

Block II – Ökobilanzierung/LCA

Prof. Dr.-Ing Sven Wünschmann



1

Energetische und stoffliche Ressourcen Umweltindikatoren, Ökobilanzierung

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 2

2

ÖKOBILANZIERUNG

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 3

3

Life Cycle Assessment LCA

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 4

4

UMWELTWIRKUNGEN



Quelle: Global Footprint Network

5

RESSOURCEN

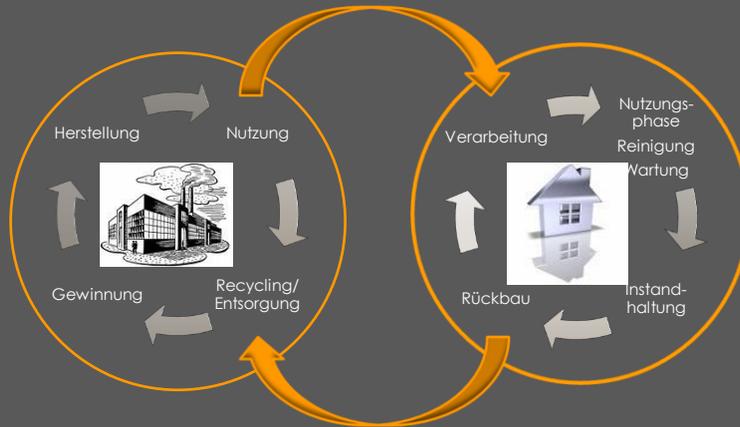


Quelle: Global Footprint Network

6

LCA – Life Cycle Assessment

Beschreibung der Bewertungsmethode



Prozesskette Herstellung

Prozesskette Verarbeitung

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 7

7



8



Quelle: Global Footprint Network

9

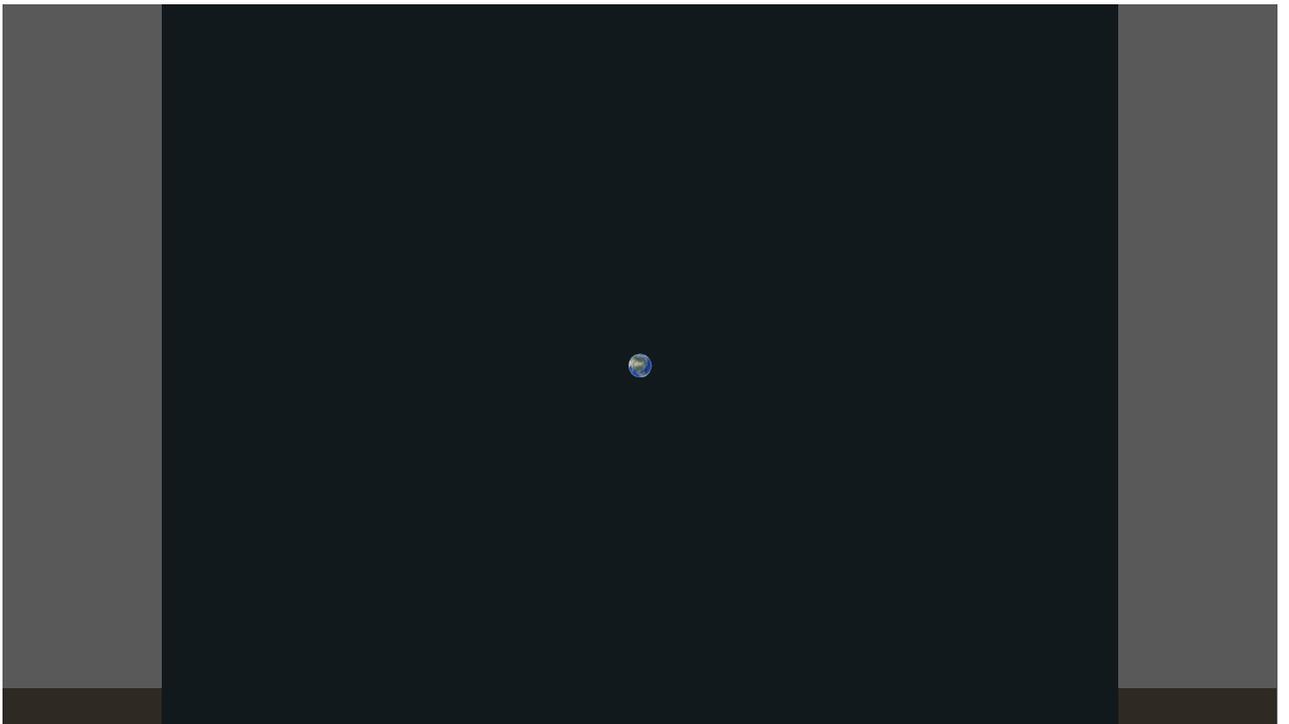


Quelle: Global Footprint Network

10



11



12

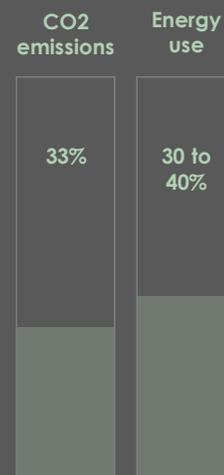
Globale Wirkung der Bauwirtschaft

CO2 Konzentration und Klimawandel:

Von 1905 bis 2005 stieg die globale mittlere Oberflächentemperatur auf der Erde um **0.74°C**.

Mit **0.19°C** in der letzten Dekade war der aktuelle Anstieg der höchste der letzten 25 Jahre

Die Prognosen für dieses Jahrhundert reichen von (best case) **1.1°C** bis (worst case) **6.4°C**.



Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 13

13

Globale Wirkung der Bauwirtschaft

Rohstoffe

Neben Metallen, Sand und Steinen, Öl und Gas werden aus Umweltgründen zunehmend **erneuerbare Rohstoffe** nachgefragt.

Dies umfasst Holz, Pflanzen und Ölpflanzen, ihre Produktion führt zu **Landverbrauch und Wasserverbrauch**.



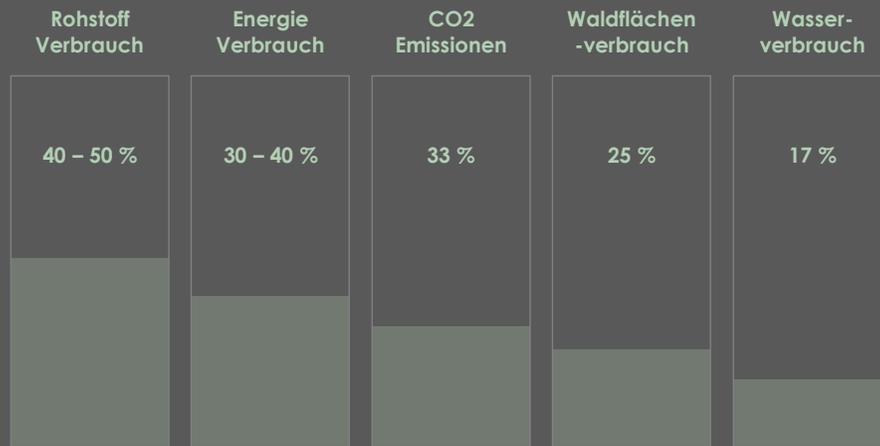
Raw materials

40 – 50 %

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 14

14

Globale Wirkung der Bauwirtschaft



Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 15

15

LCA – Life Cycle Assessment

Ziele:

Schutz der natürlichen Umwelt

- Erhaltung des Lebensraumes für Mensch und Flora/ Fauna
- Minimierung der Umweltrisiken für zukünftige Generationen
- Schonender Umgang mit natürlichen Ressourcen

Zielkonflikte:

- Ökonomische Faktoren (Betrachtung, ggf. höhere Erstkosten bei geringeren Folgekosten)
- Geringere Planungserfahrung (Projektrisiko)
- Technische Gleichwertigkeit (z.B. Brandschutz, Schallschutz)

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 16

16

Nationale Klimaziele Deutschland 2006 - 2020

(CO₂ – Emissionen/Jahr . Quelle: Umweltbundesamt)



Die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie bis 2020

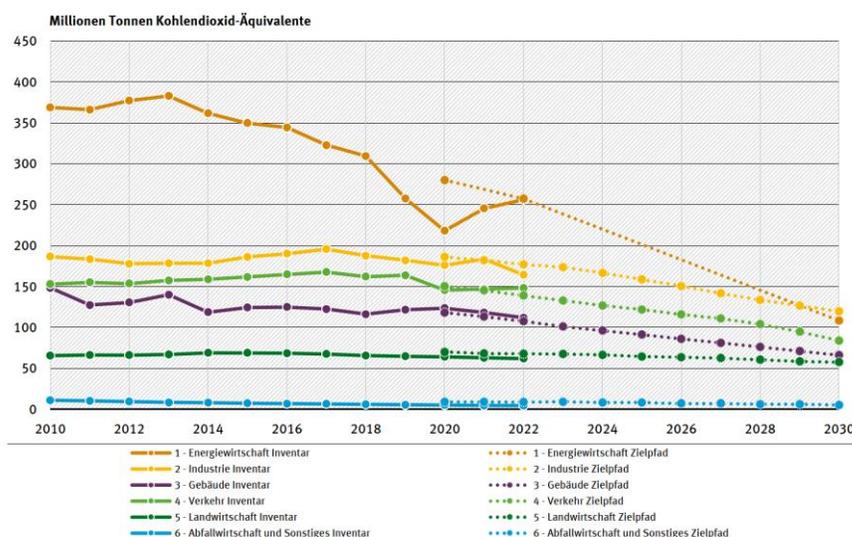
- Absenkung der Treibhausgasemissionen um mind. 65% bis 2030 und bis 2040 mind. 88% (gegenüber 1990), Stand August 2021
- Ausbau des Anteils der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch auf 10% und am Bruttostromverbrauch auf 30%
- Stärkere Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen als Ersatz für energie- und rohstoffintensivere Roh- und Werkstoffe
- Reduzierung des Flächenverbrauchs (Bauland) von 130 auf 30 ha pro Tag

fordert die Entwicklung umwelt- und sozialverträglicher Baustandards und Bauprodukte für das nachhaltige Bauen

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 17

17

Entwicklung und Zielerreichung* der Treibhausgas-Emissionen in Deutschland in der Abgrenzung der Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes**



* Die Emissionshöchstmengen weichen von den Angaben im Bundes-Klimaschutzgesetz ab. Gemäß § 4 Absatz 3 des Bundes-Klimaschutzgesetzes sollen Über- bzw. Unterschreitungen der jeweils zulässigen Jahresemissionsmenge eines Sektors (Differenzmenge der berechneten Emissionen zu den zulässigen Jahresemissionsmengen im betreffenden Jahr) gleichmäßig auf die Jahresemissionsmengen des Sektors bis zum nächsten Zieljahr (2030) angerechnet werden. Die Über- bzw. Unterschreitungen der UBA-Prognose für das Jahr 2021 wurden hier bereits berücksichtigt.
 ** Die Aufteilung der Emissionen weicht von der UN-Berichterstattung ab, die Gesamtemissionen sind identisch.

