

---

# Baumaterialien für Städte im Klimawandel

## Materialkatalog mit Empfehlungen

---

Caroline Hoffmann, Achim Geissler



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF  
Bundesamt für Wohnungswesen BWO



Kanton Basel-Stadt

# Inhalt

<b>Vorwort</b>	<b>5</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>6</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>11</b>
<b>1 Kurzeinführung</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Hintergrund</b>	<b>12</b>
<b>1.2 Aufbau Materialkatalog</b>	<b>20</b>
1.2.1 Ergebnisse für zentrale Parameter	21
1.2.2 Gesamtbewertung über alle Parameter	22
1.2.3 Datensammlung	23
<b>2 Ergebnisse für zentrale Parameter</b>	<b>26</b>
<b>2.1 Städtisches Mikroklima</b>	<b>26</b>
2.1.1 Resultate Tag (PET) und Nacht (Aussentemperatur, $\theta_a$ )	26
2.1.2 Bewertung und Schlussfolgerung	28
<b>2.2 Strahlungstechnische Grössen</b>	<b>33</b>
2.2.1 Albedo	33
2.2.2 Solar Reflectance Index (SRI)	33
2.2.3 Visuelle Eigenschaften	33
<b>2.3 Nachhaltigkeit</b>	<b>37</b>
2.3.1 Lebensdauer	37
2.3.2 Treibhausgasemissionen (Total)	37
<b>2.4 Akustische Eigenschaften: Gewichtung Schallabsorptionsgrad</b>	<b>40</b>
<b>2.5 Versickerungsfähigkeit (Böden): Abflussbeiwert</b>	<b>42</b>
<b>3 Gesamtbewertung über alle Parameter</b>	<b>44</b>
<b>3.1 Wände</b>	<b>44</b>
3.1.1 Zweischalige Wandkonstruktionen	44
3.1.2 Verputzte Aussendämmung	45
3.1.3 Glassfassade/Leichtbau	46
3.1.4 Hinterlüftete Fassade	47
3.1.5 Reflektierende Anstriche	48
<b>3.2 Böden</b>	<b>49</b>
<b>3.3 Zusammenfassung</b>	<b>50</b>
<b>4 Datensammlung</b>	<b>52</b>
<b>4.1 Zweischalige Wandkonstruktionen</b>	<b>52</b>
4.1.1 Sichtbetonwand mit Kerndämmung	52
4.1.2 Zweischalenmauerwerk mit Kerndämmung, Sichtbackstein aussen	56
4.1.3 Zweischalenmauerwerk verputzt	60
<b>4.2 Verputzte Aussendämmung</b>	<b>64</b>
4.2.1 Einschalenbacksteinmauerwerk mit 7 cm Dämmputz	64
4.2.2 Einschalenbacksteinmauerwerk mit 4 cm Aerogeldämmputz	68
4.2.3 Kompaktfassade (EPS)	72
4.2.4 Kompaktfassade (Steinwolle)	76
<b>4.3 Glassfassade / Leichtbau</b>	<b>80</b>
4.3.1 Glasfassade (g-Wert 0.3)	80
4.3.2 Glasfassade mit Rafflamellenstore (geschlossen)	84
4.3.3 Sandwichpaneele (Leichtbaufassade Gewerbe-, Industriebau)	88

<b>4.4</b>	<b>Hinterlüftete Fassade</b>	<b>92</b>
4.4.1	Holzverkleidung vor Holzständerwand mit Aussenwärmedämmung	92
4.4.2	PV (hinterlüftet, Dämmung Steinwolle)	94
4.4.3	Metallblechverkleidung	98
4.4.4	Faserzementverkleidung, Eternit	102
4.4.5	Kunststein / Natursteinverkleidung	106
4.4.6	Vorgehängtes Begrünungselement	108
<b>4.5</b>	<b>Reflektierende Anstriche Wand</b>	<b>110</b>
4.5.1	Reflektierender Anstrich auf Putz und Einschalenmauerwerk	110
<b>4.6</b>	<b>Umgebung Boden</b>	<b>114</b>
4.6.1	Rasengittersteinpflasterung für Wege/befahrbare Flächen	114
4.6.2	Betonbelag	118
4.6.3	Betonsteinpflasterung für Wege, befahrbar	122
4.6.4	Steinplattenpflasterung für Wege	126
4.6.5	Schwarzbelag (Asphalt)	130
4.6.6	Whitetopping auf Asphalt	134
4.6.7	Kiesbelag	138
4.6.8	Grünfläche (Rasen)	142
4.6.9	Chaussierung (Wassergebundene Deckschicht)	144
<b>5</b>	<b>Anhang 1: Methodik Materialkatalog</b>	<b>148</b>
<b>5.1</b>	<b>Auswahl Materialien</b>	<b>148</b>
5.1.1	Benennung Materialien	148
5.1.2	Berücksichtigung von mehrschichtigen Konstruktionen	148
5.1.3	Farbgebung der Materialien	149
5.1.4	Aufbau der Materialien	149
5.1.5	Bewertung der Materialien	151
<b>5.2</b>	<b>Berücksichtigte Grössen des Materialkatalogs</b>	<b>152</b>
5.2.1	Übersicht	152
5.2.2	Erläuterungen zu einigen Grössen	153
<b>5.3</b>	<b>Datengewinnung</b>	<b>158</b>
5.3.1	Kriterien für die Materialdatensuche aus Sammlungen	158
5.3.2	Plausibilitätscheck Daten aus Sammlungen	158
<b>5.4</b>	<b>Auswahl zentrale Parameter und ihre Bewertung</b>	<b>159</b>
5.4.1	Bewertung Schallabsorptionsgrad	159
<b>6</b>	<b>Anhang 2: Methodik und kritische Diskussion der Simulationen</b>	<b>161</b>
<b>6.1</b>	<b>Auswahl Simulationsprogramme städtisches Mikroklima</b>	<b>161</b>
<b>6.2</b>	<b>Randbedingungen der Simulationen des städtischen Mikroklimas</b>	<b>162</b>
6.2.1	Betrachtung Bauteile	163
6.2.2	Klima, Betrachtungszeitraum und ausgewertete Grössen	164
6.2.3	Betrachteter Ausschnitt	164
6.2.4	Dächer	165
6.2.5	Umgebung Modell	166
6.2.6	Startbedingungen für die Simulation	166
<b>6.3</b>	<b>Kritische Diskussion Simulationsergebnisse für das städtische Mikroklima</b>	<b>167</b>
6.3.1	Hinterlüftete Wandkonstruktionen	168
6.3.2	Blanke Metalloberflächen	168
6.3.3	Verhalten von dunklen und hellen Wandoberflächen	169
6.3.4	Begrünung Wand und Boden	170
6.3.5	Validierung Bodentemperatur	170
6.3.6	Raumlufttemperatur im Gebäude	171
6.3.7	Streuung Ergebnisse im betrachteten Ausschnitt	171
<b>7</b>	<b>Anhang 3: Literatur</b>	<b>172</b>



# Vorwort

Laut den neuesten Klimaszenarien für die Schweiz erwarten uns in den nächsten Jahrzehnten wegen des Klimawandels steigende Temperaturen und häufigere Extremwetterereignisse. Die höheren Sommertemperaturen haben starke Auswirkungen auf das Wohlbefinden und die Gesundheit der Bevölkerung – insbesondere auch, weil sich die Höchsttemperaturen und die Anzahl der Hitzetage stark erhöhen werden.

Städte und andere dicht bebaute Gebiete heizen sich stärker auf als das Umland. In urbanen Gebieten ist ausserdem die Auskühlung während der Nacht schwächer als auf dem Land. Dieser sogenannte Hitzeinseleffekt kann mit der Art der Bebauung und mit der Wahl der Baumaterialien beeinflusst werden.

Hier setzt der vorliegende Materialkatalog an: Er untersucht Materialien im Aussenbereich – Bodenbeläge und Fassaden – nach ihren Auswirkungen auf die städtische Aussen-temperatur und vergleicht verschiedene Materialien miteinander. Er dient als Nachschlagewerk für Planerinnen und Planer und berücksichtigt, neben dem Effekt der Materialien auf die Hitze in der Stadt, auch andere wichtige Eigenschaften der Materialien, wie die Blendung, die Lebensdauer oder – bei Bodenbelägen – die Versickerung.

Das Bundesamt für Wohnungswesen hat die Erarbeitung dieses Materialkatalogs im Rahmen des Pilotprojekts des Bundes zur Anpassung an den Klimawandel finanziell unterstützt, weil die Thematik wichtig ist und unser Umgang mit dem Hitzeeffekt für die Zukunft wegweisend sein wird. Die gebaute Umwelt ist langlebig, so dass heute verbaute Materialien auch in den kommenden Jahrzehnten einen Einfluss auf das städtische Klima haben werden.

Wir appellieren deshalb an Planende und Bauträgerschaften, den Effekt der Baumaterialien auf die Hitze in der Stadt in ihre Planung mit einzubeziehen und sich des Nachschlagewerks zu bedienen. Dabei dürften unseres Erachtens vor allem die zusammenfassende Tabelle zu Beginn, sowie die ausführlicheren Resultate in den Kapiteln 2 und 4 des Materialkatalogs nützlich sein.

Wir fordern des Weiteren die Wissenschaftsgemeinschaft auf, ausgehend von diesem Katalog dessen Resultate zu prüfen, weiterzuentwickeln und weiterzuforschen, welche baulichen Massnahmen zu einer geringeren Hitzebelastung in bebauten Gebieten beitragen können, ohne dabei weitere wichtige Eigenschaften der Bauwerke und Materialien zu vernachlässigen. Diese Anstrengungen müssen jetzt unternommen werden, damit die Auswirkungen des Klimawandels gemildert sowie das Wohlbefinden und die Gesundheit der Bevölkerung heute und in Zukunft gefördert werden.

Bundesamt für Wohnungswesen BWO

# Zusammenfassung

Im städtischen Umfeld können ein hoher Bebauungsgrad mit wärmespeichernden Materialien und versiegelte Oberflächen im Sommer zu Hitzestress und einer reduzierten nächtlichen Auskühlung führen. Die richtige Auswahl von Baumaterialien kann dazu beitragen, diese Effekte zu mindern. Der Materialkatalog bewertet Materialien für Fassaden und gebäude nahe Böden auf ihre Wirkung hinsichtlich des städtischen Mikroklimas. Dabei wird zur Vereinfachung jeweils eine Kombination aus Oberflächenmaterial, Konstruktion und Farbgebung der Oberfläche als «Material» bezeichnet. Um eine ganzheitliche Betrachtung von Materialien zu ermöglichen, werden zusätzlich Aspekte wie Blendung, Akustik, Treibhausgasemissionen und Lebensdauer bewertet. Der Materialkatalog umfasst 26 Materialien mit zusätzlich 19 Farbvarianten. Die einzelnen Materialien werden aus unterschiedlichen Perspektiven betrachtet: zunächst über eine Datensammlung von 35 Kenngrößen zum Material selbst, dann über eine vergleichende Analyse für ausgewählte Parameter. Diese im Rahmen des Projektes ausgewählten Parameter stammen aus fünf Themenbereichen:

- Auswirkung auf das städtische Mikroklima: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET, Tag), Aussenlufttemperatur (Nacht)
- Strahlungstechnische Größen: Albedo, Solar Reflectance Index, Visuelle Reflexion (Blendung)
- Nachhaltigkeit: Lebensdauer, Treibhausgasemissionen
- Akustische Eigenschaften: Gewichteter Schallabsorptionsgrad
- Versickerungsfähigkeit (Böden): Abflussbeiwert

Die Auswirkung der Materialien auf das städtische Mikroklima tagsüber wird über die PET charakterisiert, nachts über die Aussentemperatur. Die Resultate zu beiden Parametern werden mittels Simulationen eines dreidimensionalen Mikroklimamodells für ein Areal in Basel gewonnen. Dabei wird eine viertägige Hitzewelle in Basel mit Wetterdaten von der ersten Augustwoche 2018 betrachtet. Ausgewertet werden am vierten Tag um 4 Uhr morgens die Aussenlufttemperatur und um 14 Uhr nachmittags die PET. Die Aussenlufttemperatur der Wetterdaten beträgt am vierten Tag um 4 Uhr morgens 21.2 °C und um 14 Uhr 34.8 °C. Es werden zehn Standorte (Sensoren) im Areal untersucht und die Ergebnisse aller zehn Standorte gemittelt. Die nachstehende Tabelle zeigt alle untersuchten Materialien sortiert nach der Höhe der resultierenden PET.

Für alle Wandkonstruktionen liegt die tiefste PET bei 30.1 °C und höchste PET bei 36.4 °C, die Spannweite beträgt also 6.3 K. Wenn zwischen dunklen und hellen Farben gewählt werden kann, so verursacht dies bei der PET je nach Material eine Differenz zwischen 0.2 und 1.0 K.

