

**Professur für Architektur
und Konstruktion** Annette **Gigon**
ETH Zürich Mike **Guyer**

HIL E 15
Stefano-Franschi-Platz 5
CH 8093 Zürich
Tel +41 44 633 06 14

DURABILITY AND/OR CHANGE?

**Professur für Architektur
und Konstruktion** Annette **Gigon**
ETH Zürich Mike **Guyer**

HIL E 15
Stefan-Franscini Platz 5
CH 8093 Zürich
Tel +41 44 633 20 09

HS 22

DURABILITY AND/OR CHANGE?

Themenplattform zur Master's Thesis

Vorbereitung:
Annette Gigon
gigon@arch.ethz.ch

«Vademecum»:
Arend Kölsch
kontakt@aka-energie.de

Reader:
Stefan Jos
jos@arch.ethz.ch
Arend Kölsch

**«VADEMECUM»
Ökobilanzdaten und Kennwerte**

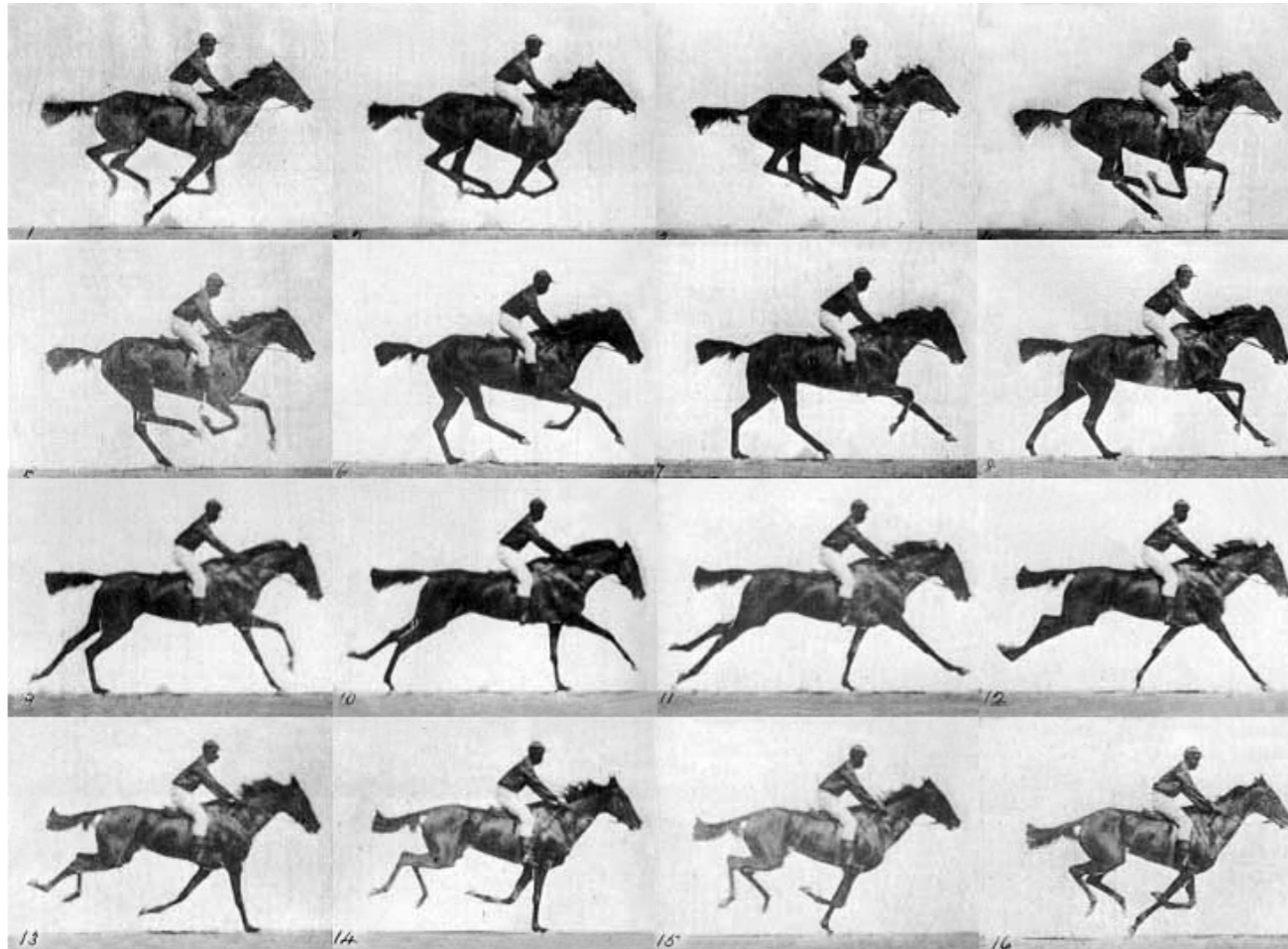
Revision 06.06.2022

Bild Umschlag: *Himmel über Niedersachsen, AK 2020*

INHALT

4	EINFÜHRUNG
25	DATENSAMMLUNG BAUSTOFFE UND BAUTEILE
26	Vergleichsgrößen
27	Anforderungen nach SIA 2040:2017 Effizienzpfad Energie (Auszüge)
28	Ökobilanzdaten ausgewählter Baustoffe, anwendungsbezogen
33	Aussenbauteile, überschlägige Ökobilanzen
38	LCA-optimierte Dämmstärken
42	Übersicht Wärmedämmstandards
44	Stützen, überschlägige Ökobilanzen
46	Decken, überschlägige Ökobilanzen
48	Kohlenstoffspeicherung in Baumaterialien
51	DATENSAMMLUNG PHOTOVOLTAIK UND SOLARTHERMIE
53	Photovoltaik, Kennwerte
54	Photovoltaik, Erträge
56	Vergleich: Photovoltaik vs. CH-Netzstrom
59	Solarthermie, Kennwerte
60	Solarthermie, Erträge
62	Vergleich: Solarthermie vs. Wärmepumpe
65	KBOB ÖKOBILANZDATEN (AUSZUG)
77	PLANUNGSWERKZEUGE (TOOLS UND LINKS)
83	LEISTUNG UND ENERGIE (BEGRIFFE, GRÖSSENORDNUNGEN)
89	IMPRESSUM UND DANK

EINFÜHRUNG



Annie G. galloping, fotografische Bewegungsstudie von Eadweard Muybridge, 1878

Einordnung	Einheiten und Begriffe	Lebenszyklus-betrachtung	Ökobilanz-daten	Baustoffe Bauteile	Photovoltaik Solarthermie	Tools, Links, etc.
------------	------------------------	--------------------------	-----------------	--------------------	---------------------------	--------------------

Vorwort

Als Ergänzung zum Reader mit Hintergrundtexten wird dieses «Vademecum» mit **Daten und Kennwerten** zur Verfügung gestellt.

Es geht um ein grundlegendes Verständnis für die physischen **Umweltauswirkungen des Bauens**, namentlich Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen.

Das «Vademecum» bietet einen **Einstieg in die Ökobilanzierung von Gebäuden** und soll zu eigener Anwendung und Vertiefung anregen.

Einordnung	Einheiten und Begriffe	Lebenszyklus-betrachtung	Ökobilanz-daten	Baustoffe Bauteile	Photovoltaik Solarthermie	Tools, Links, etc.
------------	------------------------	--------------------------	-----------------	--------------------	---------------------------	--------------------

Beispiele für Daten-Fragen

- Wie unterscheiden sich verschiedene **Baustoffe** hinsichtlich grauer Energie, grauen Emissionen und Lebensdauer?
- Wie viel Energie liefern **Photovoltaikmodule** auf dem Dach, wie viel an der Fassade?
- Wie können Bestandsgebäude mit möglichst sparsamem Ressourceneinsatz **energetisch ertüchtigt** werden?
- Inwiefern können Bauteile als **Kohlenstoffspeicher** dienen?

Einordnung	Einheiten und Begriffe	Lebenszyklus-betrachtung	Ökobilanz-daten	Baustoffe Bauteile	Photovoltaik Solarthermie	Tools, Links, etc.
------------	------------------------	--------------------------	-----------------	--------------------	---------------------------	--------------------

Energie

- **Masseinheit der Energie (auch Arbeit) im Kontext nachhaltiges Bauen:**
Kilowattstunde (kWh) = 3,6 Megajoule (MJ)
- **Nicht verwechseln mit Leistung: Watt (W), Kilowatt (kW) = 1000 W**

10 kWh Energie wird freigesetzt bei der Verbrennung von ca. 1 m³ Erdgas / 1 l Erdöl / 2 kg Holz.
Der menschliche Körper setzt pro Tag ca. 2 kWh Energie um.
1 m² Photovoltaik mit guter Aufstellung und gutem Wirkungsgrad liefert ca. 200 kWh im Jahr.

Einordnung	Einheiten und Begriffe	Lebenszyklus-betrachtung	Ökobilanz-daten	Baustoffe Bauteile	Photovoltaik Solarthermie	Tools, Links, etc.
------------	------------------------	--------------------------	-----------------	--------------------	---------------------------	--------------------

Primärenergie

- **Primärenergie beschreibt die Energie, die mit den natürlich vorkommenden Energieformen oder Energieträgern zur Verfügung steht.**
- **Ökologisch bedeutsam ist der nicht erneuerbare Anteil der Primärenergie.**
- **Masseinheit: Kilowattstunde Öl-Äquivalent (kWh oil-eq)**

Erneuerbare Primärenergie stammt aus Sonneneinstrahlung (Photovoltaik und Solarthermie), Wasserkraft, Windkraft, Biomasse und Geothermie.
Nicht erneuerbar sind fossile Energieträger (Steinkohle, Braunkohle, Öl, Erdgas) und Kernbrennstoffe.

Einordnung	Einheiten und Begriffe	Lebenszyklus-betrachtung	Ökobilanz-daten	Baustoffe Bauteile	Photovoltaik Solarthermie	Tools, Links, etc.
<h2>Treibhausgasemissionen</h2>						
<ul style="list-style-type: none"> • Treibhausgasemissionen umfassen alle klimawirksamen Gase im Verhältnis der Wirkung von Kohlendioxid. • Masseinheit: Kilogramm CO₂-Äquivalent (kg CO₂-eq) 						
<p>Der Schweizer Pro-Kopf-Ausstoss (inkl. Importe) beträgt ca. 14 Tonnen pro Jahr. 14 t CO₂ entsprechen einem Volumen von ca. 8'000 m³ (Würfel mit 20 m Kantenlänge). Im globalen Durchschnitt beträgt der Pro-Kopf-Ausstoss 4.8 t. (Zahlen für 2019. Quelle: www.globalcarbonatlas.org, Zugriff 10.03.2022)</p>						

Einordnung	Einheiten und Begriffe	Lebenszyklus-betrachtung	Ökobilanz-daten	Baustoffe Bauteile	Photovoltaik Solarthermie	Tools, Links, etc.																								
<h2>Beispiel: Energieträger (siehe S. 26)</h2>																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Umweltkennwerte</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Primärenergie n. erneuerbar</th> <th>Treibhausgas-emissionen</th> </tr> <tr> <th></th> <th>kWh oil-eq</th> <th>kg CO₂-eq</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3">Energieträger (Endenergieverbrauch)</td> </tr> <tr> <td>1 kWh Erdgas $\hat{=}$ ca. 0,1 m³</td> <td>1.05</td> <td>0.230</td> </tr> <tr> <td>1 kWh Erdöl $\hat{=}$ ca. 0,1 Liter</td> <td>1.25</td> <td>0.324</td> </tr> <tr> <td>1 kWh Strom CH-Verbrauchermix</td> <td>2.08</td> <td>0.125</td> </tr> <tr> <td>1 kWh Photovoltaik-Strom *</td> <td>0.14</td> <td>0.038</td> </tr> </tbody> </table>							Umweltkennwerte				Primärenergie n. erneuerbar	Treibhausgas-emissionen		kWh oil-eq	kg CO ₂ -eq	Energieträger (Endenergieverbrauch)			1 kWh Erdgas $\hat{=}$ ca. 0,1 m ³	1.05	0.230	1 kWh Erdöl $\hat{=}$ ca. 0,1 Liter	1.25	0.324	1 kWh Strom CH-Verbrauchermix	2.08	0.125	1 kWh Photovoltaik-Strom *	0.14	0.038
Umweltkennwerte																														
	Primärenergie n. erneuerbar	Treibhausgas-emissionen																												
	kWh oil-eq	kg CO ₂ -eq																												
Energieträger (Endenergieverbrauch)																														
1 kWh Erdgas $\hat{=}$ ca. 0,1 m ³	1.05	0.230																												
1 kWh Erdöl $\hat{=}$ ca. 0,1 Liter	1.25	0.324																												
1 kWh Strom CH-Verbrauchermix	2.08	0.125																												
1 kWh Photovoltaik-Strom *	0.14	0.038																												
<p>In Worten: Die Verbrennung von 0.1 m³ Erdgas erzeugt 1 kWh Endenergie in der Heizungsanlage. Zusammen mit vorgelagerten Prozessen, Transporten etc. summiert sich der Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie auf 1.05 kWh oil-eq., und es werden insgesamt 230 g Treibhausgase ausgestossen. Beim Schweizer Netzstrom führen Transport- und Umwandlungsverluste zu einem etwa doppelt so hohen Primärenergieaufwand pro kWh Endenergie an der Steckdose (2.08 kWh oil-eq), aber dank vergleichsweise niedrigem fossilem Anteil an der Stromproduktion fallen nur 125 g CO₂-eq an. In die Kennwerte des Photovoltaik-Stroms gehen die graue Energie und grauen Emissionen zur Erstellung der PV-Anlage ein; sie liegen deutlich niedriger.</p>																														

Einordnung	Einheiten und Begriffe	Lebenszyklus-betrachtung	Ökobilanz-daten	Baustoffe Bauteile	Photovoltaik Solarthermie	Tools, Links, etc.
<h2>Betriebsenergie / -emissionen</h2>						
<p>Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie bzw. Treibhausgasemissionen für den Betrieb eines Gebäudes: Raumheizung/-kühlung, Warmwasser, Lüftung, Stromverbrauch für Anlagen und Geräte (inkl. Gebäudenutzung)</p>						
<h2>Graue Energie / graue Emissionen</h2>						
<p>Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie bzw. Treibhausgasemissionen für Erstellung und Entsorgung eines Gebäudes bzw. von Bauteilen</p>						

Einordnung	Einheiten und Begriffe	Lebenszyklus-betrachtung	Ökobilanz-daten	Baustoffe Bauteile	Photovoltaik Solarthermie	Tools, Links, etc.
<h2>Bezugsgrößen für Vergleiche</h2>						
<ul style="list-style-type: none"> • Gesamt/absolut kWh oil-eq kg CO₂-eq • pro Fläche kWh oil-eq/m² kg CO₂-eq/m² • pro Jahr kWh oil-eq/a kg CO₂-eq/a • pro Fläche und Jahr kWh oil-eq/(m²×a) kg CO₂-eq/(m²×a) • pro Person, pro Wohnung, ... 						

Einordnung	Einheiten und Begriffe	Lebenszyklus-betrachtung	Ökobilanz-daten	Baustoffe Bauteile	Photovoltaik Solarthermie	Tools, Links, etc.
------------	------------------------	--------------------------	-----------------	--------------------	---------------------------	--------------------

Weitere Begriffserklärungen

- «Vademecum» ab S. 83
- Reader ab S. 316

Einordnung	Einheiten und Begriffe	Lebenszyklus-betrachtung	Ökobilanz-daten	Baustoffe Bauteile	Photovoltaik Solarthermie	Tools, Links, etc.
------------	------------------------	--------------------------	-----------------	--------------------	---------------------------	--------------------

Definition

«Die **Ökobilanz** bzw. das **Life Cycle Assessment (LCA)** ist eine Methode zur Abschätzung der mit einem Produkt [oder einer Dienstleistung] verbundenen **Umweltauswirkungen**. Die **Ökobilanz** beruht auf einem **Lebenswegansatz**. Damit werden die **Umweltauswirkungen** eines Produkts von der Gewinnung der Rohstoffe, der Herstellung, der Nutzung bis hin zur Entsorgung des Produkts, also von der Wiege bis zur Bahre (**cradle to grave**), erfasst und beurteilt.»

Rolf Frischknecht, Lehrbuch der Ökobilanzierung, Berlin 2020, S. 11

Einordnung	Einheiten und Begriffe	Lebenszyklus-betrachtung	Ökobilanz-daten	Baustoffe Bauteile	Photovoltaik Solarthermie	Tools, Links, etc.
------------	------------------------	--------------------------	-----------------	--------------------	---------------------------	--------------------

Wozu Lebenszyklusbetrachtung?

- Die Bemühungen des «Nachhaltigen Bauens» fokussierten zunächst auf die Absenkung des **Energieverbrauchs im Betrieb**.
- Je niedriger der Betriebsenergieverbrauch, desto mehr rücken **graue Energie und graue Emissionen** ins Blickfeld. Es zeigt sich, dass diese bei zeitgenössischen Bauten den Betrieb übersteigen.
- Die Lebenszyklusbetrachtung versucht eine **Zusammenschau**.

Einordnung	Einheiten und Begriffe	Lebenszyklus-betrachtung	Ökobilanz-daten	Baustoffe Bauteile	Photovoltaik Solarthermie	Tools, Links, etc.
------------	------------------------	--------------------------	-----------------	--------------------	---------------------------	--------------------

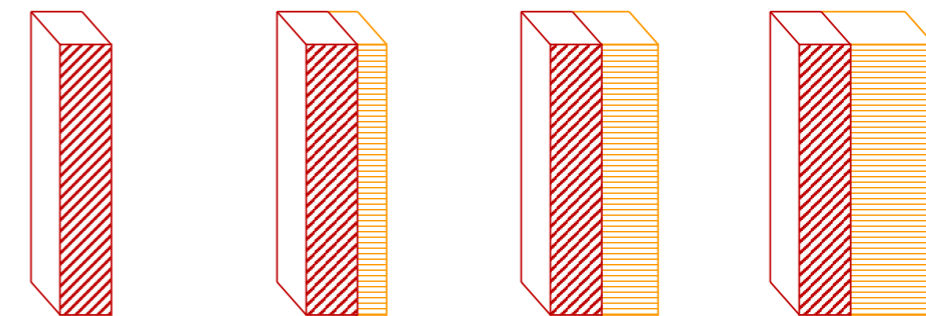
Beispiel Lebenszyklusbetrachtung: 1 m² Aussenwand in Konstruktionsvarianten

Ziel: Einschätzung von Umweltauswirkungen

- je nach Dämmstärke (hier: ohne / 12 cm / 22 cm / 33 cm)
- je nach Dämmmaterial (hier: Kompaktfassade EPS oder Steinwolle) und
- je nach Heizenergieträger (hier: Erdgas oder Strom für Erdsonden-Wärmepumpe)

■ **Backstein 20 cm** – 1'000 kg/m³, λ-Wert 0.30 W/(m×K)

■ **Wärmedämmstoff** – 30 kg/m³ (EPS) bzw. 93 kg/m³ (Steinwolle), λ-Wert 0.035 W/(m×K)