Quelle: Umweltbundesamt: Presse-Information 11/2023 vom 15.03.2023 - UBA-Prognose: Treibhausgasemissionen sanken 2022 um 1,9 Prozent. Mehr Kohle und Kraftstoff verbraucht

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 18

18

Klimaschutzgesetz: Emissionen der in die Zieldefinition einbezogenen Handlungsfelder für 2022 und 2030

Handlungsfelder	1990	2021	2022	Emissionshöchstmengen 2022	Emissionshöchstmengen 2030	
	in Mio t CO ₂ -Äquivalent	Minderung in Prozent gegenüber 1990				
1 - Energiewirtschaft	475	245	256	257	108	77%
2 - Industrie	279	183	164	177	119	57%
3 - Gebäude	210	118	112	107	66	69%
4 - Verkehr	163	147	148	139	84	49%
5 - Landwirtschaft	83	63	62	68	57	31%
6 - Abfallwirtschaft und Sonstiges	41	4	4	9	5	88%
Gesamtsumme	1251	760	746	756	440	65%

Quelle: Umweltbundesamt: Presse-Information 11/2023 vom 15.03.2023 - UBA-Prognose: Treibhausgasemissionen sanken 2022 um 1,9 Prozent. Mehr Kohle und Kraftstoff verbraucht
Anmerkung: Die Emissionshöchstmengen weichen von den Angaben im Bundes-Klimaschutzgesetz ab. Gemäß § 4 Absatz 3 des Bundes-Klimaschutzgesetzes sollen Über- bzw. Unterschreitungen der jeweils zulässigen Jahresemissionsmenge eines Sektors (Differenzmenge der berechneten Emissionen zu den zulässigen Jahresemissionsmengen im betreffenden Jahr) gleichmäßig auf die Jahresemissionsmengen des Sektors bis zum nächsten Zieljahr (2030) angerechnet werden. Die Über- bzw. Unterschreitungen der UBA-Prognose für das Jahr 2021 wurden hier bereits berücksichtigt.

Klimakonferenz 2015 - Paris

Aktionsprogrammes „Klimaschutz 2020

EnEV

Klimaschutzplan 2050

Gebäudeenergiegesetz GEG

EnergieeinsparG

EEWärmeG

K
V
O
R
D
R
E
I
T
E
N
G
E
S
E
T
Z

Grundlagen – Life Cycle Assessment

Dem Gebäudebereich ist zur Umsetzung dieser Ziele ein definiertes Handlungsfeld zugeordnet worden. Durch direkte und indirekte Emissionen ist der Gebäudebereich bis zu 30% für die Treibhausgasemissionen verantwortlich. Dabei können 13% direkt dem Gebäudebereich zugeordnet werden, die weiteren 17% entstehen hauptsächlich über die energetische Versorgung der Gebäude und werden der Energiewirtschaft zugerechnet (Stand 2014).

Handlungsfeld	1990 (in Mio. t CO ₂ -Äq.)	2014 (in Mio. t CO ₂ -Äq.)	2030 (in Mio. t CO ₂ -Äq.)	2030 (Minderung in % ggü. 1990)
Energiewirtschaft	466	358	175 – 183	62 – 61 %
Gebäude	209	119	70 – 72	67 – 66 %
Verkehr	163	160	95 – 98	42 – 40 %
Industrie	283	181	140 – 143	51 – 49 %
Landwirtschaft	88	72	58 – 61	34 – 31 %
Teilsomme	1209	890	538 – 557	56 – 54 %
Sonstige	39	12	5	87%
Gesamtsumme	1248	902	543 – 562	56 – 55 %

Tabelle 1 – Handlungsfelder und THG-Anteile, Quelle: (22)

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 23

23



24

Normen – Life Cycle Assessment

Die Erstellung von Ökobilanzen von Gebäuden erfolgt auf Grundlage folgender Normen:

- EN ISO 14040:2006 (D) Umweltmanagement – Ökobilanzen – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006)
- EN ISO 14044:2006 (D) Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006)
- EN 15643-1; Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden – Teil 1 Allgemeine Rahmenbedingungen
- EN 15643-2; Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden – Teil 2 Rahmenbedingungen für die Bewertung der umweltbezogenen Qualität
- DIN EN 15978:2012 (D) Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualitäten von Gebäuden – Berechnungsmethode; Deutsche Fassung der EN 15978:2011
- Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012

Normen – Life Cycle Assessment

Konzeptio- nelle Ebene	Anforderung der Nutzer und des Gesetzgebers				
	Integrale Qualität von Gebäuden				
	Umweltbezogene Qualität	Soziale Qualität	Ökonomische Qualität	Technische Qualität	Funktionale Qualität
Ebene des Rahmen- dokuments	EN 15643-1, Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden – Allgemeine Rahmenbedingungen			Technische Eigenschaften	Funktionalität
	EN 15643-2 Rahmenbedingungen für die Bewertung der umwelt- bezogenen Qualität	EN 15643-3 Rahmenbedingungen für die Bewertung der sozialen Qualität	EN 15643-4 Rahmenbedingungen für die Bewertung der ökonomischen Qualität		
Gebäude- ebene	EN 15978 Bewertung der umweltbezogenen Qualität	prEN 16309 Bewertung der sozialen Qualität	WI 017 Bewertung der ökonomischen Qualität		
	WI 003 Verwendung von EPDs				
Produkt- ebene	EN 15804 Umweltprodukt- deklarationen für Produkte	(siehe Anmerkung unten)	(siehe Anmerkung unten)		
	EN 15842 Kommunikationsformate zwischen Unternehmen	ANMERKUNG: Gegenwärtig sind die technischen Angaben, die sich auf einige Gesichtspunkte der sozialen und ökonomischen Qualität beziehen, in den Festlegungen von EN 15804 enthalten und bilden einen Teil der Umweltdeklaration für Produkte.			
	CEN/TR 15941				

Abbildung 4 - Arbeitsprogramm von CEN/TEC 350; Quelle: (25)

Bearbeitungsphasen – Life Cycle Assessment

- Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens
- Sachbilanz
- Wirkungsabschätzung
- Auswertung

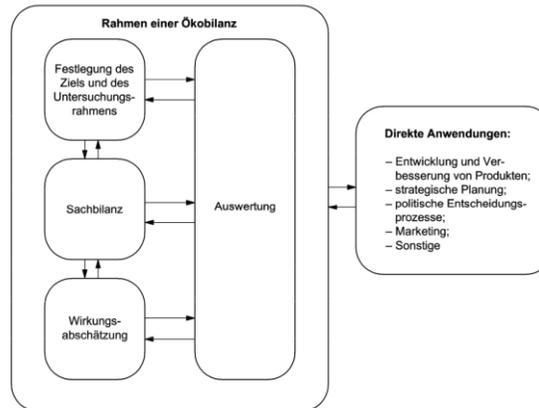


Abbildung 5 – Phasen der Ökobilanz; Quelle: (26)

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 27

27

Festlegen des Ziels – Life Cycle Assessment

- Allgemeine Anforderungen
- Festlegen des Ziels und des Untersuchungsrahmens
 - Festlegen der funktionalen Einheit
 - Beschreibung der Systemgrenze
 - Anforderungen an die Methode der Wirkungsabschätzung
 - Beschreibung und Anforderungen der Datentypen und der Datenqualität
 - Vergleiche zwischen den System
 - Aspekte der kritischen Prüfung

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 28

28

Sachbilanz – Life Cycle Assessment

- Sachbilanz
 - Datenerhebung
 - Datenberechnung
 - Allokation

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 29

29

Wirkungsabschätzung – Life Cycle Assessment

- Wirkungsabschätzung
 - Allgemeine der Wirkungsabschätzung
 - Bestandteile der Wirkungsabschätzung
 - Analyse der Datenqualität

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 30

30

Auswertung – Life Cycle Assessment

- Auswertung
 - Allgemeine Anforderung an die Auswertung
 - Identifizierung signifikanter Parameter
 - Beurteilung
 - Schlussfolgerungen, Einschränkungen und Empfehlungen

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 31

31

Phasen – Life Cycle Assessment

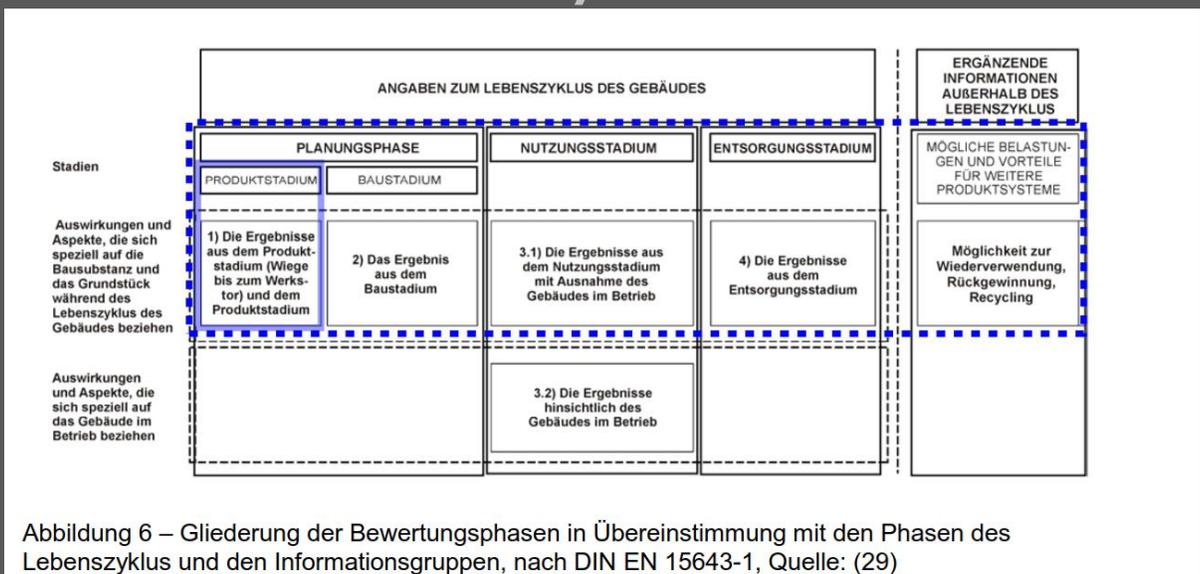


Abbildung 6 – Gliederung der Bewertungsphasen in Übereinstimmung mit den Phasen des Lebenszyklus und den Informationsgruppen, nach DIN EN 15643-1, Quelle: (29)

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 32

32

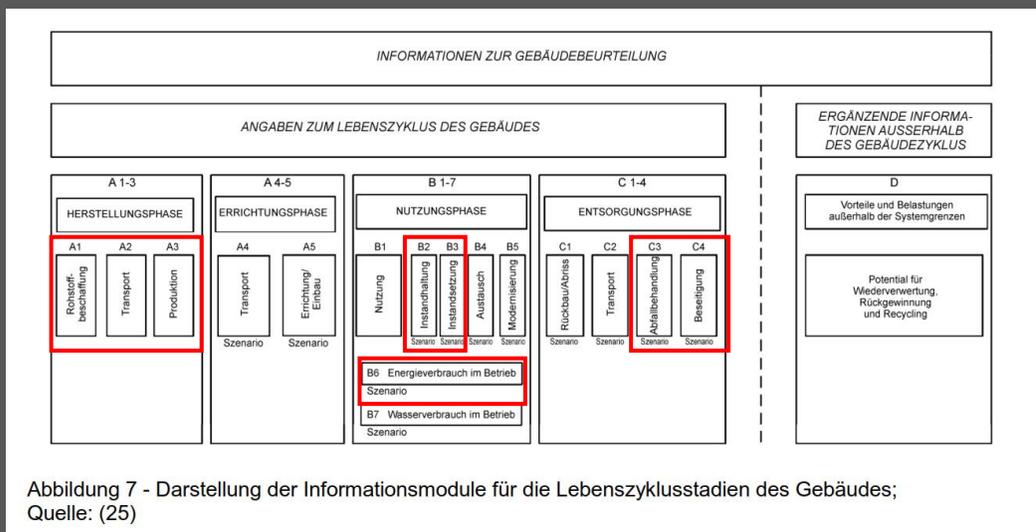
Beschreibung der Bewertungsmethode



Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 33

33

Grundlagen – Life Cycle Assessment



Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 34

34

LCA – Life Cycle Assessment - Datenbasis – Aufteilung DIN EN 15804

Systemgrenzen der Ökobilanz:

Lebenswegphasen:

Betrachtete Phasen
in BNB, DGNB, QNG

Nur Informativ

	Herstellung			Nutzung/ Betrieb							End of Life						
LEBENSWEG-PHASEN	A 1-3			A 4-5	B 1-7							C 1-4					
	HERSTEL- LUNGS-PHASE			ERRICH- TUNGS- PHASE	NUTZUNGSPHASE							ENDE DES ZYKLUS		LEBENS- ZYKLUS	ORTEILE UND BELASTUNGEN AUSSERHAL- TER SYSTEM- GRENZE		
	ROHSTOFFBESCHAF- FUNG	TRANSPORT	PRODUKTION	TRANSPORT ERRICHTUNG / EINBAU	ERRICHTUNG / EINBAU NUTZUNG 1	INSTANDHALTUNG 2	INSTANDESETZUNG	AUSTAUSCH 2	MODERNISIERUNG	ENERGIEVERBRAUCH IM BETRIEB	WASSERVERBRAUCH IM BETRIEB	RÜCKBAU / ABRISS	TRANSPORT	ABFALLVERWERTUNG ENTSORGUNG	POTENTIAL FÜR WIE- DERVERWERTUNG, RÜCKGEWINNUNG UND RECYCLING		
Module gemäß DIN EN 15978	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Deklarierte Module	x	x	x						(x) 4		x				x	x	x

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 35

35



36

Umweltwirkungen

Indikator	Abkürzung	Einheit	Anwendung in Zertifizierungssystem DGNB/BNB Stand 2019
Treibhauspotential	GWP	kg CO ₂ -Äqv	X
Potential in Bezug auf die Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht	ODP	kg FCKW 11-Äqv	X
Potential in Bezug auf die Versauerung von Wasser- und Boden	AP	kg SO ₂ -Äqv	X
Eutrophierungspotential	EP	kg (PO ₄) ₃ -	X
Potential zur Bildung von bodennahem Ozon, ausgedrückt als fotochemisches Oxidans	POCP	kg Ethen-Äqv	X
Abiotisches Ressourcenabbaupotential für Elemente	ADP _{Elemente}	kg Sb-Äqv	X
Abiotisches Ressourcenabbaupotential für fossile Brennstoffe	ADP _{Brennstoffe}	MJ, Heizwert	X

Tabelle 2 - Indikatoren der Umweltwirkungen nach DIN EN 15978:2012-10; Quelle: (25)

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 37

37

Ressourcen

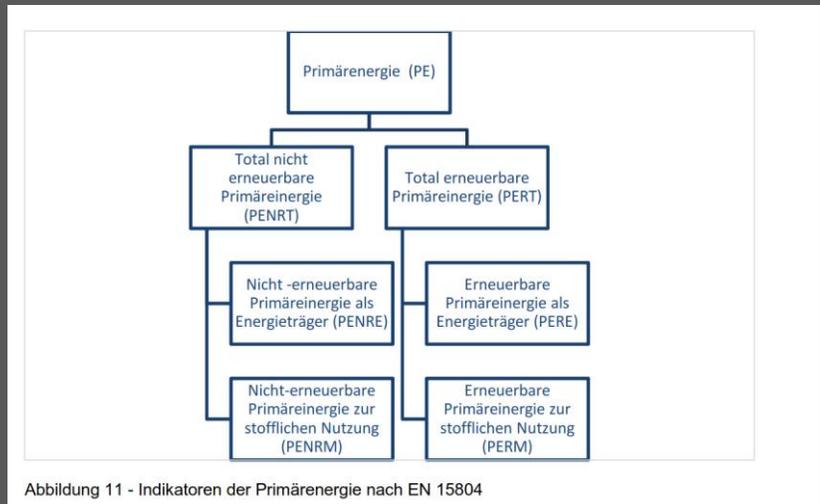
Indikator	Abkürzung	Einheit	Anwendung in Zertifizierungssystem DGNB/BNB Stand 2019
Verwendung von erneuerbaren Primärenergieressourcen, ohne Energieressourcen, die als Rohstoff dienen	PERM	MJ, Heizwert	X
MJ, Heizwert Verwendung von erneuerbaren Primärenergieressourcen	PERE	MJ, Heizwert	X
Verwendung von nicht erneuerbaren Primärenergieressourcen, ohne Energieressourcen, die als Rohstoff dienen	PENRM	MJ, Heizwert	X
Verwendung von nicht erneuerbaren Primärenergieressourcen, die als Rohstoff dienen	PENRE	MJ, Heizwert	X
Verwendung von Sekundärmaterialien	n.d. ¹⁰	kg	
Verwendung von erneuerbaren Sekundärbrennstoffen	n.d. ¹⁰	MJ	
Verwendung von nicht erneuerbaren Sekundärbrennstoffen	n.d. ¹⁰	MJ	
Verwendung von Frischwasser, netto	n.d. ¹⁰	m ³	

Tabelle 3 - Indikatoren für die Verwendung von Ressourcen nach DIN EN 15978:2012-10; Quelle: (25)

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 38

38

Ressourcen



Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 39

39

Abfallindikatoren

Indikator	Abkürzung	Einheit	Anwendung in Zertifizierungssystem DGNB/BNB Stand 2019
Entsorgter gefährlicher Abfall	n.d. ¹⁰	kg	
Entsorgter ungefährlicher Abfall	n.d. ¹⁰	kg	
Entsorgter radioaktiver Abfall	n.d. ¹⁰	kg	

Tabelle 4 - Indikatoren die Abfallkategorien beschreiben, nach DIN EN 15978:2012-10; Quelle: (25)

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 40

40

Abfallsröme

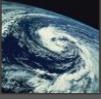
Indikator	Abkürzung	Einheit	Anwendung in Zertifizierungssystem DGNB/BNB Stand 2019
Komponenten für die Wiederverwendung	n.d. ¹⁰	kg	
Materialien für das Recycling	n.d. ¹⁰	kg	
Materialien für die Energierückgewinnung (keine Abfallverbrennung)	n.d. ¹⁰	kg	
Exportierte Energie	n.d. ¹⁰	MJ	

Tabelle 5 - Indikatoren die austretende Abfallströme beschreiben, nach DIN EN 15978:2012-10;
Quelle: (25)

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 41

41

Ökobilanzindikatoren

		Ressourcen	
		Umwelt	
		Flächeninanspruchnahme	 Wird berücksichtigt
		Wasser	 Grundsätzlich möglich
		Innenraum	 Derzeit nicht möglich

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 42

42

LCA – Life Cycle Assessment

Ökologische Bewertungsmethode

Bewertung durch Indikatoren

Energetische Ressourcen

Primärenergiebedarf nicht erneuerbar → PENRT [MJ]
 Primärenergiebedarf erneuerbar → PERT
 Gesamtprimärenergiebedarf → PENRT + PERT [MJ]

Umwelt

Treibhauspotenzial → GWP [CO₂-Äquivalent] (Kohlendioxid)
 Versäuerungspotenzial → AP [SO₂-Äquivalent] (Schwefeldioxid)
 Überdüngungspotenzial → EP [PO₄-Äquivalent] (Phosphat)
 Ozonschichtabbaupotenzial → ODP [CFC11-Äquivalent] (Trichlorfluormethan)
 Ozonbildungspotenzial → POCP [C₂H₄-Äquivalent] (Ethen)
 Abiotischer Ressourcenverbrauch Elemente (nichtfossile Ressourcen) → ADPE [Sb-Äquivalent]
 Abiotischer Ressourcenverbrauch Elemente (fossile Brennstoffe) → ADPF [MJ]

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 43

43

Ökologische Bewertungsmethode

Wirkungskategorie (Indikatoren)	Gesicherte Datenlage/ Referenzwerte	Keine gesicherte Datenlage/ Referenzwerte
Humantoxizität		X
Ökotoxizität		X
Eutrophierung	X	
Naturraumbeanspruchung	(X)	
Ozonbildung (bodennah)	X	
Ressourcenbeanspruchung	(X)	
Ozonabbau	X	
Treibhauseffekt	X	
Versäuerung	X	
Primärenergie erneuerbar	X	
Primärenergie nicht erneuerbar	X	

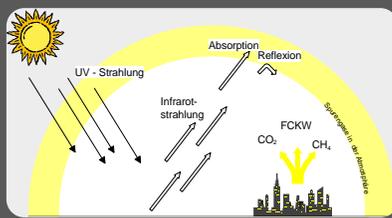
Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 44

44

Globales Erwärmungspotential (GWP)

Global Warming Potential (GWP)

Effekt:	Zunehmende Erwärmung der Troposphäre durch anthropogene Treibhausgase z. B. durch Verbrennung fossiler Brennstoffe.
Referenzsubstanz:	Kohlendioxid (CO ₂)
Referenzeinheit:	kg CO ₂ -Äquivalente
Quelle:	IPCC (Intergovernmental Panel on Climatic Change)



Triffletscher 1949 und 2006

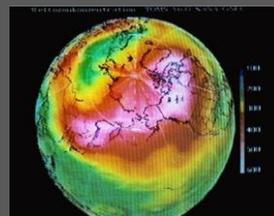
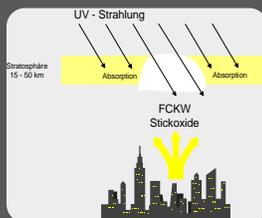
Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 45

45

Abbaupotential der stratosphärischen Ozonschicht

Ozone Depletion Potential (ODP)

Effekt:	Verringerung der Ozonkonzentration in der Stratosphäre durch Emissionen wie Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKWs)
Referenzsubstanz:	Tri-chlor-fluor-methan (R11)
Referenzeinheit:	kg R11-Äquivalente
Quelle:	CML, (Heijungs, Centrum voor Milieukunde Leiden), 2001



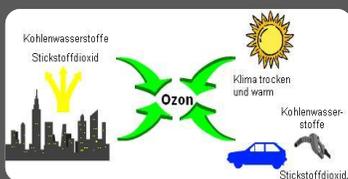
Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 46

46

Bildung für troposphärisches Ozon (POCP)

Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)

Effekt:	Bildung von bodennahem Ozon unter Einfluss von Sonnenlicht durch photochemische Reaktion von Stickoxiden mit Kohlenwasserstoffen und flüchtigen organischen Stoffen (VOC)
Referenzsubstanz:	Ethen (C ₂ H ₄)
Referenzeinheit:	kg C ₂ H ₄ -Äquivalente
Quelle:	Udo de Haes et al., 1999



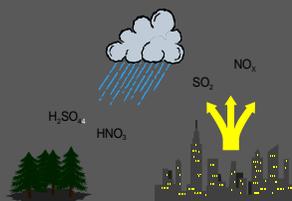
Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 47

47

Versauerungspotential von Boden und Wasser

Acidification Potential (AP)

Effekt:	Verringerung des pH-Wertes des Niederschlagwassers durch die Auswaschung von säurebildenden Gasen z. B. Schwefeldioxid (SO ₂) und Stickoxide (NO _x).
Referenzsubstanz:	Schwefeldioxid (SO ₂)
Referenzeinheit:	kg SO ₂ -Äquivalente
Quelle:	CML, (Heijungs, Centrum voor Milieukunde Leiden), 2001



Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 48

48

Eutrophierungspotential/ Überdüngungspotential

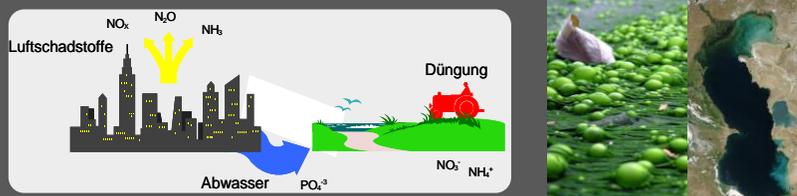
Eutrophication Potential (EP)

Effekt: Übermäßiger Nährstoffeintrag in Gewässer und auf Landgebiete durch Substanzen wie Phosphor und Stickstoff aus Landwirtschaft, Verbrennungsvorgängen und aus Abwässern.