Bei den drei Wandkonstruktionen mit der tiefsten PET sind die Simulationsergebnisse nur mit Vorbehalten auf andere Umgebungen zu übertragen. Speziell bei dunklen Metalloberflächen stellt sich im untersuchten Areal eine höhere Windgeschwindigkeit ein. Die hohen Oberflächentemperaturen des dunklen Metalls rufen also Turbulenzen hervor. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass sich unter allen Umständen und vor allem in einer anderen Umgebung zwingend ähnlich starke Windturbulenzen aufbauen werden und den Hitzestress verlässlich reduzieren können. Aus diesem Grund sind diese Ergebnisse farblich abgesetzt und in Klammern dargestellt.

Weitere Wandkonstruktionen mit einer tiefen PET sind zwei hinterlüftete Fassaden mit Photovoltaik bzw. Faserzementverkleidung und eine zweischalige Wandkonstruktion mit Mauerwerk und Kerndämmung. Insgesamt haben hinterlüftete Konstruktionen mit einer hellen, bzw. mittleren Farbgebung im Vergleich zu den anderen Materialien eine etwas tiefere PET. Dieses Ergebnis ist robust, da das in der Simulationsumgebung verfügbare vereinfachte Modell der Hinterlüftung, die Wirksamkeit der Luftzirkulation unterschätzt.

Bei den Bodenkonstruktionen zeigen die Simulationsergebnisse, dass die unterschiedlichen Materialien bei der PET einen Unterschied von nur 0.4 K aufweisen. Die mittleren Werte für die PET aller Sensoren liegen zwischen 33.5 °C and 33.9 °C. Da die PET auch von direkter Sonneneinstrahlung und Wind beeinflusst wird, zeigt dies, dass ohne zusätzliche Beschattungsmassnahmen alleine durch den Bodenbelag keine markante Verbesserung des Mikroklimas erreicht wird.

Mit Zurückhaltung zu interpretieren sind die eher schlechten Ergebnisse für begrünte Fassaden und den Rasen. Sie können damit erklärt werden, dass die in den Simulationen ausgewertete Periode am Ende einer Hitzewelle liegt und die oberen Schichten des Bodens und die Wand als ausgetrocknet angenommen sind. Unter den gewählten Einstellungen im Simulationsprogramm (und auch in der Realität) ist der Verdunstungseffekt damit nicht mehr vorhanden. Beim Rasen kommt hinzu, dass auch die Wahl eines eher ungünstigen Erdreichtyps mit wenig Speichermasse das Ergebnis negativ beeinflusst. Es wird also der schlechteste Fall dargestellt. Diese Ergebnisse sind für gut bewässerte, grüne Fassaden und Rasenflächen nicht repräsentativ und daher in der Übersicht auch in Klammern dargestellt. Vor dem Hintergrund des Klimawandels mit längeren Trockenperioden (und potenziellen Bewässerungsverboten) sollen sie aber dazu anregen, Grünflächen mit einem entsprechenden Beschattungs- und Bewässerungskonzept (Regenwasser) einzuplanen. Dass dies die PET senken kann, zeigen Messergebnisse aus der Literatur, wo für eine Rasenfläche (im Vergleich zu zwei versiegelten Plätzen) tagsüber eine um 2.6–2.8 K tiefere PET angegeben wird. Nachts wird bei der Aussenlufttemperatur eine Differenz von –0.3 K und +0.3 K gemessen. Grünflächen bewirken tagsüber also eine deutliche Senkung der PET. Eine Beschattung verstärkt diesen Effekt noch. Nachts ist die Temperaturreduktion geringer.

Der Materialkatalog richtet sich an Planer und Entscheidungsträger von Bauprojekten in einem frühen, konzeptionellen Planungsstadium. Er bietet Hilfestellung dazu, Materialien im Spannungsfeld zwischen bestmöglichen Eigenschaften für einen geringen Hitze-stress, bauphysikalischen und energierelevanten Anforderungen, sowie der Nachhaltigkeit zu bewerten.

---

#### Informationen zur nachfolgenden Tabelle:

Materialdatensammlung sortiert nach PET tagsüber

Verwendete Abkürzungen: b = blank, B = Umgebung Boden, d = dunkel, EPS = Expandiertes Polystyrol, h = hell, HF = Hinterlüftete Fassade, LB = Glasfassade/ Leichtbau, m = mittel, n = nicht, PET = Physiologisch Äquivalente Temperatur, VA = Verputzte Aussendämmung, ZW = Zweischalige Wandkonstruktionen.

Farbcode: graue Schrift und (Wert): Bei diesen Materialien sind die Simulationsergebnisse nicht vorbehaltlos auf andere Situationen übertragbar, da das Simulationsergebnis stärker als bei den anderen Konstruktionen vom Kontext abhängt.

Zur Einordnung der Werte:

- PET Tag: 35–41 °C werden als starke Wärmebelastung, 29–35 °C als mässige Wärmebelastung eingestuft.
  - Aussentemperatur (Luft) Nacht: Eine hohe Lufttemperatur verhindert eine nächtliche Auskühlung der Gebäude
  - Albedo: Bei einer hohen Albedo wird ein Grossteil der Strahlung reflektiert.
  - Solar Reflectance Index (SRI): Je höher der SRI-Wert ist, desto geringer ist der Aufheizeffekt infolge solarer Strahlung der Oberfläche.
  - Reflexion (visuelle Eigenschaften): Ein hoher Reflexionsgrad kann Blendung hervorrufen.
  - Lebensdauer: Eine lange Lebensdauer kann Ressourcen sparen, da ein Ersatz erst später notwendig wird.
  - Bewertung Schallabsorptionsgrad: Die Bewertung erfolgt in einer Skala von 1 bis 6. Ein hoher Wert weist auf eine dämpfende Akustik im Strassenraum hin.
  - Treibhausgasemissionen, Total (Herstellung und Entsorgung): Ein hoher Wert bedeutet hohe Emissionen bei Herstellung und Entsorgung.
  - Abflussbeiwert: Ein tiefer Abflussbeiwert weist auf eine gute Versickerung hin.
-

## Materialdatensammlung sortiert nach PET tagsüber

	PET Tag	Ausstemperatur (Luft) Nacht	Albedo	Solar Reflectance Index (SRI)
<b>Wandkonstruktionen</b>	°C	°C	–	–
LB_Glasfassade_Sonnenschutz_d	(30.1)	21.6	0.08	0
LB_Sandwichpaneel_d	(31.0)	21.8	0.08	0
HF_Metallblechverkleidung_d	(31.0)	21.8	0.08	0
HF_Photovoltaik	31.7	21.7	0.16	1
HF_Faserzementverkleidung	33.0	21.9	0.63	63
ZW_Zweischalenmauerwerk_Kerndämmung	33.1	21.7	0.55	64
LB_Glasfassade	33.6	21.4	0.31	n. vorhanden
Reflektierender_Anstrich_d	(33.6)	21.7	0.42	50
LB_Glasfassade_Sonnenschutz_h	33.8	21.6	0.68	81
HF_Faserzementverkleidung_d	(33.9)	22.0	0.26	35
HF_Steinverkleidung	34.1	21.8	0.28	23
HF_Holzverkleidung	34.2	21.7	0.35	38
HF_Faserzementverkleidung_m	34.2	21.9	0.45	53
HF_Metallblechverkleidung_h	34.4	21.7	0.68	81
HF_Faserzementverkleidung_h	34.4	21.8	0.75	86
LB_Sandwichpaneel_h	34.5	21.7	0.68	81
Reflektierender_Anstrich_m	34.6	21.7	0.69	83
VA_Kompaktfassade_EPS_h	34.8	21.7	0.75	86
ZW_Zweischalenmauerwerk_Luftschicht_h	35.0	21.6	0.75	86
VA_Kompaktfassade_EPS_m	35.0	21.8	0.45	53
VA_Kompaktfassade_EPS_d	35.0	21.9	0.26	35
VA_Kompaktfassade_Steinwolle_h	35.0	21.6	0.75	86
VA_Einschalenbacksteinmauerwerk_Dämmputz_h	35.2	21.5	0.75	86
VA_Einschalenbacksteinmauerwerk_Aerogeldämmputz_h	35.3	21.5	0.75	86
Reflektierender_Anstrich_h	35.5	21.7	0.81	100
ZW_Zweischalenmauerwerk_Luftschicht_m	35.7	21.8	0.45	53
VA_Kompaktfassade_Steinwolle_m	35.7	21.7	0.45	53
VA_Einschalenbacksteinmauerwerk_Dämmputz_m	35.9	21.7	0.45	53
VA_Kompaktfassade_Steinwolle_d	35.9	21.8	0.26	35
HF_Begrünungselement	(35.9)	(21.7)	0.25	27
ZW_Zweischalenmauerwerk_Luftschicht_d	36.0	21.9	0.26	35
ZW_Sichtbetonwand_Kerndämmung	36.1	21.9	0.38	44
VA_Einschalenbacksteinmauerwerk_Dämmputz_d	36.1	21.8	0.26	35
VA_Einschalenbacksteinmauerwerk_Aerogeldämmputz_m	36.1	21.6	0.45	53
VA_Einschalenbacksteinmauerwerk_Aerogeldämmputz_d	36.4	21.7	0.26	35
LB_Sandwichpaneel_b	n. vorhanden	n. vorhanden	0.40	3
HF_Metallblechverkleidung_b	n. vorhanden	n. vorhanden	0.36	25
<b>Gebäude nahe Bodenkonstruktionen</b>				
B_Betonbelag	33.5	21.7	0.38	44
B_Whitetopping_auf_Aspphalt	33.5	21.7	0.62	75
B_Chaussierung	33.5	21.7	0.42	71
B_Kiesbelag	33.6	21.7	0.29	28
B_Rasengittersteinpflästerung	33.7	21.6	0.25	27
B_Betonsteinpflästerung	33.7	21.7	0.25	28
B_Steinplattenpflästerung	33.7	21.7	0.45	52
B_Aspphalt_d	33.7	21.7	0.18	12
B_Aspphalt_h	33.7	21.7	0.33	37
B_Rasen	(33.9)	(21.7)	0.25	25

Reflexion (visuelle Eigenschaften)	Lebensdauer	Bewertung Schallabsorptionsgrad	Treibhausgasemissionen, Total	Abflussbeiwert
–	Jahre	–	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	–
0.10	25	n. vorhanden	57	n. zutreffend
0.10	n. vorhanden	2.4	53	n. zutreffend
0.10	50	n. vorhanden	20	n. zutreffend
0.09	35	1.9	357	n. zutreffend
0.30	50	3.2	17	n. zutreffend
0.13	50	1.9	61	n. zutreffend
0.15	30	1.9	110	n. zutreffend
0.25	n. vorhanden	1.7	n. vorhanden	n. zutreffend
0.80	25	n. vorhanden	57	n. zutreffend
0.25	50	3.2	17	n. zutreffend
0.23	50	1.7	n. vorhanden	n. zutreffend
0.30	30	5.1	1	n. zutreffend
0.50	50	3.2	17	n. zutreffend
0.80	50	n. vorhanden	20	n. zutreffend
0.70	50	3.2	17	n. zutreffend
0.80	n. vorhanden	2.4	53	n. zutreffend
0.50	n. vorhanden	1.7	n. vorhanden	n. zutreffend
0.70	30	1.0	29	n. zutreffend
0.70	45	1.7	35	n. zutreffend
0.50	30	1.0	29	n. zutreffend
0.25	30	1.0	29	n. zutreffend
0.70	30	1.3	27	n. zutreffend
0.70	n. vorhanden	1.7	n. vorhanden	n. zutreffend
0.70	n. vorhanden	1.7	n. vorhanden	n. zutreffend
0.70	n. vorhanden	1.7	n. vorhanden	n. zutreffend
0.50	45	1.7	35	n. zutreffend
0.50	30	1.3	27	n. zutreffend
0.50	n. vorhanden	1.7	n. vorhanden	n. zutreffend
0.25	30	1.3	27	n. zutreffend
0.25	n. vorhanden	6.0	n. vorhanden	n. zutreffend
0.25	45	1.7	35	n. zutreffend
0.50	50	1.2	56	n. zutreffend
0.25	n. vorhanden	1.7	n. vorhanden	n. zutreffend
0.50	n. vorhanden	1.7	n. vorhanden	n. zutreffend
0.25	n. vorhanden	1.7	n. vorhanden	n. zutreffend
0.66	n. vorhanden	2.4	48	n. zutreffend
0.60	50	n. vorhanden	16	n. zutreffend
0.25	35	1.0	42	1
0.25	30	1.0	n. vorhanden	1
0.34	15	6.0	2	0.6
0.13	15	6.0	4	0.6
0.25	30	n. vorhanden	19	0.2
0.25	25	4.5	n. vorhanden	1
0.30	25	1.5	n. vorhanden	1
0.13	30	1.3	n. vorhanden	1
0.24	30	1.3	n. vorhanden	1
0.25	n. vorhanden	n. vorhanden	1	0.1



# Abkürzungsverzeichnis

$\alpha$	Albedo
b	blanke Metalloberfläche
B	Boden
d	d = Farbgebung dunkel bei Wänden: $\alpha = 0.26$ , bei Reflektierender_Anstrich: $\alpha = 0.42$ , bei Böden (Asphalt, Standard): $\alpha = 0.18$
e	Eigenfarbe
EPS	Expandiertes Polystyrol
h	Farbgebung hell bei Wänden: $\alpha = 0.75$ , bei Reflektierender_Anstrich: $\alpha = 0.81$ , bei Böden (Asphalt, reflektierend): $\alpha = 0.33$
HF	Hinterlüftete Fassade
LB	Glasfassade/Leichtbau
m	Farbgebung mittel bei Wänden: $\alpha = 0.45$ , bei Reflektierender_Anstrich: $\alpha = 0.69$
N	Neubau
PV	Photovoltaik
PET	Physiologisch Äquivalente Temperatur
PIR	Polyiso-Hartschaum
r	reflektierend
S	Sanierung
SRI	Solar Reflectance Index
U-Wert	$W/(m^2 K)$ , Wärmedurchgangskoeffizient (wird als Mass zur Beschreibung des spezifischen Wärmeverlustes von Bauteilen verwendet)
VA	Verputzte Aussendämmung
ZW	Zweischalige Wandkonstruktionen
$\theta_a$	Aussenlufttemperatur
$\theta_i$	Innenlufttemperatur

Konstruktionsgruppe:  
 ZW = Zweischalige Wandkonstruktionen  
 VA = Verputzte Aussendämmung  
 LB = Glasfassade/Leichtbau  
 HF = Hinterlüftete Fassade  
 Reflektierender Anstrich  
 B = Umgebung (Boden)



**Abb. 1** Systematik für die Benennung der Materialien (die Farben werden nur in der Abbildung verwendet und haben keine spezielle Bedeutung).