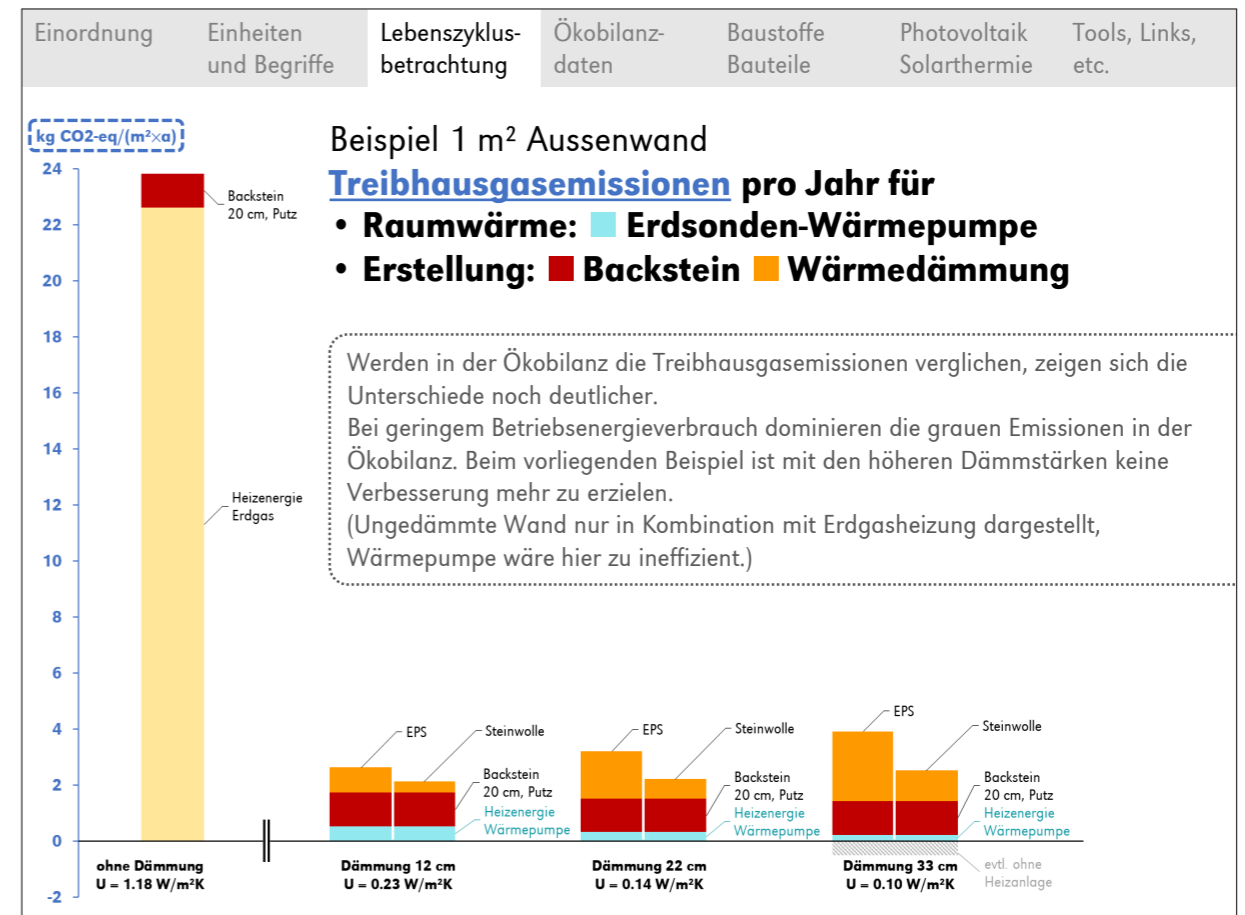
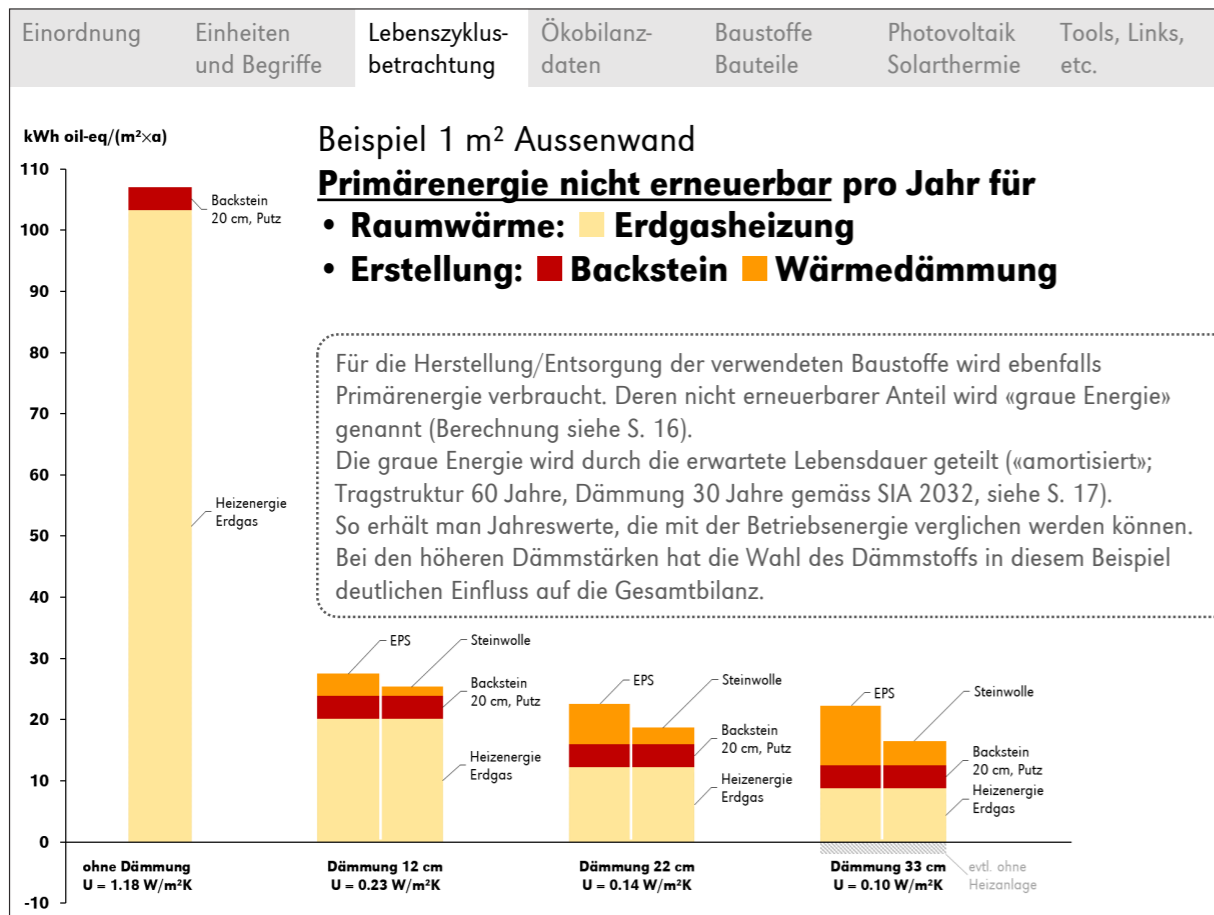
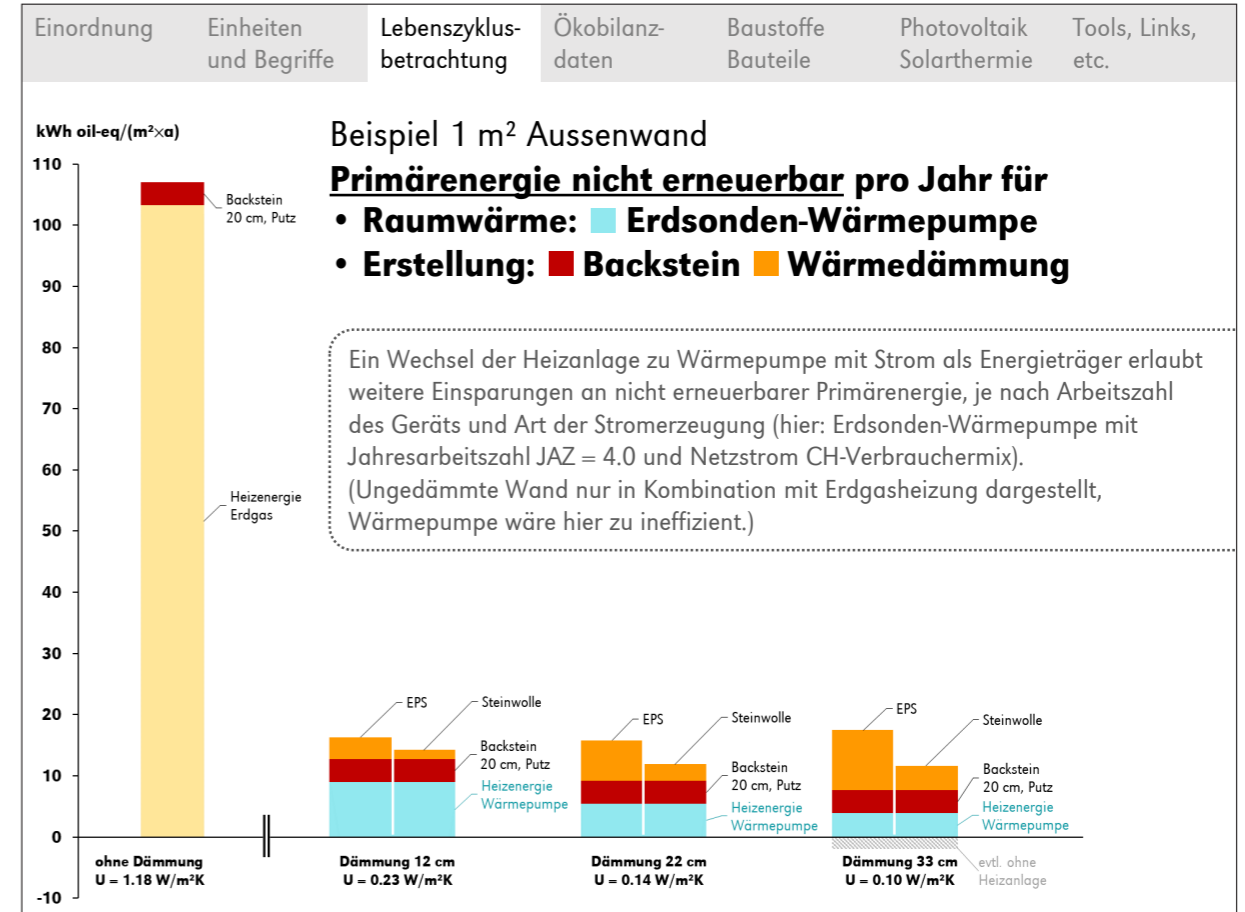
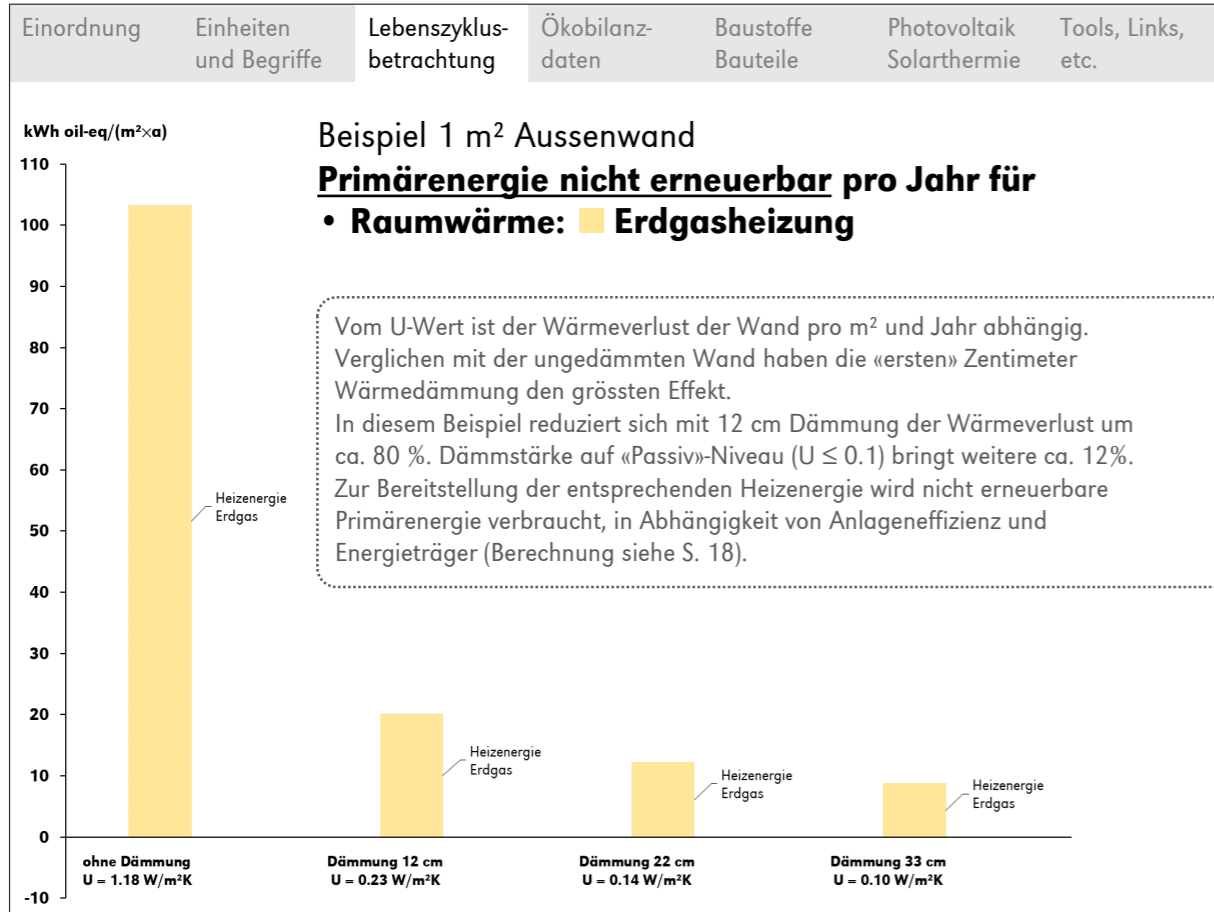


ohne Dämmung
U = 1.18 W/m²K

Dämmung 12 cm
U = 0.23 W/m²K

Dämmung 22 cm
U = 0.14 W/m²K

Dämmung 33 cm
U = 0.10 W/m²K



Ökobilanzdaten ausgewählter Baustoffe, anwendungsbezogen (S. 28–31, Ausschnitt)

Tragschicht, 1 m ²							
Baustoff /-teil	λ-Wert	Rohdichte	Typ. Dicke	Gewicht	Primärenergie n. erneuerbar	Treibhausgas-emissionen	
	W/(m·K)	kg/m ³	cm	kg/m ²	kWh oil-eq	kg CO ₂ -eq	
Stahlbetonwand	2.20	2'360	20	473	169	73	
Hochbaubeton (ohne Bewehrung) *		2'300		455	80	46	
Armierungsstahl, 90 kg pro m ³ (ca. 1 % Vol.)		7'850		18	90	27	
Backstein (Swissmodul)	0.30	1'000	20	200	158	53	
Dämmbackstein (Porotherm T7)	0.07	575	49	282	258	80	
Kalksandstein	0.70	1'400	20	280	109	45	
Porenbeton (Ytong ThermStrong)	0.10	500	20	100	86	43	
Porenbeton (Ytong ThermUltra)	0.07	300	48	144	124	61	
Kalkstein natur	1.40	2'500	20	500	170	37	
Massivholz-Wand (Brettschichtholz)	0.13	439	20	88	135	30	
Massivholz-Wand Fichte (ohne Leim)	0.13	465	20	93	72	16	

Zur Veranschaulichung wurden fürs «Vademecum» gängige Baustoffe ausgewählt und deren Umweltkennwerte jeweils für 1 m² Bauteilfläche mit typischer Materialdicke angegeben. So sind erste Vergleiche zwischen Materialien möglich.

Überschlägige Ökobilanzen von Aussenbauteilen (S. 33–37, Ausschnitt)

Aussenwand gedämmt, 1 m ²								
Konstruktion	Schichten / Energie	Lebens-dauer	Nutz-energie kWh	Primärenergie nicht erneuerbar		Treibhausgasemissionen		
				kWh oil-eq		kg CO ₂ -eq		
				Jahre	pro Jahr	gesamt	pro Jahr	gesamt
Betonwand mit EPS-Dämmung (U = 0,10 W/m ² K)	Beton 20 cm	60		169	2.8	73	1.2	
	EPS-Dämmung 35 cm	30		315	10.5	80	2.7	
	Aussenputz	30		34	1.1	9	0.3	
	Heizwärme		7.5		8.8	3.9	1.9	0.2
Summe					23.2	18.4	6.1	4.4
Backsteinwand mit Steinwolle-Dämmung (U = 0,10 W/m ² K)	Backstein Swissmodul 20 cm	60		158	2.6	53	0.9	
	Steinwolle 33 cm	30		121	4.0	33	1.1	
	Aussenputz	30		34	1.1	9	0.3	
	Heizwärme		7.5		8.8	3.9	1.9	0.2
Summe					16.6	11.7	4.2	2.5

Nach dem Muster des zuvor gezeigten Beispiels werden die Umweltauswirkungen für die Erstellung des Bauteils und für den Heizbetrieb (in den Varianten Erdgas und Erdsonden-Wärmepumpe) zusammengerechnet. Der Erstellungsaufwand wird dafür über die Lebensdauer amortisiert.

Beispielrechnung: von kg zu m² Bauteilfläche (per Dreisatz)

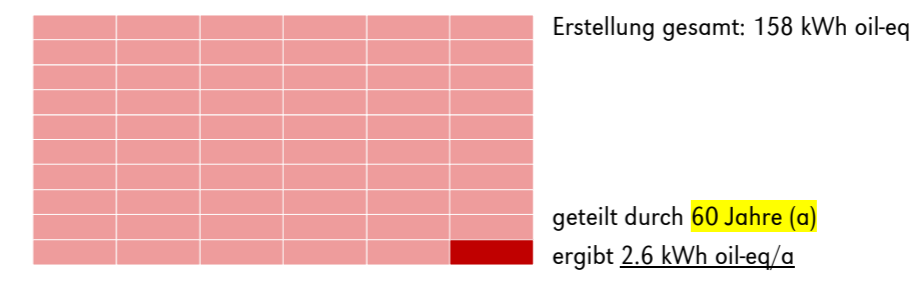
Tragschicht, 1 m ²							
Baustoff /-teil	λ-Wert	Rohdichte	Typ. Dicke	Gewicht	Primärenergie n. erneuerbar	Treibhausgas-emissionen	
	W/(m·K)	kg/m ³	cm	kg/m ²	kWh oil-eq	kg CO ₂ -eq	
Backstein (Swissmodul)	0.30	1'000	20	200	158	53	

Wert aus Produktdatenblatt (Swissmodul). **1'000 kg/m³**
 Wählen nach Erfordernis / Verfügbarkeit. Hier: **20 cm**
 Rohdichte mal typische Dicke (in Metern). **1'000 kg/m³ × 0.20 m = 200 kg/m²**
 Pro-kg-Wert aus KBOB-Tabelle mal Gewicht. **0.788 kWh oil-eq/kg × 200 kg = 158 kWh oil-eq**
 Pro-kg-Wert aus KBOB-Tabelle mal Gewicht. **0.267 kg CO₂-eq/kg × 200 kg = 53 kg CO₂-eq**

Ökobilanzdaten im Baubereich		KBOB / ecobau / IPB 2009/1																
ID-Nummer	BAUMATERIALIEN	Rohdichte/Flächen-masse	Einheit	UBP21			Primärenergie						Treibhausgas-emissionen					
				Total	Herstellung	Entsorgung	erneuerbar			nicht erneuerbar (Graue Energie)			Total	Herstellung	Entsorgung			
							kWh oil-eq	kWh oil-eq	kWh oil-eq	kWh oil-eq	kWh oil-eq	kWh oil-eq				kg CO ₂ -eq	kg CO ₂ -eq	kg CO ₂ -eq
02.001	Mauersteine	ke/m ³																
02.001	Backsteine	kg	372	329	42.7	0.580	0.076	0.002	0.788	0.735	0.053	0.267	0.254	0.013				
02.002	Kalksandstein	kg	258	216	42.7	0.539	0.037	0.002	0.590	0.537	0.053	0.182	0.149	0.013				
02.003	Leichtlehmstein	kg	354	311	42.7	0.793	0.790	0.002	0.764	0.712	0.053	0.180	0.167	0.013				
02.004	Leichtzementstein, Bahton	kg	610	568	42.7	0.885	0.053	0.002	1.43	1.37	0.053	0.429	0.416	0.013				

Beispielrechnung: Ermittlung von Jahreswerten für die Erstellung

Graue Energie bzw. graue Emissionen umrechnen in Jahreswerte:
Amortisation, d.h. Gesamtwert geteilt durch angenommene Lebensdauer gemäss SIA 2032.
 Beispiel 1 m² Backstein, 20 cm, Primärenergie nicht erneuerbar



Hinweis: Die graduelle Amortisation ist fiktiv; in Wahrheit fallen die Umweltauswirkungen der Erstellung im ersten Jahr (Herstellung) bzw. letzten Jahr (Entsorgung) der Lebensdauer an. Zudem wird vorausgesetzt, dass kein Abbruch vor Ende der Lebensdauer erfolgt.

Einordnung	Einheiten und Begriffe	Lebenszyklus-betrachtung	Ökobilanz-daten	Baustoffe Bauteile	Photovoltaik Solarthermie	Tools, Links, etc.
------------	------------------------	--------------------------	-----------------	--------------------	---------------------------	--------------------

Beispielrechnung: Umweltauswirkungen des Heizbetriebs

Heizungsanlage, Kennwerte für die Berechnung				
Typ	Bezugsgrösse / Endenergieträger	Effizienz	Primärenergie n. erneuerbar	Treibhausgasemissionen
Erdgas kondensierend (Brennwerttechnik)	1 kWh Erdgas (oberer Heizwert) \approx ca. 0,1 m ³	Nutzungsgrad 0.9	1.05 kWh oil-eq	0.230 kg CO ₂ -eq
Wärmepumpe mit Erdsonden	1 kWh Strom CH-Verbrauchermix	Jahresarbeitszahl 4.0	2.08 kWh oil-eq	0.125 kg CO ₂ -eq

Heizgradtage, Zürich Fluntern Durchschnitt 2011-2020: 3'125 (K×d)/a

1. (Grobe) Schätzung des jährlichen Nutzenergiebedarfs fürs Heizen:

Nutzenergie \approx Wärmeverlust pro Heizperiode: Heizgradtage \times U-Wert \times 24 h/d \div 1000

Beispiel: Bauteil mit U-Wert 0.10, Standort Zürich Fluntern
 $3'125 (K \times d) / a \times 0.10 W / (m^2 \times K) \times 24 h / d \div 1000 = 7.5 kWh / (m^2 \times a)$

2. Berechnung des Endenergieverbrauchs:

Nutzenergie \div Effizienz der Heizungsanlage = Endenergie

3. Berechnung der Umweltauswirkungen

Endenergie \times Umweltkennwerte des Energieträgers = Umweltauswirkungen des Heizbetriebs

Beispiel: Heizungsanlage Wärmepumpe mit Erdsonden:

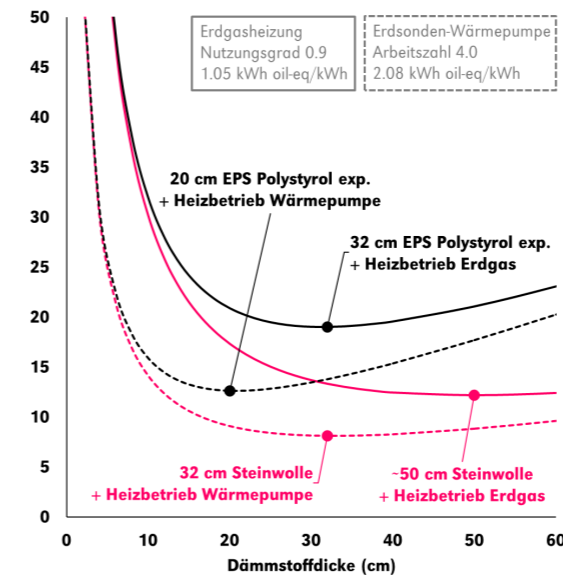
$7.5 kWh / (m^2 \times a) \div 4.0 \times 2.08 kWh oil-eq / kWh = 3.9 kWh oil-eq / (m^2 \times a)$

$7.5 kWh / (m^2 \times a) \div 4.0 \times 0.125 kg CO_2-eq / kWh = 0.23 kg CO_2-eq / (m^2 \times a)$

Einordnung	Einheiten und Begriffe	Lebenszyklus-betrachtung	Ökobilanz-daten	Baustoffe Bauteile	Photovoltaik Solarthermie	Tools, Links, etc.
------------	------------------------	--------------------------	-----------------	--------------------	---------------------------	--------------------

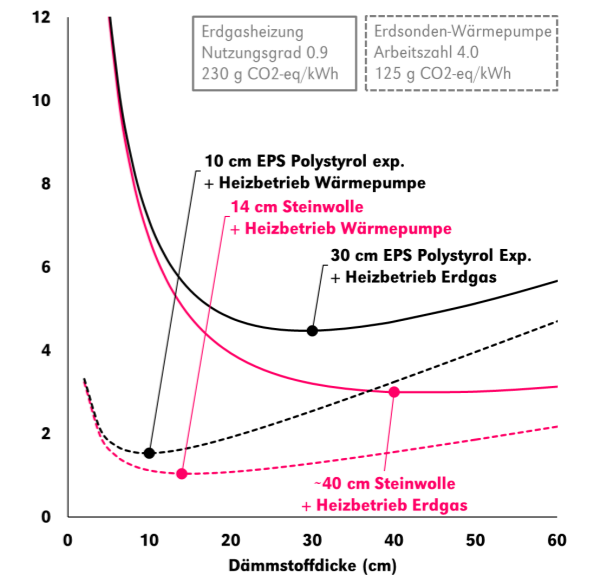
LCA-optimierte Dämmstärken

Primärenergieverbrauch (nicht erneuerbar) pro Jahr
 kWh oil-eq/(m²×a), graue Energie + Heizbetrieb



LCA-optimierte Dämmstärken

Treibhausgasemissionen pro Jahr
 kg CO₂-eq/(m²×a), graue Emissionen + Heizbetrieb

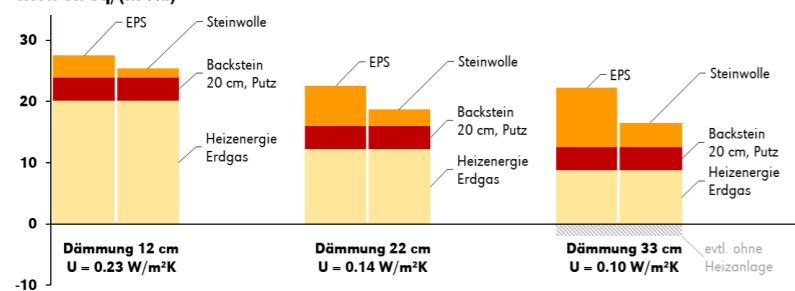


Eine solche isolierte Betrachtung pro Bauteil ist für Abschätzungen nützlich, sollte aber im Kontext weiterer Optimierungsüberlegungen stehen: Suffizienz, Mobilität, Kompaktheit, Ausrichtung, Öffnungsanteil etc. beeinflussen den ökologischen Fussabdruck evtl. stärker als die Materialwahl!

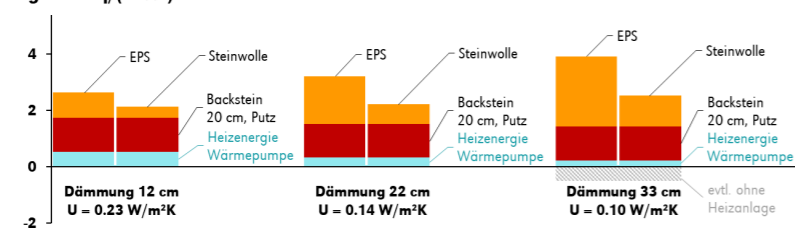
Einordnung	Einheiten und Begriffe	Lebenszyklus-betrachtung	Ökobilanz-daten	Baustoffe Bauteile	Photovoltaik Solarthermie	Tools, Links, etc.
------------	------------------------	--------------------------	-----------------	--------------------	---------------------------	--------------------

Exkurs zur Dämmstärke: Wo liegt der «Sweet spot»?

Beispiel gedämmte Wand + Raumwärme, Energieträger Erdgas Primärenergie nicht erneuerbar kWh oil-eq/(m²×a)



Beispiel gedämmte Wand + Raumwärme, Energieträger Strom Treibhausgasemissionen kg CO₂-eq/(m²×a)



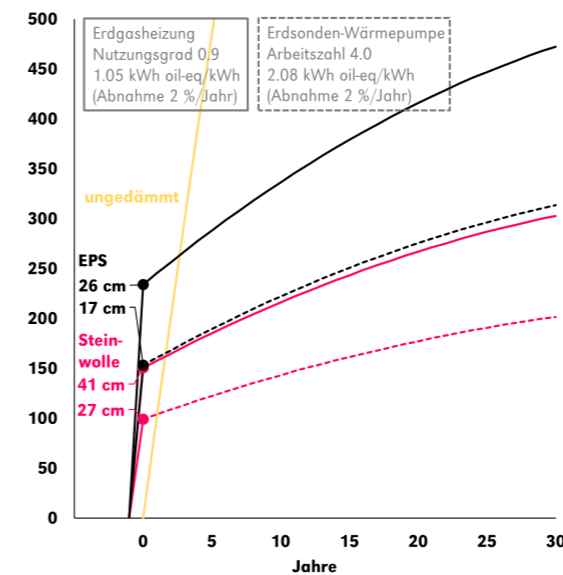
Bei dem Beispiel zur Lebenszyklusbetrachtung zeigt sich, dass es bei jedem Dämmstoff einen Punkt gibt, ab welchem der zusätzliche Materialaufwand die Einsparungen im Heizbetrieb überwiegt – je nach Energieträger.

Eine Optimierung hin zum niedrigsten Primärenergieverbrauch bzw. Treibhausgasausstoss ist möglich, siehe auch nachfolgende Kurvengrafiken und S. 38-41.

Einordnung	Einheiten und Begriffe	Lebenszyklus-betrachtung	Ökobilanz-daten	Baustoffe Bauteile	Photovoltaik Solarthermie	Tools, Links, etc.
------------	------------------------	--------------------------	-----------------	--------------------	---------------------------	--------------------

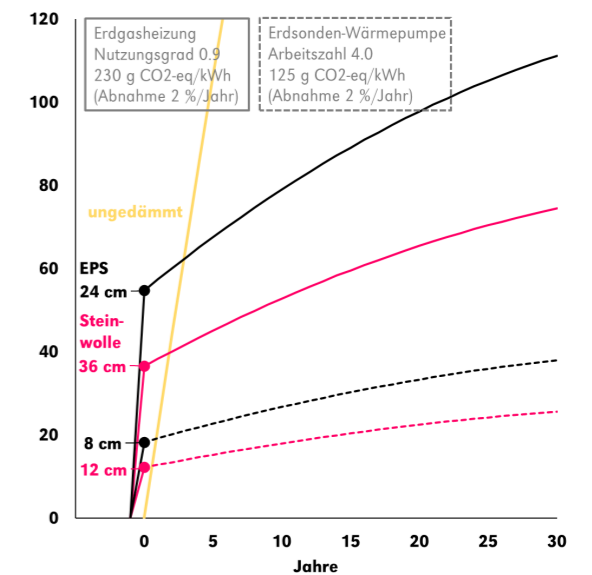
LCA-optimierte Dämmstärken

Primärenergieverbrauch (nicht erneuerbar) kumuliert
 kWh oil-eq/m², graue Energie + Heizbetrieb



LCA-optimierte Dämmstärken

Treibhausgasemissionen kumuliert
 kg CO₂-eq/m², graue Emissionen + Heizbetrieb



Hier eine andere, dynamische Betrachtungsweise: Umweltauswirkungen kumuliert über 30 Jahre. Offenkundig dominiert dabei der anfängliche «Spike» an grauer Energie bzw. grauen Emissionen, wenn der Betriebsenergieverbrauch reduziert und zunehmend erneuerbar gedeckt wird.