Referenzsubstanz: Phosphat (PO₄-)

Referenzeinheit: kg PO₄- Äquivalente

Quelle: CML (Heijungs, Centrum voor Milieukunde Leiden), 2001



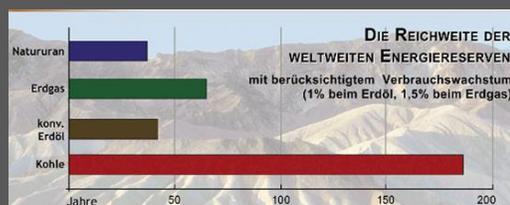
Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 49

49

Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT)

Effekt: Primärenergie nicht erneuerbar als Maß für den Verbrauch fossiler Energieträger (Erdöl, Erdgas, Steinkohle, Braunkohle sowie Uran) und damit für die Verknappung. Es liegt dabei der Ansatz zugrunde, dass die Energieträger (zumindest zu einem großen Teil) substituierbar sind.

Referenzeinheit: MJ



Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 50

50

Primärenergiebedarf erneuerbar (PERT)

Effekt: Primärenergie erneuerbar als Maß für die Nutzung erneuerbarer Energien (Windkraft, Wasserkraft, Biomasse, Solarenergie).

Referenzeinheit: MJ



Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 51

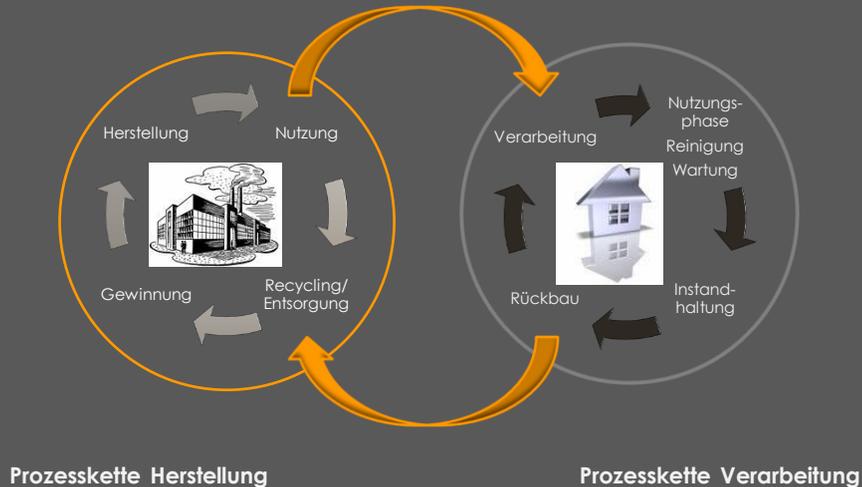
51



52

LCA – Life Cycle Assessment - Datenbasis

Beschreibung der Bewertungsmethode



Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 53

53

LCA – Life Cycle Assessment – Methode

Life Cycle Analysis - Abfolge

Die ökologische Ausgangslage wird durch eine LCA gemäß DIN EN ISO 14040 ermittelt.

Festlegung des Untersuchungsrahmens

Festlegung der Systemgrenzen und Untersuchungsziele.

Sachbilanz

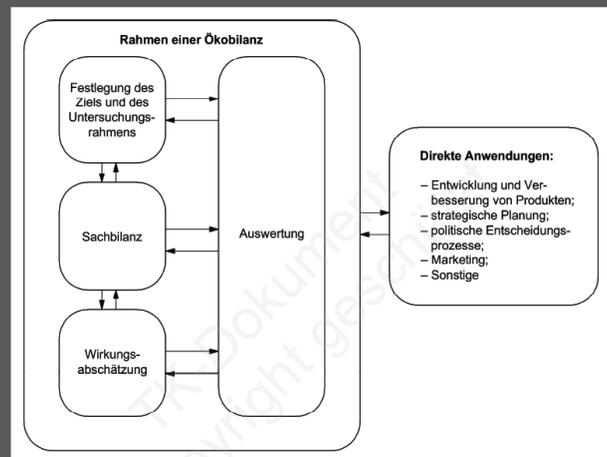
Quantifizierung der Stoffmassen und Stoffströme innerhalb der Systemgrenzen.

Wirkungsabschätzung

Bei der Wirkungsbilanzierung bzw. Wirkungsabschätzung kommt es zu einer Auswertung der Stoffmassen und Stoffströme gemäß den zur Verfügung stehenden Umweltindikatoren.

Auswertung

Eine Auswertung der Wirkungsbilanzierung erfolgt über Referenzwerte und bietet somit die Möglichkeit eine ökologische Qualität gegenüber anderen Gebäudekonzepten zu definieren und vergleichend zu bewerten.



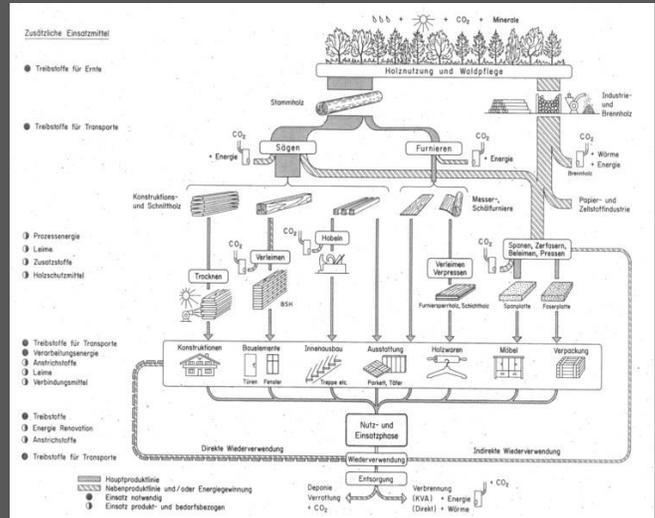
Phasen der Ökobilanz, Quelle: EN ISO 14040

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 54

54

LCA – Life Cycle Assessment - Datenbasis

Stoffkreisläufe: Holz/ Holzwerkstoffe



Quelle: EMPA Bericht Nr. 115/24

www.nachhaltigesbauen.de



Baustoff- und Gebäudedaten

Ökobaudat
Gliederung von Baustoffen und Komponenten als XML- und PDF-Datei zum Download
[Mehr Informationen](#)

<http://oekobaudat.de/datenbank/browser-oekobaudat.html>

Nutzungsdauern von Bauteilen

Hinweise zur Zwischenbewertung / Methodik der Nutzungsdauerermittlung und Datenbank Nutzungsdauern (Zwischenbewertung Stand 08.09.2008) als Download
[Mehr Informationen](#)

http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/baustoff_gebauededaten/BNB_Nutzungsdauern_von_Bauteilen_2011-11-03.pdf

Umwelt-Produktdeklarationen (EPD)

Umwelt-Produktdeklarationen bilden die Datengrundlage für die ökologische Gebäudebewertung. Dies wird aktuell in dem neuen europäischen Normungsprojekt "Nachhaltigkeit von Bauprodukten" festgelegt.
[Mehr Informationen](#)

<http://bau-umwelt.de/hp11211/EP-D-Uebersicht.htm>

LCA – Life Cycle Assessment - Datenbasis

Prozess-Datensatz: Transportbeton C20/25 (de)

Prozess-Informationen

Kenndaten des Datensatzes

Ort: DE
 Deutschland/Region der geographischen Repräsentativität: Der Datensatz bildet die länderspezifische Situation in Deutschland ab. Dabei werden Haupttechnologien, spezifische regionale Charakteristika und ggf. Importstatistiken berücksichtigt.

Wahrnehmungsdatum: 2018
 Name: Transportbeton C20/25
 Klassifikationsnummer: 1.4.01
 Klassifizierung: Hierarchieebene oekobau.dat: 1.4.01 Mineralische Baustoffe / Mörtel und Beton / Beton

Eigentliche Anmerkungen zum Datensatz: Dieser Datensatz wurde nach der Europäischen Norm EN 15804 modelliert. Die Ergebnisse werden entsprechend den Modulen (z.B. A1-A3) nach EN 15804 dargestellt.

Sachfachwissen/Nähe: 10
 Beschreibung: Produktsystem weitgehend vollständig abgebildet. Gute technologische, zeitliche und geographische Repräsentativität.
 Vollständigkeit: Ja

Quantitative Referenz

Referenzfluss(Flüsse): Beton C20/25 - 1.0 kg (Masse)

Zeitliche Repräsentativität

Zeitraum gültig für: 2018
 Erläuterungen zur zeitlichen Repräsentativität: Jährlicher Durchschnitt

Technologische Repräsentativität

Technische Beschreibung inklusive der Hintergrundsysteme: Beton und Mörtel bestehen aus einer Mischung aus Zement, Wasser und Aggregaten/Zuschlagstoffen (z. B. Sand, Kies/Schotter, Feuertein, Hochfestzement) und, wenn nötig, aus Zusatzstoffen wie Kondensatoren/Verflüssiger, Verzögerer oder Luftprenbildner. Zement und Wasser sind in einem bestimmten Verhältnis zueinander zu sein. Die Eigenschaften des Betons hängen durch die Verwendung unterschiedlicher Betriebsarten und Datenanforderungen ab. Die Daten bilden typische Werte für die Produktion von Transportbeton in Deutschland ab. Die Transportbetonfertigung (A1) wurde mit 11 km angesetzt. Hintergrundsysteme: Strom: Die Stromerzeugung wird entsprechend der länderspezifischen Randbedingungen modelliert. Die länderspezifische Analyse beinhaltet: 1. Spezifische Kraftwerke der verschiedenen fossilen Energieträger und der Einsatz erneuerbarer Energien und entsprechend der länderspezifischen Energieerzeugnisse modelliert. Die Analyse bezieht Stromerzeugung aus den Hauptkategorien: 1. Transmissions- und Verteilungsverluste und den Energieverbrauch in Kraftwerken z. B. durch Pumpspeicherverfahren, etc. 2. Die länderspezifische Energieerzeugung (einschließlich der Energieerzeugung in Kraftwerken mit Kraft-Wärme-Kopplung (KW/K) und berücksichtigt die länderspezifische Energieerzeugung (z. B. Biomasse, Wasserkraft, Windenergie, Solarthermie, Photovoltaik, etc.). 3. Die länderspezifische Energieerzeugung (einschließlich der Energieerzeugung in Kraftwerken mit Kraft-Wärme-Kopplung (KW/K) und berücksichtigt die länderspezifische Energieerzeugung (z. B. Biomasse, Wasserkraft, Windenergie, Solarthermie, Photovoltaik, etc.). 4. Die Förderung, Produktion, Verarbeitung und Transportprozesse werden entsprechend der Situation modelliert. Thermische Energie, Prozessdampf (Drehmoment 100% des Energieabfalls) an den Oplattformen (z. B. Dampf, etc.). Thermische Energie, Prozessdampf (Drehmoment 100% des Energieabfalls) an den Oplattformen (z. B. Dampf, etc.). Thermische Energie, Prozessdampf (Drehmoment 100% des Energieabfalls) an den Oplattformen (z. B. Dampf, etc.). Thermische Energie, Prozessdampf (Drehmoment 100% des Energieabfalls) an den Oplattformen (z. B. Dampf, etc.).

