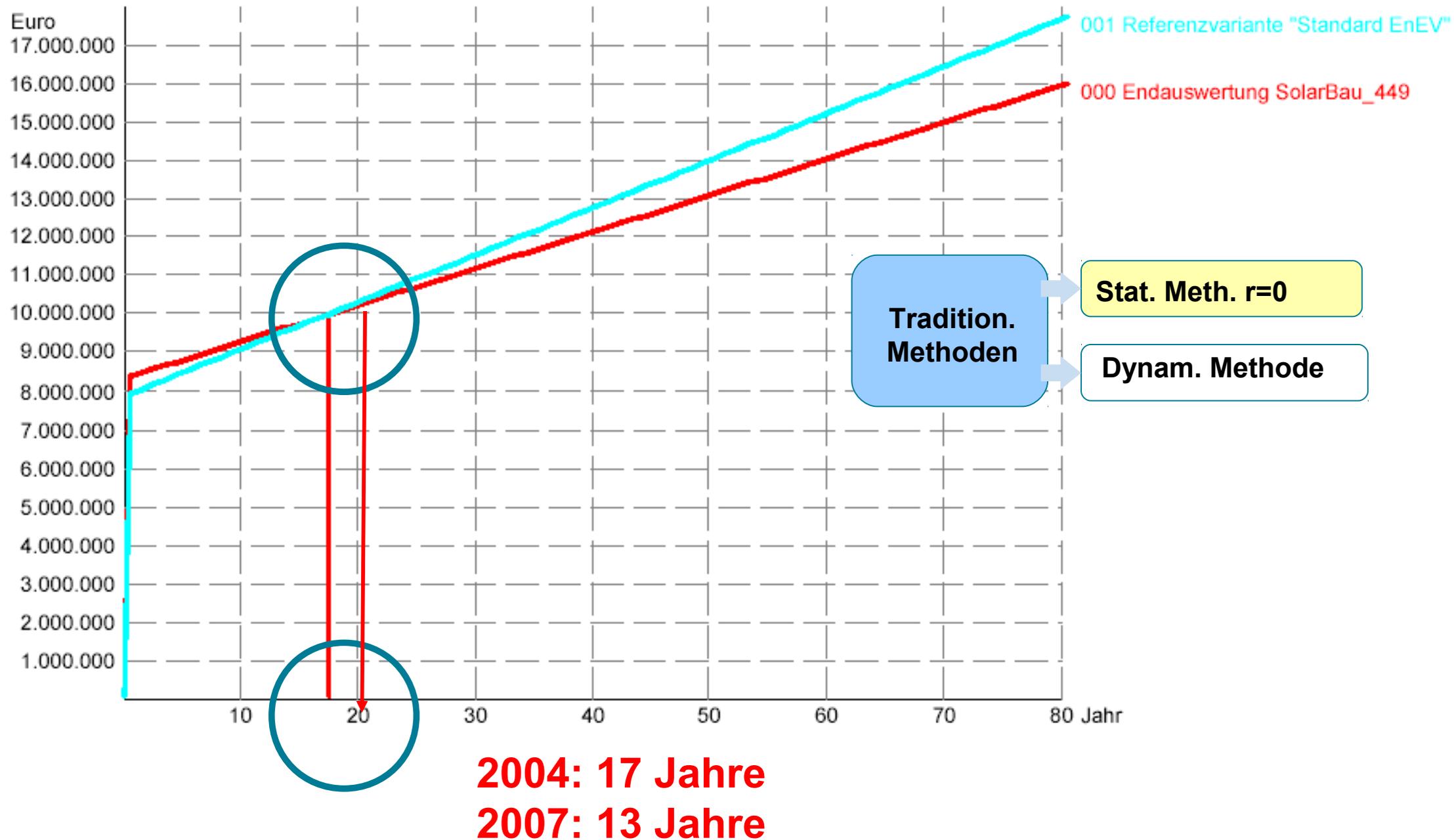
### Solarbau

### Standardbau

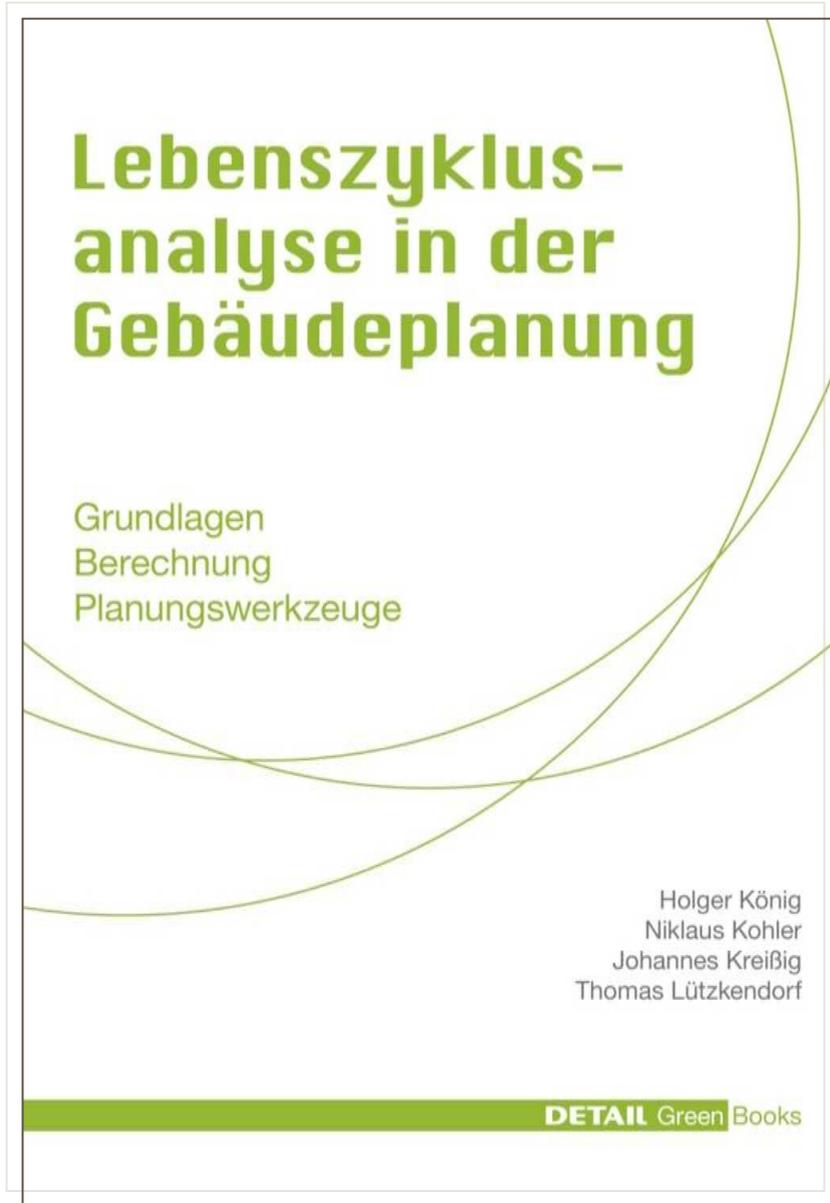
Herstellungskosten + 7%



# Lebenszykluskosten, Amortisation



# Lebenszyklus und Gebäude



**Holger König**

**Niklaus Kohler**

**Johannes Kreißig**

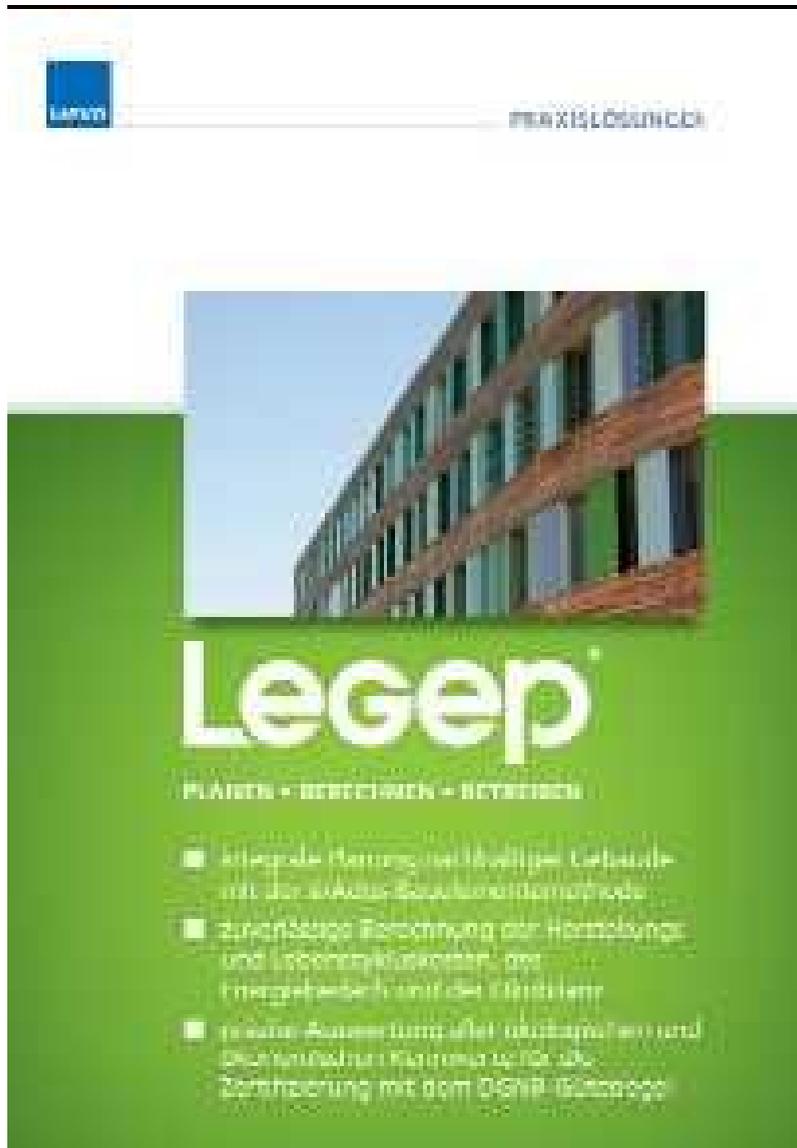
**Thomas Lützkendorf**

## **Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung**

**Detail-Verlag**

**ISBN 978-3-920034-30-0**

# LEGEP - Lebenszyklusgebäudeplanung



## Legep

### Integrale Programmsoftware und Datenbank

- **Kostenplanung**
- **Wärme und Energieberechnung**
- **Wirtschaftlichkeit**
- **Lebenszykluskosten**
- **Ökobilanz**

[www.legep.de](http://www.legep.de)

[www.legep-software.de](http://www.legep-software.de)

# LEGep<sup>®</sup>

## Lebenszyklus Gebäude Planung

### Ein Werkzeug für die integrierte Lebenszyklusanalyse

gefördert von:



Dipl. Ing. Architekt Holger König