Überschlägige Ökobilanzen von Stützen, Decken (S. 44–47, Ausschnitt)

Stütze h = 3 m, Variante 1, pro Stück							
Typ / Dimensionen	Komponenten / Material	Gewicht kg	Lebens-dauer Jahre	Primärenergie nicht erneuerbar kWh oil-eq		Treibhausgasemissionen kg CO ₂ -eq	
				gesamt	pro Jahr	gesamt	pro Jahr
Beton 20 x 20 cm	Beton C30/37	276.0	60	48	0.8	28	0.5
	Längsbewehrung B500B 4 x ø 20	41.5	60	207	3.5	63	1.1
	Bügel B500B	6.0	60	30	0.5	9	0.2
	Summe	323.5		285	4.8	100	1.7
Holz rund ø 32 cm	Vollholz C24 (unverleimt)	112.2	60	87	1.5	20	0.3
Holz rechteckig 20 x 36 cm	Brettschichtholz GL24h	94.8	60	146	2.4	32	0.5

Sind Material und Dimensionen eines Bauteils bekannt, lassen sich aus den Ökobilanzdaten die Umweltkennwerte bestimmen und in Varianten vergleichen. Im «Vademecum» wird dies beispielhaft für Stützen und Decken in gängigen Konstruktionsweisen dargestellt. Die Beispiele zeigen, dass sich ein genauer Blick lohnt: Die Holzstützen schneiden bei der Ökobilanz besser ab als die Betonstütze, insbesondere das unverleimte Rundholz. Allerdings kann Holz Stahlbeton nicht überall ersetzen.

Kohlenstoffspeicherung in Baumaterialien (S. 48–49, Ausschnitte)

Biogene Baustoffe, Zwischenspeicherung, 1 m ²							
Baustoff	Rohdichte	Kohlenstoff-gehalt	Typische Dicke	Gewicht kg	graue Emissionen	Kohlenstoff-gehalt	≙ Kohlen-dioxid
	kg/m ³	kg C/kg	cm		kg CO ₂ -eq	kg C	kg CO ₂
Massivholz Buche / Eiche, kammergetrocknet	675	0.451	20	135	21	61	223
Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, kammergetrocknet	465	0.451	20	93	16	42	154
Zellulose (Schüttung)	50	0.404	20	10	3	4	15
Holzfaserdämmplatte (hinterlüftet/Gefach)	115	0.436	20	23	17	10	37
Hanf-Kalk-Ziegel (Schönthaler)	300	0.150	20	60	22	9	33
Stroh (BauStroh)	115	0.368	35	40	4	15	54

Biogene Baustoffe (Holz, Stroh etc.) binden während des Pflanzenwachstums beträchtliche Mengen an Kohlenstoff (wird seit März 2022 in den KBOB Ökobilanzdaten ausgewiesen). Die entsprechende Menge CO₂, die so der Atmosphäre entzogen wird, kann je nach Material die grauen Emissionen deutlich übertreffen. Aber: Am Ende der Nutzungsdauer wird der gespeicherte Kohlenstoff wieder freigesetzt, wenn das Material verrottet oder verbrannt wird. Verbindet sich Kohlenstoff (C) mit Sauerstoff (O) zu CO₂, vervielfacht sich das Gewicht um den Faktor 3.67. Beispiel: 40 kg Stroh bestehen zu 37 % aus Kohlenstoff, d.h. 15 kg C. Umgewandelt in Kohlenstoffdioxid entspricht das 54 kg CO₂.

Biogene Baustoffe, CO ₂ -Senkenwirkung im Zeitrahmen <100 Jahre, 1 m ²							
Baustoff	Rohdichte	Kohlenstoff-gehalt	Typische Dicke	Gewicht kg	graue Emissionen	Senken-wirkung	Netto-wirkung
	kg/m ³	kg C/kg	cm		kg CO ₂ -eq	kg CO ₂ -eq	kg CO ₂ -eq
Massivholz (Laubholz), Tragstruktur	640	0.491	20	128	10	-28	-18
Bambus (Glue Laminated Bamboo GLB)	636	0.518	20	127	98	-117	-19
Strohdämmung	95	0.409	35	33	5	-24	-19

In der Schweizer Praxis der Ökobilanzierung wird biogener Kohlenstoff üblicherweise als «durchlaufender Posten» behandelt, d.h. es gibt weder Gutschriften für Kohlenstoffspeicherung noch eine Belastung der Emissionen bei der stofflichen Verwertung (z.B. Verbrennung in Biomasse-Kraftwerk). Fachlich diskutiert wird jedoch eine Quantifizierung der verzögerten Klimawirkung: Innerhalb eines begrenzten Zeitrahmens (<100 Jahre) lässt sich bei genügend langer Speicherdauer (hier ~60 Jahre) eine Minderung des CO₂-Fussabdrucks errechnen – ein nützlicher Zeitgewinn auf dem Weg zur Klimaneutralität. Insbesondere bei schnell nachwachsenden Pflanzenbaustoffen ist der Effekt ausgeprägt. (Werden sie zur Wärmedämmung verwendet, bringen sie noch den Zusatznutzen niedriger Betriebsemissionen. Bei biogenen Dämmstoffen gilt also: Je dicker, desto besser!)

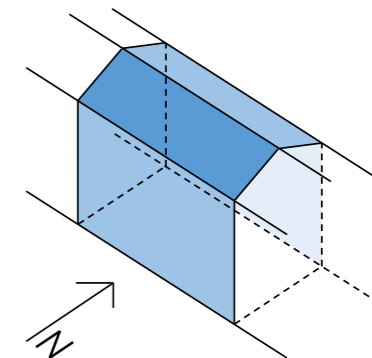
Beispiel 33 kg Strohdämmung: Aus der Summe von grauen Emissionen (5 kg CO₂-eq) plus CO₂-Senkenwirkung (-24 kg CO₂-eq) resultieren netto Negativemissionen von -19 kg CO₂-eq. (Anmerkung: Die Daten stammen aus der Studie «Material Diets for Climate-Neutral Construction» von Olga Beatrice Carcassi, Guillaume Habert et al. (2022). Sie sind nicht ohne Weiteres mit den KBOB/SIA-Daten kompatibel.)

Beispiel Lebenszyklusbetrachtung: Photovoltaik und Solarthermie am Gebäude

Gegeben sei ein Mehrfamilienhaus, beheizt mit Erdsonden-Wärmepumpe. Strombedarf für Wärme und Wohnnutzung 24'000 kWh/Jahr. Für eine mögliche Nutzung von Solarenergie stehen zur Verfügung: je 100 m² Dachfläche nach Norden und Süden, 37° geneigt je 50 m² Fassadenfläche nach Norden und Süden

Abschätzung:

- mögliche Erträge Strom aus Photovoltaik
- Deckungsgrad des Strombedarfs
- Ökobilanz PV-Strom im Vergleich zum Netzstrom ... «Ist eine PV-Anlage hier sinnvoll?»
- Ökobilanz Solarthermie im Vergleich zur Wärmepumpe, betrieben mit PV-Strom ... «Ist Solarthermie hier sinnvoll?»



Beispiel PV und Solarthermie am Gebäude
Photovoltaik, Erträge (S. 54–55, Ausschnitt)

Erträge absolut in kWh/(m²×a)		kWh/(m²×a) je Ausrichtung (Degradation eingerechnet)								
Zelltyp	Platzierung	hori-zontal	0° Süd	45° West	90° West	135° Nord	180° Nord	-135° Ost	-90° Ost	-45°
		Silizium, monokristallin	Flachdach	186	-	-	-	-	-	-
Schrägdach	-		219	208	175	133	113	131	171	204
Fassade	-		154	145	109	63	39	62	105	140

Ertrag Dachfläche nach Süden: $100 \text{ m}^2 \times 219 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{a}) = 21'900 \text{ kWh}/\text{a}$
 Ertrag Dachfläche nach Norden: $100 \text{ m}^2 \times 113 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{a}) = 11'300 \text{ kWh}/\text{a}$
 Ertrag Fassadenfläche nach Süden: $50 \text{ m}^2 \times 154 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{a}) = 7'700 \text{ kWh}/\text{a}$
 Ertrag Fassadenfläche nach Norden: $50 \text{ m}^2 \times 39 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{a}) = 1'950 \text{ kWh}/\text{a}$
Ertrag gesamt: 42'850 kWh/a
Deckungsgrad: Ertrag 42'850 kWh/a ÷ Bedarf 24'000 kWh/a = 179 %

Wenn im Beispiel alle verfügbaren Flächen genutzt werden, produziert die Photovoltaik-Anlage deutlich mehr Energie, als das Gebäude im Jahr verbraucht (Verschattung nicht berücksichtigt). Der Grossteil des Stromertrags fällt im Sommer an, so dass in den Wintermonaten zusätzlich noch Netzstrom gebraucht wird.

Beispiel PV und Solarthermie am Gebäude
Vergleich: Photovoltaik vs. CH-Netzstrom (S. 56, Ausschnitt)

Umweltkennwerte für selbst produzierten Strom aus PV (schlechter / gleich / besser als Benchmark)		Primärenergie nicht erneuerbar kWh Öl-eq/kWh je Ausrichtung									Treibhausgasemissionen g CO ₂ -eq/kWh je Ausrichtung								
Zelltyp	Platzierung	hori-zontal	0° Süd	45° West	90° West	135° Nord	180° Nord	-135° Ost	-90° Ost	-45°	hori-zontal	0° Süd	45° West	90° West	135° Nord	180° Nord	-135° Ost	-90° Ost	-45°
		Silizium, monokristallin	Flachdach	0.18	-	-	-	-	-	-	-	-	51	-	-	-	-	-	-
Schrägdach	-		0.14	0.15	0.17	0.23	0.27	0.23	0.18	0.15	-	38	40	48	63	75	64	49	41
Fassade	-		0.24	0.26	0.34	0.59	0.97	0.60	0.35	0.27	-	66	70	94	162	265	166	97	73
«Benchmark» (Vergleichsgrösse) 1 kWh Endenergie Strom aus CH-Verbrauchermix		2.08									125								

Die Umweltkennwerte des PV-Stroms ergeben sich, indem die Primärenergie und die Treibhausgasemissionen zur Herstellung der Anlage (S. 53) auf die produzierten kWh umgelegt werden. Der PV-Strom im Beispiel hat nur an der Nordfassade schlechtere Kennwerte als der Schweizer Netzstrom. Lässt man diesen Anlagenteil weg, beträgt der Deckungsgrad immer noch 170 %.

Hinweis: Der hohe Anteil an Wasser- und Atomkraft in der Schweizer Stromproduktion führt zu einem im internationalen Vergleich niedrigen Ausstoss an Treibhausgasen. Da es nahe liegt, zuerst fossil erzeugten (Import-)Strom durch PV-Strom zu ersetzen, sind auch PV-Flächen mit ungünstigerer (Nord-) Ausrichtung vertretbar.

Beispiel PV und Solarthermie am Gebäude
Vergleich: Solarthermie vs. Wärmepumpe + PV (S. 63, Ausschnitt)

Umweltkennwerte für Nutzwärme aus Solarthermie (schlechter / gleich / besser als Benchmark)		Primärenergie nicht erneuerbar kWh Öl-eq/kWh Nutzwärme je Ausrichtung									Treibhausgasemissionen g CO ₂ -eq/kWh Nutzwärme je Ausrichtung								
Kollektortyp und Anwendung	Platzierung	hori-zontal	0° Süd	45° West	90° West	135° Nord	180° Nord	-135° Ost	-90° Ost	-45°	hori-zontal	0° Süd	45° West	90° West	135° Nord	180° Nord	-135° Ost	-90° Ost	-45°
		Flachkollektor für Warmwasser MFH	Flachdach	0.07	-	-	-	-	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-
Schrägdach	-		0.04	0.05	0.06	0.10	0.13	0.10	0.07	0.05	-	11	11	16	25	33	26	17	12
Fassade	-		0.07	0.07	0.10	0.15	0.20	0.16	0.12	0.08	-	17	18	26	37	50	41	29	20
«Benchmark» (Vergleichsgrösse) Warmwasser / Raumheizung und WW Wärmepumpe an PV-Strom		variabel									variabel								

Analog werden die Umweltkennwerte der Solarthermie durch Umlegen des Erstellungsaufwands der Anlage (S. 59) auf die produzierten kWh ermittelt.

Diese lassen sich mit den Kennwerten einer Anlagenkombination aus Photovoltaik und Wärmepumpe vergleichen. Im Beispiel würden sich alle betrachteten Flächen für die Produktion von Warmwasser aus Solarthermie eignen, am besten das Süd-Dach.

Die Wärmepumpe arbeitet bei Warmwasser mit einer Jahresarbeitszahl (JAZ) von ca. 2.0. Berechnungsbeispiel Schrägdach Süd, Kennwert Nutzwärme Warmwasser (ca.):
 Treibhausgasemissionen PV-Strom 38 g CO₂-eq/kWh ÷ JAZ 2.0 = 19 g CO₂-eq/kWh.
 Der Kennwert der Solarthermieanlage von 11 g CO₂-eq/kWh ist also im Vergleich besser.

Tools, Links, etc.

Am Ende des Hefts finden sich Links zu weiteren **Planungstools**, die je nach Projekterfordernis herangezogen werden können (S. 77–81).

Weder die Liste der Tools noch die Datentabellen im «Vademecum» sind abschliessend.

Sie sollen eine Basis bilden, sich das Thema **Ökobilanzierung selbst weiter anzueignen und im Planungsprozess von Beginn mitzudenken.**



DATENSAMMLUNG BAUSTOFFE UND BAUTEILE

Vergleichsgrössen

Energie und Gase sind in ihren Dimensionen buchstäblich schlecht greifbar. Die folgende Zusammenstellung soll eine Vorstellung von den relevanten Grössenordnungen vermitteln. (Ohne Anspruch auf Vollständigkeit, bzw. mit der Anregung, die Liste mit eigenen Vergleichsgrössen zu ergänzen!)

Jährliche Treibhausgasemissionen, gesamt		CO ₂ -eq/a
Bezugsrahmen		
weltweit (2018)		48.9 Mrd. t
weltweit, pro Kopf (2018, 7.59 Mrd. Menschen)		6.4 t
Schweiz, Inland (2018)		46.4 Mio. t
Schweiz, Inland pro Kopf (2018, 8.48 Mio. Menschen)		5.5 t
Schweiz pro Kopf inkl. im Ausland anfallende THG		ca. 11.5-14 t
Schweiz, Anteil Gebäudesektor (2018, 24%)		11.1 Mio. t

Daten: <https://www.climatewatchdata.org/> (Zugriff 03-2022), <https://www.bafu.admin.ch/> (Zugriff 04-2021)

Energieverbrauch in Gebäuden, Schweiz (2.3 Mio.*)

Verwendungszweck	Endenergie		Anteil
	Mrd. kWh/a	%	
Raumwärme	62.0	30.1	
Warmwasser	12.7	6.1	
Lüftung, Klima, HT	5.8	2.8	
Beleuchtung	5.2	2.5	
Gebäude gesamt	85.6	41.6	
Schweiz, Inland, Verbrauch gesamt	206.0	100.0	

* davon 1.8 Mio. Gebäude mit Wohnnutzung

Daten: Stand 2019, Bundesamt für Energie BFE / Prognos TEP 2020 / Bundesamt für Statistik BFE 2020

Stromverbrauch Haushalte, Schweiz (3.7 Mio.)

Durchschnittl. Verbrauch (inkl. «Ausreisern»)	ca. 5'000 kWh/a
Typischer Verbrauch 2-Personenhaushalt MFH	2'190 kWh/a (± 1 Person: 460 kWh)
Typischer Verbrauch 4-Personenhaushalt EFH	4'050 kWh/a (± 1 Person: 590 kWh)

Ohne Wärmepumpen, E-Autos. Daten: <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/10559>

Umweltkennwerte		
Energieträger (Energieverbrauch)	Primärenergie n. erneuerbar	Treibhausgasemissionen
	kWh oil-eq	kg CO ₂ -eq
1 kWh Erdgas ≙ ca. 0,1 m ³	1.05	0.230
1 kWh Erdöl ≙ ca. 0,1 Liter	1.25	0.324
1 kWh Strom CH-Verbrauchermix	2.08	0.125
1 kWh Photovoltaik-Strom *	0.14	0.038
Mobilität (pkm = Personenkilometer)		
10.000 pkm Flugreise **	5'330	2'830
10.000 pkm Autofahren, Benzin	8'700	2'120
10.000 pkm Autofahren, Strom CH-Mix	6'400	928
10.000 pkm Autofahren, Strom erneuerbar	3'850	791
10.000 pkm Reisebus	2'500	612
10.000 pkm Tram	3'950	432
10.000 pkm Regionalzug	598	91
10.000 pkm Fernzug	441	74
Transporte (tkm = Tonnenkilometer)		
100 tkm Gütertransport Hochseeschiff	2.9	0.74
100 tkm Gütertransport Zug	5.4	1.23
100 tkm Gütertransport Lastwagen, Durchschn.	60.4	14.4

Hinweis: Der hohe Anteil an Wasser- und Atomkraft in der Schweizer Stromproduktion führt zu einem vergleichsweise niedrigen Ausstoss an Treibhausgasen; Bsp. Deutschland ca. 0.4 kg CO₂-eq pro kWh Strom.

* Silizium monokristallin, Wirkungsgrad 20%, opt. Ausrichtung zur Sonne (eigene Berechnung)

** inkl. Klimaeffekte durch Kondensstreifen, Ozonbildung

*** CH-Verbrauchermix

Daten: KBOB Ökobilanzdaten 2009/1:2022

Anforderungen nach SIA 2040:2017 Effizienzpfad Energie (Auszüge)

Basierend auf den Zielsetzungen der «2000-Watt-Gesellschaft» definiert das Merkblatt SIA 2040 Richt- und Zielwerte für verschiedene Gebäudetypen im Neu- und Umbau. Als SIA-Effizienzpfad-kompatibel gelten Bauten, die die Zielwerte und die Zusatzanforderungen einhalten; von den einzelnen Richtwerten kann abgewichen werden.

Bezugsgrösse ist die Energiebezugsfläche (EBF). Hinweis: Das Merkblatt ist zur Zeit in Überarbeitung und wird voraussichtlich mit strengeren Zielwerten neu herausgegeben.

Richtwerte, Zielwerte, Zusatzanforderungen pro m ² EBF u. Jahr	Primärenergie n. erneuerbar	Treibhausgasemissionen
	kWh oil-eq Neu-/ Umbau	kg CO ₂ -eq Neu-/ Umbau
Wohnen (60 m² EBF / Person)		
Richtwert Erstellung	30 / 20	9 / 5
Richtwert Betrieb	60 / 70	3 / 5
Richtwert Mobilität	30 / 30	4 / 4
Zielwert (= Erstellung + Betrieb + Mobilität)	120 / 120	16 / 14
Zusatzanforderung (= Erstellung + Betrieb)	90 / 90	12 / 10
Wohnen mit Belegungsvorschriften (45 m² EBF / Person)		
Richtwert Erstellung	30 / 20	9 / 5
Richtwert Betrieb	90 / 100	6 / 8
Richtwert Mobilität	40 / 40	6 / 6
Zielwert (= Erstellung + Betrieb + Mobilität)	160 / 160	21 / 19
Zusatzanforderung (= Erstellung + Betrieb)	120 / 120	15 / 13
Verwaltung		
Richtwert Erstellung	40 / 20	9 / 6
Richtwert Betrieb	80 / 100	4 / 6
Richtwert Mobilität	40 / 40	7 / 7
Zielwert (= Erstellung + Betrieb + Mobilität)	160 / 160	20 / 19
Zusatzanforderung (= Erstellung + Betrieb)	120 / 120	13 / 12

Richtwerte, Zielwerte, Zusatzanforderungen pro m ² EBF u. Jahr	Primärenergie n. erneuerbar	Treibhausgasemissionen
	kWh oil-eq Neu-/ Umbau	kg CO ₂ -eq Neu-/ Umbau
Schule		
Richtwert Erstellung	30 / 20	9 / 6
Richtwert Betrieb	50 / 60	2 / 4
Richtwert Mobilität	20 / 20	3 / 3
Zielwert (= Erstellung + Betrieb + Mobilität)	100 / 100	14 / 13
Zusatzanforderung (= Erstellung + Betrieb)	80 / 80	11 / 10
Fachgeschäft		
Richtwert Erstellung	40 / 20	9 / 6
Richtwert Betrieb	130 / 150	6 / 7
Richtwert Mobilität	30 / 30	6 / 6
Zielwert (= Erstellung + Betrieb + Mobilität)	200 / 200	21 / 19
Zusatzanforderung (= Erstellung + Betrieb)	170 / 170	15 / 13
Restaurant		
Richtwert Erstellung	40 / 20	9 / 5
Richtwert Betrieb	200 / 220	10 / 12
Richtwert Mobilität	140 / 140	24 / 24
Zielwert (= Erstellung + Betrieb + Mobilität)	380 / 380	43 / 41
Zusatzanforderung (= Erstellung + Betrieb)	240 / 240	19 / 17

EBF = Energiebezugsfläche, d.h. beheizte und/oder gekühlte Geschossfläche innerhalb der thermischen Gebäudehülle. Ermittlung der Kennwerte: Erstellung nach SIA 2032, Betrieb nach SIA 380 (u.a.), Mobilität nach SIA 2039. Für die Phasen Vorstudien/Vorprojekt ist beim SIA auf www.energytools.ch eine Rechenhilfe SIA 2040 (Excel-Tool) zu beziehen.

Ökobilanzdaten ausgewählter Baustoffe, anwendungsbezogen

«Graue Energie», d.h. nicht erneuerbare Primärenergie, sowie «graue» Treibhausgasemissionen für Herstellung und Entsorgung lassen sich den KBOB-Tabellen «Ökobilanzdaten im Baubereich» entnehmen. Diese bilden auch die Grundlage für die meisten der unten aufgeführten Daten.

Für die Anwendung in Planung und Entwurf sind die KBOB-Daten jedoch nicht unmittelbar anschaulich, weil sie zumeist pro kg angegeben sind. Nachfolgend wird für eine Auswahl gängiger Baustoffe eine Umrechnung in 1 m^2 Bauteilfläche angegeben, basierend auf einer typischen Schichtdicke.

Einige nicht in der KBOB-Liste enthaltene Materialien wurden anhand Produktdeklarationen (EPDs) ergänzt.

Tragschicht, 1 m^2						
Baustoff /-teil	λ -Wert	Rohdichte	Typ. Dicke	Gewicht	Primärenergie n. erneuerbar	Treibhausgasemissionen
	W/(m×K)	kg/m ³	cm	kg/m ²	kWh oil-eq	kg CO ₂ -eq
Stahlbetonwand <i>Hochbaubeton (ohne Bewehrung) *</i> <i>Armierungsstahl, 90 kg pro m³ (ca. 1 % Vol.)</i>	2.20	2'360	20	473	169	73
		2'300		455	80	46
Backstein (Swissmodul)	0.30	1'000	20	200	158	53
Dämmbackstein (Porotherm T7)	0.07	575	49	282	258	80
Kalksandstein	0.70	1'400	20	280	109	45
Porenbeton (Ytong ThermStrong)	0.10	500	20	100	86	43
Porenbeton (Ytong ThermUltra)	0.07	300	48	144	124	61
Kalkstein natur	1.40	2'500	20	500	170	37
Massivholz-Wand (Brettschichtholz)	0.13	439	20	88	135	30
Massivholz-Wand Fichte (ohne Leim)	0.13	465	20	93	72	16

* Beton-Durchschnittswerte aus Ökobilanzdaten im Baubereich KBOB / ecobau / IPB 2009/1:2022. Spezifische Werte lassen sich mit dem Betonsortenrechner ermitteln: https://treeze.ch/fileadmin/user_upload/calculators/Betonsortenrechner_Planer_DE/Betonsortenrechner_Planer.htm

Beispiel 1 m^2 Stahlbetonwand mit Portlandzement (CEM I): 77 kg CO₂-eq (inkl. Armierung)

Beispiel 1 m^2 Stahlbetonwand mit Hochofenzement (CEM III/B): 52 kg CO₂-eq (inkl. Armierung)

Annahme Mauerwerk: Planblöcke, Mörtelanteil wird vernachlässigt.