# 1 Kurzeinführung

## 1.1 Hintergrund

Eine der greifbarsten Auswirkungen des Klimawandels auf das tägliche Leben in der Schweiz ist das zunehmende Auftreten von starkem Hitzestress im städtischen Umfeld im Sommer. Ein integraler Baustein für klimaresiliente Städte kann der Einsatz von Materialien für Fassaden und Böden im Gebäudeumfeld sein, deren Eigenschaften zu einer Minderung der Erwärmung des städtische Mikroklimas beitragen. Damit soll eine (unnötige) Erhöhung des Hitzestresses auf den Menschen vermieden werden. Allerdings spielt bei der Wahl von Aussenmaterialien nicht nur die Wirkung auf das Mikroklima eine Rolle, ebenso wichtig sind Aspekte wie Blendung, Akustik, Treibhausgasemissionen und Lebensdauer. Um diese Aspekte in einem frühen Planungsstadium diskutieren und bewerten zu können, müssen Entscheidungsträger und Planer auf die entsprechenden Informationen zugreifen können.

Ziel dieses Projektes ist es, den entsprechenden Informationsbedarf mit einem Materialkatalog abzudecken. Der erarbeitete Katalog bewertet Baustoffe und Materialkombinationen für Fassaden und das nahe Gebäudeumfeld (Bodenbeläge) auf ihre Wirkung hinsichtlich des städtischen Mikroklimas. Dabei werden zur Vereinfachung als «Material» jeweils eine Kombination aus Oberflächenmaterial, Konstruktion und Farbgebung der Oberfläche bezeichnet. Die Materialien werden im Spannungsfeld zwischen bestmöglichen Eigenschaften für einen geringen Hitzestress, bauphysikalischen und energierelevanten Anforderungen, sowie Nachhaltigkeit bewertet.

Die meisten Daten können mittels einer umfassenden Literaturstudie gewonnen werden. Um jedoch die Auswirkungen des Materials auf das Gebäudeumfeld zu untersuchen, müssen ausreichend detaillierte Modelle des Mikroklimas verwendet werden, welche die städtische Energiebilanz berücksichtigen können. Die entsprechenden Simulationen werden mit ENVI-met durchgeführt.

---

### Randbedingungen für die Simulation

**Methode:** Dreidimensionales Mikroklimamodell ENVI-met für ein Areal mit Hofsituation in Basel-Stadt. Bei der Simulation wird jeweils das Material für einen Bauteiltyp (z.B. «Wand») variiert. Die anderen Bauteile, z.B. Dächer und Böden der Umgebung, haben dabei eine Referenzkonstruktion.

**Simulation:** Es wird eine viertägige Hitzewelle mit Wetterdaten von Basel-Binningen der ersten Augustwoche 2018 simuliert. Der vierte Tag des Wetterdatensatzes weist um 4 Uhr morgens eine minimale Aussenlufttemperatur ( $\theta_a$ ) von 21.2 °C auf und tagsüber um 14 Uhr eine maximale  $\theta_a$  von 34.8 °C.

**Ausgegebene Ergebnisse:** Ausgewertet wird am vierten Tag für die Nacht um 4 Uhr die Aussenlufttemperatur ( $\theta_a$ ) und für den Tag um 14 Uhr die PET (physiological equivalent temperature). Es werden zehn Standorte (Sensoren) im Areal untersucht. Diese sind jeweils 1 m von den Gebäudefassaden entfernt. Es werden die Höhen von 1.7 m und 10.7 m ausgegeben, für jede Höhe werden die Ergebnisse aller zehn Standorte gemittelt.

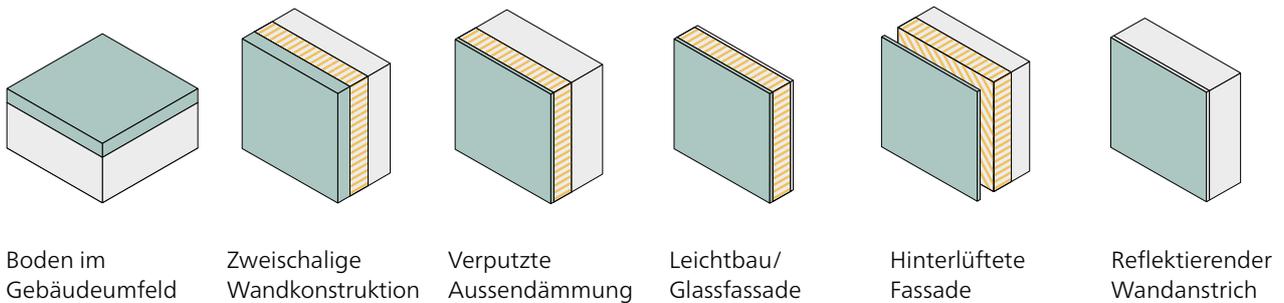
Die Ergebnisse gelten für die im [Kapitel 6.2](#) genannte Modellanordnung und die entsprechenden Randbedingungen.

---

Der Materialkatalog umfasst derzeit Fassadenmaterialien und gebäudenaher Böden im Aussenbereich (**Abb. 2**).

- Zweischalige Wandkonstruktionen (Abkürzung ZW\_), 5 Materialien
- Verputzte Aussendämmung (Abkürzung VA\_), 12 Materialien
- Glasfassade/Leichtbau (Abkürzung LB\_), 6 Materialien
- Hinterlüftete Fassade (Abkürzung HF\_), 11 Materialien
- Reflektierende Anstriche Wand, 3 Materialien
- Umgebung Boden (B\_), 10 Materialien

Die nachfolgenden Übersichten zeigen die untersuchten Materialien im Detail.



**Abb. 2** Untersuchte Material- und Konstruktionsgruppen.

## Zweischalige Wandkonstruktionen

### Sichtbetonwand mit Kerndämmung

→ ZW\_Sichtbetonwand\_

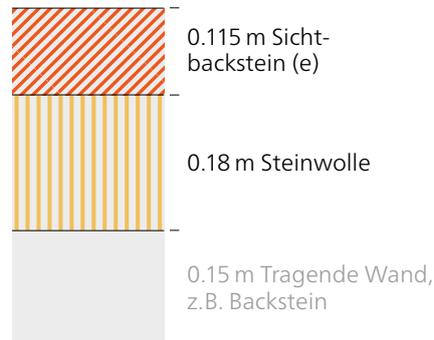
Kerndämmung



### Zweischalenmauerwerk mit Kerndämmung, Sichtbackstein aussen

→ ZW\_Zweischalenmauerwerk\_

Kerndämmung



### Zweischalenmauerwerk verputzt

→ ZW\_Zweischalenmauerwerk\_

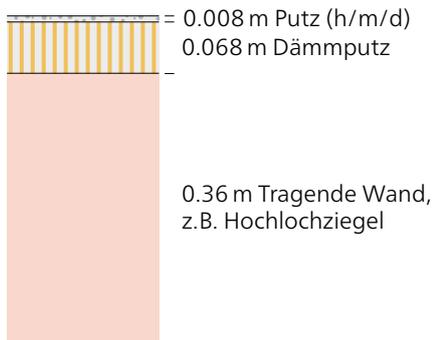
Luftschicht



## Verputzte Aussendämmung

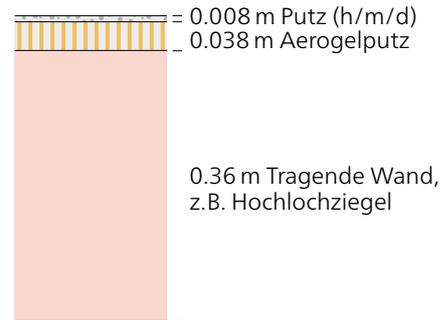
### Einschalenbacksteinmauerwerk mit 7 cm Dämmputz

→ VA\_Einschalenbacksteinmauerwerk\_Dämmputz



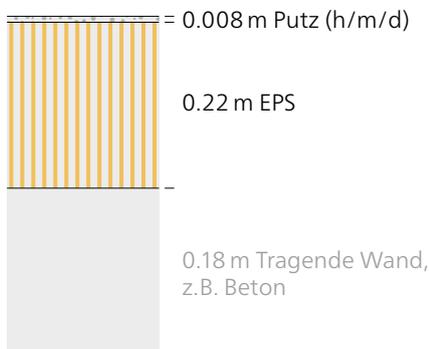
### Einschalenbacksteinmauerwerk mit 4 cm Aerogeldämmputz

→ VA\_Einschalenbacksteinmauerwerk\_Aerogeldämmputz



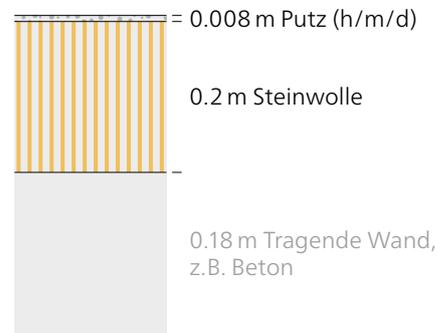
### Kompaktfassade (EPS)

→ VA\_Kompaktfassade\_EPS



### Kompaktfassade (Steinwolle)

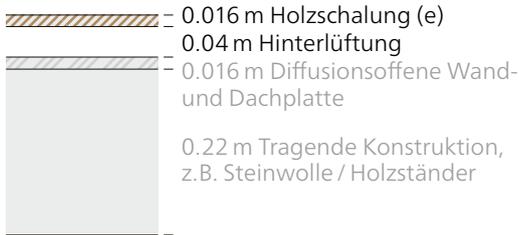
→ VA\_Kompaktfassade\_Steinwolle



## Hinterlüftete Fassade

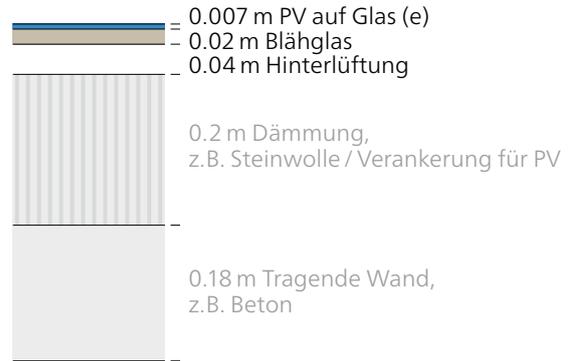
### Holzverkleidung vor Holzständerwand mit Aussenwärmedämmung

→ HF\_Holzverkleidung



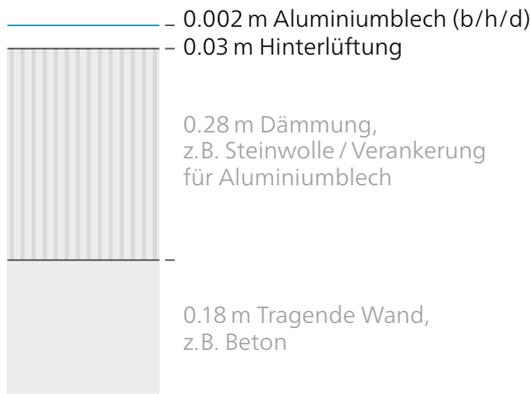
### PV (hinterlüftet, Dämmung Steinwolle)