Eigentümer des Datensatzes thinkstep

Quantitative Referenz

Referenzfluss(flüsse) Beton C20-25 - 1.0 kg (Masse)

Zeitliche Repräsentativität

Name: Transportbeton C20/25
 Gliederungsnummer: 1.4.01
 Klassifizierung: Hierarchieebene oekobau.dat: 1.4.01 Mineralische Baustoffe / Mörtel und Beton / Beton

57

LCA – Life Cycle Assessment - Datenbasis

Indikator	Herstellung A1-A3	Transport A4		
Einsatz von Sekundärstoffen (SM)	0	0	0	0
Einsatz von Süßwasserressourcen (FW)	0.0001795	3.401E-7	3.401E-7	3.401E-7
Entsorgter nicht gefährlicher Abfall (NHWD)	0.03668	0.0000193	0.0000193	0.0000193
Entsorgter radioaktiver Abfall (RWD)	0.00001492	1.027E-8	1.027E-8	1.027E-8
Erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PERE)	0.04741	0.0005896	0.0005896	0.0005896
Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PERM)	0	0	0	0
Erneuerbare Sekundärbrennstoffe (RSF)	0.01407	0	0	0
Exportierte elektrische Energie (EEE)	0	0	0	0
Exportierte thermische Energie (EET)	0	0	0	0
Gefährlicher Abfall zur Deponie (HWD)	3.274E-7	6.23E-9	6.23E-9	6.23E-9
Komponenten für die Wiederverwendung (CRU)	0	0	0	0
Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PENRE)	0.4157	0.00773	0.00773	0.00773
Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PENRM)	0	0	0	0
Nicht-erneuerbare Sekundärbrennstoffe (NRSF)	0.2162	0	0	0
Stoffe für die Energierückgewinnung (MER)	0	0	0	0
Stoffe zum Recycling (MFR)	0	0	0	0
Total erneuerbare Primärenergie (PERT)	0.04741	0.0005896	0.0005896	0.0005896
Total nicht-erneuerbare Primärenergie (PENRT)	0.4157	0.00773	0.00773	0.00773

58

LCA – Life Cycle Assessment - Datenbasis

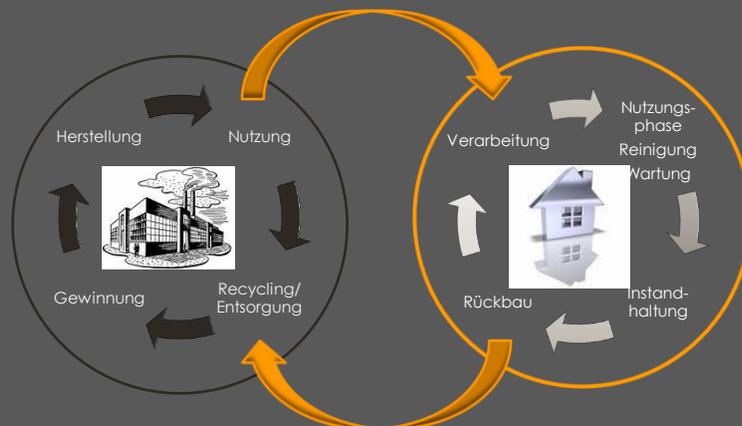
Indikator ↕		Herstellung A1-A3	Transport A4
Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen (ADPE)	kg Sb-Äqv.	1.499E-7	
Eutrophierungspotenzial (EP)	kg Phosphat-Äqv.	0.00002433	
Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (POCP)	kg Ethen-Äqv.	0.00000662	
Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF)	MJ	0.3781	
Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)	kg R11-Äqv.	1.063E-12	
Globales Erwärmungspotenzial (GWP)	kg CO2-Äqv.	0.1044	
Versauerungspotenzial von Boden und Wasser (AP)	kg SO2-Äqv.	0.0001669	
			Transport A4
			2.92E-11
			9.845E-7
			-0.000001397
			0.007704
			6.969E-16
			0.0005653
			0.000003644

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 59

59

LCA – Life Cycle Assessment - Methodik

Beschreibung der Bewertungsmethode



Prozesskette Herstellung

Prozesskette Verarbeitung

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 60

60

LCA – Life Cycle Assessment - Methodik

Sachbilanzierung des Gesamtgebäudes

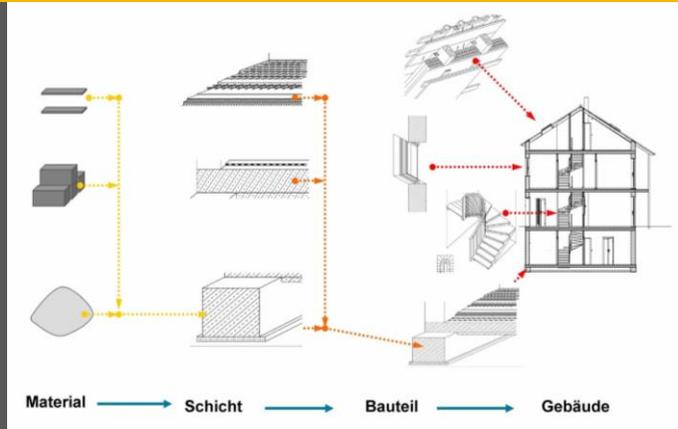


Abbildung 17_Darstellung der Massenermittlung (Sachbilanz). Quelle: LEGEP

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 61

61

LCA – Life Cycle Assessment – Methode

Life Cycle Analysis - Abfolge

Die ökologische Ausgangslage wird durch eine LCA gemäß DIN EN ISO 14040 ermittelt.

Festlegung des Untersuchungsrahmens

Festlegung der Systemgrenzen und Untersuchungsziele.

Sachbilanz

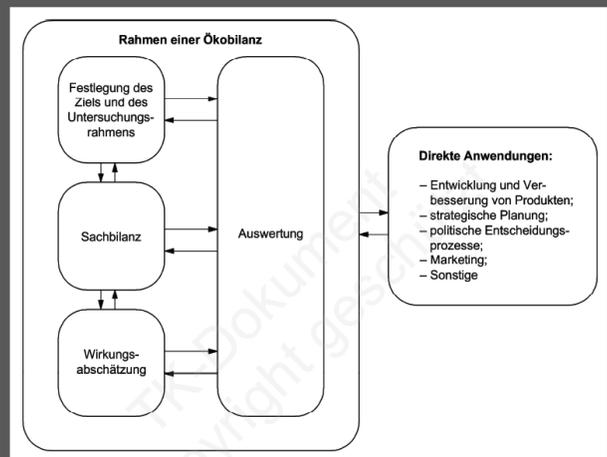
Quantifizierung der Stoffmassen und Stoffströme innerhalb der Systemgrenzen.

Wirkungsabschätzung

Bei der Wirkungsbilanzierung bzw. Wirkungsabschätzung kommt es zu einer Auswertung der Stoffmassen und Stoffströme gemäß den zur Verfügung stehenden Umweltindikatoren.

Auswertung

Eine Auswertung der Wirkungsbilanzierung erfolgt über Referenzwerte und bietet somit die Möglichkeit eine ökologische Qualität gegenüber anderen Gebäudekonzepten zu definieren und vergleichend zu bewerten.



Phasen der Ökobilanz. Quelle: EN ISO 14040

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 62

62

LCA – Life Cycle Assessment - Methodik

Life Cycle Assessment - Abfolge

1. Untersuchungsrahmen festlegen (funktionale Einheit)

- Systemgrenze **KG** 300 (Baukonstruktion) und 400 (technische Gebäudeaustattung)
- Betrachtungszeitraum z. B. 50 a
- Welche Datenbank ist relevant (z.B. Strommix Deutschland)

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 63

63

LCA – Life Cycle Assessment - Methodik

2. Sachbilanzierung



Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 64

64

LCA – Life Cycle Assessment - Methodik

2. Sachbilanzierung

Optimierungsvariante A					
Holz-Beton-Verbunddecke (HBV) Traglast 5 kN/m ² , Spannweite ca.8,3 m, Stärke STB Rohd. 14 cm Stärke Holz Rohd. 14 cm	ERS	Beton C25/30 [m3]	V	m3	0,1400
		Bewehrungsstahl	M	kg	10,0000
		Konstruktionsvollholz (15 % Feuchte)	M	m3	0,1400
EOL					
	Recyclingpotential Vollholz	M	m3	0,1400	
Summe SB/Holz Verbunddecke pro m²					

Hinweis

- Nutzungsdauer der Baustoffe beachten/
Prüfung Betrachtungszeitraum

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 65

65

LCA – Life Cycle Assessment - Methodik

3. Wirkungsbilanzierung



Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 66

66

LCA – Life Cycle Assessment - Methodik

3. Wirkungsbilanzierung

ICL End of the life (EoL) Erstellung	Phase	Größe	Einheit	Indikator		Indikator		Indikator		Indikator		Indikator		Indikator		Indikator		
				PE _{low}	PE _{high}	PE _{low}	PE _{high}	GWP	ODP	AP	EP	POCP	kg C2H4-Aq	kg C2H4-Aq	kg C2H4-Aq	kg C2H4-Aq		
Ausgangslage																		
Stärke 18 Verbunddecke massiv, Stärke 18 Rohdecke 30 cm, Festig 3 Kanten	Beton C25/30 [m3]	V	m3	0,3000	5,7900E+00	3,1299E+02	3,889E+01	1,090E+04	1,060E+01	1,300E+02	1,066E+02							
				4,415E+02	3,5024E+01	4,7457E+02	3,1079E+01	2,790E+04	5,8378E+02	4,9254E+02	9,7395E+02							
Stärke 18 Decke massiv pro m²				7,4475E+02	4,0814E+01	1,005E+03	7,8954E+02	1,005E+03	6,9949E+01	4,3892E+04	1,005E+03	1,4518E+01	1,9955E+02	1,005E+03	2,0400E+02	1,005E+03	1,005E+03	1,005E+03
Optimierungsvariante A																		
Stärke 18 Verbunddecke HBV Festig 2 Kanten, Sperrschicht ca.0,3 m, Stärke 18 Rohd., 14 cm, Stärke Verbundd., 14 cm	Beton C25/30 [m3]	V	m3	0,1400	1,5512E+02	2,9260E+00	1,5805E+01	3,0310E+01	8,1200E+07	5,3900E+02	7,5600E+03	5,5160E+03						
				10,0000	1,1293E+02	8,6581E+00	1,2189E+02	7,9487E+03	2,1364E+07	1,4830E+02	1,2977E+03	2,4990E+02						
Stärke 18 Holz Verbunddecke pro m²				-1,1241E+00	1,1884E+01	2,75E+01	1,0750E+01	2,8229E+01	1,5256E+04	4,8436E+02	4,25E+03	8,8197E+03	44E+03	1,005E+03	2,0400E+02	1,005E+03	1,005E+03	1,005E+03
Stärke 18 massiv																		
Gesamtmenge Referenzgebäude				11 269,9	8,9418E+04	4,8853E+05	9,4503E+04	1,0768E+06	5,2534E+07	1,9777E+08	2,3885E+02	2,4654E+02						
HBV				11 249,9	-1,3574E+04	1,4224E+05	-1,3563E+04	4,5792E+03	1,9240E+02	8,2303E+02	1,2554E+02	7,5833E+01						
Einsparung Gebäude HBV					8,9753E+06	-1,4422E+05	9,4643E+04	-6,1893E+03	-3,4274E+02	-1,1532E+01	-1,3328E+02	-1,5072E+02						
Einsparung Gebäude HBV					2,49314E7	-1,9197E5	2,42824E6	-1,5927E4	-9,7474E2	-3,1532E1	-3,6666E2	-4,2554E2						

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 67

67

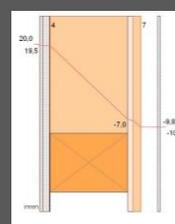
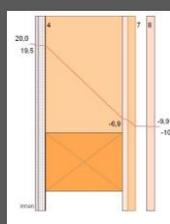
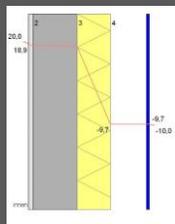
LCA – Life Cycle Assessment - Methodik