Dämmschicht, 1 m^2

Baustoff /-teil	λ -Wert	Rohdichte	Typ. Dicke	Gewicht	Primärenergie n. erneuerbar	Treibhausgasemissionen
	W/(m×K)	kg/m ³	cm	kg/m ²	kWh oil-eq	kg CO ₂ -eq
Steinwolle (Flumroc, Kompaktfassade)	0.035	93	20	18.6	73	20
Glaswolle (Isover, hinterlüftet/Gefach)	0.035	30	20	6.0	31	6
Schaumglas	0.040	115	20	23.0	119	27
Mineraldämmplatte (Multopor)	0.045	115	20	23.0	71	21
Mineraldämmplatte (Calciumsilikat)	0.060	185	8	14.8	375	117
EPS Polystyrol expandiert	0.035	30	20	6.0	180	46
XPS Polystyrol extrudiert	0.035	35	20	7.0	206	101
Polyurethan (PUR/PIR)	0.026	30	20	6.0	181	45
VIP Vakuumisolation (ZZ Vacucomp/Vacuspeed)	0.007	175	4	7.0	338	67
Zellulose (Schüttung)	0.040	50	20	10.0	11	3
Holzfaserdämmplatte (hinterlüftet/Gefach)	0.040	115	20	23.0	79	17
Hanf-Kalk-Ziegel (Schönthaler)	0.070	300	20	60.0	115	22
Stroh (BauStroh)	0.049	115	35	40.3	9	4

Der λ -(Lambda-)Wert [W/(m×K)] bezeichnet die Wärmeleitfähigkeit eines Stoffs. Je niedriger der Wert, desto geringer die Wärmeleitfähigkeit.

Aus dem λ -Wert und der Schichtdicke d wird der Wärmedurchlasswiderstand R ermittelt: $R = d/\lambda$ [(m²×K)/W].

Beispiel 20 cm Dämmung: $R = 0.2 / 0.035 = 5.71 \text{ (m}^2 \times \text{K)}/\text{W}$.

Aus den Wärmedurchlasswiderständen der Bauteilschichten sowie den Wärmeübergangswiderständen R_{si} , R_{se} an den inneren und äusseren Oberflächen

wird der U-Wert einer Konstruktion berechnet, der Wärmedurchgangskoeffizient: $U = 1 / (R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_{se})$ [(m²×K)].

Je niedriger der U-Wert, desto geringer die Wärmeverluste.

Beispiel Aussenwand 20 cm Backstein und Dämmung (vereinfacht ohne Putz): $U = 1 / (0.13 + 0.57 + 5.71 + 0.04) = 0.16 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$

Schutzschicht, 1 m²						
Baustoff /-teil	λ-Wert	Rohdichte	Typ. Dicke	Gewicht	Primärenergie n. erneuerbar	Treibhausgas-emissionen
Klinkerschale						
Sichtbackstein Klinker (80 %)	1.0	2'000	11.5	221.7	259	89
Mörtel (20 %)	1.0	1'550		184.0	206	71
Maueranker Chromstahl		7'900		35.7	23	9
				2.0	29	8
Keramikplatten						
Keramik-/Steinzeugplatte			1.5	31.8	100	22
Baukleber/Einbettmörtel mineralisch	1.2	2'600	0.9	23.4	87	19
	1.0	1'400	0.6	8.4	13	3
Aussenputz						
Anstrich			1.2	17.6	34	9
				0.3	4	1
Deckputz (Kalk-Zement)	1.0	1'550	0.2	3.1	2	1
Armierungsgewebe				0.2	6	2
Einbettmörtel mineralisch	1.0	1'400	1.0	14.0	21	6
Profilholz-Wandverkleidung hinterlüftet						
Lasur				14.4	34	8
				0.3	4	1
Holzschalung		465	2.8	13.0	10	2
Stahlprofile verzinkt				0.6	9	3
Chromstahl (Rogger Dübel, 3.5 Stk./m ²)				0.4	6	2
Polyamid glasfaserverstärkt (Rogger Dübel)				0.1	4	1
Stahlblech blank						
	50	7'850	0.1	7.9	61	22
Stahlblech verzinkt						
	50	7'850	0.1	7.9	122	35
Chromstahlblech						
	15	7'900	0.1	7.9	115	33
Aluminiumblech blank						
	160	2'690	0.1	2.7	67	15
Aluminium pulverbeschichtet						
	160	2'690	0.1	2.7	83	19
Bronze/Messingblech						
	65	8'300	0.1	9.1	101	25

Glas / Fenster, 1 m²

Baustoff /-teil	λ-Wert	Rohdichte	Typ. Dicke	Gewicht	Primärenergie n. erneuerbar	Treibhausgas-emissionen
Flachglas unbeschichtet						
	0.760	2'500	0.8	20.0	82	23
Flachglas beschichtet						
	0.760	2'500	0.8	20.0	93	24
Isolierverglasung 2-fach, U_g-Wert 1.1						
			2.4		167	44
Isolierverglasung 3-fach, U_g-Wert 0.5						
			3.6		320	78
Fenster: Rahmen, Verglasung, Sonnenschutz						
Fensterrahmen Holz-Metall					753	180
Isolierverglasung 3-fach, U _g -Wert 0.6 (Glasfläche = 0.8 m ²)			8.2		300	66
Lamellenstoren, motorisiert			4.0		204	54
					249	60

Photovoltaik und Solarthermie

Daten zu Photovoltaik und Solarthermie aus gesonderten Tabellen entnehmen.

Je nach Ausführung können PV-Module oder Kollektoren die Funktion als Schutzschicht erfüllen.

Berechnung / Anleitung zur Erweiterung der Tabelle

Spalten Rohdichte [kg/m³] und λ-Wert [Wärmeleitfähigkeit; W/(m×K)]: Werte aus Datenquellen entnehmen.

Spalte Typische Dicke [cm]: Wählen nach Projekterfordernis. Verfügbare Dimensionen gem. Hersteller beachten.

Spalte Gewicht [kg/m²]: Rohdichte × typische Dicke (in Metern).

Spalte Primärenergie n. erneuerbar [kWh oil-eq]: Pro-kg-Wert aus Datenquelle × Gewicht.

Spalte Treibhausgasemissionen [kg CO₂-eq]: Pro-kg-Wert aus Datenquelle × Gewicht.

Datenquellen

Materialkennwerte nach Ökobilanzdaten im Baubereich KBOB / ecobau / IPB 2009/1:2022.

Mehrteilige Schichtaufbauten in Anlehnung an SIA Merkblatt 2032 Anhang D. λ-Wert nach ubakus.de.

Werte für Multipor gemäss EPD des Herstellers, plus Entsorgung «Dämmstoff mineralisch» gemäss KBOB Ökobilanzdaten.

Werte für Calciumsilikatplatte gemäss EPD des Herstellers CalsiTherm (Zugriff 05.05.2022)

Werte für VIP: <https://www.ecobau.ch/index.cfm?Nav=27&ID=8091> (Zugriff 28.10.2021)

Werte für Baustroh (Dichte, Wärmeleitfähigkeit): <https://baustroh.de/extra/wissenswertes.html> (Zugriff 18.06.2021)



Ausstellung «Graue Energie und graue Emissionen – pro m² Baustoff»
 ETH Material Hub, Baubibliothek, Lehrstuhl Annette Gigon / Mike Guyer HS 21

Aussenbauteile, überschlägige Ökobilanzen

Die Tabelle bietet eine überschlägige Zusammenschau der Umweltkennwerte für Erstellung/Entsorgung und Betrieb anhand von Beispielen verschiedener Aussenbauteile, bezogen auf 1 Jahr der Lebensdauer und 1 m² Bauteilfläche. Sie soll Vergleiche von Bauteilvarianten ermöglichen, ohne ein Gebäude komplett modellieren zu müssen. Die Kennwerte für die Heizungsanlage (Nutzenergie näherungsweise = Wärmeverluste pro Heizperiode) sowie die Gesamtsummen werden in zwei Varianten gezeigt: **Erdgasheizung (orange)** oder **Wärmepumpe mit Erdsonden (cyan)**.

Hinweis: Dies ist keine umfassende Lebenszyklusanalyse! Unberücksichtigt bleiben Lage, Kubatur, Lüftung, solare und interne Wärmegewinne sowie Energieverluste innerhalb des Heizsystems, ebenso die Wandbekleidung innen.

Konstruktion	Schichten / Energie	Lebensdauer Jahre	Nutzenergie kWh	Primärenergie nicht erneuerbar		Treibhausgasemissionen	
				gesamt	pro Jahr	gesamt	pro Jahr
				kWh oil-eq		kg CO ₂ -eq	
Betonwand ungedämmt (U = 3.89 W/m ² K)	Stahlbeton 20 cm	60		169	2.8	73	1.2
	Heizwärme		292		340.4		74.6
	Summe				343.2		75.8
Backsteinwand ungedämmt (U = 1.18 W/m ² K)	Backstein Swissmodul 20 cm	60		158	2.6	53	0.9
	Aussenputz	30		34	1.1	9	0.3
	Heizwärme		89		103.3		22.6
Summe					107.0		23.8
Porenbeton-Wand, ungedämmt (U = 0.46 W/m ² K)	Porenbeton 20 cm	60		86	1.4	43	0.7
	Aussenputz	30		34	1.1	9	0.3
	Heizwärme		35		40.3		8.8
Summe					42.8		9.8
Massivholzwand, unverleimt, ungedämmt (U = 0.59 W/m ² K)	Massivholz 20 cm (ohne Leim)	60		72	1.2	16	0.3
	Heizwärme		44		51.6		11.3
	Summe				52.8		11.6

Aussenwand gedämmt, 1 m ²							
Konstruktion	Schichten / Energie	Lebensdauer Jahre	Nutzenergie kWh pro Jahr	Primärenergie nicht erneuerbar kWh oil-eq		Treibhausgasemissionen kg CO ₂ -eq	
				gesamt	pro Jahr	gesamt	pro Jahr
Betonwand mit EPS-Dämmung (U = 0,10 W/m ² K)	Beton 20 cm	60		169	2.8	73	1.2
	EPS-Dämmung 35 cm	30		315	10.5	80	2.7
	Aussenputz	30		34	1.1	9	0.3
	Heizwärme		7.5	8.8	3.9	1.9	0.2
	Summe			23.2	18.4		4.4
Betonwand mit Steinwolle-Dämmung (U = 0,10 W/m ² K)	Beton 20 cm	60		169	2.8	73	1.2
	Steinwolle 35 cm	30		129	4.3	35	1.2
	Aussenputz	30		34	1.1	9	0.3
	Heizwärme		7.5	8.8	3.9	1.9	0.2
	Summe			17.0	12.2		4.6
Backsteinwand mit Steinwolle-Dämmung (U = 0,10 W/m ² K)	Backstein Swissmodul 20 cm	60		158	2.6	53	0.9
	Steinwolle 33 cm	30		121	4.0	33	1.1
	Aussenputz	30		34	1.1	9	0.3
	Heizwärme		7.5	8.8	3.9	1.9	0.2
	Summe			16.6	11.7		4.2

Aussenwand gedämmt, 1 m ² Fortsetzung							
Konstruktion	Schichten / Energie	Lebensdauer Jahre	Nutzenergie kWh pro Jahr	Primärenergie nicht erneuerbar kWh oil-eq		Treibhausgasemissionen kg CO ₂ -eq	
				gesamt	pro Jahr	gesamt	pro Jahr
Porenbeton-Wand, Multipor-Aussendämmung (U = 0,10 W/m ² K)	Porenbeton 36.5 cm	60		157	2.6	78	1.3
	Multipor 28 cm	30		100	3.3	29	1.0
	Aussenputz	30		34	1.1	9	0.3
	Heizwärme		7.5	8.8	3.9	1.9	0.2
	Summe			15.8	11.0		4.5
Holzständerwand mit Zellulosedämmung (U = 0,10 W/m ² K)	Holzschalung 2.5 cm	60		17	0.3	4	0.1
	Massivholz (BSH) 40 cm × 8%	60		11	0.2	2	0.0
	Zellulose 40 cm × 92%	30		19	0.6	5	0.2
	Holzfaserdämmplatte 4 cm	30		16	0.5	3	0.1
Profilholz-Wandverkleidung	30		34	1.1	8	0.3	
Heizwärme		7.5	8.8	3.9	1.9	0.2	
	Summe			11.5	6.6		2.6
Massivholz wand mit Holzfaserdämmung (U = 0,10 W/m ² K)	Massivholz (BSH) 20 cm	60		135	2.3	30	0.5
	Holzfaserdämmplatte 2 × 16 cm	30		126	4.2	27	0.9
	Profilholz-Wandverkleidung	30		34	1.1	8	0.3
	Heizwärme		7.5	8.8	3.9	1.9	0.2
	Summe			16.3	11.5		3.6

Aussenwand mit PV-Fassade, 1 m²

Konstruktion	Schichten / Energie	Lebensdauer Jahre	Nutzenergie kWh pro Jahr	Primärenergie nicht erneuerbar kWh oil-eq		Treibhausgasemissionen kg CO ₂ -eq	
				gesamt	pro Jahr	gesamt	pro Jahr
Massivholzwand mit Glaswolle-Dämmung und PV-Fassade Südausrichtung, Silizium polykristallin (U = 0,15 W/m ² K)	Massivholz (BSH) 20 cm	30		135	4.5	30	1.0
	Glaswolle 18 cm	30		28	0.9	6	0.2
	Photovoltaikmodule, Fassade	30	11	1'020	34.0	275	9.2
	Heizwärme				13.1		2.9
	Summe				52.6	45.3	13.2
Ertrag Solarstrom							
Kalksandsteinwand mit Steinwolle-Dämmung und PV-Fassade Westausrichtung, CdTe (U = 0,15 W/m ² K)	Kalksandstein 20 cm	60		109	1.8	45	0.8
	Steinwolle 22 cm	30		81	2.7	22	0.7
	Photovoltaikmodule, Fassade	25	11	643	25.7	155	6.2
	Heizwärme				13.1		2.9
	Summe				43.4	36.1	10.6
Ertrag Solarstrom							

Durch selbst genutzten PV-Strom kann potentiell ein Energieträger mit schlechteren Umweltkennwerten ersetzt werden.

Damit verbundene Einsparungen an Primärenergie und Emissionen sind auf Bauteilebene jedoch nur bedingt aussagekräftig und werden hier nicht angeführt.

Sonstige Aussenbauteile, 1 m²

Konstruktion	Schichten / Energie	Lebensdauer Jahre	Nutzenergie kWh pro Jahr	Primärenergie nicht erneuerbar kWh oil-eq		Treibhausgasemissionen kg CO ₂ -eq	
				gesamt	pro Jahr	gesamt	pro Jahr
Fenster inkl. Rahmen u. Sonnenschutz (U _w = 0,95)	Fenster	40		753	18.8	180	4.5
	Heizwärme		71		83.1		18.2
	Summe				102.0	55.9	22.7
Natur-Kalkstein-Wand, Multipor-Innendämmung (U = 0,27 W/m ² K)	Kalkstein massiv, 20 cm	60		170	2.8	37	0.6
	Multipor 14 cm	40		50	1.2	15	0.4
	Heizwärme		20		23.6		5.2
Summe				27.7	14.6	6.2	1.6

Berechnung / Anleitung zur Erweiterung der Tabelle

Spalte Lebensdauer: Plausible Annahme treffen. Siehe auch Bauteiltabellen zu SIA 2032 Anhang D, Spalte «Amortisation»

Spalte Nutzenergie:

a) Heizwärme: Heizgradtage (siehe unten) × U-Wert × 24 h/d ÷ 1000

b) Solarstrom: Jahresertrag aus Kapitel «Datensammlung Photovoltaik und Solarthermie»

Spalten Primärenergie / Treibhausgasemissionen gesamt: siehe Tabellen «Ökobilanzdaten ausgewählter Baustoffe, anwendungsbezogen».

Spalten Primärenergie / Treibhausgasemissionen pro Jahr:

a) Bauteilschichten: Gesamtwerte ÷ Lebensdauer

b) Heizwärme: Wärmeverlust ÷ Nutzungsgrad bzw. Arbeitszahl der Heizanlage × Umweltkennwerte der Endenergieträger

Heizungsanlage, Kennwerte für die Berechnung

Typ	Bezugsgrösse / Endenergieträger	Effizienz	Primärenergie n. erneuerbar	Treibhausgasemissionen
Erdgas kondensierend (Brennwerttechnik)	1 kWh Erdgas (oberer Heizwert) ≙ ca. 0,1 m ³	Nutzungsgrad 0.9	1.05 kWh oil-eq	0.230 kg CO ₂ -eq
Wärmepumpe mit Erdsonden	1 kWh Strom CH-Verbrauchermix	Jahresarbeitszahl 4.0	2.08 kWh oil-eq	0.125 kg CO ₂ -eq

Heizgradtage, Zürich Fluntern Durchschnitt 2011–2020:

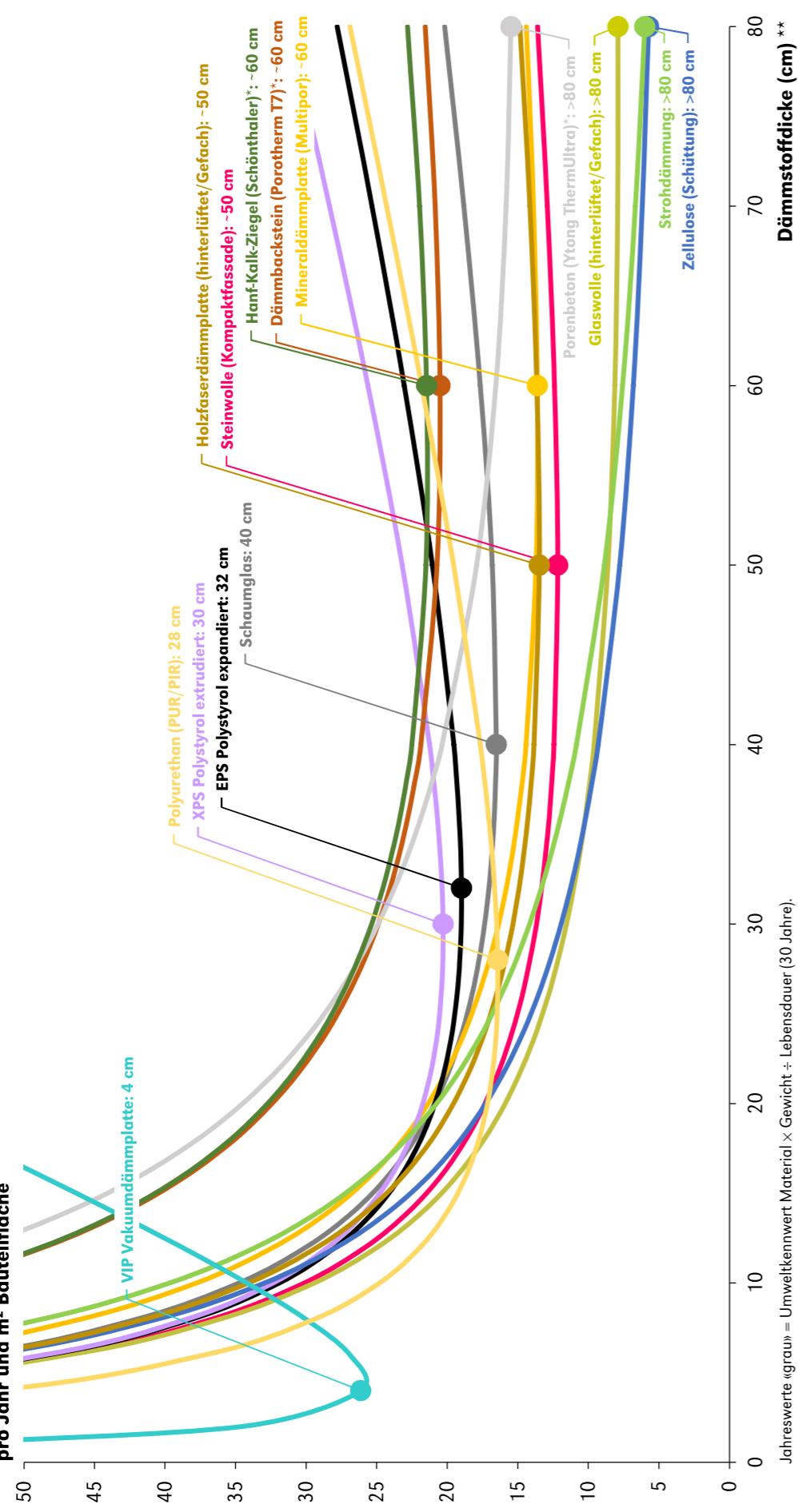
3'125 (K×d)/a

(https://www.stadt-zuerich.ch/gud/de/index/umwelt_energie/energie-in-zahlen/heizgradtage.html; Zugriff 2021-12-23)

LCA-optimierte Dämmstärken bezogen auf Primärenergieverbrauch (nicht erneuerbar)

Heizung: Erdgas

PENRT (kWh oil-eq)
 graue Energie + Heizbetrieb
 pro Jahr und m² Bauteilfläche
 Nutzungsgrad 0.9
 1.05 kWh oil-eq/kWh



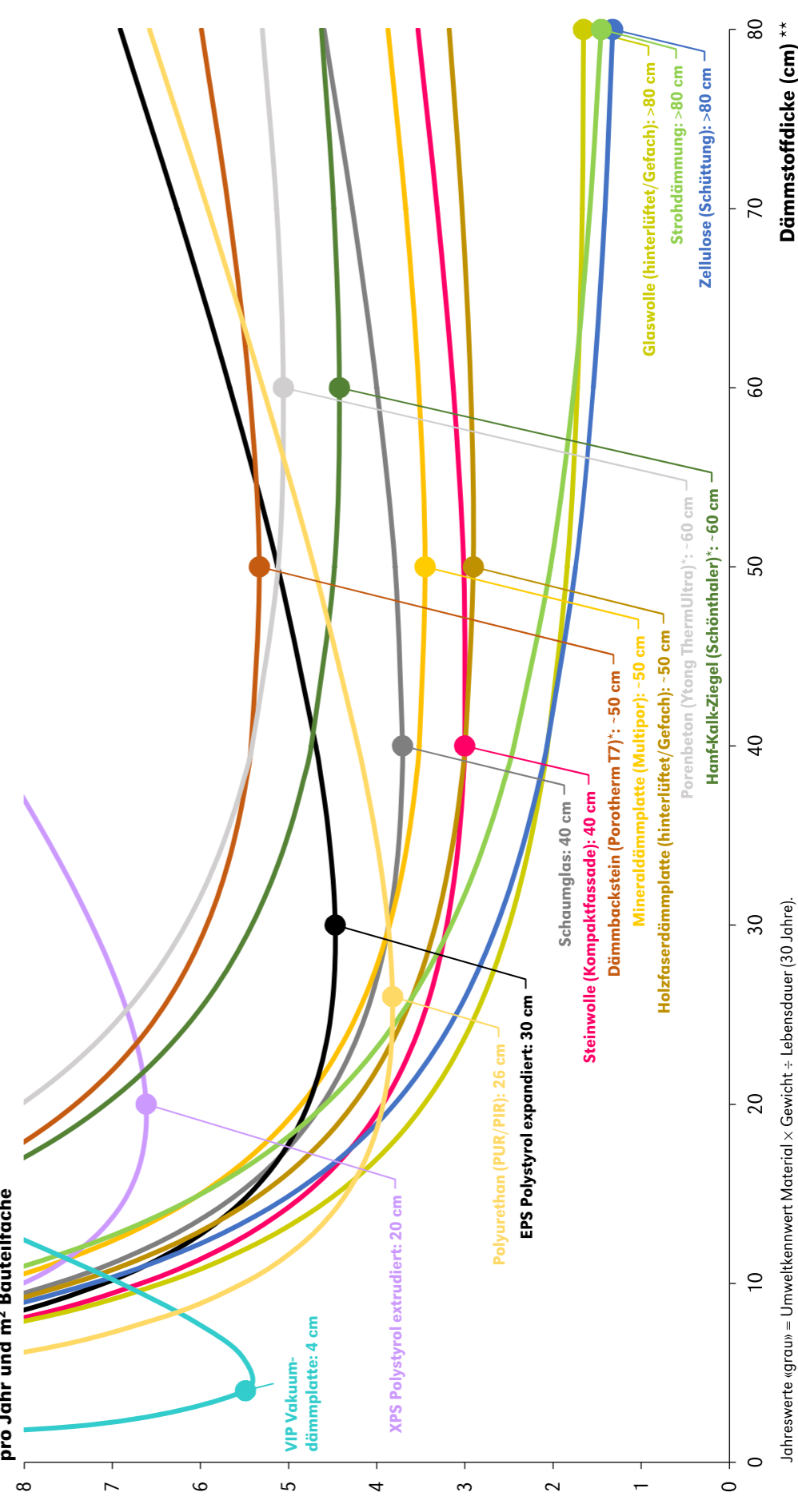
Dämmstoffdicke (cm) **

Jahreswerte «grau» = Umweltkennwert Material × Gewicht ÷ Lebensdauer (30 Jahre).
 Jahreswerte «heizen» = Wärmeverlust pro Heizperiode (Standort Zürich Fluntern) ÷ Effizienz Heizungsanlage × Umweltkennwert Energieträger.
 Umweltkennwerte Baustoffe und Energieträger nach KBOB Ökobilanzdaten 2009/1:2022 oder Hersteller-EPD.
 * Baustoff übernimmt z.T. wandbildende Funktion, daher nicht mit reinen Dämmstoffen vergleichbar.
 ** Es sind nicht alle Kombinationen von Dämmstoff und -stärke verfügbar bzw. konstruktiv/wirtschaftlich realisierbar.