→ HF\_Photovoltaik



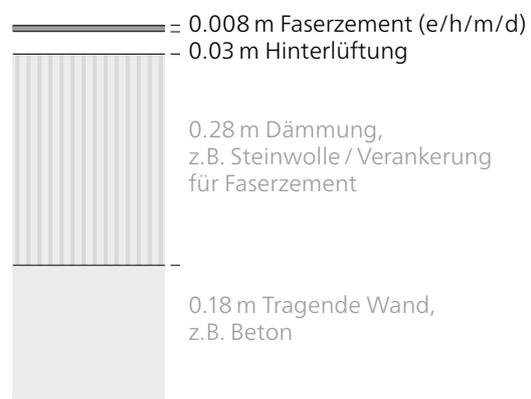
### Metallblechverkleidung

→ HF\_Metallblechverkleidung



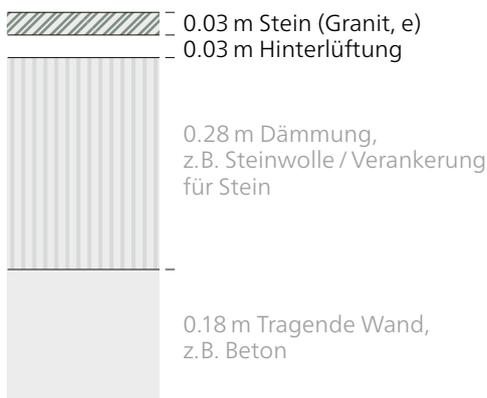
### Faserzementverkleidung, Eternit

→ HF\_Faserzementverkleidung



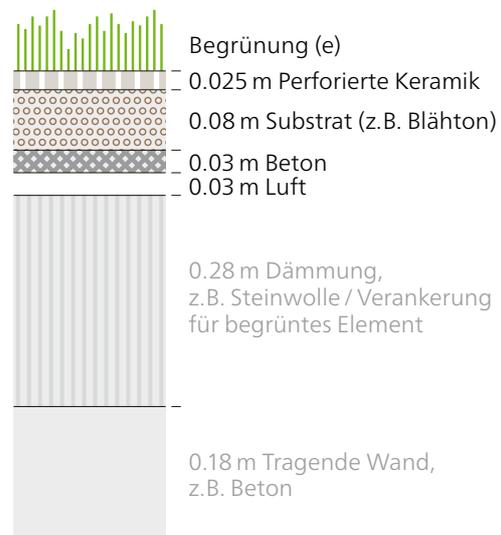
### Kunststein / Natursteinverkleidung

→ HF\_Steinverkleidung



### Vorgehängtes Begrünungselement

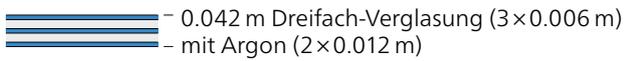
→ HF\_Begrünungselement



## Glasfassade/Leichtbau

### Glasfassade (g-Wert 0.3)

→ LB\_Glasfassade



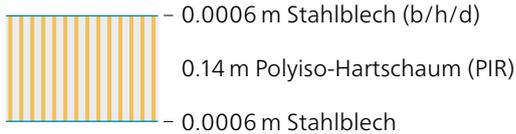
### Glasfassade mit Rafflamellenstore (geschlossen)

→ LB\_Glasfassade\_Sonnenschutz



### Sandwichpaneel (Leichtbaufassade Gewerbe-, Industriebau)

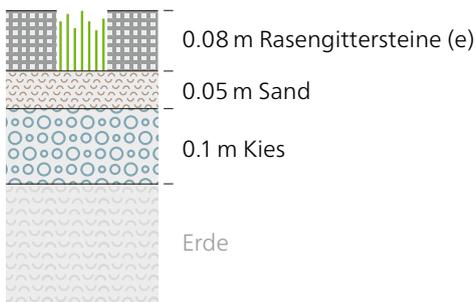
→ LB\_Sandwichpaneel



## Umgebung (Boden)

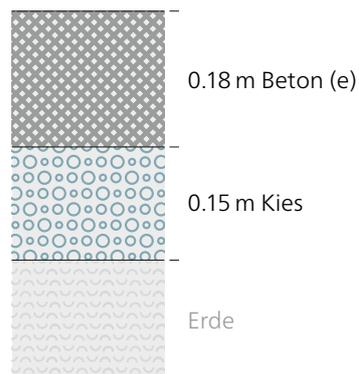
### Rasengittersteinpflasterung für Wege/ befahrbare Flächen

→ B\_Rasengittersteinpflasterung



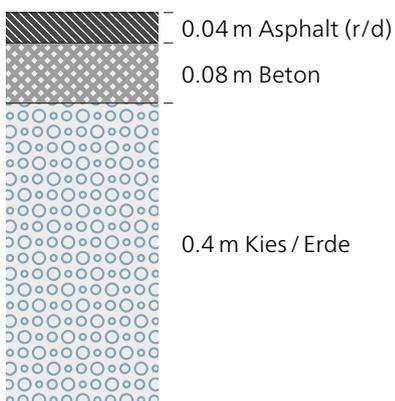
### Betonbelag

→ B\_Betonbelag



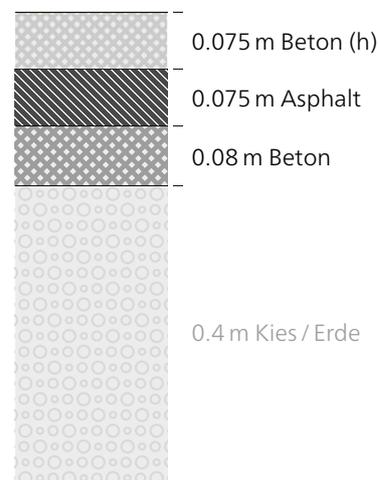
### Schwarzbelag (Asphalt)

→ B\_Asphalt



### Whitetopping auf Asphalt

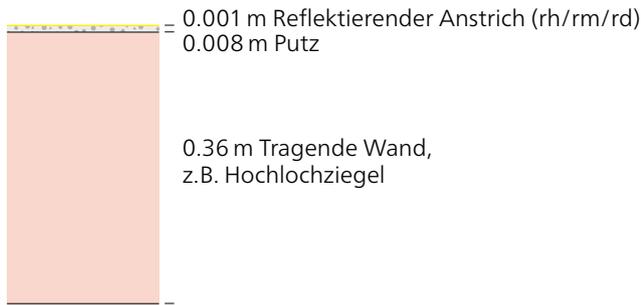
→ B\_Whitetopping\_auf\_Asphalt



# Anstriche Wand

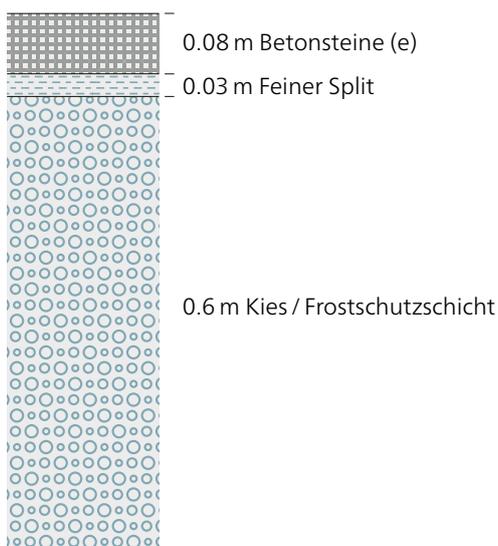
## Reflektierender Anstrich auf Putz und Einschalenmauerwerk

→ Reflektierender\_Anstrich



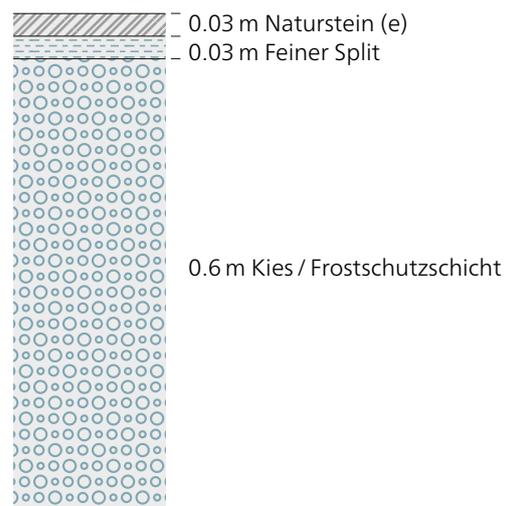
## Betonsteinpflasterung für Wege, befahrbar

→ B\_Betonsteinpflasterung



## Steinplattenpflasterung für Wege

→ B\_Steinplattenpflasterung



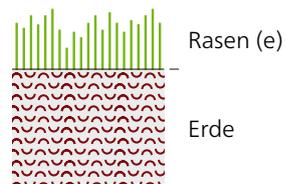
## Kiesbelag

→ B\_Kiesbelag



## Grünfläche (Rasen)

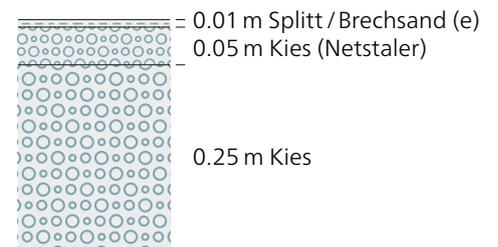
→ B\_Rasen



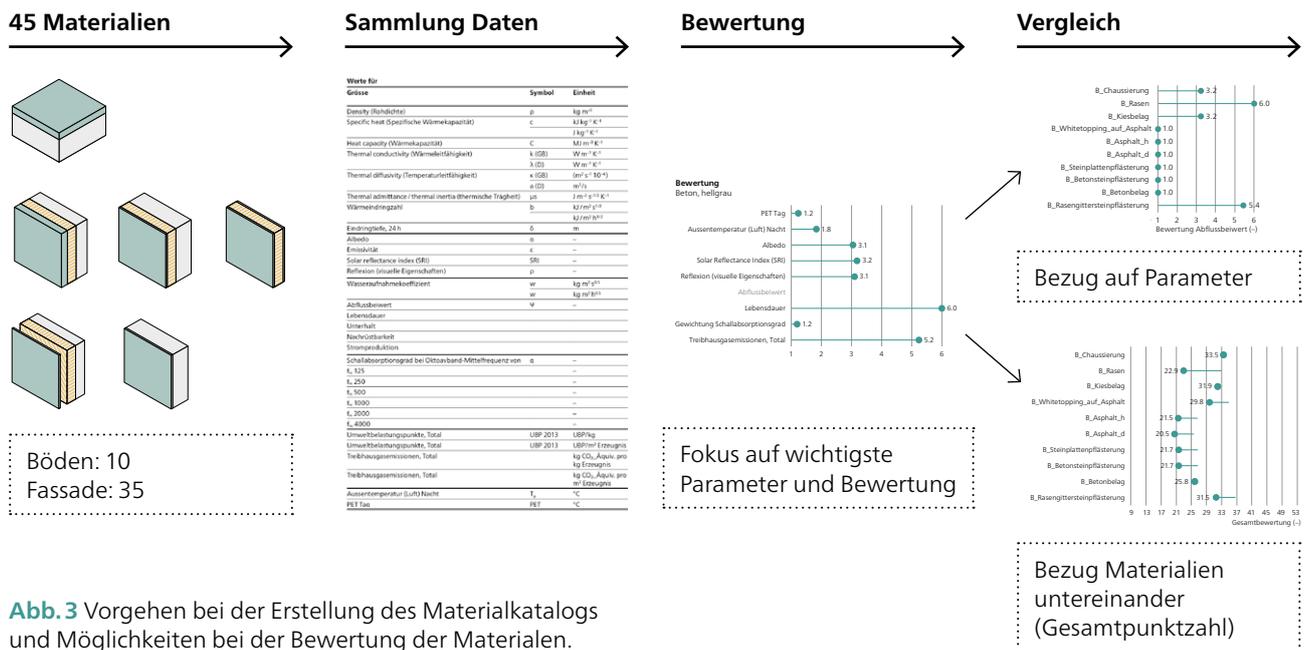
## Chaussierung

(wassergebundene Deckschicht)

→ B\_Chaussierung



Die einzelnen Materialien können aus unterschiedlichen Perspektiven betrachtet werden: zunächst über eine Datensammlung von 35 Kenngrößen zum Material selbst. Da diese Anzahl für einen Vergleich unübersichtlich ist, werden einige charakteristische Parameter herausgegriffen und bewertet. Damit ist ein Vergleich der Materialien untereinander auf zwei Arten möglich: Zum einen gezielt für einen Parameter (z.B. Albedo), oder aber für alle Parameter zusammen. Bei der Gesamtbewertung werden die Materialeigenschaften bewertet und dann alle Bewertungen addiert, sodass Materialien mit einer hohen Bewertung über viele günstige Eigenschaften verfügen. Fehlen zu Materialien Daten wird in der Gesamtbewertung das Potential des Materials aufgezeigt, wenn es bei allen fehlenden Parametern die Bestbewertung hätte. Das Vorgehen bei der Erstellung des Materialkatalogs und die sich daraus ergebenden Möglichkeiten bei der Bewertung der Materialien ist in **Abb. 3** dargestellt.