Außenwand – Beispiel Vergleich CO₂ - Potential

Planerischen Ausgangslage

Optimierungsvariante A

Optimierungsvariante B



Name	Treibhauspotential kg CO ₂ -Äq.
Gebäude	196
Brüstungsbereich	196
331.2 AW C 20/25, glatte Schöpfung, 8-25 cm	85
335.8 AW Belichtung, Alu-Paneel 2,2 mm, HBV 120 mm	103
336.3 AW Gipsputz innen, 1-lagig, glatt	0
336.3 AW Gipsputz innen, 1-lagig, glatt	5
336.3 AW Putz, 1-lagig, rülbbaum	7
336.2 AW Dispersionsputz auf E-putz, reibschabig	7
AW Dispersionsputz auf E-putz, reibschabig	6
AW weichbest., innen, erneuern	

Name	Treibhauspotential kg CO ₂ -Äq.
Gebäude	-8
Brüstungsbereich	-8
335.9 AW Belichtung, WPF-Faserzementstift, Metall-LK, HBV 120 mm	54
AW Außenputz, Fugen	
AW-OKL, Ziegel, Klinker JS, 1-lagig	
331.4 AW BSH-Rahmen, Fichte, 80x24 cm, Holbohrerlatte	-47
336.3 AW Lehmputz innen, 2-lagig	4
336.3 AW Putz, 2-lagig, rülbbaum	4
AW Lehmputz innen, erneuern	1
336.2 AW Kassen-Faltbeschichtung auf E-Betonwand	1
AW Kassen-Faltbeschichtung auf Beton, bzw. Putz	1

Name	Treibhauspotential kg CO ₂ -Äq.
Gebäude	7
Brüstungsbereich	7
335.9 AW Belichtung, WPF-Faserzementstift, Metall-LK, HBV 120 mm	49
AW Belichtung, Faserzementplatten, Metall-LK, HBV rülbbaum	14
331.4 AW BSH-Rahmen, Fichte, 80x24 cm, Holbohrerlatte	-47
336.3 AW Lehmputz innen, 2-lagig	4
336.3 AW Putz, 2-lagig, rülbbaum	4
AW Lehmputz innen, erneuern	1
336.2 AW Kassen-Faltbeschichtung auf E-Betonwand	1
AW Kassen-Faltbeschichtung auf Beton, bzw. Putz	1

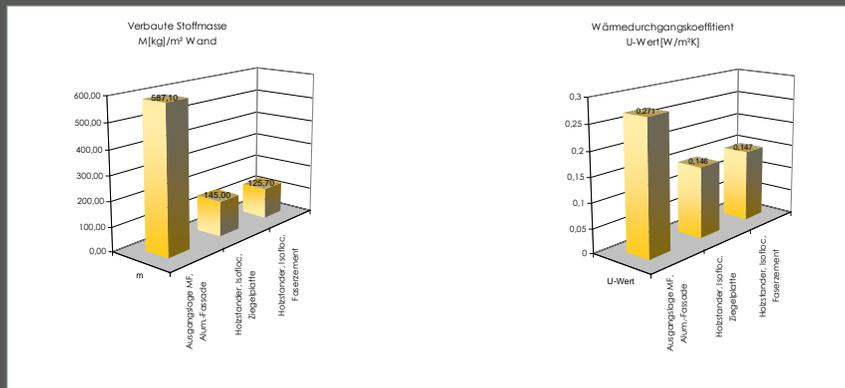
Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 68

68

LCA – Life Cycle Assessment - Methodik

Außenwand - Energie

Baumasse



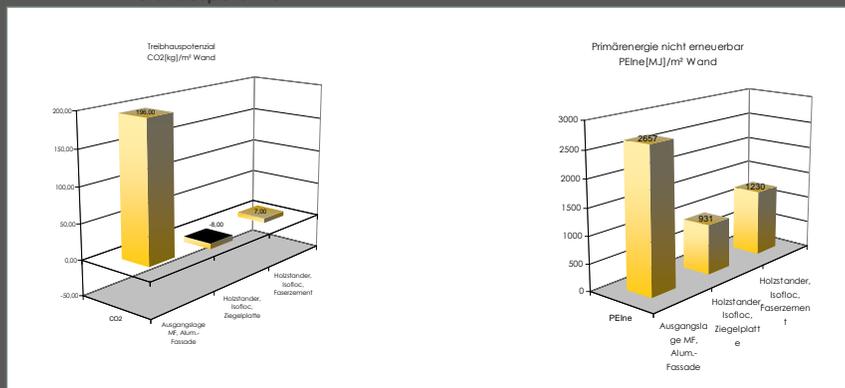
Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 69

69

LCA – Life Cycle Assessment - Methodik

Außenwand - Ökologie

Treibhauspotential



Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 70

70

<http://www.bauteileditor.de>

Zugang - Hochschule
Wismar
Benutzername: hs-wismar
Passwort: HNEE21

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 71

71

<https://www.nachhaltigesbauen.de/>



Informationsportal Nachhaltiges Bauen

<p>Aktuelles</p> <p>Nachhaltiges Bauen</p> <p>Sustainable Building - English-speaking information</p> <p>Leitfaden und Arbeitshilfen / Veröffentlichungen</p> <p>Baustoff- und Gebäudedaten</p> <p>Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB)</p> <p>Nachhaltige Wohngebäude</p> <p>Anerkannte Systeme in Deutschland</p> <p>Forschung</p> <p>Normung zur Nachhaltigkeit im Bauwesen</p> <p>Veranstaltungen</p> <p>Mitgliederbereich Runder Tisch</p> <p>Netzwerk Nachhaltiger Bundesbau</p> <p>Aktivitäten der Länder</p> <p>Datenschutz</p>	<p>Startseite</p> <p> BAU 2019 BMI und BBSR auf der BAU 2019 in München</p> <p>Mit drei Konferenzen „Bauen von morgen“ stellte sich das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) gemeinsam mit dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) auf der Weltleitmesse BAU 2019 in München den Fragen, Trends und Herausforderungen des zukunftsfähigen Bauens.</p> <p>Weitere Informationen</p> <hr/> <p> Der Leitfaden Nachhaltiges Bauen 2015</p> <p>liegt in der 3. aktualisierten Auflage mit Stand Januar 2019 vor.</p> <p>Weitere Informationen</p> <p>English Version:</p> <p>Guideline for Sustainable Building 2015</p> <hr/> <p> Broschüre Nachhaltig geplante Außenanlagen</p> <p>liegt in überarbeiteter Fassung mit Stand Dezember 2018, 2. veränderte Auflage vor.</p> <p>Weitere Informationen</p> <hr/> <p> eLCA - Das neue Online Ökobilanzierungswerkzeug für Gebäude</p> <p>Wie ökologisch bauen wir? Das neue Online Ökobilanzierungswerkzeug für Gebäude des BBSR „eLCA“ unterstützt den Anwender bei der ökologischen Bewertung von Gebäuden.</p> <p>Weitere Informationen</p>	<p>Suche</p> <p><input type="text"/></p> <p><input type="submit" value="Suchen"/></p> <hr/> <p>Aktuelle Informationen</p> <p>Bundespreis Ecodesign 2016</p> <p>eLCA - Das neue Online Ökobilanzierungswerkzeug für Gebäude</p> <p>risc - Reference Framework for European Sustainable Cities</p> <hr/> <p>Presseinformationen</p> <p>Grundsatzierung des Bundesverfassungsgericht mit dem BNB - Nachhaltigkeitsiegel in Silber ausgezeichnet</p> <p>Bundesregierung verabschiedet neue Energieeffizienzverordnung</p>
---	--	--

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 72

72

<https://www.oekobaudat.de/datenbank/browser-oekobaudat.html>

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 73

73

<https://www.wecobis.de/>

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 74

74

LCA – Life Cycle Assessment - Berechnung

Folgende Daten müssen vorliegen:

- Baumassen und Materialbeschreibung der Gebäudestruktur
- Endenergiewerte für die Konditionierung des Gebäudes
- LCA – Datensätze der Baustoffe
- Referenzwerte zur Bewertung

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 75

75

LCA – Life Cycle Assessment - Berechnung

$$GWP_G = GWP_K + GWP_N$$

mit

GWP_K Bei Herstellung, Instandhaltung, Rückbau und Entsorgung des Bauwerks einschließlich der verwendeten Anlagentechnik als jährlicher Durchschnittswert über den für die Bewertung angesetzten Betrachtungszeitraum t_d entstehendes Treibhauspotenzial in $[\text{kg CO}_2\text{-Äqu.} / (\text{m}^2_{\text{NGFa}} \cdot \text{a})]$

GWP_N Prognostiziertes jährliches Treibhauspotenzial für den Betrieb des realisierten Gebäudes abgeleitet aus dem Endenergiebedarf nach EnEV 2009 in $[\text{kg CO}_2\text{-Äqu.} / (\text{m}^2_{\text{NGFa}} \cdot \text{a})]$

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 76

76

LCA – Life Cycle Assessment - Berechnung

$$GWP_K = (H + E) / t_d + I / t_d$$

mit

H	prognostizierter Wert des bei Herstellung (Konstruktion und Anlagentechnik) des realisierten Bürogebäudes entstehenden Treibhauspotenzials in [kg CO ₂ -Äqu./m ² _{NGFa}]
E	prognostizierter Wert des bei Rückbau- und Entsorgung (Konstruktion und Anlagentechnik) des realisierten Bürogebäudes entstehenden Treibhauspotenzials in [kg CO ₂ -Äqu./m ² _{NGFa}]
I	prognostizierter Wert des jährlichen durch die Instandhaltung (Konstruktion und Anlagentechnik) des realisierten Bürogebäudes entstehenden Treibhauspotenzials in [kg CO ₂ -Äqu./m ² _{NGFa}]
t _d	für die Bewertung angesetzter Betrachtungszeitraum. Dieser wird auf 50 Jahre festgelegt.

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 77

77

LCA – Life Cycle Assessment - Berechnung

$$GWP_K = GWP_H + GWP_I$$

$$GWP_H = m \times GWP_{A1-A3} + m \times GWP_{C4}$$

$$GWP_I = (m \times GWP_{A1-A3} + m \times GWP_{C4}) \times n$$

GWP_K = GWP – Konstruktion [kg CO₂-Äqv.]

GWP_H = GWP – Herstellung [kg CO₂-Äqv.]

GWP_I = GWP – Instandhaltung [kg CO₂-Äqv.]