LCA-optimierte Dämmstärken bezogen auf Treibhausgasemissionen

Heizung: Erdgas

THG (kg CO2-eq)
 graue Emiss. + Heizbetrieb
 pro Jahr und m² Bauteilfläche
 Nutzungsgrad 0.9
 230 g CO2-eq/kWh

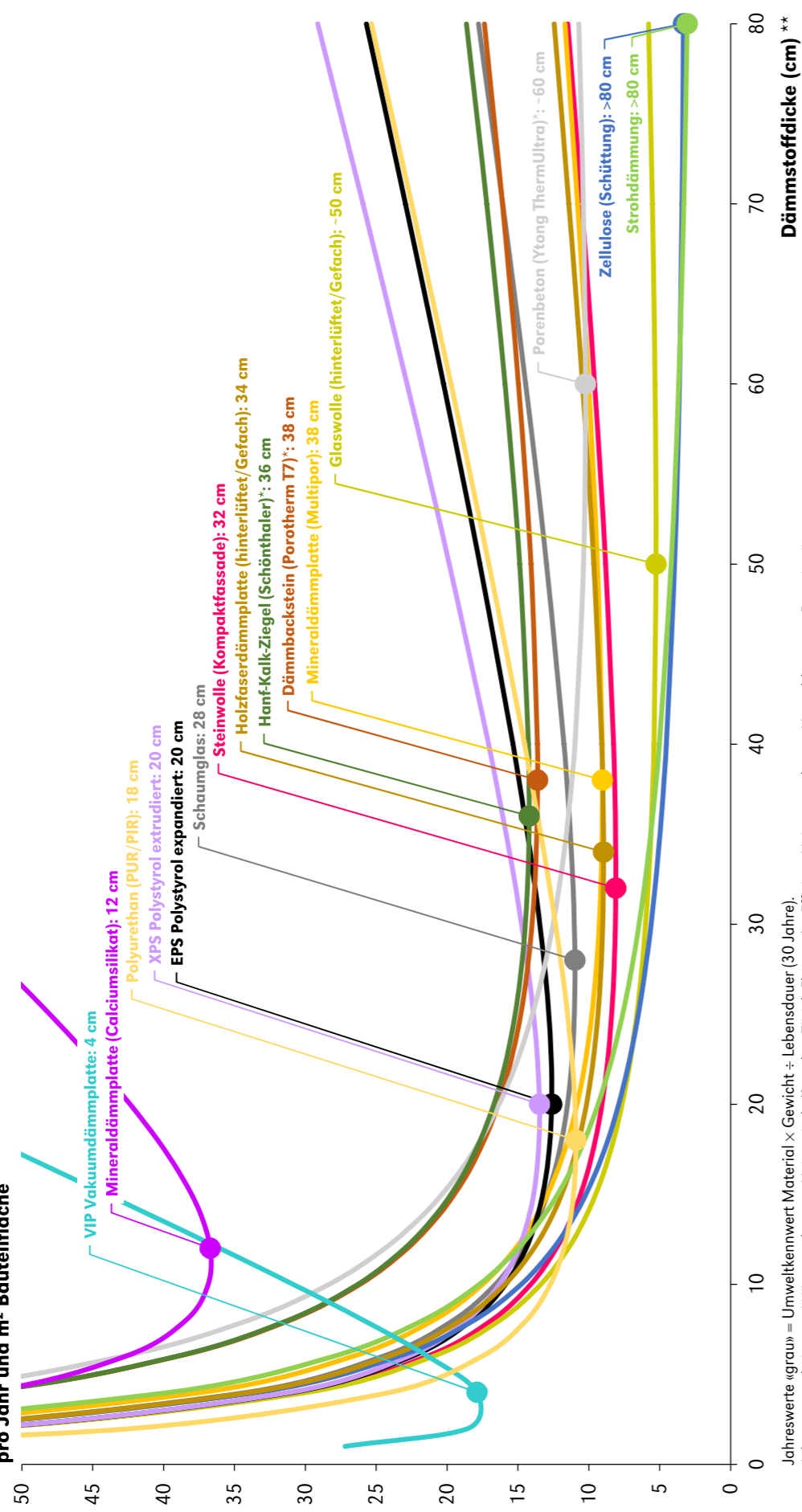


Dämmstoffdicke (cm) **

Jahreswerte «grau» = Umweltkennwert Material × Gewicht ÷ Lebensdauer (30 Jahre).
 Jahreswerte «heizen» = Wärmeverlust pro Heizperiode (Standort Zürich Fluntern) ÷ Effizienz Heizungsanlage × Umweltkennwert Energieträger.
 Umweltkennwerte Baustoffe und Energieträger nach KBOB Ökobilanzdaten 2009/1:2022 oder Hersteller-EPD.
 * Baustoff übernimmt z.T. wandbildende Funktion, daher nicht mit reinen Dämmstoffen vergleichbar.
 ** Es sind nicht alle Kombinationen von Dämmstoff und -stärke verfügbar bzw. konstruktiv/wirtschaftlich realisierbar.

LCA-optimierte Dämmstärken bezogen auf Primärenergieverbrauch (nicht erneuerbar)

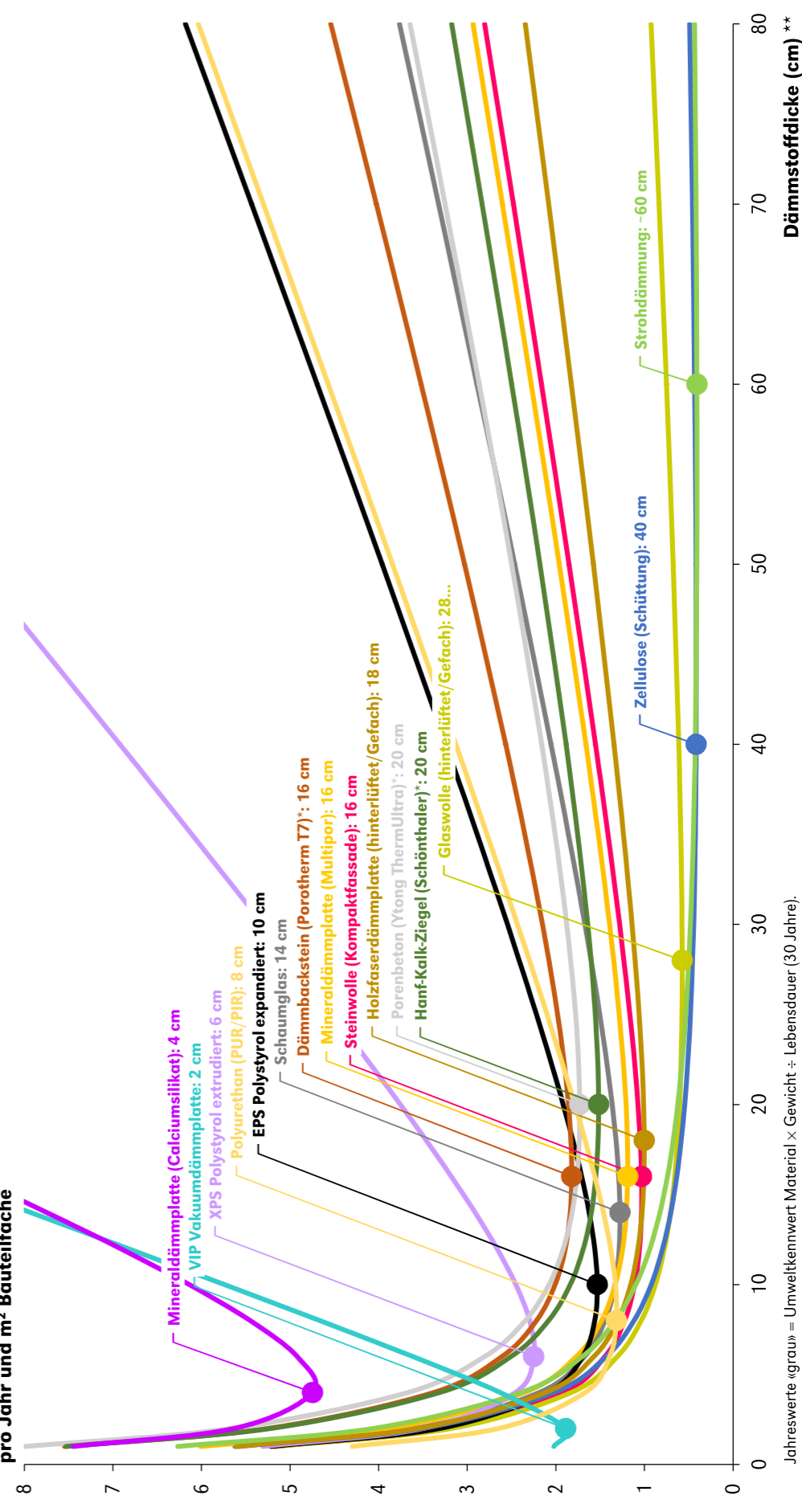
Heizung: Wärmepumpe
Arbeitszahl 4
2.08 kWh oil-eq/kWh



Jahreswerte «grau» = Umweltkennwert Material × Gewicht ÷ Lebensdauer (30 Jahre).
 Jahreswerte «heizen» = Wärmeverlust pro Heizperiode (Standort Zürich Fluntern) ÷ Effizienz Heizungsanlage × Umweltkennwert Energieträger.
 Umweltkennwerte Baustoffe und Energieträger nach KBOB Ökobilanzdaten 2009/1:2022 oder Hersteller-EPD.
 * Baustoff übernimmt z.T. wandbildende Funktion, daher nicht mit reinen Dämmstoffen vergleichbar.
 ** Es sind nicht alle Kombinationen von Dämmstoff und -stärke verfügbar bzw. konstruktiv/wirtschaftlich realisierbar.

LCA-optimierte Dämmstärken bezogen auf Treibhausgasemissionen

Heizung: Wärmepumpe
Arbeitszahl 4
125 g CO2-eq/kWh



Jahreswerte «grau» = Umweltkennwert Material × Gewicht ÷ Lebensdauer (30 Jahre).
 Jahreswerte «heizen» = Wärmeverlust pro Heizperiode (Standort Zürich Fluntern) ÷ Effizienz Heizungsanlage × Umweltkennwert Energieträger.
 Umweltkennwerte Baustoffe und Energieträger nach KBOB Ökobilanzdaten 2009/1:2022 oder Hersteller-EPD.
 * Baustoff übernimmt z.T. wandbildende Funktion, daher nicht mit reinen Dämmstoffen vergleichbar.
 ** Es sind nicht alle Kombinationen von Dämmstoff und -stärke verfügbar bzw. konstruktiv/wirtschaftlich realisierbar.

Übersicht Wärmedämmstandards

Als minimaler Dämmstandard für Neu- und Umbau gelten die Grenzwerte nach SIA 380/1 (entspricht Standard Minergie bzw. MuKE n 2014). Verbesserte Dämmstandards sind 70% des Grenzwerts (entspricht Minergie-P) oder der Zielwert nach SIA 380/1 («Passivhaus»). Nachfolgend sind die Werte für Einzelbauteile aufgelistet. (Per Systemnachweis können im konkreten Einzelfall geringere Dämmstärken bestimmt werden.)
Hinweise: Die jeweils beispielhaft aufgeführten Dämmschichten sind ca.-Werte; sonstige Bauteilschichten und Wärmebrücken (Anker, Lattung etc.) sind nicht berücksichtigt. Innendämmung von Aussenwänden ist nicht mit allen Dämmstoffen möglich, ebenso Dämmung von erdberührten Bauteilen. Manche Dämmstoffe sind nur in bestimmten Stärken verfügbar.

Grenzwerte U_{ij} nach SIA 380/1 – entspricht Standard Minergie					
Bauteile	gegen Aussenklima oder weniger als 2 m im Erdreich		gegen unbeheizte Räume oder mehr als 2 m im Erdreich		Material Beispiele
	W/(m ² ·K)	Dämmschicht	W/(m ² ·K)	Dämmschicht	
opak, neu (Dach, Decke, Wand, Boden)	0.17	4 cm mit $\lambda = 0.007$	0.25	3 cm mit $\lambda = 0.007$	Vakuumdämmung PUR/PIR Mineralwolle, EPS, XPS, ... Schaumglas, Zellulose, Holzfaser, ... Multipor, ... Stroh, Kork, ... Dämmbackstein, Porenbeton, ...
		15 cm mit $\lambda = 0.025$		10 cm mit $\lambda = 0.025$	
		20 cm mit $\lambda = 0.035$		14 cm mit $\lambda = 0.035$	
		23 cm mit $\lambda = 0.040$		16 cm mit $\lambda = 0.040$	
		26 cm mit $\lambda = 0.045$		18 cm mit $\lambda = 0.045$	
		29 cm mit $\lambda = 0.050$		20 cm mit $\lambda = 0.050$	
		40 cm mit $\lambda = 0.070$		27 cm mit $\lambda = 0.070$	
opak, Umbau (Dach, Decke, Wand, Boden)	0.25	3 cm mit $\lambda = 0.007$	0.28	2.5 cm mit $\lambda = 0.007$	Vakuumdämmung PUR/PIR Mineralwolle, EPS, XPS, ... Schaumglas, Zellulose, Holzfaser, ... Multipor, ... Stroh, Kork, ... Dämmbackstein, Porenbeton, ...
		10 cm mit $\lambda = 0.025$		09 cm mit $\lambda = 0.025$	
		14 cm mit $\lambda = 0.035$		12 cm mit $\lambda = 0.035$	
		16 cm mit $\lambda = 0.040$		14 cm mit $\lambda = 0.040$	
		18 cm mit $\lambda = 0.045$		16 cm mit $\lambda = 0.045$	
		20 cm mit $\lambda = 0.050$		18 cm mit $\lambda = 0.050$	
		27 cm mit $\lambda = 0.070$		24 cm mit $\lambda = 0.070$	
Fenster, Fenstertüren	1.0		1.3		
Türen	1.2		1.5		
Tore	1.7		2.0		
Storenkasten	0.50		0.50		

70 % U_{ij} (Neubau) / 90 % U_{ij} (Umbau) – entspricht Standard Minergie-P					
Bauteile	gegen Aussenklima oder weniger als 2 m im Erdreich		gegen unbeheizte Räume oder mehr als 2 m im Erdreich		Material Beispiele
	W/(m ² ·K)	Dämmschicht	W/(m ² ·K)	Dämmschicht	
opak, neu (Dach, Decke, Wand, Boden)	0.12	6 cm mit $\lambda = 0.007$	0.17	4 cm mit $\lambda = 0.007$	Vakuumdämmung PUR/PIR Mineralwolle, EPS, XPS, ... Schaumglas, Zellulose, Holzfaser, ... Multipor, ... Stroh, Kork, ... Dämmbackstein, Porenbeton, ...
		20 cm mit $\lambda = 0.025$		15 cm mit $\lambda = 0.025$	
		28 cm mit $\lambda = 0.035$		20 cm mit $\lambda = 0.035$	
		32 cm mit $\lambda = 0.040$		23 cm mit $\lambda = 0.040$	
		36 cm mit $\lambda = 0.045$		26 cm mit $\lambda = 0.045$	
		40 cm mit $\lambda = 0.050$		29 cm mit $\lambda = 0.050$	
		57 cm mit $\lambda = 0.070$		40 cm mit $\lambda = 0.070$	
opak, Umbau (Dach, Decke, Wand, Boden)	0.15	4.5 cm mit $\lambda = 0.007$	0.22	3 cm mit $\lambda = 0.007$	Vakuumdämmung PUR/PIR Mineralwolle, EPS, XPS, ... Schaumglas, Zellulose, Holzfaser, ... Multipor, ... Stroh, Kork, ... Dämmbackstein, Porenbeton, ...
		16 cm mit $\lambda = 0.025$		11 cm mit $\lambda = 0.025$	
		23 cm mit $\lambda = 0.035$		15 cm mit $\lambda = 0.035$	
		26 cm mit $\lambda = 0.040$		18 cm mit $\lambda = 0.040$	
		30 cm mit $\lambda = 0.045$		20 cm mit $\lambda = 0.045$	
		33 cm mit $\lambda = 0.050$		22 cm mit $\lambda = 0.050$	
		46 cm mit $\lambda = 0.070$		31 cm mit $\lambda = 0.070$	
Fenster, Fenstertüren	0.70 (Neubau) / 0.90 (Umbau)		0.90 (Neubau) / 1.2 (Umbau)		
Türen	0.80 (Neubau) / 1.1 (Umbau)		1.0 (Neubau) / 0.90 (Umbau)		
Tore	1.2 (Neubau) / 1.5 (Umbau)		1.4 (Neubau) / 1.8 (Umbau)		
Storenkasten	0.35 (Neubau) / 0.45 (Umbau)		0.35 (Neubau) / 0.45 (Umbau)		

Zielwerte U_{ta} nach SIA 380/1 – analog «Passivhaus»			
Bauteile	W/(m ² ·K)	Dämmschicht	Material Beispiele
opak (Dach, Decke, Wand, Boden)	0.10	7 cm mit $\lambda = 0.007$ 25 cm mit $\lambda = 0.025$ 35 cm mit $\lambda = 0.035$ 40 cm mit $\lambda = 0.040$ 45 cm mit $\lambda = 0.045$ 50 cm mit $\lambda = 0.050$ 70 cm mit $\lambda = 0.070$	Vakuumdämmung PUR/PIR Mineralwolle, EPS, XPS, ... Schaumglas, Zellulose, Holzfaser, ... Multipor, ... Stroh, Kork, ... Dämmbackstein, Porenbeton, ...
Fenster, Fenstertüren, Türen, Tore	0.80		3-fach Wärmeschutzglas

Stützen, überschlägige Ökobilanzen

Die Tabellen zeigen beispielhaft überschlägige Ökobilanzen von Hochbau-Stützen in gängigen Dimensionen. Die unter Variante 1 bzw. Variante 2 zusammengefassten Konstruktionstypen haben jeweils gleiche statische Eigenschaften (kalt bemessen). Vereinfachend wurden dieselben Umweltkennwerte für alle Profilstahlsorten angesetzt. Nicht enthalten sind Befestigung und Bekleidung/Beschichtung.

Stütze h = 3 m, Variante 1, pro Stück

Typ / Dimensionen	Komponenten / Material	Gewicht kg	Lebens- dauer Jahre	Primärenergie nicht erneuerbar kWh oil-eq		Treibhausgasemissionen kg CO ₂ -eq	
				gesamt	pro Jahr	gesamt	pro Jahr
Beton 20 x 20 cm	Beton C30/37	276.0	60	48	0.8	28	0.5
	Längsbewehrung B500B 4 x ø 20	41.5	60	207	3.5	63	1.1
	Bügel B500B	6.0	60	30	0.5	9	0.2
	Summe	323.5	-	285	4.8	100	1.7
Stahl H-Profil HEA 200	Stahl S235	129	60	436	7.3	95	1.6
	Kopf-/Fussplatte 15 mm	14.7	60	50	0.8	11	0.2
	Summe	143.7	-	486	8.1	106	1.8
	Stahl S355	109.2	60	369	6.2	81	1.3
Stahl H-Profil HEA 180	Kopf-/Fussplatte 15 mm	12.5	60	42	0.7	9	0.2
	Summe	121.7	-	411	6.9	90	1.5
	Stahl S355	82.8	60	280	4.7	61	1.0
	Kopf-/Fussplatte 15 mm	9.4	60	32	0.5	7	0.1
Stahl R-Profil RRW 120 x 120 x 8	Summe	92.2	-	312	5.2	68	1.1
Holz rund ø 32 cm	Vollholz C24 (unverleimt)	112.2	60	87	1.5	20	0.3
Holz rechteckig 20 x 36 cm	Brettschichtholz GL24h	94.8	60	146	2.4	32	0.5

Stütze h = 3 m, Variante 2, pro Stück

Typ / Dimensionen	Komponenten / Material	Gewicht kg	Lebens- dauer Jahre	Primärenergie nicht erneuerbar kWh oil-eq		Treibhausgasemissionen kg CO ₂ -eq	
				gesamt	pro Jahr	gesamt	pro Jahr
Beton 20 x 20 cm	Beton C30/37	276.0	60	48	0.8	28	0.5
	Längsbewehrung B500B 4 x ø 16	25.3	60	126	2.1	38	0.6
	Bügel B500B	6.0	60	30	0.5	9	0.2
	Summe	307.3	-	204	3.4	75	1.3
Stahl H-Profil HEA 180	Stahl S235	109.2	60	369	6.2	81	1.3
	Kopf-/Fussplatte 12 mm	10.0	60	34	0.6	7	0.1
	Summe	119.2	-	403	6.7	88	1.5
	Stahl S355	93.6	60	316	5.3	69	1.2
Stahl H-Profil HEA 160	Kopf-/Fussplatte 12 mm	8.3	60	28	0.5	6	0.1
	Summe	101.9	-	344	5.7	75	1.3
	Stahl S355	66.6	60	225	3.8	49	0.8
	Kopf-/Fussplatte 12 mm	7.5	60	25	0.4	6	0.1
Stahl R-Profil RRW 120 x 120 x 6,3	Summe	74.1	-	251	4.2	55	0.9
Holz rund ø 30 cm	Vollholz C24 (unverleimt)	98.6	60	77	1.3	17	0.3
Holz rechteckig 24 x 30 cm	Vollholz C24 (unverleimt)	100.4	60	78	1.3	17	0.3
Holz rechteckig 16 x 44 cm	Brettschichtholz GL24h	92.7	60	143	2.4	31	0.5

Berechnung / Anleitung zur Erweiterung der Tabelle

Spalte Gewicht [kg]: Bauteilvolumen × Rohdichte aus Datenquelle

Spalte Lebensdauer [a]: Plausible Annahme treffen. Siehe auch Bauteiltabellen zu SIA 2032 Anhang D, Spalte «Amortisation»

Spalten Primärenergie / Treibhausgasemissionen gesamt: Gewicht × Kennwerte aus Datenquelle

Spalten Primärenergie / Treibhausgasemissionen pro Jahr: Gesamtwerte ÷ Lebensdauer

Datenquellen

Stützdimensionen und -konstruktionen zur Verfügung gestellt von C. Aerni, Aerni + Aerni Ingenieure AG, Zürich (Juni 2021)
Umweltkennwerte nach KBOB Ökobilanzdaten (Tabellen 2009/1:2022)

Decken, überschlägige Ökobilanzen

Die Tabellen zeigen beispielhaft überschlägige Ökobilanzen verschiedener gebräuchlicher Deckenkonstruktionen nach je gleichen Anforderungen. Nicht enthalten ist die Bekleidung/Beschichtung der Unterseite.