**Abb. 3** Vorgehen bei der Erstellung des Materialkatalogs und Möglichkeiten bei der Bewertung der Materialien. Der Vergleich der Materialien kann mit absoluten Zahlen oder mit den Bewertungen erfolgen.

Der Katalog zielt auf eine Verwendung in einem sehr frühen, noch konzeptionellen Planungsstadium ab. In seinem Aufbau soll er unterschiedliche Fragestellungen innerhalb dieser frühen Phase abdecken.

**Tabelle 1** zeigt einige dieser möglichen Fragestellungen auf und gibt das jeweilige Kapitel an, in dem sich die gewünschten Informationen finden lassen. Dabei sind die Kapitel, welche sich auf den eigentlichen Materialkatalog beziehen, hellblau hinterlegt. Methodische Kapitel und Abschnitte, die Hintergrundinformationen enthalten, sind hellgrau eingefärbt.

Fragestellungen (Beispiel)	Kapitel und Inhalt
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Optimierung einzelne Parameter</li> <li>– Gesucht ist z.B. ein Material mit geringen Treibhausgasemissionen für Herstellung und Entsorgung oder ein Material mit tiefer Albedo</li> </ul>	<p><b>3 Ergebnisse für zentrale Parameter</b>  Vergleich aller Materialien hinsichtlich eines bestimmten Parameters (z.B. Treibhausgasemissionen, Albedo). Die vergleichende Bewertung erfolgt jeweils innerhalb der Gruppe Fassaden- oder Bodenmaterial.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Welches Material wird in möglichst vielen Kategorien gut bewertet?</li> <li>– Welches Material ist bei einem gegebenen Konstruktionstyp (z.B. vorgehängte Fassade/ Dämmputz) besonders geeignet?</li> <li>– Welche Farbe ist bei einem gegebenen Material günstig?</li> </ul>	<p><b>2 Gesamtbewertung über alle Parameter</b>  Jedes Material wird in neun (Böden), bzw. acht (Wände) Kategorien bewertet. Diese Bewertungen lassen sich für alle Fassaden- bzw. Bodenmaterialien vergleichen, oder es kann innerhalb eines Konstruktionstyps verglichen werden (z.B. vorgehängte Fassade/Dämmputz).</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Angabe zu einem Materialparameter</li> <li>– Detailfrage zu einem Material</li> <li>– Datenquelle für einen bestimmten Parameter</li> </ul>	<p><b>4 Datensammlung</b>  Hier wird für jedes Material ein möglicher Konstruktionsaufbau dargestellt. Weiter werden Materialdaten für die wichtigsten Parameter als absolute Werte sowie als Bewertung innerhalb der Gruppe Fassaden- oder Bodenmaterial angegeben. Zusätzlich gibt es Angaben für 35 material-spezifische Parameter, sowie die entsprechenden Quellenangaben.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wie war das Vorgehen?</li> <li>– Wie wurden die Materialien ausgesucht?</li> <li>– Welche Größen werden berücksichtigt?</li> <li>– Wie sind die Größen definiert?</li> <li>– Wie wird mit den Materialien als Teil einer Konstruktion umgegangen?</li> <li>– Welche U-Werte haben die Konstruktionen?</li> <li>– Wurde ein Plausibilitätscheck für die Daten gemacht?</li> </ul>	<p><b>5 Anhang 1: Methodik Materialkatalog</b>  Informationen zur Vorgehensweise bei der Erstellung des Materialkatalogs</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Hintergrundinformationen zu den Simulationen</li> <li>– Warum wurden die Simulationen mit ENVI-met gemacht?</li> <li>– Welches Klima liegt den Simulationen zu Grunde?</li> <li>– Sind alle Ergebnisse plausibel?</li> </ul>	<p><b>6 Anhang 2: Methodik und kritische Diskussion der Simulationen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Auswahlkriterien für das Simulationsprogramm</li> <li>– Randbedingen für die Simulationen</li> <li>– Kritische Diskussion und Validierung der Simulationsergebnisse</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Quellenangaben für Kapitel 1, 2, 3, 5 und 6</li> </ul>	<p><b>7 Anhang 3: Literatur</b>  Literaturverzeichnis</p>

**Tab. 1** Mögliche Fragestellungen und Aufbau des Materialkatalogs.

## 1.2 Aufbau Materialkatalog

Der Materialkatalog gliedert sich in drei Teile:

- Ergebniserläuterung für zentrale Materialeigenschaften und Gesamtbewertung
- Datensammlung
- Methodische Erläuterungen

Folgende drei Themen sind für das Verständnis des Katalogs wichtig:

- Farben: Für Materialien, die eine unterschiedliche Farbgebung der Oberfläche haben können, werden jeweils drei Farbtöne berücksichtigt (hell, mittel, dunkel).
- Alterung und Verschmutzung Materialien: Im Katalog wird eine Veränderung von Eigenschaften infolge der Alterung, durch das Verschmutzen oder das Ausbleichen von Materialien nicht berücksichtigt. Speziell bei reflektierenden Anstrichen/Asphalt sind Alterung und Verschmutzung ein Thema. Derzeit ist den Verfassern keine Norm bekannt, die Testverfahren für eine frühzeitige Alterung für reflektierende Anstriche/Asphalt berücksichtigt, um daraus verlässliche Aussagen zum Langzeitverhalten ableiten zu können. Als sehr grobe Näherung für einen möglichen Alterungsprozess, bzw. für Verschmutzung kann betrachtet werden, wie sich das Mikroklima verändert, wenn für Materialien unterschiedliche Farbtöne berechnet wurden. Ein Sprung zwischen den drei Farbkategorien (hell, mittel und dunkel) kann eine Zunahme der PET (Definition siehe [Tabelle 2](#)) zwischen 0.0 und 0.8 K bewirken. Umgekehrt gilt dies auch für ein mögliches Ausbleichen der Materialien (Abnahme PET).
- Begrünung (Boden/Fassade): Grundsätzlich gilt die Prämisse, dass eine bewässerte (und möglichst verschattete) Begrünung wesentlich zu einem vorteilhaften Mikroklima beiträgt. In der Simulation des Mikroklimas wird hier jedoch vom schlechtesten Fall ausgegangen: simuliert wird das Ende einer Hitzeperiode bei ausbleibender Bewässerung und ausgetrockneter Begrünung. Dieser Zustand ist derzeit für durchschnittliche Sommer nicht immer repräsentativ, allerdings ist bei Hitzesommern anzunehmen, dass regionale Bewässerungsverbote ausgesprochen werden können, wie dies z.B. in einzelnen Gemeinden im Kanton Basel-Landschaft 2001, 2003 und 2018 [\[1\]](#) und im Aargau im Jahr 2018 erfolgte [\[2\]](#). Die begrünten Flächen sind auch nicht explizit verschattet (z.B. durch Bäume etc.). Weitere Informationen, siehe auch [«Infobox: begrünte Fassade»](#) und [«Infobox: Rasen»](#).

## 1.2.1 Ergebnisse für zentrale Parameter

Die verwendeten acht Parameter für Wände und neun für Böden sind in [Tabelle 2](#) aufgelistet und definiert.

Für alle Materialien wird in Grafiken dargestellt, welche Absolutwerte die Materialien für den jeweiligen Parameter aufweisen und wie dieser Parameter relativ bewertet wird. Die Bewertung der Parameter erfolgt in einer Skala (6 = sehr gut, 1 = ungenügend). Die Materialien werden jeweils innerhalb der Gruppe Fassadenmaterial oder Boden verglichen. Das innerhalb dieser Gruppe beste Material wird am höchsten bewertet, das innerhalb der Gruppe schlechteste Material am tiefsten. Bei sehr geringen Unterschieden, wie z.B. bei der Wirkung der Bodenmaterialien auf das Mikroklima nachts, misst diese Art der Bewertung geringen Differenzen ein hohes Gewicht zu. Weitere Angaben finden sich in [Kapitel 5.1.5](#).

Parameter	Definition	Auswirkung
F/B PET Tag	Die «Physiologisch Äquivalente Temperatur» berücksichtigt alle für den thermischen Komfort des Menschen relevanten Parameter. Dies schliesst umgebungsklimatische Grössen, wie Einstrahlung, Lufttemperatur, Wind und Feuchte, sowie körperliche Parameter (physische Aktivität, inklusive Schwitzen und Bekleidungsgrad) ein. Ausgabe: PET um 14 Uhr auf 1.7 m Höhe	> 41 °C: Extreme Wärmebelastung 35–41 °C: Starke Wärmebelastung 29–35 °C: Mässige Wärmebelastung 23–29 °C: Schwache Wärmebelastung 18–23 °C: Keine Belastung
F/B Aussentemperatur ( $\theta_a$ ) (Luft) Nacht	Ausgabe: Lufttemperatur um 4 Uhr auf 1.7 m Höhe	Eine hohe Lufttemperatur verhindert eine nächtliche Auskühlung der Gebäude. Zudem regeneriert sich der menschliche Körper bei hohen Temperaturen nachts schlechter.
F/B Albedo	Mass für das Rückstrahlvermögen (Reflexionsstrahlung) von nicht selber leuchtenden, diffus reflektierenden (nicht spiegelnden) Oberflächen.	Bei einer hohen Albedo wird ein Grossteil der Strahlung reflektiert. Vergleichswerte: Frischer Schnee: 0.8–0.9, neuer Asphalt: 0.05
F/B Solar Reflectance Index (SRI)	Mit dem Index können die Effekte von solarer Reflexion und thermischer Emissivität kombiniert betrachtet werden. Je höher der SRI-Wert ist, desto höher ist im Allgemeinen die solare Strahlungsreflexion und desto geringer ist die solare Strahlungsabsorption.	Je höher der SRI-Wert ist, desto geringer ist der Aufheizeffekt infolge solarer Strahlung der Oberfläche. Vergleichswerte: Weisse Oberfläche: SRI 100, Schwarze Oberfläche: SRI 0
F/B Reflexion (visuelle Eigenschaften)	Der Reflexionsgrad besagt, wie gross der reflektierte Anteil einfallender Strahlung im sichtbaren Lichtspektrum ist.	Ein hoher Reflexionsgrad kann Blendung hervorrufen. Vergleichswerte: Weisse Decke: bis 85%, schwarzer Fussboden: 2%
F/B Lebensdauer	Angabe der durchschnittlichen Lebensdauer eines Bauteils.	Eine lange Lebensdauer kann Ressourcen sparen, da ein Ersatz erst später notwendig wird.
F/B Gewichtung Schallabsorptionsgrad	Als Schallabsorptionsgrad wird das Verhältnis von absorbiertes zu auffallender Schallenergie definiert. Die verwendete Gewichtung berücksichtigt die Nachhallzeit und die frequenzabhängige Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs.	Ein hoher Wert weist auf hohe Emissionen bei Herstellung und Entsorgung hin.
F/B Treibhausgasemissionen, Total	Treibhausgasemissionen für die Herstellung und Entsorgung.	Ein hoher Wert weist auf hohe Emissionen bei Herstellung und Entsorgung hin.
B Abflussbeiwert, $\Psi$	Dieser Parameter beschreibt den Teil eines Niederschlagsereignisses, der direkt zum Abfluss gelangt im Verhältnis zum Gesamtniederschlag. Der Parameter gilt nur für Bodenmaterialien.	Ein tiefer Abflussbeiwert weist auf eine gute Versickerung hin. Vergleichswerte: $\Psi = 1.0$ : Hartbelag, $\Psi = 0.2$ : Rasengittersteine

**Tab. 2** Parameter für die Bewertung im Materialkatalog. Die Bewertung von Fassadenmaterialien (F) kann für acht, diejenige von Böden (B) für neun Parameter erfolgen.

## 1.2.2 Gesamtbewertung über alle Parameter

Grundsätzlich wird bei dieser Gesamtbewertung nach einem Material gesucht, das möglichst viele vorteilhafte Eigenschaften aufweist. Das Material stellt damit (meistens) einen Kompromiss dar.