GWP_{A1-A3} – GWP – Indikator A1-A3 gemäß ÖKOBAU.DAT [kg CO₂-Äqv./Referenzfluss]

m – Menge [Referenzfluss]

n – Anzahl der Ersatzzyklen

A – Fläche [m²]

D = Dicke [m]

ρ – Dichte [kg/m³]

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 78

78

Beispiel: 1 m² Silikonharzputz,
 Dicke: 15 mm,
 Rohdichte: 1575,0 kg/m³
 (ÖKOBAU.DAT16 - 5.1.01)

$$GWP_H = m \times GWP_{A1_A3} + m \times GWP_{C4} + (m \times GWP_D)^*$$

$$m = A \times D \times \rho$$

$$m = 1 \text{ m}^2 \times 0,015 \text{ m} \times 1575,0 \text{ kg/m}^3 = 23,625 \text{ kg}$$

$$GWP_H = 23,625 \times 1,39 \text{ kg CO}_2 - \text{Aqv.}_{A1_A3} + 23,625 \times 0,0111 \text{ kg CO}_2 - \text{Aqv.}_{C4}$$

$$GWP_H = 33,1 \text{ kg CO}_2 - \text{Aqv.}$$

$$GWP_I = (GWP_H) \times n$$

$$GWP_I = (33,1 \text{ kg CO}_2 - \text{Aqv.}) \times 1$$

$$GWP_I = 33,1 \text{ kg CO}_2 - \text{Aqv.}$$

$$GWP_K = GWP_H + GWP_I$$

$$GWP_K = 33,1 \text{ kg CO}_2 - \text{Aqv.} + 33,1 \text{ kg CO}_2 - \text{Aqv.}$$

$$GWP_K = 66,2 \text{ kg CO}_2 - \text{Aqv.}$$

* Wird bei BNB nicht
berücksichtigt

Indikator	Einheit	Herstellung A1-A3	Transport A4	Einbau A5	Beseitigung C4	Recyclingpotential D
Globales Erwärmungspotenzial (GWP)	kg CO ₂ -Äq.	1.39	0.199	0.0289	0.0111	-0.0193
335.312						
					Putz auf monolithischer Tragschicht: Sanierputzsysteme, mineralische Leichtputzsysteme auf porosierter Tragschicht	40 1

LCA – Life Cycle Assessment - Berechnung

GWPN = GWPNS + GWPNW

mit

GWPNS Treibhauspotenzial des Strombedarfs während der Nutzung, berechnet gemäß DIN V 18599, multipliziert mit dem GWP-Faktor des deutschen Strom-Mix aus Ökobau.dat in [kg CO₂-Äqu./m²_{NGF} · a]

GWPNW Treibhauspotenzial des Wärmebedarfs während der Nutzung, berechnet gemäß DIN V 18599, multipliziert mit GWP-Faktor des gewählten Energieträgers aus Ökobau.dat in [kg CO₂-Äqu./m²_{NGFa} · a]

LCA – Life Cycle Assessment - Berechnung

- Referenzwerte
- Variantenvergleich

2.2 Referenzwert zum Treibhauspotenzial GWP_{Gref} in $[kg\ CO_2\text{-Äqu.}/(m^2_{NGFa} \cdot a)]$
Der Referenzwert (50 Punkte) für GWP_{Gref} für Herstellung, Instandhaltung und Rückbau / Entsorgung sowie Nutzung des durchschnittlichen Bürogebäudes wurde nach folgender Berechnung bestimmt:

$$GWP_{100} [kg\ CO_2\text{-Äqu.}/(m^2_{NGFa} \cdot a)]$$

$$GWP_{Gref} = GWP_{Nref} + GWP_{Kref} = 57$$

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 81

81

LCA – Life Cycle Assessment - Berechnung



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit

Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)
Büro- und Verwaltungsgebäude

BNB_BN
1.1.1

Hauptkriteriengruppe	Ökologische Qualität
Kriteriengruppe	Wirkungen auf die globale und lokale Umwelt
Kriterium	Treibhauspotenzial (GWP)

Bewertungsmaßstab

	Anforderungsniveau
Z: 100	$\leq 24\ kg\ CO_2\text{-Äqu.}/(m^2_{NGFa} \cdot a)$
R: 50	$= 37\ kg\ CO_2\text{-Äqu.}/(m^2_{NGFa} \cdot a)$
G: 10	$\geq 66\ kg\ CO_2\text{-Äqu.}/(m^2_{NGFa} \cdot a)$
0	Das Treibhauspotenzial (GWP) wurde nicht nachgewiesen.
Zwischenwerte sind abschnittsweise linear zu interpolieren.	

Quelle: BNB_BN2015_111

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 82

82



84

LCA – Life Cycle Assessment - Einflussgrößen

Was beeinflusst die ökologische
Qualität über den Lebenszyklus?

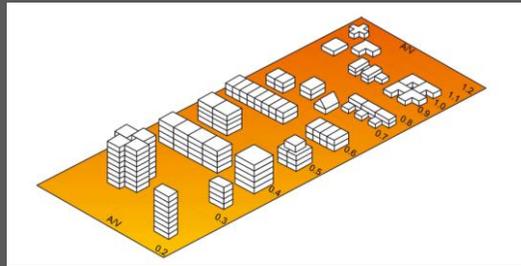
Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 85

85

Was beeinflusst die ökologische Qualität über den Lebenszyklus?

A/V - Verhältnis

- **A** – Energetisch wirksame Hüllfläche
- **V** – Gebäudevolumen

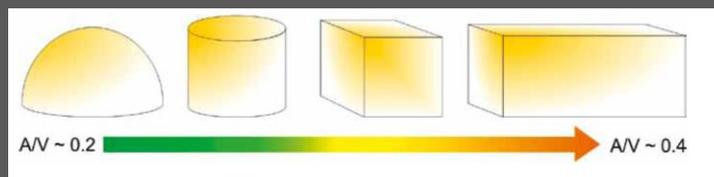


Quelle: A/V-Verhältnissen (nach Dr. Gorelzi)

Was beeinflusst die ökologische Qualität über den Lebenszyklus?

A/V - Verhältnis

- **A** – Energetisch wirksame Hüllfläche
- **V** – Gebäudevolumen

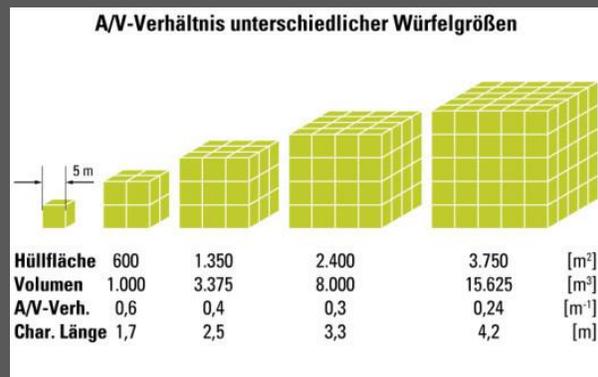


Quelle: CSD Ingenieure

Was beeinflusst die ökologische Qualität über den Lebenszyklus?

A/V - Verhältnis

- A – Energetisch wirksame Hüllfläche
- V – Gebäudevolumen

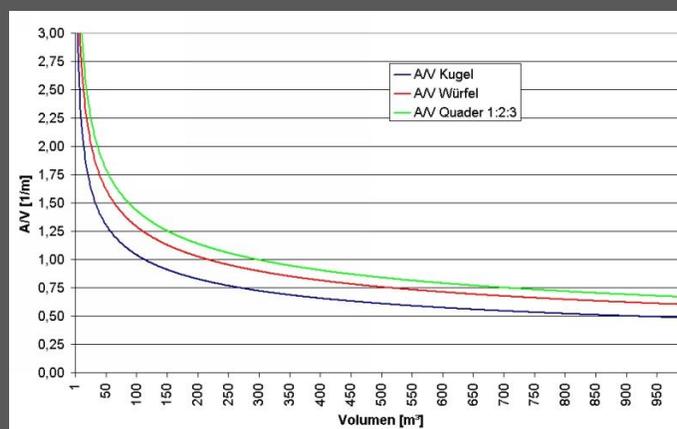


Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 88

88

Was beeinflusst die ökologische Qualität über den Lebenszyklus?

A/V - Verhältnis



Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 89

89

Was beeinflusst die ökologische Qualität über den Lebenszyklus?

A/V - Verhältnis



ca. 100 cm



ca. 50 cm

Warum sind Pinguine in der Antarktis größer als ihre nahe dem Äquator lebenden Verwandten?
Die Antarktis-Pinguine verlieren durch ihre voluminöse Größe weniger Wärme über die im Verhältnis kleinere Oberfläche.

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 90

90

Was beeinflusst die ökologische Qualität über den Lebenszyklus?

A/V - Verhältnis

- **A** – Energetisch wirksame Hüllfläche
- **V** – Gebäudevolumen

Kapelle der Versöhnung,
Berlin
Reitermann/Sassenroth
Architekten



Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 91

91

Was beeinflusst die ökologische Qualität über den Lebenszyklus?

A/V - Verhältnis

- **A** – Energetisch wirksame Hüllfläche
- **V** – Gebäudevolumen

Palais d'Equilibre - EXPO 2002



Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 92

92

Was beeinflusst die ökologische Qualität über den Lebenszyklus?

A/V - Verhältnis

- **A** – Energetisch wirksame Hüllfläche
- **V** – Gebäudevolumen



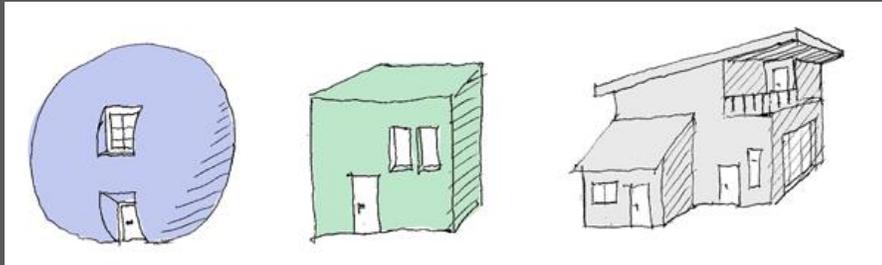
Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 93

93

Was beeinflusst die ökologische Qualität über den Lebenszyklus?

A/V - Verhältnis

- **A** – Energetisch wirksame Hüllfläche
- **V** – Gebäudevolumen



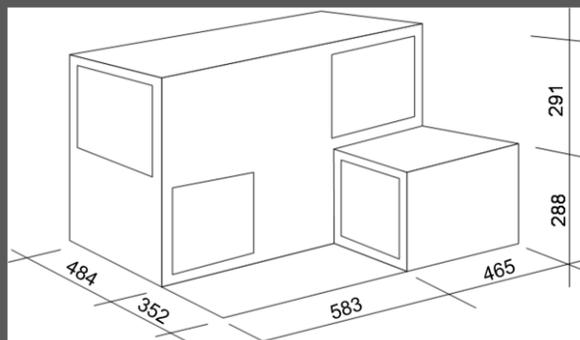
Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 94

94

Was beeinflusst die ökologische Qualität über den Lebenszyklus?

Kompaktheit

- A_{th} (Gebäudehülle)
- AE (Energiebezugsfläche)
- Gebäudehüllzahl (A_{th}/AE)



Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 95

95

Was beeinflusst die ökologische Qualität über den Lebenszyklus?