Decke auf Stützenraster 5 × 5 m, pro m²

Typ / Dimensionen	Komponenten / Material	Gewicht kg	Lebensdauer Jahre	Primärenergie nicht erneuerbar kWh oil-eq		Treibhausgasemissionen kg CO ₂ -eq	
				gesamt	pro Jahr	gesamt	pro Jahr
Stahlbeton Flachdecke Portlandzement (CEM I) zweiachsig gespannt	22 cm Ortbeton C30/37, CEM I	474.4	60	108	1.8	58	1.0
	Armierungsstahl ca. 120 kg pro m ³	26.4	60	132	2.2	40	0.7
	4 cm Trittschalldämmung Steinwolle	3.6	60	16	0.3	4	0.1
	8 cm Unterlagsboden Zement	148.0	60	34	0.6	18	0.3
	1.5 cm Bodenbelag (Parkett)	7.9	30	40	1.3	8	0.3
	Summe (Gesamtaufbau 35.5 cm)	660.3	-	330	6.2	128	2.3
Stahlbeton Flachdecke Hochofenzement (CEM III/B) zweiachsig gespannt	22 cm Ortbeton C30/37, CEM III/B	474.4	60	102	1.7	29	0.5
	Armierungsstahl ca. 120 kg pro m ³	26.4	60	132	2.2	40	0.7
	4 cm Trittschalldämmung Steinwolle	3.6	60	16	0.3	4	0.1
	8 cm Unterlagsboden Zement	148.0	60	34	0.6	18	0.3
	1.5 cm Bodenbelag (Parkett)	7.9	30	40	1.3	8	0.3
	Summe (Gesamtaufbau 35.5 cm)	660.3	-	325	6.1	100	1.8
Brettschichtholz einachsig gespannt, inkl. Unterzüge	Anteil Unterzug 64×24 cm BSH	14.4	60	22	0.4	5	0.1
	20 cm Brettschichtholz GL24	86.0	60	132	2.2	29	0.5
	8 cm Schüttung	160.0	60	14	0.2	3	0.0
	4 cm Trittschalldämmung Steinwolle	3.6	60	16	0.3	4	0.1
	8 cm Unterlagsboden Zement	148.0	60	34	0.6	18	0.3
	1.5 cm Bodenbelag (Parkett)	7.9	30	40	1.3	8	0.3
Summe (Gesamtaufbau 41.5 cm)	419.9	-	259	5.0	67	1.2	

Decke auf Stützenraster 5 × 5 m, pro m² Fortsetzung

Typ / Dimensionen	Komponenten / Material	Gewicht kg	Lebensdauer Jahre	Primärenergie nicht erneuerbar kWh oil-eq		Treibhausgasemissionen kg CO ₂ -eq	
				gesamt	pro Jahr	gesamt	pro Jahr
HBV Holz-Beton- Verbunddecke (CEM I) einachsig gespannt, inkl. Unterzüge	Anteil Unterzug 96×24 cm BSH	21.6	60	33	0.6	7	0.1
	14 cm Brettstapel C24 (ohne Leim)	60.8	60	47	0.8	11	0.2
	12 cm Ortbeton C30/37, CEM I	259.6	60	59	1.0	32	0.5
	Armierungsstahl ca. 100 kg pro m ³	11.6	60	58	1.0	18	0.3
	4 cm Trittschalldämmung Steinwolle	3.6	60	16	0.3	4	0.1
	8 cm Unterlagsboden Zement	148.0	60	34	0.6	18	0.3
1.5 cm Bodenbelag (Parkett)	7.9	30	40	1.3	8	0.3	
Summe (Gesamtaufbau 39.5 cm)	513.1	-	288	5.5	97	1.8	
HBV Holz-Beton- Verbunddecke (CEM III/B) einachsig gespannt, inkl. Unterzüge	Anteil Unterzug 96×24 cm BSH	21.6	60	33	0.6	7	0.1
	14 cm Brettstapel C24 (ohne Leim)	60.8	60	47	0.8	11	0.2
	12 cm Ortbeton C30/37, CEM III/B	259.6	60	56	0.9	16	0.3
	Armierungsstahl ca. 100 kg pro m ³	11.6	60	58	1.0	18	0.3
	4 cm Trittschalldämmung Steinwolle	3.6	60	16	0.3	4	0.1
	8 cm Unterlagsboden Zement	148.0	60	34	0.6	18	0.3
1.5 cm Bodenbelag (Parkett)	7.9	30	40	1.3	8	0.3	
Summe (Gesamtaufbau 39.5 cm)	513.1	-	285	5.4	82	1.5	

Berechnung / Anleitung zur Erweiterung der Tabelle

Spalte Gewicht [kg]: Bauteilvolumen × Rohdichte aus Datenquelle

Spalte Lebensdauer [a]: Plausible Annahme treffen. Siehe auch Bauteiltabellen zu SIA 2032 Anhang D, Spalte «Amortisation»

Spalten Primärenergie / Treibhausgasemissionen gesamt: Gewicht × Kennwerte aus Datenquelle

Spalten Primärenergie / Treibhausgasemissionen pro Jahr: Gesamtwerte ÷ Lebensdauer

Datenquellen

Deckenkonstruktionen zur Verfügung gestellt von G. Meleshko, WaltGalmarini AG, Zürich (März 2022)

Umweltkennwerte nach KBOB Ökobilanzdaten (Tabellen 2009/1:2022) und

https://treeze.ch/fileadmin/user_upload/calculators/Betonsortenrechner_Planer_DE/Betonsortenrechner_Planer.htm (Zugriff 25.03.2022 AK)

Kohlenstoffspeicherung in Baumaterialien

Baustoffe können als Kohlenstoffspeicher betrachtet werden. Im Fall von biogenen Baustoffen wie Holz, Stroh etc. bindet das Wachstum der Pflanzen CO₂ aus der Atmosphäre. Wird das Bauteil am Ende seiner Nutzungsdauer verbrannt oder verrottet, wird das CO₂ wieder frei – die Treibhausbilanz gleicht sich also langfristig aus. Begrenzt man hingegen den Betrachtungszeitraum auf 100 Jahre, dient ein biogener Baustoff als (temporäre!) Kohlendioxidsenke, wenn er länger als die Hälfte seiner Rotationsperiode, d.h. die Zeit zum Nachwachsen, in der gebauten Umwelt gespeichert wird (Faustregel). Folglich ist der Effekt besonders ausgeprägt bei schnell nachwachsenden Pflanzenbaustoffen (Stroh, Hanf, Schilf, Bambus).

Biogene Baustoffe, Zwischenspeicherung, 1 m²

Baustoff	Rohdichte	Kohlenstoff- gehalt	Typische Dicke	Gewicht	graue Emissionen	Kohlenstoff- gehalt	≙ Kohlen- dioxid
	kg/m ³	kg C/kg	cm	kg	kg CO ₂ -eq	kg C	kg CO ₂
Hanfbeton	600	0.065	20	120	39	8	29
Massivholz Buche / Eiche, kammergetrocknet	675	0.451	20	135	21	61	223
Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, kammergetrocknet	465	0.451	20	93	16	42	154
Brettschichtholz	439	0.446	20	88	30	39	144
Holzwohle-Leichtbauplatte, zementgebunden	400	0.138	2.5	10	5	1	5
Spanplatte, PF-gebunden, Feuchtbereich	640	0.417	2.5	16	8	7	24
OSB Platte, PF-gebunden, Feuchtbereich	605	0.444	2.5	15	9	7	25
Zellulose (Schüttung)	50	0.404	20	10	3	4	15
Holzfaserdämmplatte (hinterlüftet/Gefach)	115	0.436	20	23	17	10	37
Kork-Dämmplatte	120	0.496	20	24	27	12	44
Flachfasern, feuerfest	30	0.440	20	6	9	3	10
Hanf-Kalk-Ziegel (Schönthaler)	300	0.150	20	60	22	9	33
Stroh (BauStroh)	115	0.368	35	40	4	15	54

Biogene Baustoffe bestehen zu ca. 50 % des Trockengewichts aus Kohlenstoff. Verbindet sich Kohlenstoff (C) mit Sauerstoff (O) zu CO₂, vervielfacht sich das Gewicht um den Faktor 3.67. Beispiel: 22 kg Holz bestehen zu 45 % aus Kohlenstoff, d.h. 10 kg C. Umgewandelt in Kohlenstoffdioxid entspricht das 36.7 kg CO₂. Kohlenstoffspeicherung und graue Emissionen nach KBOB Ökobilanzdaten (Tabellen 2009/1:2022).

Kohlendioxid kann auch mit Beton reagieren (Karbonatisierung) und wird dabei dauerhaft mineralisch gebunden. Mit neuen Verfahren wird versucht, diesen Prozess zu beschleunigen, indem Recyclingbetongranulat mit konzentriertem CO₂ in Kontakt gebracht wird. Die CO₂-Bilanz des so hergestellten Betons wird dadurch verbessert, allerdings liegt die Menge des gespeicherten Kohlendioxids pro m³ derzeit noch deutlich unter den grauen Treibhausgasemissionen.

Beton, permanente Speicherung, 1 m²

Betonart (exkl. Armierung)	Rohdichte	Speicher- vermögen	Typische Dicke	Gewicht	graue Emissionen	Kohlenstoff- gehalt	≙ Kohlen- dioxid
	kg/m ³	kg CO ₂ /m ³	cm	kg	kg CO ₂ -eq	kg C	kg CO ₂
Ortbeton CEM I, Recyclinggranulat karbonatisiert	2'190	10	20	438	49	0.5	2
Ortbeton CEM III/B, Recyclinggranulat karbonatisiert	2'190	10	20	438	25	0.5	2

Firmenangaben zum CO₂-Speicherungsvermögen der Technik (10 kg pro m³):

<https://de.neustark.com/produce>, <https://zirkulit.ch/co2-speicherung/co2-speicherertechnologie> (Zugriff 26.03.2022 AK)

Betonsortenrechner: https://treeze.ch/fileadmin/user_upload/calculators/Betonsortenrechner_Planer_DE/Betonsortenrechner_Planer.htm

Bei dynamischer Betrachtung innerhalb eines Zeitrahmens <100 Jahren und unter Berücksichtigung des globalen Kohlenstoffzyklus kann die biogene Kohlenstoffspeicherung in Bauteilen als CO₂-Senke quantifiziert werden. Dieser Ansatz wird derzeit fachlich debattiert; als Beispiel steht hier eine Auswahl an biogenen Baustoffen aus der Studie «Material Diets for Climate-Neutral Construction» von Olga Beatrice Carcassi, Guillaume Habert et al. (2022). Als Speicherdauer werden 60 Jahre angesetzt.

Biogene Baustoffe, CO₂-Senkenwirkung im Zeitrahmen <100 Jahre, 1 m²

Baustoff	Rohdichte	Kohlenstoff- gehalt	Typische Dicke	Gewicht	graue Emissionen	Senken- wirkung	Netto- wirkung
	kg/m ³	kg C/kg	cm	kg	kg CO ₂ -eq	kg CO ₂ -eq	kg CO ₂ -eq
Massivholz (Laubholz), Tragstruktur	640	0.491	20	128	10	-28	-18
Bambus (Glue Laminated Bamboo GLB)	636	0.518	20	127	98	-117	-19
Bambus (Cross Laminated Bamboo CLB)	636	0.518	20	127	98	-118	-20
Hanffaserdämmung	85	0.300	35	30	3	-16	-13
Schilfrohrdämmung	180	0.464	35	63	24	-54	-29
Strohdämmung	95	0.409	35	33	5	-24	-19

Quelle: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.1c05895>; Zugriff 07.05.2022. Typische Dicke: Annahme ProfessorGigon/Guyer.

Hinweis: Die Daten sind nicht ohne weiteres mit der «statischen» Lebenszyklusbetrachtung nach KBOB/SIA kompatibel.

DATENSAMMLUNG PHOTOVOLTAIK UND SOLARTHERMIE





Photovoltaik, Kennwerte

Zelltyp	Typischer Wirkungsgrad		Flächenbedarf m ² /kW _p	Lebensdauer Jahre	Platzierung	Primärenergie nicht erneuerbar		Treibhausgasemissionen	
	%	kW _p /m ²				gesamt	pro Jahr	gesamt	pro Jahr
							kWh oil-eq/m ²	kg CO ₂ -eq/m ²	
Silizium, monokristallin	20.0	0.20	5.00	30	Flachdach	1'030	34.3	287	9.6
					Schrägdach	910	30.3	252	8.4
					Fassade	1'120	37.3	307	10.2
Silizium, polykristallin	18.0	0.18	5.56	30	Flachdach	930	31.0	257	8.6
					Schrägdach	820	27.3	225	7.5
					Fassade	1'020	34.0	275	9.2
Dünnschicht CdTe	16.0	0.16	6.25	25	Flachdach	590	23.6	145	5.8
					Schrägdach	520	20.8	127	5.1
					Fassade	643	25.7	155	6.2
Dünnschicht CIS	15.0	0.15	6.67	25	Flachdach	784	31.4	185	7.4
					Schrägdach	692	27.7	162	6.5
					Fassade	856	34.2	198	7.9

Modulwirkungsgrad: Stromproduktion des PV-Moduls im Verhältnis zur Sonneneinstrahlung (unter Standardbedingungen).

Beispiel Wirkungsgrad 18 %: Bei einer Sonneneinstrahlung von 1 kW/m² liefert das Modul eine Spitzenleistung von 0.18 kW_p/m² (kW_p = Kilowatt Peak, Nennleistung).

Der Kehrwert entspricht dem Flächenbedarf: 1 ÷ 0.18 = 5.56 m²/kW_p.

Die Lebensdauer von Modulen mit Siliziumzellen wird mit 30 Jahren angenommen, bei Dünnschichtmodulen 25 Jahre.

Umweltkennwerte: Ökobilanzdaten im Baubereich KBOB / ecobau / IPB 2009/1:2022. Daten tw. interpoliert (Flachdach, Fassade) und umgerechnet auf m² Modulfläche. Beispiel Silizium polykristallin, Flachdach: Treibhausgasemissionen 1'425 kg CO₂-eq/kW_p × Modulwirkungsgrad 0.18 kW_p/m² = 257 kg CO₂-eq/m².

Mittels Lebensdauer auf jährliche Teilbeträge amortisiert: 257 kg CO₂-eq/m² ÷ 30 Jahre = 8.6 kg CO₂-eq/(m²×a).

Photovoltaik, Erträge

Der Jahresertrag, d.h. die in einem Jahr produzierte Energiemenge einer PV-Anlage, ist abhängig von geographischem Standort, Neigung und Ausrichtung. (Auch die Verschattung und allfällige Oberflächenbehandlung spielen eine wesentliche Rolle; dies bleibt hier unberücksichtigt.)

Zelltyp	Platzierung	% je Ausrichtung											
		hori- zontal	0° Süd	45°	90° West	135°	180° Nord	-135°	-90° Ost	-45°			
Silizium, monokristallin Silizium, polykristallin	Flachdach	85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Schrägdach	-	100	95	80	60	51	60	78	93			
	Fassade	-	70	66	50	29	18	28	48	64			
Dünnschicht CdTe	Flachdach	84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Schrägdach	-	100	95	79	58	48	57	77	93			
	Fassade	-	68	65	48	26	14	25	45	62			
Dünnschicht CIS	Flachdach	85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Schrägdach	-	100	95	80	61	51	60	78	93			
	Fassade	-	70	66	50	29	18	29	48	64			

Die Tabelle zeigt die Erträge verschieden orientierter PV-Anlagen relativ zur bestmöglichen Ausrichtung zur Sonne (Süden, 37° geneigt).
 Datenquelle: PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), EU Science Hub. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP,
 Zugriff 2022-04-08. Standort Zürich, ETH Hönggerberg, Dachneigung 37°, Systemverlust 10%, keine Verschattung
 Hinweis: Laut PVGIS ist die optimale Himmelsrichtung Süd +3° gegen Westen, hier nicht berücksichtigt.

Zelltyp	Platzierung	kWh/(m²×a) je Ausrichtung (Degradation eingerechnet)											
		hori- zontal	0° Süd	45°	90° West	135°	180° Nord	-135°	-90° Ost	-45°			
Silizium, monokristallin	Flachdach	186	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Schrägdach	-	219	208	175	133	113	131	171	204			
	Fassade	-	154	145	109	63	39	62	105	140			
Silizium, polykristallin	Flachdach	168	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Schrägdach	-	197	187	157	119	101	118	154	184			
	Fassade	-	139	131	98	57	35	56	95	126			
Dünnschicht CdTe	Flachdach	149	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Schrägdach	-	177	168	139	103	86	102	136	165			
	Fassade	-	121	114	84	46	25	44	81	109			
Dünnschicht CIS	Flachdach	137	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Schrägdach	-	161	153	129	98	83	97	126	150			
	Fassade	-	113	107	81	47	29	46	78	103			

Hier werden die laut Datenquelle (PVGIS) erzielbaren Erträge je Zelltyp und Ausrichtung umgerechnet (per Flächenbedarf und Degradation) auf tatsächlich im Jahresmittel erwartbare Erträge pro m² Modulfläche.

Beispiel Si. poly. Flachdach: Erzielbarer Ertrag 976 kWh/(kW_p×a) ÷ Flächenbedarf 5.56 m²/kW_p × Degradation 95.5 % = Jahresertrag 168 kWh/(m²×a).

Degradation: Minderung des Wirkungsgrades über die Lebensdauer (vereinfacht: lineare Abnahme).

Beispiel: Abnahme pro Jahr 0.3 %/a × Lebensdauer 30 a = 9.0 % Abnahme gesamt. Entspricht einem gemitteltem Jahresertrag von 95.5 %.

Vergleich: Photovoltaik vs. CH-Netzstrom

Teilt man die graue Energie bzw. die grauen Emissionen durch die PV-Erträge, erhält man die Umweltkennwerte des selbst produzierten Solarstroms, welche man mit Strom aus dem Netz vergleichen kann. Sind die Kennwerte niedriger, verbessert sich die Ökobilanz des Gebäudes durch die PV-Anlage, wenn der Ertrag zur Deckung des eigenen Bedarfs genutzt wird.

Zelltyp		Umweltkennwerte für selbst produzierten Strom aus PV (schlechter / gleich / besser als Benchmark)																	
		Primärenergie nicht erneuerbar kWh oil-eq/kWh je Ausrichtung						Treibhausgasemissionen g CO ₂ -eq/kWh je Ausrichtung											
		hori- zontal	0° Süd	45° West	90° West	135° Nord	180° Nord	-135° Ost	-90° Ost	-45°	hori- zontal	0° Süd	45° West	90° West	135° Nord	180° Nord	-135° Ost	-90° Ost	-45°
Silizium, monokristallin	Flachdach Schrägdach Fassade	0.18 -	0.14 0.24	0.15 0.26	0.17 0.34	0.23 0.59	0.27 0.97	0.23 0.97	0.18 0.35	0.23 0.27	0.15 0.27	0.18 0.35	0.23 0.27	0.15 0.27	0.18 0.35	0.23 0.27	0.15 0.27	0.18 0.35	0.23 0.27
Silizium, polykristallin	Flachdach Schrägdach Fassade	0.18 -	0.14 0.24	0.15 0.26	0.17 0.34	0.23 0.59	0.27 0.97	0.23 0.97	0.18 0.35	0.23 0.27	0.15 0.27	0.18 0.35	0.23 0.27	0.15 0.27	0.18 0.35	0.23 0.27	0.15 0.27	0.18 0.35	0.23 0.27
Dünnschicht CdTe	Flachdach Schrägdach Fassade	0.16 -	0.12 0.21	0.12 0.22	0.15 0.30	0.20 0.56	0.24 1.04	0.20 0.98	0.15 0.32	0.20 0.24	0.15 0.24	0.15 0.32	0.20 0.24	0.15 0.24	0.15 0.32	0.20 0.24	0.15 0.24	0.15 0.32	0.20 0.24
Dünnschicht CIS	Flachdach Schrägdach Fassade	0.23 -	0.17 0.30	0.18 0.32	0.22 0.42	0.28 0.72	0.34 1.17	0.29 0.74	0.22 0.44	0.22 0.33	0.18 0.33	0.22 0.44	0.29 0.44	0.22 0.33	0.22 0.44	0.29 0.44	0.22 0.33	0.22 0.44	0.29 0.44
«Benchmark» (Vergleichsgrösse) 1 kWh Endenergie Strom aus CH-Verbrauchermix																			

Beispiel Si. poly. Flachdach: Primärenergie n.e. 31.0 kWh oil-eq/(m²×a) ÷ Ertrag 168 kWh/(m²×a) = Kennwert 0.18 kWh oil-eq/kWh.

Dies entspricht 9% des Benchmarks (2.08 kWh oil-eq/kWh).

Hinweis: Der hohe Anteil an Wasser- und Atomkraft in der Schweizer Stromproduktion führt zu einem im internationalen Vergleich niedrigen Ausstoss an Treibhausgasen. Da es nahe liegt, zuerst fossil erzeugten (Import-)Strom durch PV-Strom zu ersetzen, sind auch PV-Flächen mit ungünstigerer (Nord-)Ausrichtung vertretbar.

Vergleich: Photovoltaik vs. CH-Netzstrom, als Amortisationsdauer dargestellt

Zur Ermittlung der Amortisationsdauer einer PV-Anlage («Payback time») wird ihr Erstellungsaufwand durch die Kennwerte der jährlich eingesparten Menge an Netzstrom geteilt. Ist die Amortisationsdauer kürzer als die Lebensdauer der Anlage, hat sie insgesamt eine positive Ökobilanz (= die wirtschaftliche Amortisation wäre separat zu betrachten).

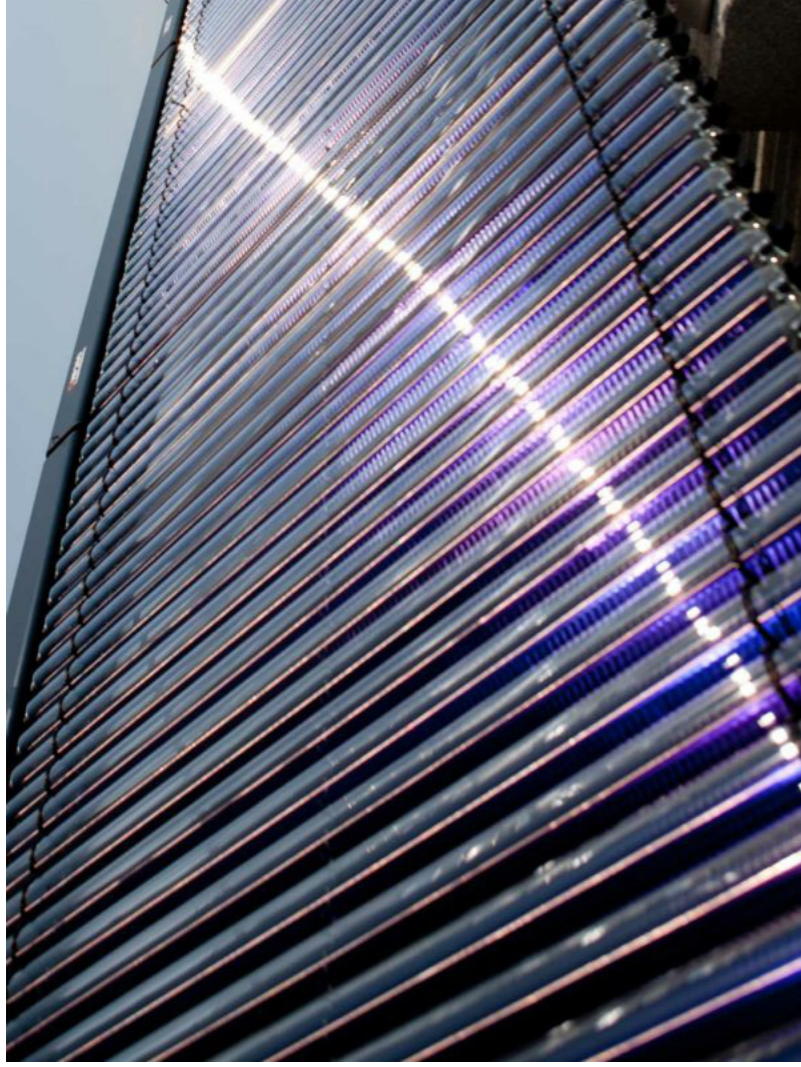
Zelltyp		Amortisationsdauer der PV-Anlage (schlechter / gleich / besser als Benchmark)																	
		Primärenergie nicht erneuerbar Jahre je Ausrichtung						Treibhausgasemissionen Jahre je Ausrichtung											
		hori- zontal	0° Süd	45° West	90° West	135° Nord	180° Nord	-135° Ost	-90° Ost	-45°	hori- zontal	0° Süd	45° West	90° West	135° Nord	180° Nord	-135° Ost	-90° Ost	-45°
Silizium, monokristallin	Flachdach Schrägdach Fassade	2.7 -	2.0 3.5	2.1 3.7	2.5 4.9	3.3 8.5	3.9 14.0	3.3 8.7	2.6 5.1	3.3 3.8	2.1 3.8	2.6 5.1	3.3 8.7	3.9 14.1	3.3 8.8	2.6 5.2	3.3 3.9	2.6 3.9	2.1 3.8
Silizium, polykristallin	Flachdach Schrägdach Fassade	2.7 -	2.0 3.5	2.1 3.7	2.5 5.0	3.3 8.6	3.9 14.1	3.3 8.8	2.6 5.2	3.3 3.9	2.1 3.8	2.6 5.2	3.3 8.8	3.9 14.1	3.3 8.8	2.6 5.2	3.3 3.9	2.1 3.8	2.6 3.9
Dünnschicht CdTe	Flachdach Schrägdach Fassade	1.9 -	1.4 2.6	1.5 2.7	1.8 3.7	2.4 6.8	2.9 12.5	2.5 7.0	1.8 3.8	1.5 2.8	1.5 2.8	1.8 3.8	2.5 7.0	2.9 12.5	2.5 7.0	1.8 3.8	1.5 2.8	1.5 2.8	1.8 3.8
Dünnschicht CIS	Flachdach Schrägdach Fassade	2.8 -	2.1 3.7	2.2 3.9	2.6 5.1	3.4 8.7	4.0 14.1	3.4 9.0	2.6 5.3	2.2 4.0	2.2 4.0	2.6 5.3	3.4 9.0	4.0 14.1	3.4 9.0	2.6 5.3	2.2 4.0	2.2 4.0	2.6 5.3
«Benchmark» (Vergleichsgrösse) Lebensdauer Siliziummodule / Dünnschichtmodule																			

Beispiel Si. poly. Flachdach: Primärenergie n.e. Erstellung 930 kWh oil-eq/m² ÷ (Jahresertrag PV 168 kWh/(m²×a) × Primärenergie n.e. CH-Netzstrom 2.08 kWh oil-eq/kWh)

= Amortisationsdauer 2.7 a, d.h. kürzer als Lebensdauer der Anlage (30 a)

Beispiel Si. poly. Fassade Nord: THG-Emissionen Erstellung 275 kg CO₂-eq/m² ÷ (Jahresertrag PV 34.7 kWh/(m²×a) × THG-Emissionen CH-Netzstrom 0.125 kg CO₂-eq/kWh)

= Amortisationsdauer 63.4 a, d.h. länger als Lebensdauer der Anlage (30 a)



Solarthermie, Kennwerte

Eigenschaften und Umweltkennwerte (graue Energie, graue Emissionen)

Kollektortyp und Anwendung	Flächenbedarf			Lebensdauer Jahre	Primärenergie nicht erneuerbar		Treibhausgasemissionen	
	m ² pro 1'000 kWh jährlich nutzbare Endenergie				gesamt pro Jahr	gesamt pro Jahr	gesamt	pro m ²
	Schrägdach Süd	Schrägdach Ost/West, Flachdach, Fass. Süd	Fassade Ost/West					
Flachkollektor für Warmwasser Mehrfamilienhaus	ca. 1.9	ca. 2.9	ca. 4.9	30	668	22.3	169	5.6
Flachkollektor für Warmwasser Einfamilienhaus	ca. 2.2	ca. 3.2	ca. 5.2	30	1'070	35.7	290	9.7
Flachkollektor für Raumheizung und Warmwasser EFH	ca. 3.0	ca. 4.9	ca. 8.6	30	784	26.1	204	6.8
Röhrenkollektor für Raumheizung und Warmwasser EFH	ca. 2.5	ca. 4.0	ca. 6.7	30	886	29.5	231	7.7

Die nutzbare Endenergie einer Solarthermie-Anlage ist u.a. abhängig von der Anwendung: Warmwasser wird das ganze Jahr über gebraucht, Raumheizung nur in der Heizperiode, wenn auch die Sonne weniger Energie liefert.