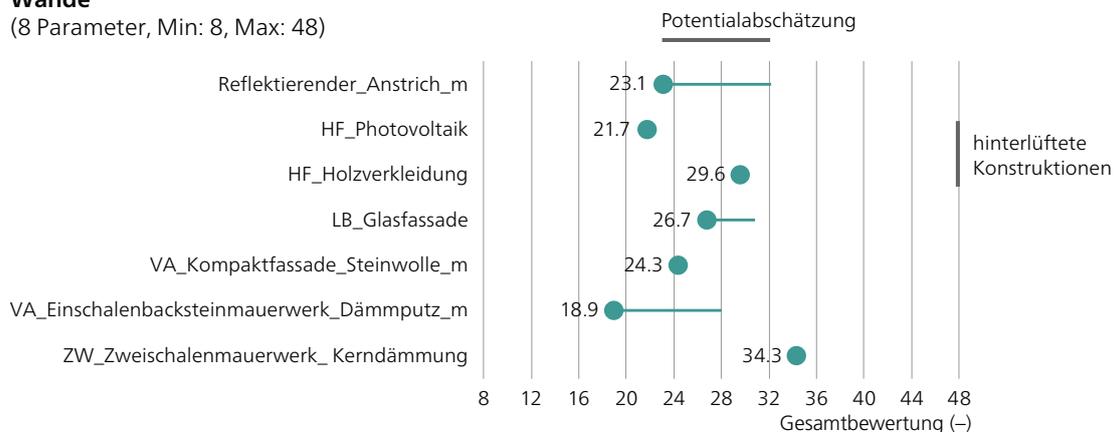
Aus den Bewertungen für jeden der acht (Wände) bzw. neun (Böden) Parameter gemäss [Tabelle 2](#) und [Kapitel 1.2.1](#) kann für jedes Material eine Gesamtbewertung erfolgen. Hierbei werden die Bewertungen (Punkte) aus jedem bewerteten Bereich addiert. Es erfolgt keine Gewichtung der einzelnen Parameter. Nachteilig an diesem Vorgehen ist, dass die resultierende Bewertung stark vom besten und vom schlechtesten Material pro Parameter abhängt und dass die Bewertung nicht von der Grösse der Differenzen abhängig ist (z.B. hätte man bei ähnlichen Werten, wie z.B. bei der Wirkung der Bodenmaterialien auf das Mikroklima nachts, alle Materialien einheitlich bewerten können). Vorteil der Methode ist, dass die Gesamtbewertung einfach und konsequent gehalten ist. In der Gesamtbewertung liegt der mögliche Punktwert damit bei 8–48 für Wände und 9–54 für Böden. Parameter mit fehlenden Angaben werden hierbei mit «1» bewertet. [Abb. 4](#) zeigt dies exemplarisch für neun Materialien. Materialien mit einer insgesamt hohen Punktzahl haben in mehreren Bereichen eine gute Bewertung erhalten verfügen also über vorteilhafte Eigenschaften. In [Abb. 4](#) sind dies der Bodenbelag «B\_Chaussierung» und die zweischalige Wandkonstruktion aus Backstein mit Kerndämmung (ZW\_Zweischalenmauerwerk\_Kerndämmung).

### Umgang mit fehlenden Parametern (Potentialabschätzung)

Da bei einigen Materialien nicht für alle Parameter Angaben existieren, sind die Gesamtbewertungen mit einer Potentialabschätzung versehen. Sie zeigt an, wie hoch die Bewertung wäre, wenn bei den fehlenden Parametern jeweils die maximale Bewertung «6» erreicht würde. In der Gesamtbewertung wird davon ausgegangen, dass beim fehlenden Parameter nur die minimale Bewertung «1» erreicht wird. In [Abb. 4](#) fehlen zum Beispiel beim reflektierenden Anstrich («Reflektierender\_Anstrich\_m») Angaben zu zwei Parametern. Damit liegt die Gesamtbewertung bei 23.1 Punkten, da bei beiden fehlenden Parametern im Minimum die Bewertung 1 erreicht wird. Die Potentialabschätzung zeigt, wo der Wert liegen könnte, wenn die Bewertung höher wäre, im Maximum bei beiden Parametern bei 6 (also 23.1 Punkte + 2×5 Punkte = 32.1 Punkte). Die Linie ist durchgezogen, da die fehlenden Werte auch tiefer bewertet sein könnten (z.B. mit 3 Punkten).

### Wände

(8 Parameter, Min: 8, Max: 48)



**Abb. 4** Beispiel Gesamtbewertung für unterschiedliche Materialien und Interpretationshilfen am Beispiel für Wände. Bei den Wänden werden neun Parameter verglichen und mit Punkten bewertet. Vergleich der Treibhausgasemissionen: bei den Wänden sind die Konstruktionen «HF\_Holzverkleidung» und «HF\_Photovoltaiik» bevorzugt, da bei diesen hinterlüfteten Konstruktionen nur die äusserste, an das Aussenklima angekoppelte Schicht, gewertet wird (siehe [Kapitel 5.1.2](#)). Bei den anderen Konstruktionen gehen die Schichten von aussen bis und mit Dämmung ein. Potentialabschätzung (durchgezogene Linie hinter dem Wertpunkt): siehe [«Infobox: Umgang mit fehlenden Parametern \(Potentialabschätzung\)»](#).

### 1.2.3 Datensammlung

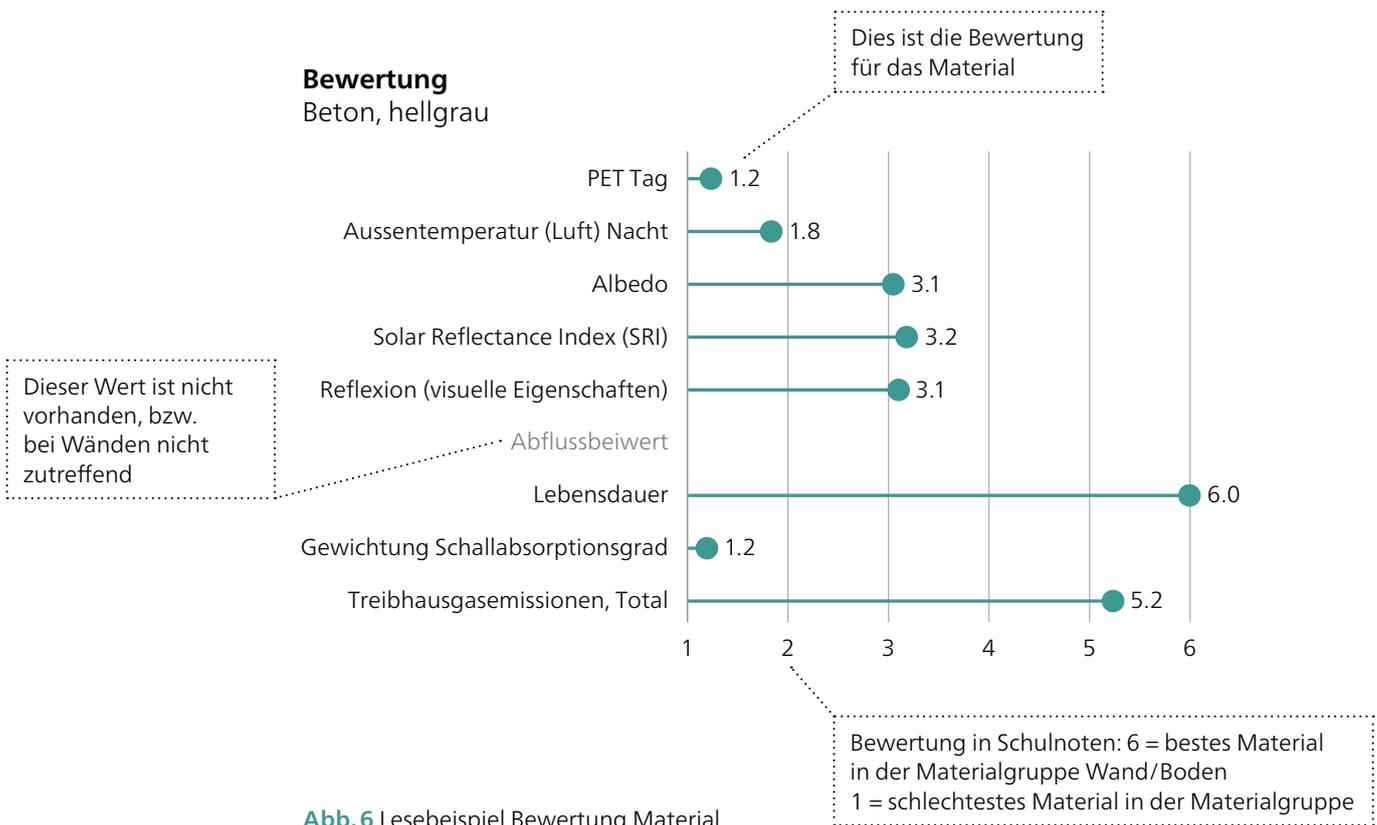
Sofern verfügbar enthält der Katalog für jedes Material Angaben zur Auswirkung auf das städtische Mikroklima, zu wärmetechnischen und strahlungstechnischen Grössen, zur Versickerungsfähigkeit, zur Nachhaltigkeit und zu akustischen Eigenschaften (Abb. 5).

#### Werte für

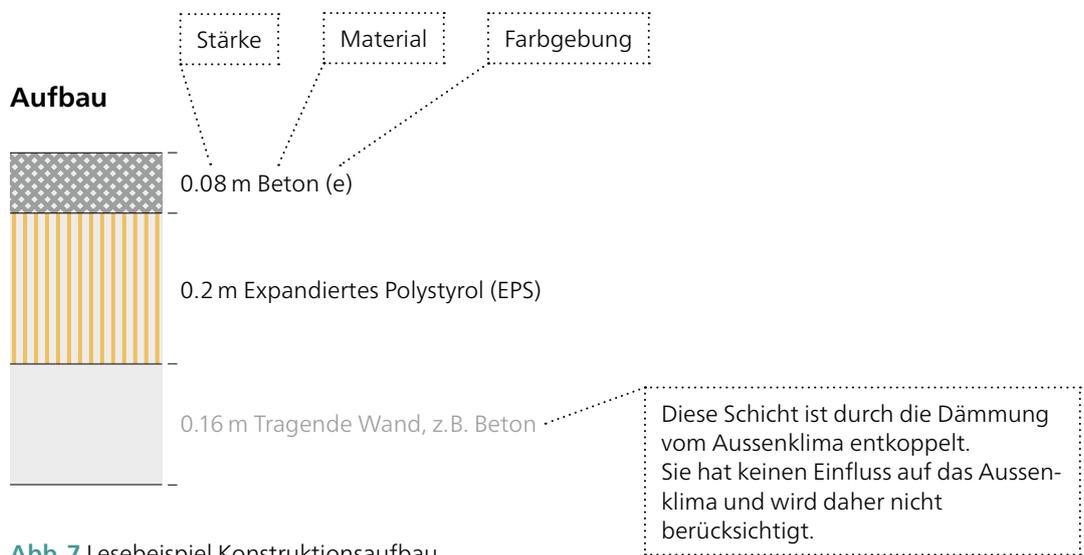
Grösse	Symbol	Einheit	Material Kennwert		
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$		Wärmetechnische Grössen	
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	$c$	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$			
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$			
Heat capacity (Wärmekapazität)	$C$	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$			
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	$k$ (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$			
		$\lambda$ (D)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$		
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$			
		$a$ (D)	$\text{m}^2/\text{s}$		
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$			
Wärmeindringzahl	$b$	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$			
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$			
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	$\text{m}$			
Albedo	$\alpha$	–		Strahlungs- technische Grössen	
Emissivität	$\epsilon$	–			
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–			
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–			
Wasseraufnahmekoeffizient	$w$	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$		Diverse Grössen: Abflussbeiwert, Lebensdauer, Unterhalt	
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$			
Abflussbeiwert	$\psi$	–			
Lebensdauer	$a$				
Unterhalt		ja/nein			
Nachrüstbarkeit		ja/nein			
Stromproduktion		ja/nein			
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–			Akustik
$f_m$ 125		–			
$f_m$ 250		–			
$f_m$ 500		–			
$f_m$ 1000		–			
$f_m$ 2000		–			
$f_m$ 4000		–			
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg		Herstellungs- energie	
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis			
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> _Äquiv. pro kg Erzeugnis			
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> _Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis			
Aussentemperatur (Luft) Nacht	$T_a$	°C		Auswirkung städtisches Mikroklima	
PET Tag	PET	°C			

Abb. 5 Aufbau detaillierte Datensammlung.

In der Datensammlung wird für die Wertung der Informationsverfügbarkeit eine farbliche Kennzeichnung verwendet. Diese ist in [Tabelle 3](#) dargestellt. Die Bewertung für alle Parameter wird wie in [Abb. 6](#) dargestellt angegeben. Für einige Parameter, z.B. für die Auswirkung auf das Mikroklima, ist der weitere Schichtaufbau der Konstruktion relevant. In diesen Fällen werden die Schichten von aussen bis und mit Dämmschicht berücksichtigt ([Abb. 7](#)). Die gezeigten Konstruktionsaufbauten und Schichtdicken sind damit zwar die Grundlage für den Materialkatalog, grundsätzlich aber im Sinne eines Vorschlages zu verstehen. Für die Benennung der Materialien im Katalog wird die Systematik in [Abb. 1 \(Abkürzungsverzeichnis\)](#) verwendet.