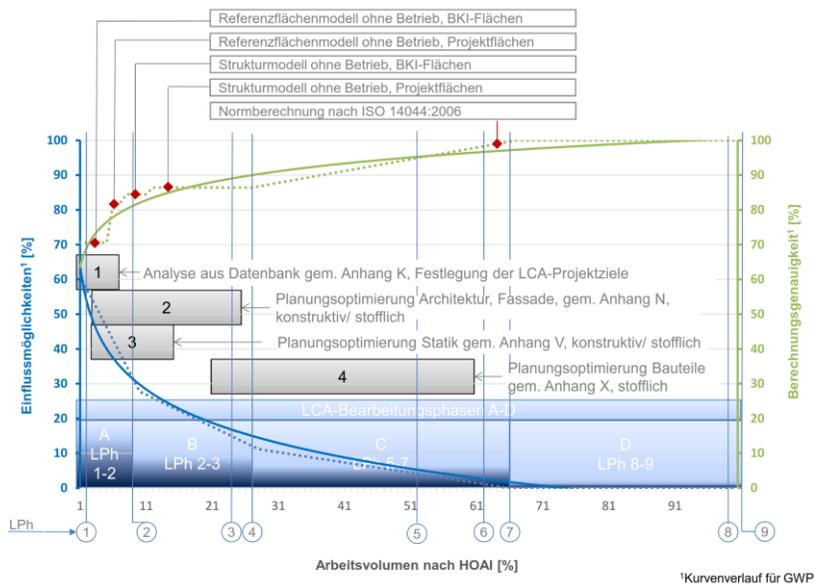
A/V – Verhältnis/ Kompaktheit

Gebäudenutzungstyp	Kompaktheitsgrad A_H/A_{EB} , in [-]	A_H/V_e -Verhältnis, in $[m^{-1}]$
EFH	2,1...3,5	0,6...1,0
Restaurant	1,6...2,0	0,4...0,8
Verwaltung	1,6...2,0	0,4...0,8
MFH	1,4...1,9	0,3...0,7
Bühnen/Säle	1,3...1,8	0,3...0,6
Schulen	1,3...1,8	0,3...0,6
Bäder	1,0...1,5	0,3...0,5
Industrie	1,0...1,5	0,3...0,5
Verkauf	1,0...1,5	0,3...0,5
Krankenhäuser	0,8...1,2	0,2...0,5
Lager	0,8...1,2	0,2...0,5
Sport	0,8...1,2	0,2...0,5

Quelle: Jagnow/Horschler/Wolff EnEV Buch 2002

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 96

96



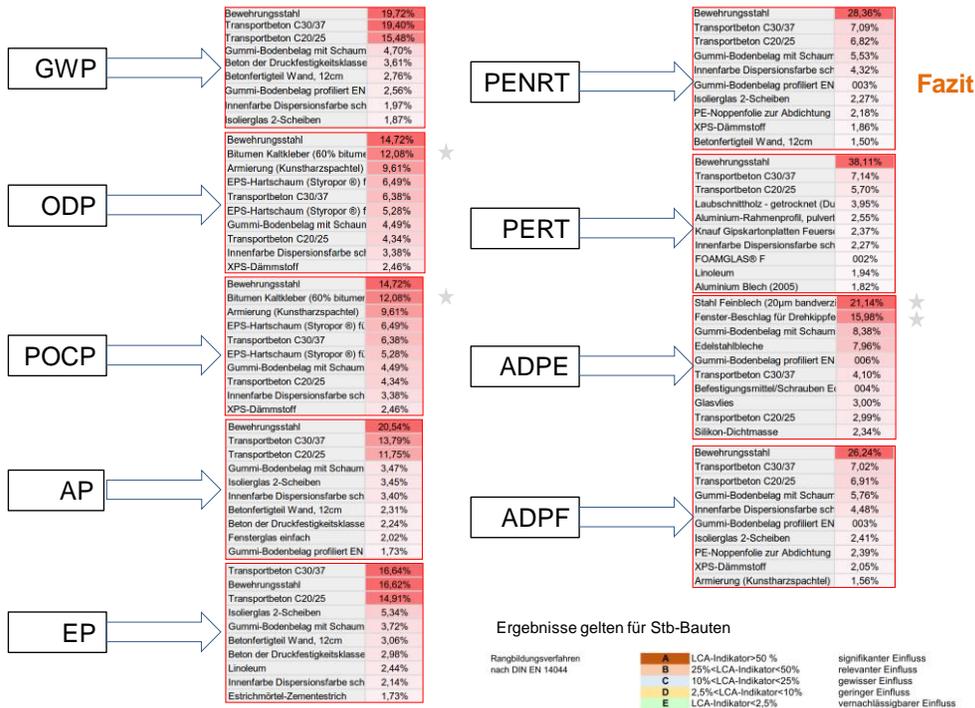
Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 97

97

Überblick Umwelt- und Ressourcenwirkung

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 98

98



99

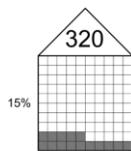
Baustoffliche Optimierung

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 100

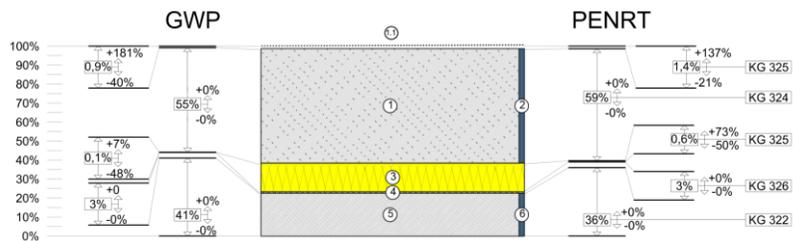
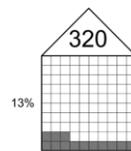
100

[Auswertungstabelle](#)

Gründung



- 1.1 Bodenbeschichtung PU, <10% VOC
- 1 Transportbeton C20/25; 40 cm
- 2 Bewehrungsanteil 2%
- 3 Dämmung XPS; 10 cm
- 4 Bitumbahn PYV PV 200 S5; 0,5 cm
- 5 Transportbeton C 20/25; 15 cm
- 6 Bewehrungsanteil 2%

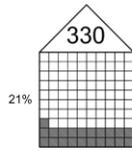


Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 08.10.2018

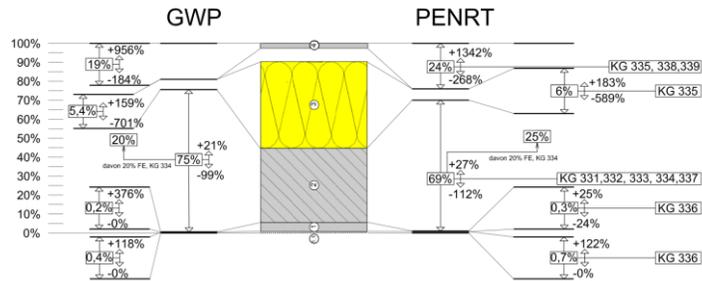
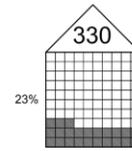
101

[Auswertungstabelle](#)

Außenwände



- 1.1 Dispersionsfarbe scheuerfest
- 1 Gipsputz; 1,5 cm
- 2 Kalksandstein; 12 cm
- 3 Mineralfaserdämmplatte; 14 cm
- 4 Faserzementplatte; 0,8 cm

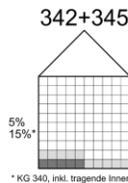


Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 08.10.2018

102

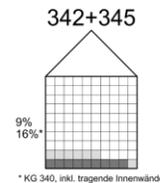
[Auswertungstabelle](#)

Nichttragende Innenwände

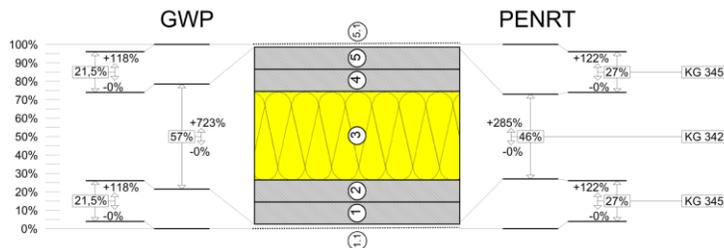


- 1.1 Dispersionsfarbe scheuerfest
- 1-5 Trennwand als funktionale Einheit
- 5.1 Dispersionsfarbe scheuerfest

* KG 340, inkl. tragende Innenwände



* KG 340, inkl. tragende Innenwände

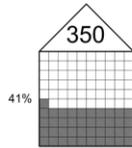


Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 08.10.2018

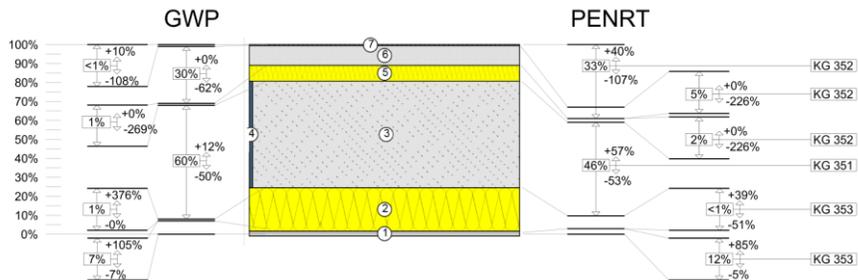
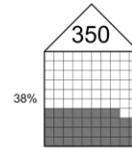
103

[Auswertungstabelle](#)

Decken



- 1 Gipskartonplatte + Anrich 1,25 cm
- 2 Calziumsilikat 14 cm
- 3/4 Stb-Decke C 25/30 1,22 % Bewehrung 27 cm
- 5 Mineralfaser (Trittschall) 4 cm
- 6 Zementestrich 5 cm
- 4 Linoleum 0,3 cm

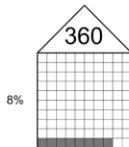


Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 08.10.2018

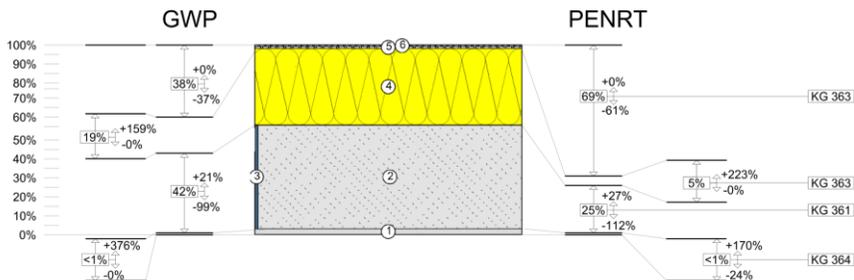
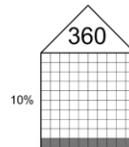
104

[Auswertungstabelle](#)

Dächer



- 1.1 Dispersionsfarbe
- 1 Gipsputz 1,5 cm
- 2/3 Stb-Decke C 25/30 1,22 % Bewehrung 27 cm
- 4 Mineralfaserdämmung 20 cm
- 5/6 Bitumabdichtung 0,9 cm



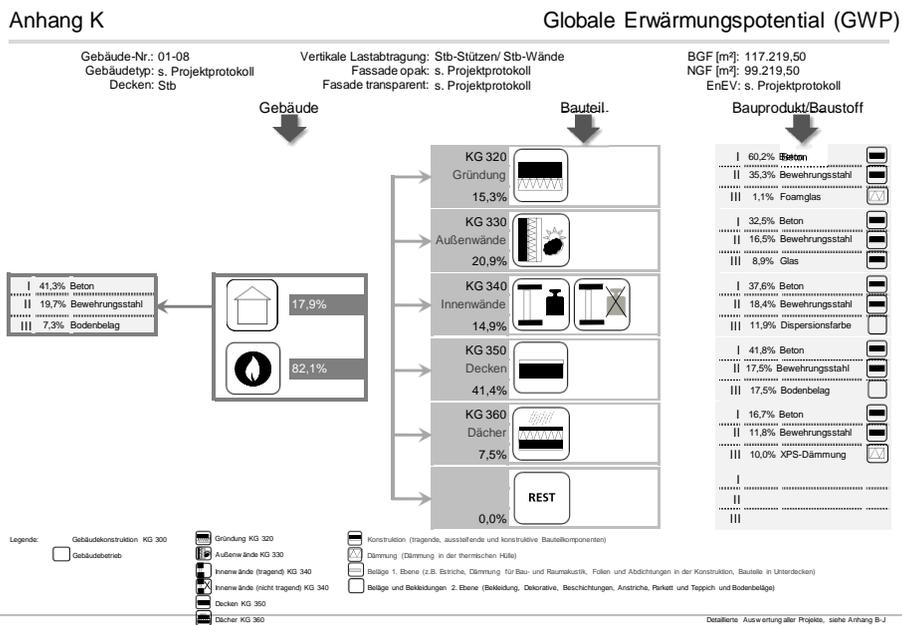
Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 08.10.2018

105

Gesamtanalyse inklusive Gebäudebetrieb

Prof. Dr.-Ing. Sven Wünschmann | 17.05.2024 | Seite 106

106



107

Anhang K

Total nicht erneuerbare Primärenergie (PENRT)