Somit ergibt sich bei Anlagen, die auch für die Raumheizung genutzt werden sollen, ein höherer Flächenbedarf.

Die Lebensdauer von Solar Kollektoren wird mit 30 Jahren angenommen (vgl. SIA 2032 Anhang C).

Umweltkennwerte gemäss Ökobilanzdaten im Baubereich KBOB / ecobau / IPB 2009/1:2022. Mittels Lebensdauer auf jährliche Teilbeträge amortisiert.

Beispiel Flachkollektor Warmwasser Mehrfamilienhaus: Treibhausgasemissionen 169 kg CO₂-eq/m² ÷ 30 Jahre = 5.6 kg CO₂-eq/(m²×a).

Faustregeln: Deckungsgrade, Wärmebedarf (Raumheizung + Warmwasser), Kollektorfläche, Speichergrosse

Für 50 % solare Deckung bedarf es pro Gesamtwärmebedarf von 4'000 kWh einer Speichergrosse von 1'000 l und 7 m² Kollektoren.

Für 70 % solare Deckung bedarf es pro Gesamtwärmebedarf von 4'000 kWh einer Speichergrosse von 2'000 l und 13 m² Kollektoren.

Für 80 % solare Deckung bedarf es pro Gesamtwärmebedarf von 4'000 kWh einer Speichergrosse von 4'000 l und 17 m² Kollektoren.

Für 100 % solare Deckung bedarf es pro Gesamtwärmebedarf von 4'000 kWh einer Speichergrosse von 10'000 l und 28 m² Kollektoren.

Dach mit 30° Neigung (oder auf Flachdach 30° aufgeständert) und 30° Südabweichung. Kollektortrag Zürich-Stadt.

Andere Kombinationen von Speichergrosse und Kollektorfläche sind möglich. Quelle: Auskunft Fa. Jenni Energietechnik AG, 19.11.2021 (ohne Gewähr)

Solarthermie, Erträge

Der Jahresertrag, d.h. die in einem Jahr produzierte Energiemenge einer Solarthermie-Anlage, ist abhängig von geographischem Standort, Neigung und Ausrichtung. (Auch die Verschattung und allfällige Oberflächenbehandlung spielen eine Rolle; dies bleibt hier unberücksichtigt.)

Kollektortyp und Anwendung	Platzierung	% je Ausrichtung											
		hori- zontal	0° Süd	45°	90° West	135°	180° Nord	-135°	-90° Ost	-45°			
Flachkollektor für Warmwasser MFH	Flachdach	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Schrägdach	-	100	92	67	41	32	40	63	88			
	Fassade	-	61	58	41	28	21	25	36	53			
Flachkollektor für Warmwasser EFH	Flachdach	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Schrägdach	-	100	95	71	45	35	43	67	92			
	Fassade	-	64	64	45	24	17	22	39	58			
Flachkollektor für Raumheizung und Warmwasser EFH	Flachdach	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Schrägdach	-	100	88	62	35	25	34	58	83			
	Fassade	-	62	57	38	18	12	16	31	51			
Röhrenkollektor für Raumheizung und Warmwasser EFH	Flachdach	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Schrägdach	-	100	88	63	38	29	36	59	83			
	Fassade	-	66	59	40	21	16	20	35	54			

Die Tabelle zeigt die Erträge verschieden orientierter Anlagen relativ zur bestmöglichen Ausrichtung zur Sonne (Süden, Schrägdach). Datenquelle: Energieschweiz Solarrechner (Tachion), siehe «Erträge absolut».

Kollektortyp und Anwendung	Platzierung	jährlich nutzbare Endenergie kWh/(m ² ×a) je Ausrichtung											
		hori- zontal	0° Süd	45°	90° West	135°	180° Nord	-135°	-90° Ost	-45°			
Flachkollektor für Warmwasser MFH	Flachdach	340	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Schrägdach	-	537	492	360	221	173	214	340	474			
	Fassade	-	326	311	220	153	113	137	192	284			
Flachkollektor für Warmwasser EFH	Flachdach	323	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Schrägdach	-	463	441	331	207	162	199	312	425			
	Fassade	-	298	298	207	112	77	102	179	269			
Flachkollektor für Raumheizung und Warmwasser EFH	Flachdach	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Schrägdach	-	338	297	209	118	85	114	195	282			
	Fassade	-	209	193	127	60	42	54	106	172			
Röhrenkollektor für Raumheizung und Warmwasser EFH	Flachdach	240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Schrägdach	-	400	353	254	150	116	146	236	334			
	Fassade	-	266	235	160	84	66	80	139	214			

Datenquelle: Energieschweiz Solarrechner (Tachion), <https://www.energieschweiz.ch/tools/solarrechner/>, Zugriff 2022-03-18. Standort 8049 Zürich, Dachneigung Schrägdach: 37°.

EFH = Einfamilienhaus MINERGIE, 200 m² Wohnfläche, 5 Personen. MFH = Mehrfamilienhaus, 20 Personen (Annahmen Professor Gigon/Guyer) Kollektortyp "Standardkollektor", automatische Auslegung der Anlagen gröse durch den Solarrechner.

Zur Anlage gehört jeweils ein Speicher mit ca. 100 l/m² Kollektorfläche (nicht in Umweltkennwerten enthalten).

Die Erträge wurden aus der Differenz zwischen den Rechenergebnissen mit und ohne Solaranlage ermittelt (Elektroheizung).

Vergleich: Solarthermie vs. Wärmepumpe mit CH-Netzstrom

Teilt man die graue Energie bzw. die grauen Emissionen durch die Energieerträge, erhält man die Umweltkennwerte der selbst produzierten Wärme aus Solarthermie, welche man mit anderen Anlagen vergleichen kann. Anstelle einer Solarthermie-Anlage kann die Nutzwärme auch mit einer Wärmepumpe generiert werden. Die elektrische Energie aus dem Stromnetz wird mit der Wärmepumpe «vervielfacht» (Bsp. Jahresarbeitszahl 3.0: Ein kWh Strom wird zu drei kWh Wärme).

Der Vergleich liefert eine grobe Orientierung, ob Solarthermie auf einer bestimmten Dach-/Fassadenfläche umweltfreundlicher ist als die Kombination Wärmepumpe + Netzstrom. Im Einzelfall sind präzisere Berechnungen erforderlich. /Vergleich mit Gasheizung nicht dargestellt; hier ist Solarthermie in jedem Fall besser!//

Umweltkennwerte für Nutzwärme aus Solarthermie (schlechter / gleich / besser als Benchmark)

Kollektortyp und Anwendung	Platzierung	Primärenergie nicht erneuerbar kWh oil-eq/kWh je Ausrichtung									Treibhausgasemissionen g CO ₂ -eq/kWh je Ausrichtung								
		hori- zontal	0° Süd	45° West	90° West	135° Nord	180° Nord	-135° Ost	-90° Ost	-45° Ost	hori- zontal	0° Süd	45° West	90° West	135° Nord	180° Nord	-135° Ost	-90° Ost	-45° Ost
Flachkollektor für Warmwasser MFH	Flachdach	0.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Schrägdach	-	0.04	0.05	0.06	0.10	0.13	0.10	0.07	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fassade	-	0.07	0.07	0.10	0.15	0.20	0.16	0.12	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flachkollektor für Warmwasser EFH	Flachdach	0.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Schrägdach	-	0.08	0.08	0.11	0.17	0.22	0.18	0.11	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fassade	-	0.12	0.12	0.17	0.32	0.46	0.35	0.20	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flachkollektor für Raumheizung und Warmwasser EFH	Flachdach	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Schrägdach	-	0.08	0.09	0.12	0.22	0.31	0.23	0.13	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fassade	-	0.13	0.14	0.21	0.44	0.62	0.49	0.25	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Röhrenkollektor für Raumheizung und Warmwasser EFH	Flachdach	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Schrägdach	-	0.07	0.08	0.12	0.20	0.26	0.20	0.12	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fassade	-	0.11	0.13	0.19	0.35	0.45	0.37	0.21	0.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
«Benchmark» (Vergleichsgrösse) Warmwasser / Raumheizung und WW Wärmepumpe an Netzstrom																			
		1.04 / 0.69									63 / 42								

Berechnung Benchmarks für Nutzwärme, erzeugt mit Wärmepumpe an CH-Netzstrom: Umweltkennwerte Strom ÷ Jahresarbeitszahl Wärmepumpe (JAZ)

Umweltkennwerte 1 kWh Strom CH-Verbraucher: Primärenergie nicht erneuerbar 2.08 kWh oil-eq

JAZ Warmwasser: 2.0 (wegen hoher erforderlicher Temperaturen für Warmwasser)

JAZ Raumwärme und Warmwasser: 3.0 (Mittelwert aus JAZ 2.0 für Warmwasser und JAZ 4.0 für Raumwärme)

Beispiel Flachkollektor Warmwasser MFH Flachdach: Primärenergie n.e. 22.3 kWh oil-eq/(m²·xa) ÷ Ertrag 340 kWh/(m²·xa) = Kennwert 0.07 kWh oil-eq/kWh Nutzwärme. Dies ist besser als der Benchmark (Primärenergie n.e. 2.08 kWh oil-eq/kWh Netzstrom ÷ Jahresarbeitszahl Wärmepumpe 2.0 = 1.04 kWh oil-eq/kWh Nutzwärme).

Speicherung und Verteilung bleiben hier unberücksichtigt (Erstellung und Effizienzverluste), ebenso die graue Energie / grauen Emissionen der Wärmepumpe.

Treibhausgasemissionen 125 g CO₂-eq

Vergleich: Solarthermie vs. Wärmepumpe mit Photovoltaik

Teilt man die graue Energie bzw. die grauen Emissionen durch die Energieerträge, erhält man die Umweltkennwerte der selbst produzierten Wärme aus Solarthermie, welche man mit anderen Anlagen vergleichen kann. Anstelle einer Solarthermie-Anlage kann die Nutzwärme auch mit einer Wärmepumpe kombiniert mit Photovoltaik am Gebäude generiert werden. Die elektrische Energie aus der PV-Anlage wird mit der Wärmepumpe «vervielfacht» (Bsp. Jahresarbeitszahl 3.0: Ein kWh Strom wird zu drei kWh Wärme).

Der Vergleich liefert eine grobe Orientierung für die Entscheidung, für welchen Anlagentyp eine Dach-/Fassadenfläche verwendet werden soll. Im Einzelfall sind präzisere Berechnungen erforderlich. /Vergleich mit Gasheizung nicht dargestellt; hier ist Solarthermie in jedem Fall besser!//

Umweltkennwerte für Nutzwärme aus Solarthermie (schlechter / gleich / besser als Benchmark)

Kollektortyp und Anwendung	Platzierung	Primärenergie nicht erneuerbar kWh oil-eq/kWh je Ausrichtung									Treibhausgasemissionen g CO ₂ -eq/kWh je Ausrichtung								
		hori- zontal	0° Süd	45° West	90° West	135° Nord	180° Nord	-135° Ost	-90° Ost	-45° Ost	hori- zontal	0° Süd	45° West	90° West	135° Nord	180° Nord	-135° Ost	-90° Ost	-45° Ost
Flachkollektor für Warmwasser MFH	Flachdach	0.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Schrägdach	-	0.04	0.05	0.06	0.10	0.13	0.10	0.07	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fassade	-	0.07	0.07	0.10	0.15	0.20	0.16	0.12	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flachkollektor für Warmwasser EFH	Flachdach	0.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Schrägdach	-	0.08	0.08	0.11	0.17	0.22	0.18	0.11	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fassade	-	0.12	0.12	0.17	0.32	0.46	0.35	0.20	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flachkollektor für Raumheizung und Warmwasser EFH	Flachdach	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Schrägdach	-	0.08	0.09	0.12	0.22	0.31	0.23	0.13	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fassade	-	0.13	0.14	0.21	0.44	0.62	0.49	0.25	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Röhrenkollektor für Raumheizung und Warmwasser EFH	Flachdach	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Schrägdach	-	0.07	0.08	0.12	0.20	0.26	0.20	0.12	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fassade	-	0.11	0.13	0.19	0.35	0.45	0.37	0.21	0.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
«Benchmark» (Vergleichsgrösse) Warmwasser / Raumheizung und WW Wärmepumpe an PV-Strom																			
		variabel									variabel								

Berechnung Benchmarks für Nutzwärme, erzeugt mit Wärmepumpe an PV-Strom: Umweltkennwerte Strom ÷ Jahresarbeitszahl Wärmepumpe (JAZ)

Umweltkennwerte Strom aus Photovoltaik: Eigene Berechnung für monokristalline Siliziummodule, siehe «Vergleich: Photovoltaik vs. Netzstrom»

JAZ Warmwasser: 2.0 (wegen hoher erforderlicher Temperaturen für Warmwasser)

JAZ Raumwärme und Warmwasser: 3.0 (Mittelwert aus JAZ 2.0 für Warmwasser und JAZ 4.0 für Raumwärme)

Beispiel Flachkollektor Warmwasser MFH Flachdach: Primärenergie n.e. 22.3 kWh oil-eq/(m²·xa) ÷ Ertrag 340 kWh/(m²·xa) = Kennwert 0.07 kWh oil-eq/kWh Nutzwärme. Dies ist besser als der Benchmark (Primärenergie n.e. 0.18 kWh oil-eq/kWh PV-Strom ÷ Jahresarbeitszahl Wärmepumpe 2.0 = 0.09 kWh oil-eq/kWh Nutzwärme).

Speicherung und Verteilung bleiben hier unberücksichtigt (Erstellung und Effizienzverluste), ebenso die graue Energie / grauen Emissionen der Wärmepumpe.

KBOB ÖKOBILANZDATEN (STAND MÄRZ 2022, AUSZUG)



Ökobilanzdaten im Baubereich

KBOB / ecobau / IPB 2009/1:2022

... AUSZUG ... gelb unterlegt: Fokus auf Kennwerte im Kontext Architektur und Entwurf

Professur Annette Gigon / Mike Guyer, D-ARCH, ETH Zürich, zum Herbstsemester 2022

Auf www.kbob.ch > Publikationen > Nachhaltiges Bauen, sind zwei Dateien platziert: Die pdf-Datei «Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2022» soll den Planenden den Einstieg in diese Thematik erleichtern...

Legende:

- aktualisierte Hintergrunddaten (Sachbilanzdaten unverändert)
rot: -Zahlen in rot: Sachbilanz- und Hintergrunddaten bei bestehenden Datensätzen aktualisiert (z.B. ID-Nr. 00.001)
-ganze Zeile rot: Datensatz neu in die KBOB-Empfehlung 2009/1:2022 aufgenommen (z.B. ID-Nr. 03.021)
blau schattiert (nur in der Excel-Datei verfügbar):
hersteller- oder herstellereigenenspezifische Datensätze

- Sortierkriterien für die KBOB-Ökobilanzdaten 2022:
1. Gruppe gemäss vordemem Teil der ID-Nummer (z.B. ID-Nr. 06.xxx)
2. innerhalb Gruppe alphabetisch nach Name in deutscher Sprache

Table with 4 columns: Gesambewertung, Primärenergie (PE), nicht erneuerbar (Graue Energie), Treibhausgasemissionen (THG-E), biogener Kohlenstoffgehalt. Rows include UBPZ1 and detailed environmental impact data.

Ökobilanzen basieren auf Modellen, die von Wertvorstellungen geprägt sind. Somit sind die Ergebnisse nicht wertfrei. In dieser Empfehlung wurde für alle Materialien dieselbe Modellierungsmethode verwendet.

Ökobilanzdaten im Baubereich

KBOB / ecobau / IPB 2009/1:2022

BAUMATERIALIEN

Main data table with columns: ID-Nummer, Reibhöhe/Flächenmasse, Bezug, UBPZ1, Primärenergie (erneuerbar, nicht erneuerbar, Total), Treibhausgasemissionen (Herstellung, Erzeugung, Total), Biogener Kohlenstoff. Rows include concrete, masonry, and various aggregates.

Table with columns: ID-Nummer, Rohdichte/Flechtenmasse, Bezug, UB21, Primärenergie (erneuerbar/emissionsfrei/total), Treibhausgasemissionen (Herstellung/Entsorgung/Total), Biogener Kohlenstoff. Rows include materials like Kunststeinplatte, Acrylnitril-Butadien-Styrol, Gussblech, etc.

MoBilrechner: mit dem MoBilrechner können Umweltwerte von verschiedenen Möbel berechnet werden.

KBOB / ecobau / IPB 2009/1:2022

Table with columns: ID-Nummer, Bezug (Größe, Einheit), UB21 (UBP, Entsorgung, Herstellung, Total), Primärenergie (emissionsfrei/emissionsfrei/total), Treibhausgasemissionen (Herstellung/Entsorgung/Total). Rows include Heizungsanlagen (Wärmeerzeuger, Elektroheizungen, etc.), Lüftungsanlagen, Sanitäranlagen, Elektroanlagen.

Umweltwerte von Baubereich (inklusive Umwelteinträge durch Rücknahme und Recycling)

Ökobilanzdaten im Baubereich KBOB / ecobau / IPB 2009/1:2022

Table with columns: ID-Nummer, TRANSPORTE, Bezug (Grösse, Einheit), UB21, Primärenergie (erneuerbar, nicht erneuerbar), and Treibhausgasemissionen (und Klimaeffekte Flugzeugemissionen, RPF=2.5). Rows include various transport modes like train, bus, and airplane.

Ökobilanzdaten im Baubereich KBOB / ecobau / IPB 2009/1:2022

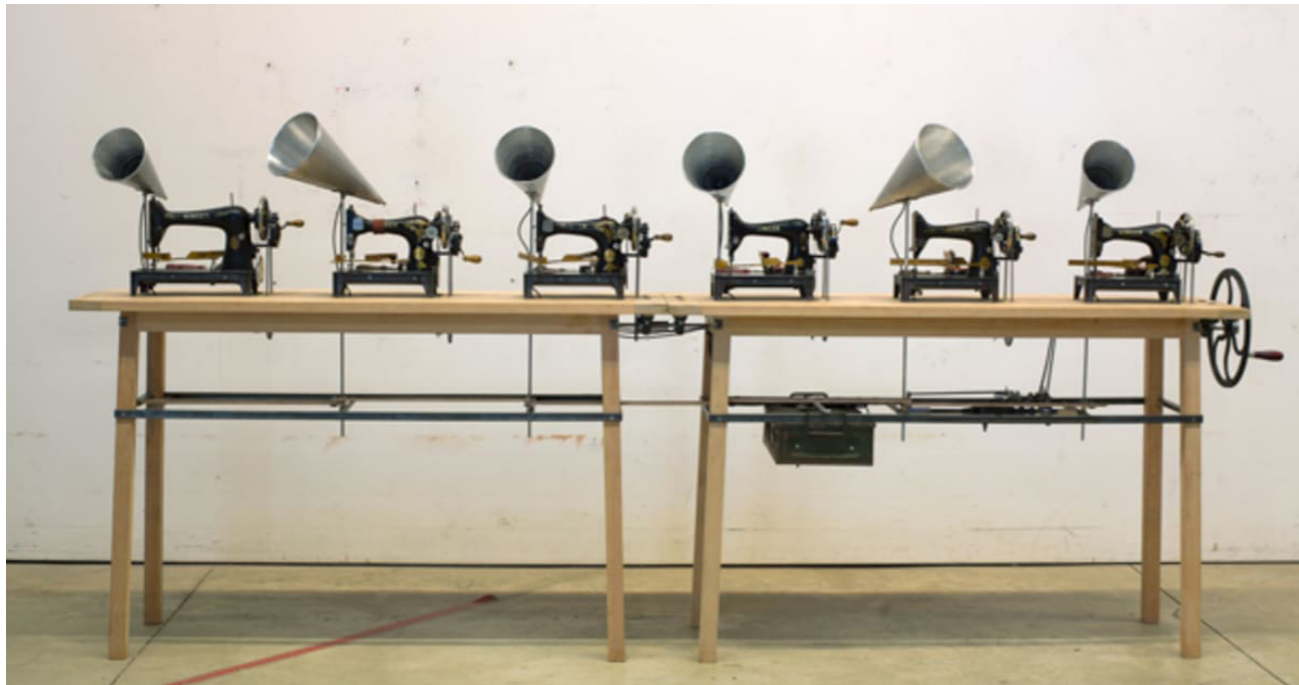
Table with columns: ID-Nummer, TRANSPORTE, Bezug (Grösse, Einheit), UB21, Primärenergie (erneuerbar, nicht erneuerbar), and Treibhausgasemissionen (und Klimaeffekte Flugzeugemissionen, RPF=2.5). Rows include various transport modes like train, bus, and airplane.

vollständige Listen unter: https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/themen-leistungen/nachhaltiges-bauen/okobilanzdaten_ baubereich.html

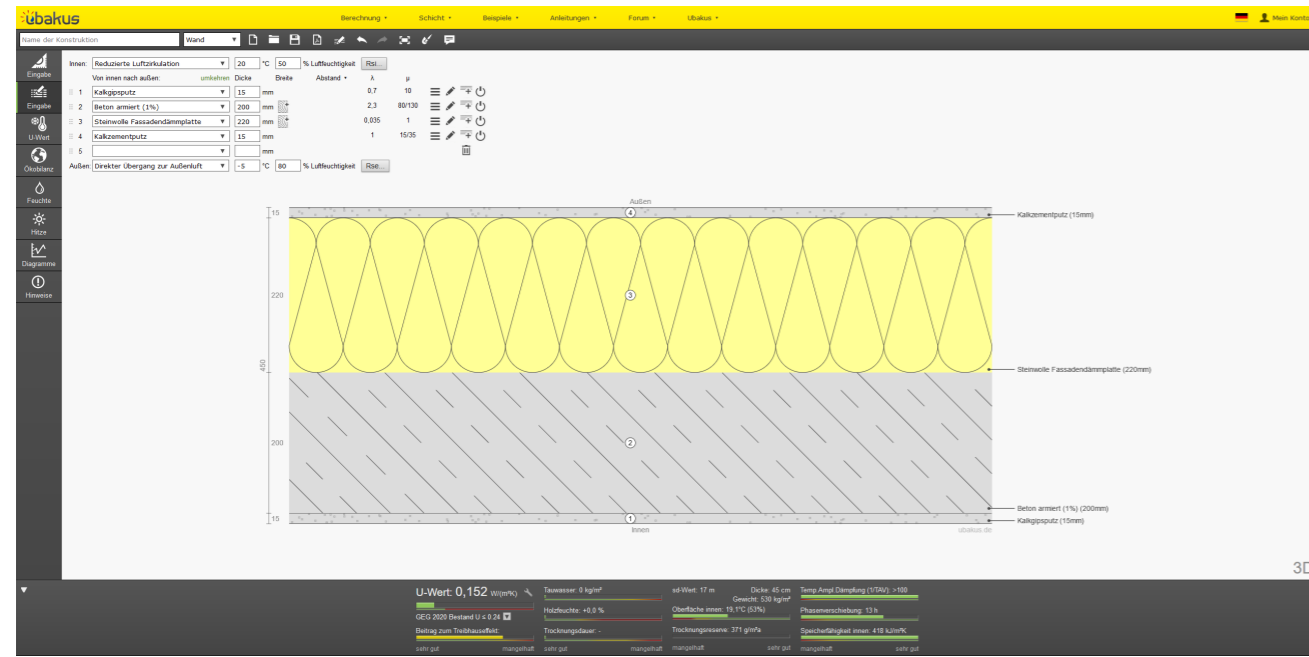
Auskunft Dr. Rolf Frischknecht am 11.03.2022: Veränderungen bei den Treibhausgasemissionen (Herstellung und Entsorgung) bei einigen Schlüssel-Baumaterialien, in KBOB-Empfehlung 2009/1 Version 2022 gegenüber der Version 2016:

- Hochbaubeton (ohne Armierung): THGE bleiben praktisch gleich;
Backstein: THGE bleiben praktisch gleich;
Verglasung: THGE bleiben praktisch gleich;
Armierungsstahl: THGE sind mehr als doppelt so hoch;
Stahlblech: THGE sind mehr als 50% höher;
Konstruktionsstahl: THGE bleiben praktisch gleich;
Brettschichtholz: THGE nehmen um mehr als 30% ab;
Massivholz: THGE nehmen um zwischen 25 und 50% zu (v.a. wg. Neumodellierung Entsorgung);
Wärmedämmstoffe: THGE verändern sich uneinheitlich, jeweils aber nur wenig.

PLANUNGSWERKZEUGE (TOOLS UND LINKS)



Ubakus



<https://www.ubakus.com>, Aufruf von März 2022

SIA 2040 Effizienzpfad Energie

Rechenhilfe SIA 2040: Vorstudie / Vorprojekt (mac-fähige Version zu Schulungszwecken) **Auswertung**

Projektinformation	0		
Objekteingaben	Geschossfläche GF	1 m2	Zone 1 Wohnen
	Energiebezugsfläche EBF	1 m2	Zone 2 ...
			Zone 3 ...