**Abb. 6** Lesebeispiel Bewertung Material.



**Abb. 7** Lesebeispiel Konstruktionsaufbau.

Grösse	Symbol	Einheit	Materialien		
			hell	mittel	dunkel
			Kennwert	Kennwert	Kennwert
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	1'050		
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	$c$	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1.50		
Heat capacity (Wärmekapazität)	$C$	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	1.58		
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	$k$ (GB) $\lambda$ (D)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	0.20		
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB) $a$ (D)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$ $\text{m}^2/\text{s}$	1.3E-07		
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	561		
Wärmeindringzahl	$b$	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$ $\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.56		
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	$\text{m}$	0.059		
Albedo	$\alpha$	–	0.81	0.69	0.42
Emissivität	$\epsilon$	–	0.89	0.89	0.87
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	100.0	83	50
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.70	0.50	0.25
Wasseraufnahmekoeffizient	$w$	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$ $\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	n.a.		
Abflussbeiwert	$\Psi$	–	n.a.		
Lebensdauer	$a$	–	n.a.		
Unterhalt			ja		
Nachrüstbarkeit			ja		
Stromproduktion			nein		
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–			
$f_m$ 125		–	0.02		
$f_m$ 250		–	0.02		
$f_m$ 500		–	0.03		
$f_m$ 1000		–	0.04		
$f_m$ 2000		–	0.05		
$f_m$ 4000		–	0.05		
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	n.a.		
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	#WERT!		
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	n.a.		
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	#WERT!		
Aussentemperatur (Luft) Nacht	$T_a$	°C	21.7	21.7	21.7
PET Tag	PET	°C	35.5	34.6	33.6

Tab. 3 Farbliche Kennzeichnung für Informationsverfügbarkeit in der Datensammlung.

**Information aus Materialdatenbank:**

erhältlich für sehr ähnliches Material

erhältlich für Materialgruppe

**Information aus Herstellerunterlagen:**

für das gesuchte oder ein sehr ähnliches Produkt ersichtlich

**«n.a.»:**

kann zwei Bedeutungen haben:

not applicable

Nicht anwendbar. Beispiel: der Abflussbeiwert gilt für Böden und ist bei Wänden nicht anwendbar.

not available

Keine Information erhältlich. Beispiel: Angaben zur Lebensdauer sind nicht erhältlich.

Das Simulationsergebnis ist nicht vorbehaltlos auf andere (räumliche) Situationen übertragbar

**«#WERT!»:**

der Inhalt der Zelle wird berechnet, es fehlt jedoch mindestens ein nötiger Wert für die vorgesehene Berechnung.

# 2 Ergebnisse für zentrale Parameter

## 2.1 Städtisches Mikroklima

### 2.1.1 Resultate Tag (PET) und Nacht (Aussentemperatur, $\theta_a$ )

Das Mikroklima tagsüber wird durch die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) beschrieben, nachts wird die Aussentemperatur ( $\theta_a$ ) ausgewertet. Dabei berücksichtigt die PET alle für den thermischen Komfort des Menschen relevanten Parameter. Dies schliesst umgebungsklimatische Grössen, wie Einstrahlung, Aussentemperatur, Wind und Feuchte, sowie körperliche Parameter (physische Aktivität, inklusive Schwitzen und Bekleidungsgrad) ein. Da nachts die Einstrahlung entfällt, ist zur Beschreibung des thermischen Komforts die Aussentemperatur ( $\theta_a$ ) eine gute Näherung. Aussagen zu den Auswirkungen der Materialien auf das Mikroklima können anhand von Simulationen gemacht werden. Die Ergebnisse gelten damit für bestimmte Randbedingungen und eine definierte Modellanordnung. Diese werden in [Kapitel 6.2](#) beschrieben. Eine kritische Diskussion und Validierung der Simulationsergebnisse findet sich in [Kapitel 6.3](#). [Abb. 8](#) zeigt die PET um 14 Uhr für die Fassaden- und die Bodenmaterialien und [Abb. 10](#) zeigt die Aussentemperatur für 4 Uhr morgens. Die resultierende Bewertung für die PET zeigt [Abb. 9](#) und für die Aussentemperatur [Abb. 11](#).

#### Resultate Wandmaterialien

Für die Wandkonstruktionen liegt die PET um 14 Uhr zwischen 30.1 (LB\_Glasfassade\_Sonnenschutz\_d) und 36.4 °C (VA\_Einschalenbacksteinmauerwerk\_Aerogeldämmputz\_d). Nachts, auf einer Höhe von 1.7 m, liegt die Aussentemperatur  $\theta_a$  zwischen 21.4 °C (LB\_Glasfassade) und 22.0 °C (HF\_Faserzementverkleidung\_d). Auf der Höhe von 10.7 m liegt  $\theta_a$  zwischen 21.5 (LB\_Glasfassade) und 21.9 °C (HF\_Faserzementverkleidung\_d). Beim Vergleich der unterschiedlichen Konstruktionstypen für die Wände kann das folgende festgestellt werden:

#### Zweischalige Fassaden «ZW»

Hier gibt es zwei Untergruppen: Verputzte Backsteinwände mit einer mittigen Luftschicht oder eine jeweils unverputzte Backstein- oder Betonwand mit Kerndämmung.

- Tag: Diese Materialien erreichen PET Werte zwischen 33.1 °C (ZW\_Zweischalenmauerwerk\_Kerndämmung) und 36.1 °C (ZW\_Sichtbetonwand\_Kerndämmung). Die unverputzte Backsteinwand mit Kerndämmung hat hier also die niedrigste PET.
- Nacht: Das Material «ZW\_Zweischalenmauerwerk\_Luftschicht\_h» weist die tiefste  $\theta_a$  dieser Gruppe auf (21.6 °C).

#### Wände mit verputzter Aussendämmung «VA»

Diese Wände können in vier Untergruppen unterteilt werden: Zwei Backsteinwände mit einem Dämmputz oder Aerogel und zwei Betonwände mit einer Dämmung aus Steinwolle oder EPS. Die Putzschichten weisen drei Farbtöne (hell (\_h), mittel (\_m), dunkel (\_d)) auf.

- Tag: Die Wand, welche die höchste PET (36.4 °C) im betrachteten Ausschnitt verursacht, ist «VA\_Einschalenbacksteinmauerwerk\_Aerogeldämmputz\_d», die tiefste PET (34.8 °C) stammt von der Betonwand mit EPS Dämmung und hellem Putz (VA\_Kompaktfassade\_EPS\_h).

- Nacht: Die Temperaturdifferenz zwischen den Wandtypen ist klein (0.4 K). Die höchste  $\theta_a$  kann bei der Wand «VA\_Kompaktfassade\_EPS\_d» festgestellt werden, die tiefste bei den Wandtypen «VA\_Einschalenbacksteinmauerwerk\_Aerogeldämmputz\_h» und «VA\_Einschalenbacksteinmauerwerk\_Dämmputz\_h».

#### Leichtbaukonstruktionen «LB»

Bei diesen Konstruktionen werden zwei Untergruppen untersucht: ein Sandwichpaneel mit unterschiedlicher Farbgebung und eine Glasfassade mit oder ohne Verschattung.

- Tag: Überraschenderweise verursacht das helle Sandwichpaneel (LB\_Sandwichpaneel\_h) die höchste PET mit 34.5 °C, die tiefste PET, 30.1 °C, wird vom dunklen Sonnenschutz (LB\_Glasfassade\_Sonnenschutz\_d) verursacht.
- Nacht: die tiefste  $\theta_a$  (21.4 °C) weist die Glasfassade auf, die höchste  $\theta_a$  (21.8 °C) wird vom dunklen Sandwichpaneel (LB\_Sandwichpaneel\_d) hervorgerufen. Damit liegt die Temperaturdifferenz nachts bei 0.4 K.

#### Hinterlüftete Fassade «HF»

Bei diesen Wandkonstruktionen werden sechs unterschiedliche Verkleidungsarten untersucht: Stein, Photovoltaik, Metall (drei Farbtöne), Holz, eine begrünte Fassade und Faserzement (vier Farbtöne).

- Tag: Die PET der Verkleidungen liegt zwischen 31.0 °C (HF\_Metallblechverkleidung\_d) und 35.9 °C (HF\_Begrünungselement).
- Nacht: Die tiefste  $\theta_a$  liegt bei der mit Photovoltaik, der mit Holz und der mit hellem Metall verkleideten Fassade vor (HF\_Photovoltaik, HF\_Holzverkleidung, HF\_Metallblechverkleidung\_h, 21.7 °C). Die höchste  $\theta_a$  wird von der Verkleidung mit Faserzement hervorgerufen (HF\_Faserzementverkleidung\_d, 22.0 °C). Die Temperaturdifferenz zwischen den Konstruktionen nachts beträgt 0.3 K.

---

#### Begrünte Fassade (HF\_Begrünungselement)

Die hohe PET für die begrünte Fassade überrascht zunächst. Sie kann damit erklärt werden, dass in der Simulation vom schlechtesten Fall, also einer unbewässerten, ausgetrockneten Begrünung ausgegangen wird (siehe [Kapitel 1.2.2](#)). In [3] werden begrünte (bewässerte) Fassaden mit einer einfachen Betonwand durch Messungen verglichen. Im Abstand von 0.6 m von den Fassadenelementen können vor der fassadengebundenen Begrünung 1.3 K tiefere Temperaturen als vor der Betonwand festgestellt werden, bei der bodengebundenen Fassadenbegrünung sind es 0.8 K. Diese Werte sind nicht direkt mit der PET vergleichbar, sie geben aber einen Hinweis auf eine (erwartbare) Reduktion der Temperaturen durch Bewässerung.

---

#### Reflektierende Anstriche

Diese Anstriche sind auf einer ungedämmten, aber verputzten Backsteinwand aufgebracht (Sanierung). Es gibt drei unterschiedliche Farbtöne.

- Tag: Die dunkle reflektierende Farbe (Reflektierender\_Anstrich\_d) ruft mit 33.6 °C eine tiefere PET hervor, als der helle, reflektierende Anstrich (Reflektierender\_Anstrich\_h, 35.5 °C).
- Nacht: Zwischen den Farbgebungen treten keine Unterschiede auf ( $\theta_a = 21.7$  °C).

## Resultate Bodenmaterialien

Die Konstruktionen für den Boden führen zu einer PET zwischen 33.5 °C und 33.9 °C. Die tiefste PET stammt von den Konstruktionen «B\_Betonbelag», «B\_Whitetopping\_auf\_Aspphalt» und «B\_Chaussierung», die höchste PET wird von «B\_Rasen» verursacht (siehe [Infobox](#)).

Nachts ist das Temperaturniveau tiefer und der Unterschied zwischen den Konstruktionen sehr klein ( $\theta_a = 21.6\text{--}21.7\text{ °C}$ ). Vergleicht man  $\theta_a$  für die Höhen 1.7 m und 10.7 m ergibt sich zwischen den Bodenmaterialien nur ein Unterschied zwischen (0.0–0.1 K). Zu beachten ist, dass die Bewertung dieser eigentlich sehr geringen Differenz ein hohes Gewicht zumisst.