Gebäude	Neubau/Umbau	Primärenergie nicht erneuerbar		Treibhausgas-emissionen	
		kWh/m ²		kg/m ²	
		Richtwert	Projektwert	Richtwert	Projektwert
	Erstellung	30	13	9.0	3.3
	Betrieb	60	30	3.0	1.5
	Mobilität	30	4	4.0	0.7
Zielwert	Projektwert	120	47	16.0	5.6
Zusatzanforderung		90	43	12.0	4.9

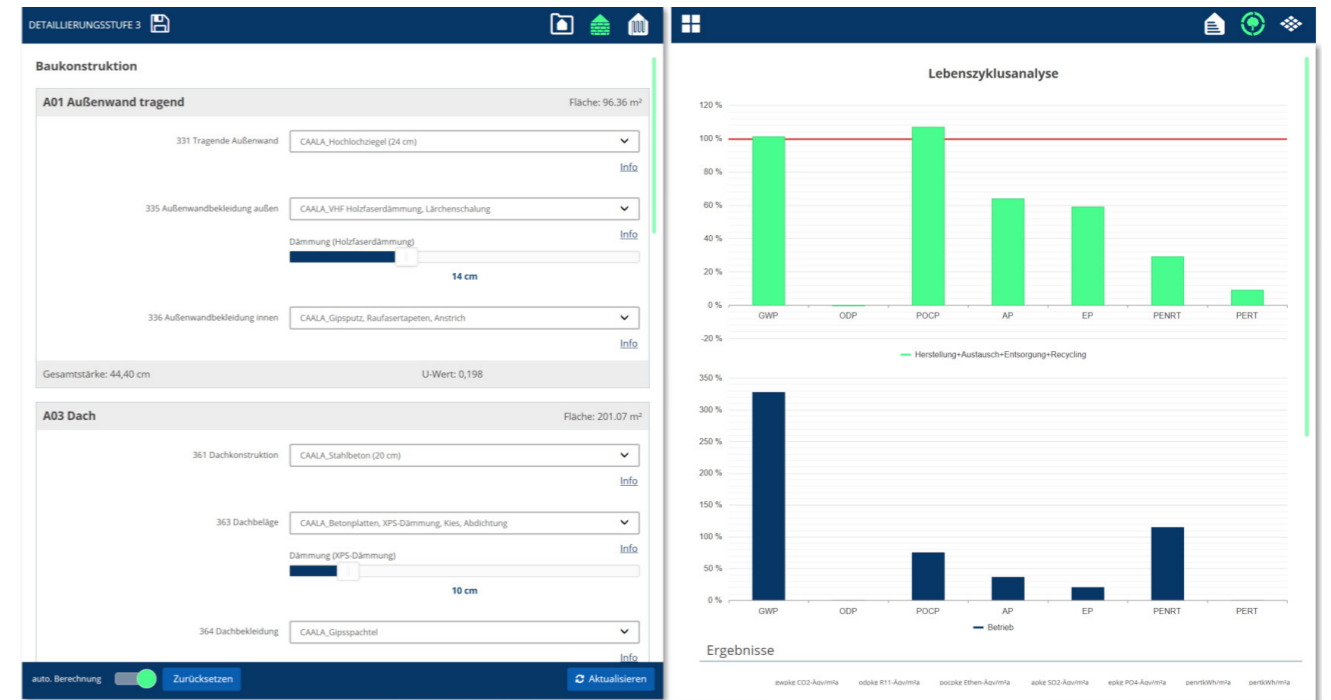
Primärenergie gesamt (inkl. erneuerbare)	
kWh/m ²	
Richtwert	Projektwert
35	14
140	43
35	4
210	61
175	57

Informativ: Nur für den Zusammenhang zur Methodik der 2000-Watt-Gesellschaft relevant. Vgl. Anhang C, SIA 2040

Ihr Projekt ist auf gutem Weg die Vorgaben des SIA-Effizienzpfad Energie zu erfüllen.

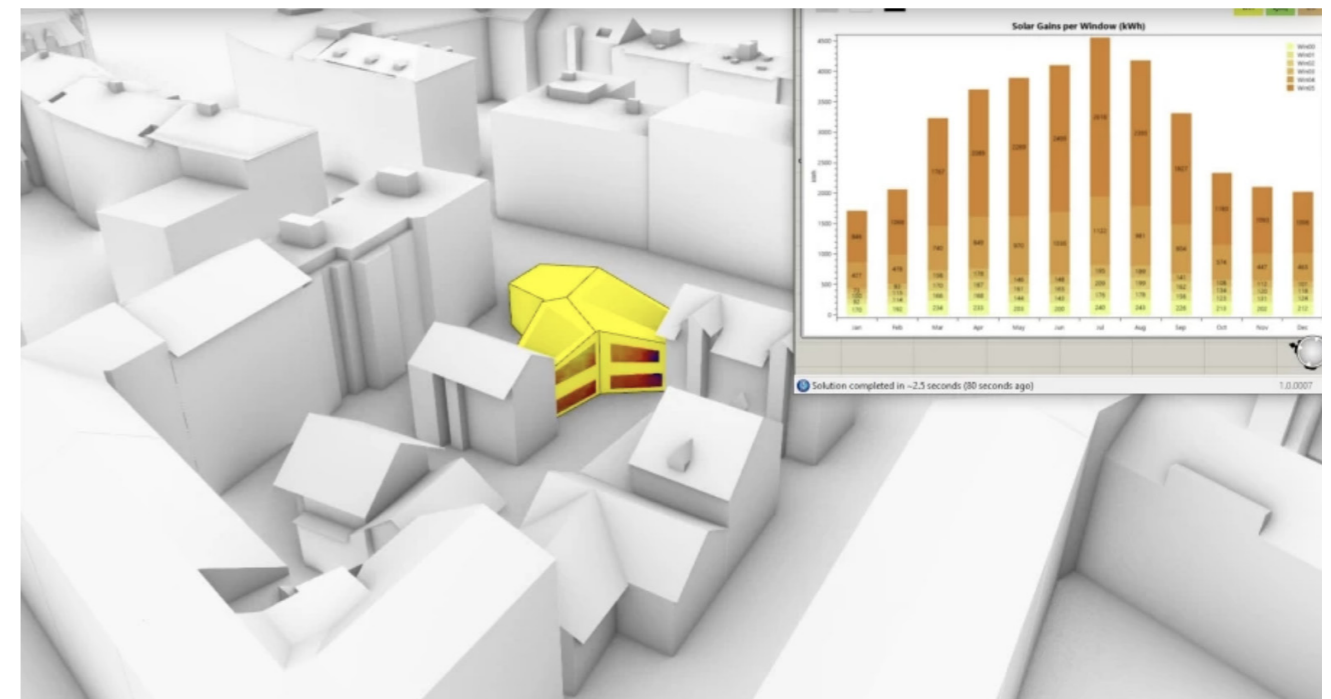
<https://www.energytools.ch>, Aufruf von August 2021 (Bild: Screenshot in Excel)

CAALA



<https://caala.de/blog/alpha-version-0-97>, Aufruf von August 2021
 Vortrag von Philipp Hollberg über CAALA für A4F München <https://www.youtube.com/watch?v=rOKIUu42XLs>

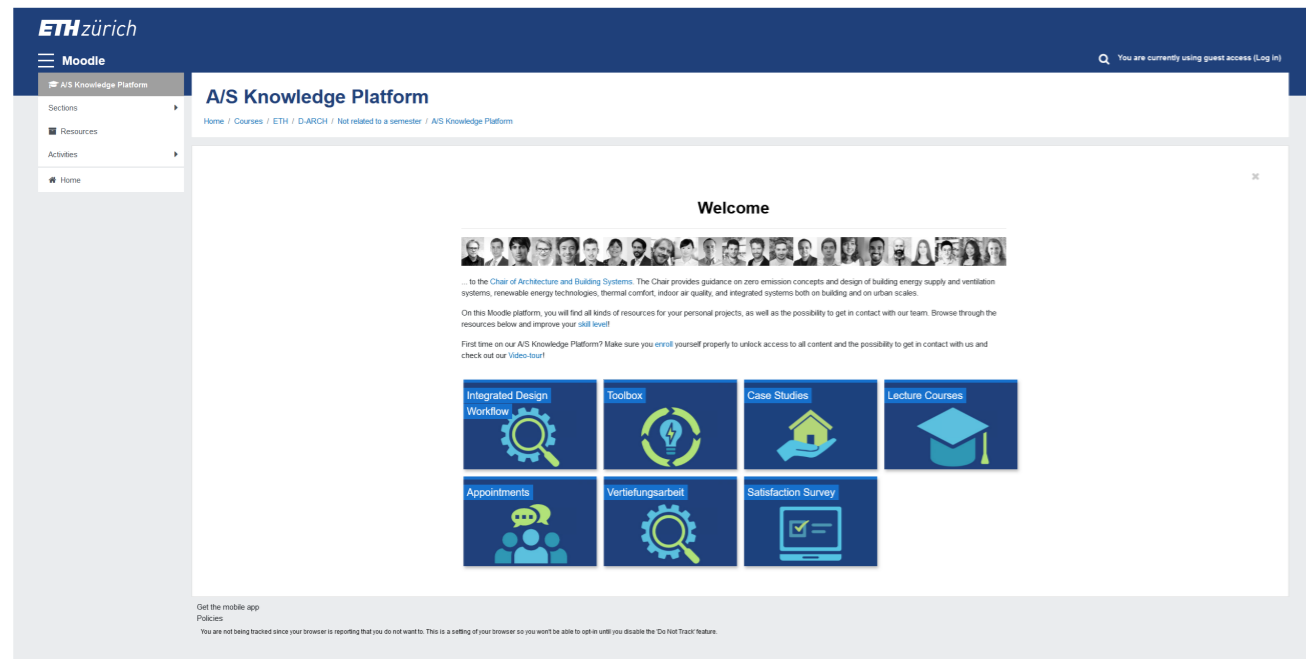
Hive



<https://systems.arch.ethz.ch/demonstrators/hive>, Aufruf von August 2021

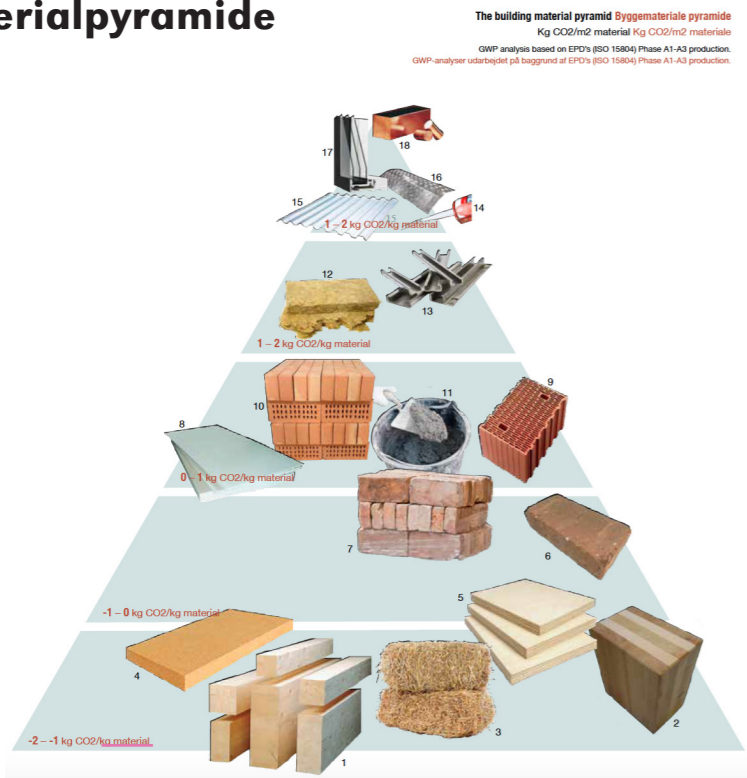
A/S Knowledge Platform

Chair of Architecture and Building Systems ETHZ



Moodle Board der Professur für Architecture and Building Systems, Prof.Dr. Arno Schlüter:
<https://moodle-app2.let.ethz.ch/course/view.php?id=11917> (Aufruf von März 2022)

Materialpyramide



<https://www.materialepyramiden.dk> (Aufruf von August 2021)

Bemerkung Professur Gigon / Guyer:
 Die Entsorgungsphase wird hier ausgeklammert, daher erscheinen biogene Baustoffe als (permanente) CO₂-Senke. Die Bindung von Kohlenstoff in Bauteilen endet jedoch nach den Nutzungsphase. Bei der Ökobilanzierung im Schweizer Kontext ist dies zu beachten, vgl. KBOB-Liste. Siehe auch S. 48-49.

Bauteilkatalog

Nr.	Material / Schicht	Schichtdicke (m)	Lambda (W/mK)	Amortisationszeit (a)	Masse (kg/m³)	Erstellung (MJ/m²)	Entsorgung (MJ/m²)	Total pro Jahr (MJ/m² a)	
1	Gips-/Weissputz	0.01	0.7	30	15.0	23.06	4%	0.82	
2	Mauerwerk-BN 12.5 cm [m2]	0.125	0.44	60	133.8	317.70	51%	5.71	
3	Glaswolle p 30 [kg/m3]	0.18	0.04	40	5.4	245.88	39%	6.18	
4	Distanzschraube 360mm [Stk]	0	0	40	0.3	16.90	3%	0.42	
5	Holzlatte 30/60mm [m1]	0	0.13	40	1.3	2.18	0%	0.06	
6	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetrocknet, rauh	0.024	0.13	40	11.3	19.25	3%	0.51	
7	Zuschlag ΔU W/m2K vgl./v. WB-6.2-U2 (axb=0.5)	ΔU 0.03	0	40	0.0	0.00	0%	0.00	
Graue Energie					167	624.97	96%	28.91	4%

www.bauteilkatalog.ch, Aufruf von August 2019

Weitere Links und Rechner:

- <https://www.energieschweiz.ch/tools/solarrechner/>
- <https://www.carboncare.org/co2-emissions-rechner.html>
- <https://www.wwf.ch/de/nachhaltig-leben/footprintrechner>
- <https://www.atmosfair.de/de/standards/emissionsberechnung/>
- <https://www.atmosfair.de/de/kompensieren/flug/>
- <https://www.myclimate.org/de/>

LEISTUNG UND ENERGIE (BEGRIFFE, GRÖSSENORDNUNGEN)



LEISTUNG

Die Leistung als physikalische Grösse bezeichnet die in einer Zeitspanne umgesetzte Energie bezogen auf diese Zeitspanne. Ihr Formelzeichen ist meist P (von englisch power), ihre SI-Einheit das Watt mit dem Einheitenzeichen W .

Das Watt ist die im internationalen Einheitensystem (SI) verwendete Masseinheit für die Leistung (Energieumsatz pro Zeitspanne). Sie wurde nach dem schottischen Wissenschaftler und Ingenieur James Watt benannt. Das Watt ist eine abgeleitete Einheit. Sie lässt sich aus den Basiseinheiten Kilogramm (kg), Meter (m) und Sekunde (s) ableiten:

$$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^3}$$

Im physikalisch-technischen Zusammenhang wird der Begriff Leistung in verschiedenen Bedeutungen verwendet:

1. als installierte oder maximal mögliche Leistung (Kennzeichen eines Gerätes oder einer Anlage; auch Nennleistung genannt)
2. als tatsächliche Leistung in einer Anwendung (entweder als die zugeführte Leistung oder die im Sinne der Aufgabenstellung abgegebene Leistung). Die Leistungsaufnahme und die für eine bestimmte Anwendung nutzbringende Leistungsabgabe können je nach Wirkungsgrad bzw. Abwärme erheblich voneinander abweichen.

Watt – W

1.5 W – Leistung des menschlichen Herzens
 1.5 W – Durchschnittliche Leistung eines Mobiltelefons
 70 bis 90 W – Leistung, die der Mensch während des Schlafens erbringt, um seine Körperfunktion aufrecht zu erhalten (Grundumsatz)
 100 bis 130 W – Leistung eines Menschen bei der Büroarbeit

Kilowatt – kW

1 Kilowatt = 1000 Watt
 1'367 kW – bei mittlerem Abstand Erde–Sonne ohne den Einfluss der Atmosphäre senkrecht zur Strahlrichtung empfangene Strahlungsleistung von der Sonne auf einem Quadratmeter Oberfläche (Solarkonstante)
 2 bis 3.5 kW – Leistungsaufnahme einer typischen Waschmaschine
 10 bis 20 kW – Wärmeleistung einer Heizung eines Einfamilienhauses
 15 kW – kurzzeitige Höchstleistung eines Pferdes ($\approx 20 \text{ PS}$, $1 \text{ PS} \approx 0.7355 \text{ kW}$)
 20 bis 300 kW – typische Leistungsabgabe eines PKW-Motors mit 27 bis 408 PS

Megawatt – MW

1 Megawatt = 1000 Kilowatt = 1 Million Watt (10^6)
 3 bis 9 MW – Nennleistung grosser Windenergieanlagen

Gigawatt – GW

1 Gigawatt = 1000 Megawatt = 1 Milliarde Watt (10^9)
 1 GW – typisches Kernkraftwerk

Terawatt – TW

1 Terawatt = 1000 Gigawatt = 1 Billion Watt (10^{12}) = 1 Milliarde Kilowatt
 1.7 TW – durchschnittlich benötigte elektrische Leistung weltweit (Stand 2001)
 44 TW – Leistung, welche die Erde als Wärme aus Erdmantel und Erdkern abgibt

Petawatt – PW

1 Petawatt = 1000 Terawatt = 1 Billionen Watt (10^{15}) = 1000 Milliarden Kilowatt
 174 PW – die Erde erreichender Teil der Strahlungsleistung der Sonne (davon erreicht etwa die Hälfte die Erdoberfläche)

ARBEIT = ENERGIE

Die Wattstunde (Einheitenzeichen: Wh) ist eine Masseinheit der Arbeit bzw. der Energie. Sie gehört zwar nicht zum internationalen Einheitensystem (SI), ist zum Gebrauch mit dem SI aber zugelassen. Eine Wattstunde entspricht der Energie, welche ein System (z. B. Maschine, Mensch, Glühlampe) mit einer Leistung von einem Watt in einer Stunde aufnimmt oder abgibt. Eine 50-Watt-Glühlampe, die eine Stunde lang leuchtet, setzt also 50 Wh um.

Im Alltag gebräuchlich und verbreitet ist die Kilowattstunde (kWh), das Tausendfache der Wattstunde. In dieser Einheit werden vor allem Strom-, aber auch Heizwärmekosten abgerechnet und mit Messeinrichtungen wie dem Stromzähler oder Wärmehzähler erfasst.

Anders als bei der Einheit Kilometer pro Stunde, die km/h geschrieben wird, weil dabei durch die Stunde dividiert wird, ist bei der Kilowattstunde kWh kein «/» zu schreiben, weil hier mit der Stunde multipliziert wird. Eine Schreibweise «kW/h» ist daher falsch.

Die Wattstunde leitet sich aus der SI-Einheit Joule ab:

1 Joule = 1 Ws (Wattsekunde)

1 Wh = 3600 Ws (Wattsekunden) = 3600 Joule = 3.6 Kilojoule (kJ).

Die Einheit Wattstunde wird meistens mit dem dezimalen SI-Vorsatz Kilo verwendet (z. B. bei der Stromabrechnung).

1 Kilowattstunde (kWh) = 1 kW · 1 h = 1000 Watt · 1 h = 1000 Wh = 1000 W · 3600 s = 3.6 · 10⁶ J = 3,6 Megajoule (MJ)

Wenn beispielsweise eine Solaranlage mit der Leistung von einem Kilowatt eine Stunde lang Sonnenlicht in elektrische Energie umwandelt, so entspricht das einer Kilowattstunde.

Bei der Angabe der Stromproduktion von Elektrizitätswerken oder des Bedarfs an elektrischer Energie ganzer Länder werden die Vorsätze Mega (M) (für eine Million), Giga (G) (für eine Milliarde) oder Tera (T) (für eine Billion) der entsprechenden Einheit verwendet, um handlichere Zahlenwerte zu erhalten: so entsprechen z. B. 1000 Megawattstunden einer Gigawattstunde (GWh) usw.

Grundeinheit der Energie im internationalen Einheitensystem ist 1 Joule (auch Wattsekunde). Benannt nach James Prescott Joule, wird diese Einheit heute für alle Energieformen verwendet, also auch für die Arbeit und Wärmemenge.

Wie jede abgeleitete Einheit kann das Joule durch Basiseinheiten ausgedrückt werden.

Mit den Einheiten kg, m und s gilt:

$$1 \text{ J} = 1 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2}$$

Joule – J

1 Joule = 1'000 Millijoule

1 J = 1 Ws = 1 Nm

1 J = Arbeit des menschlichen Herzens pro Schlag

4.18 J = erwärmt unter Normbedingungen 1 g Wasser um 1 K
(in veralteten Einheiten: = 1 cal)

Kilojoule – kJ

1 Kilojoule = 1000 Joule

1 kJ \approx 0.278 · 10⁻³ kWh \approx 0.3 Wh

4.18 kJ = erwärmt 1 kg Wasser um 1 K = 1 Kilokalorie

38 kJ = physiologischer Brennwert, das heisst für den menschlichen Körper nutzbarer Energiegehalt, von 1 g Fett $\hat{=}$ 9 kcal (kilocalorie)

Megajoule – MJ

1 Megajoule = 1000 Kilojoule = 0.2778 kWh

2.3 MJ = physiologischer Brennwert von 100 g Schokolade $\hat{=}$ 550kcal

3.6 MJ = 1 Kilowattstunde (kWh) – Abrechnungseinheit für Energie wie Stromverbrauch, Heizleistung

10–15 MJ = täglicher Energiebedarf des Menschen, Mittelwert, variabel nach Alter, Geschlecht und weiteren Faktoren = 1430 bis 3100 kcal

Gigajoule – GJ

1 Gigajoule = 1000 Megajoule

1 GJ \approx 278 kWh

11 GJ \approx 3.1 MWh Bedarf an elektrischer Energie eines Zwei-Personen-Privathaushalts pro Jahr

Terajoule – TJ

1 Terajoule = 1000 Gigajoule

1 TJ \approx 278 MWh = 278'000 kWh

56 TJ = freiwerdende Explosionsenergie der Atombombe Little Boy über Hiroshima (entspricht 13.4 kt TNT)

Petajoule – PJ

1 Petajoule = 1000 Terajoule

1 PJ \approx 278 GWh = 278 Mio. kWh

31.5 PJ = 8760 GWh = 1 Gigawattjahr – Energieabgabe eines 1-Gigawatt-Kraftwerks in einem Jahr (Gemeinjahr mit 365 Tagen)

89.9 PJ = vollständige Umwandlung von 1 kg Materie in Energie (E=m·c²)

Prefix	Symbol	Multiplier (trad. notation)	Exponential	English	Deutsch
Exa	E	1'000'000'000'000'000'000	10 ¹⁸	Quintillion	Trillion
Peta	P	1'000'000'000'000'000	10 ¹⁵	Quadrillion	Billiarde
Tera	T	1'000'000'000'000	10 ¹²	Trillion	Billion
Giga	G	1'000'000'000	10 ⁹	Billion	Milliarde
Mega	M	1'000'000	10 ⁶	Million	Million
kilo	k	1'000	10 ³	Thousand	Tausend
hecto	h	100	10 ²	Hundred	Hundert
deca	da	10	10 ¹	Ten	Zehn
base	b	1	10 ⁰	One	Eins
deci	d	1/10	10 ⁻¹	Tenth	Zehntel
centi	c	1/100	10 ⁻²	Hundredth	Hundertstel
milli	m	1/1'000	10 ⁻³	Thousandth	Tausendstel
micro	μ	1/1'000'000	10 ⁻⁶	Millionth	Millionstel
nano	n	1/1'000'000'000	10 ⁻⁹	Billionth	Milliardstel



Kiss #12, John Chamberlain, 1979

IMPRESSUM UND DANK

Themenplattform zur Master's Thesis HS22
DURABILITY AND/OR CHANGE?

«VADEMECUM» – Ökobilanzdaten und Kennwerte

Professur Annette Gigon / Mike Guyer, D-ARCH, ETH Zürich
März 2022 / **Revision 06.06.2022 (mit englischer Übersetzung)**

Vorbereitung: Annette Gigon
«Vademecum»: Arend Kölsch
Reader: Stefan Jos, Arend Kölsch

Reader und Vademecum basieren teils auf Unterlagen zum Entwurfssemester HS 21.
Beteiligte: Annette Gigon, Kathrin Sindelar, Moritz Holenstein, Ania Tschenett, Stefan Jos
mit Unterstützung von Arend Kölsch (Datensammlungen Baustoffe /-teile und Photovoltaik)

Druck: Druckzentrum ETH Höggerberg

Dank an
Christof Aerni, Markus Aerni (Aerni + Aerni Ingenieure AG, Zürich)
Dr. Rolf Frischknecht (treeze Ltd., Uster)
Prof. Dr. Guillaume Habert (IBI, D-BAUG, ETH Zürich)
Dr. Ilias Hischier (ITA, D-ARCH, ETH Zürich)
Prof. Dr. Alexander Hollberg (Chalmers University of Technology, Göteborg, Schweden)
Gregorij Meleshko (WaltGalmarini AG, Zürich)
Katrin Pfäffli (preisig:pfäffli, Zürich)
Prof. Dr. Arno Schlüter (ITA, D-ARCH, ETH Zürich)

Hinweis: Die hier zusammengestellten Daten wurden nach bestem Wissen verarbeitet.
Für die Richtigkeit kann nicht garantiert werden; die Anwendung erfolgt auf eigene
Verantwortung. Wenn offensichtliche Fehler festgestellt werden, bitten wir um Mitteilung.