---

### Rasen (B\_Rasen)

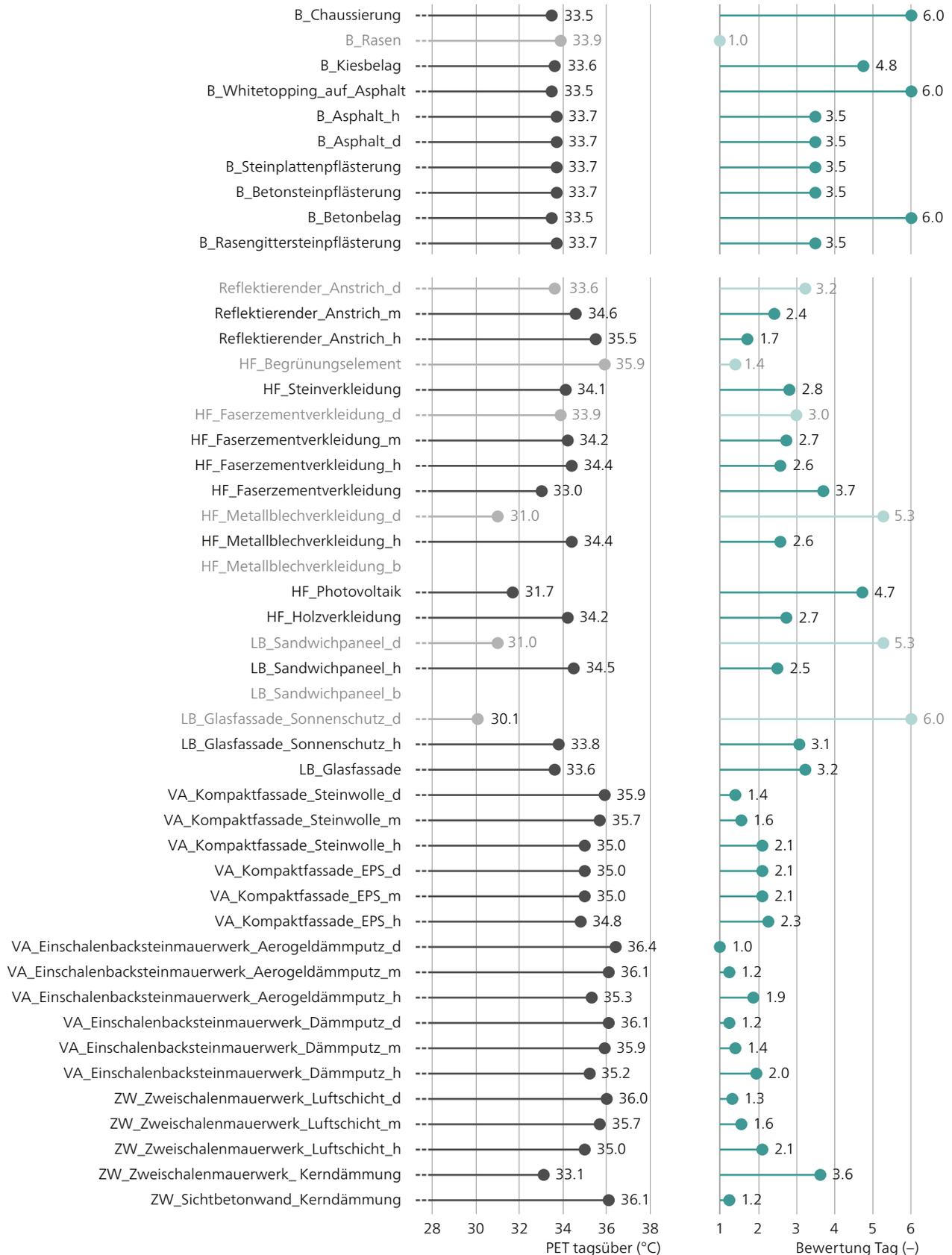
Das schlechte Abschneiden des Rasens kann damit erklärt werden, dass die in den Simulationen ausgewertete Periode am Ende einer Hitzewelle liegt und die oberen Schichten des Bodens als ausgetrocknet angenommen sind. Damit ist der Verdunstungseffekt unter den gewählten Einstellungen im Simulationsprogramm (und auch in der Realität [\[4\]](#)) nicht mehr vorhanden. Beim Rasen kommt hinzu, dass auch die Wahl eines eher ungünstigen Erdreichtyps mit wenig Speichermasse das Ergebnis negativ beeinflusst. Es wird also der schlechteste Fall dargestellt. An einem sonnigen Tag steigt bei trockenem Gras wegen der geringeren Trägheit von Vegetation die Lufttemperatur ( $\theta_a$ ) tagsüber meist schneller, als in einem bebauten städtischen Kontext [\[5\]](#). Im Vergleich zum städtischen Kontext hat Gras eine hohe Albedo (Gras:  $\alpha = 0.25$ , Ziegeldächer:  $\alpha = 0.1\text{--}0.35$ ) und reflektiert damit einen grossen Teil der Strahlung. Dies trägt zu einer hohen PET bei. Sind Grünflächen zugleich beschattet und bewässert, ist die PET tiefer [\[6\]](#). Dies zeigen Messwerte aus der Literatur für normal feuchte Grünflächen: Parks können die Lufttemperatur tagsüber im Mittel um 0.5 °K bis 2.5 °K reduzieren (in einem Bereich um den Park, welcher der Parkbreite entspricht) [\[7\]](#). Diese Werte sind nicht direkt mit der PET vergleichbar, sie zeigen aber eine Tendenz für nicht ausgetrocknete Grünflächen auf. In [\[8\]](#) wird für eine Rasenfläche im Vergleich zu zwei versiegelten Plätzen eine reduzierte PET zwischen 2.6 und 2.8 °K angegeben. Die selbe Rasenfläche hat im Vergleich zu drei Strassenschluchten eine zwischen 3.7 und 6.9 tiefere PET. Nachts wird beim Vergleich zwischen Rasenfläche und den Plätzen für die Aussentemperatur eine Differenz von  $-0.3\text{ °K}$  und  $+0.3\text{ K}$  gemessen. Im Vergleich zu den Strassenschluchten hat die Rasenfläche eine zwischen 0.1 und 1.1 K tiefere Temperatur.

Die gezeigten Simulationsergebnisse sind für gut bewässerte, grüne Rasenflächen nicht repräsentativ und aus diesem Grund in den [Abb. 8](#) bis [Abb. 11](#) farblich abgesetzt. Vor dem Hintergrund des Klimawandels mit längeren Trockenperioden (und potenziellen Bewässerungsverboten) sollen sie aber dazu anregen Grünflächen mit einem entsprechenden Beschattungs- und Bewässerungskonzept (Regenwasser) einzuplanen.

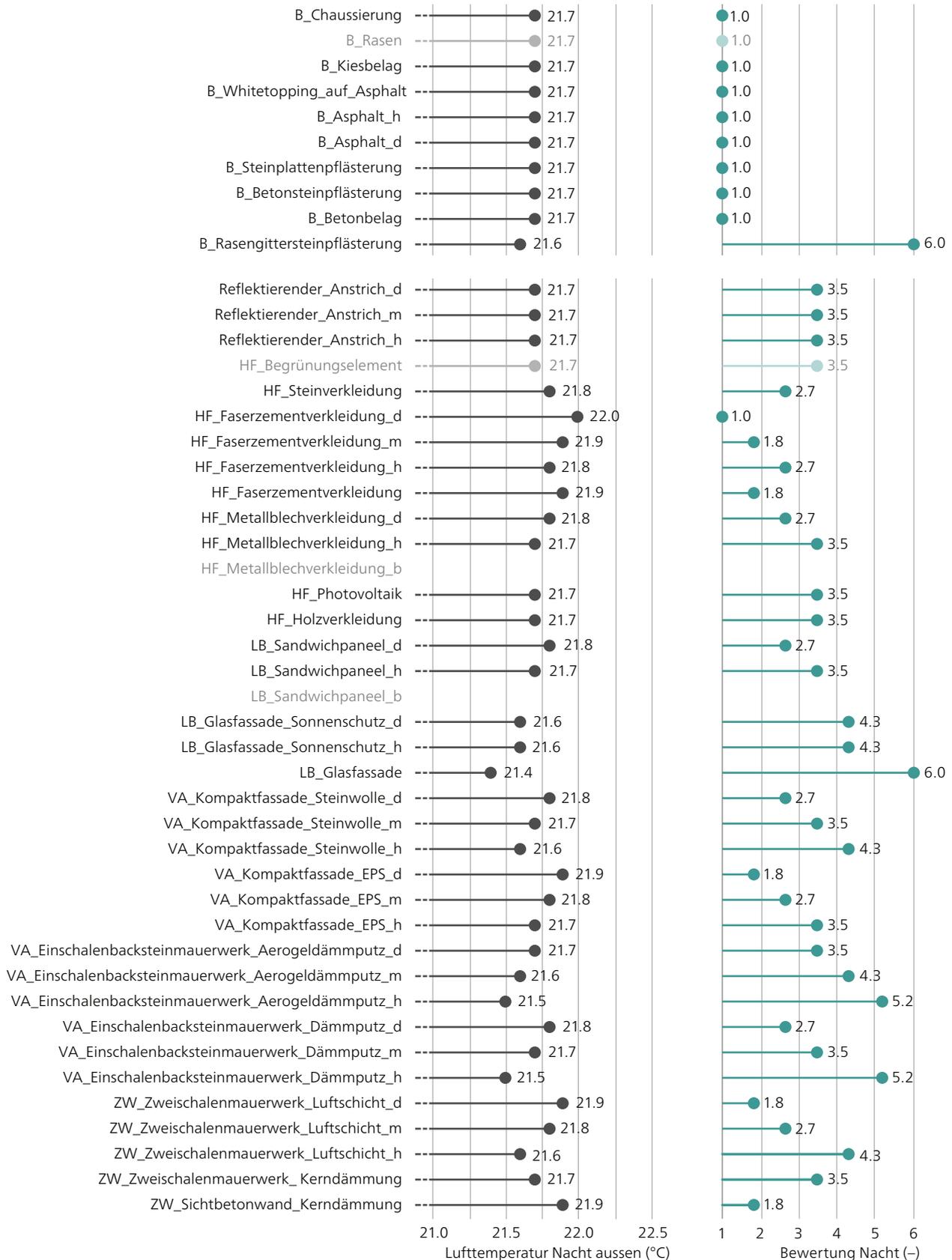
---

### 2.1.2 Bewertung und Schlussfolgerung

Von den 45 untersuchten Materialien verursachen 32 eine PET unter 35 °C. Gemäss Tabelle 9 weisen diese Werte auf eine «mässige Wärmebelastung» hin. 13 Konstruktionen verursachen eine PET > 35 °C und indizieren damit eine «starke Wärmebelastung». [Abb. 8](#) bis [Abb. 11](#) zeigen die PET und die Aussentemperatur  $\theta_a$  in der Übersicht, sowie die entsprechende Bewertung.



**Abb. 8+9** Ergebnisse PET tagsüber, 14 Uhr (links) und die Bewertung (rechts). Konstruktionen, bei denen das Simulationsergebnis nicht vorbehaltlos auf andere (räumliche) Situationen übertragbar ist, sind heller als die anderen Ergebnisse gekennzeichnet. Verwendete Abkürzungen: siehe [Abkürzungsverzeichnis und Abb. 1](#).



**Abb. 10+11** Lufttemperatur ( $\theta_a$ ) Nacht aussen (4 Uhr) und die Bewertung. Konstruktionen, bei denen das Simulationsergebnis nicht vorbehaltlos auf andere (räumliche) Situationen übertragbar ist, sind heller als die anderen Ergebnisse gekennzeichnet. Verwendete Abkürzungen: siehe [Abkürzungsverzeichnis und Abb. 1.](#)

## Bodenkonstruktionen

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass tagsüber (14 Uhr) die Bodenkonstruktionen bei der PET einen Unterschied von 0.4 K im Mikroklima des betrachteten Areals verursachen. Die mittleren Werte für die PET aller Rezeptoren liegen zwischen 33.5 °C and 33.9 °C. Da die PET von Böden von direkter Sonneneinstrahlung und Wind beeinflusst wird, kann ohne zusätzliche Beschattungsmassnahmen alleine durch den Bodenbelag keine markante Verbesserung des Mikroklimas erreicht werden, dies deckt sich auch mit [9]. [Abb. 9](#) zeigt, dass die drei Bodenmaterialien mit der höchsten Bewertung «B\_Betonbelag», «B\_Whitetopping» und «B\_Chaussierung» sind. Am schlechtesten bewertet wird «B\_Rasen». Die Resultate für den Rasen sind unter Berücksichtigung der Randbedingungen (siehe [Infobox in Kapitel 2.1.1](#)) zu beurteilen.

## Wandkonstruktionen

In der Gruppe der zweischaligen Wandkonstruktionen (ZW) verursacht «ZW\_Zweischalenmauerwerk\_Kerndämmung» die tiefsten PET Werte (PET 33.1 °C, Bewertung: 3.6 ([Abb. 9](#))). In der Gruppe mit der verputzten Aussendämmung (VA) verursacht die Kompaktfassade auf Beton mit EPS und einem hellen Putz den geringsten Hitzestress (VA\_Kompaktfassade\_EPS\_h: PET 34.8 °C, Bewertung 2.3). In den Gruppen Leichtbau (LB) und hinterlüftete Fassaden (HF) rufen der dunkle Sonnenschutz (LB\_Glasfassade\_Sonnenschutz\_d), die hinterlüftete Metallverkleidung (HF\_Metallblechverkleidung\_d) und das Sandwichpaneel mit den dunklen Farben (LB\_Sandwichpaneel\_d) eine tiefe PET hervor. Dies liegt daran, dass sich mit dunkel gefärbten Metallschichten eine höhere Windgeschwindigkeit im betrachteten Areal einstellt. Die hohen Oberflächentemperaturen des dunklen Metalls rufen also Turbulenzen hervor, die bis zu einem gewissen Grad durch den ausgelösten thermischen Auftrieb auch erwartbar sind (siehe auch [Kapital 6.3.3](#)). Diese Ergebnisse müssen mit Vorsicht behandelt werden, da nicht damit gerechnet werden kann, dass sich unter allen Umständen und vor allem in einer anderen Umgebung ebenso starke Windturbulenzen aufbauen werden und den Hitzestress verlässlich reduzieren können. Damit werden die genannten Konstruktionen zwar sehr gut bewertet (Bewertung: 5.3–6.0), praktisch ist das Ergebnis aber nicht immer übertragbar.

Der Unterschied zwischen der höchsten und der tiefsten PET bei allen Wandkonstruktionen liegt bei 6.3 K, also rund einen Kategorien-Umfang in [Tabelle 9](#). Wenn zwischen dunklen und hellen Farben gewählt werden kann, so verursacht dies bei der PET eine Differenz zwischen 0.2 und 1.0 K. Bei starken Windturbulenzen (zum Beispiel bei dunklen Metallverkleidungen) kann der Unterschied zwischen dunkler und heller Farbe zwischen 3.4 und 3.7 K liegen (wobei hier das dunklere Metall die tiefere PET aufweist). Nachts um 4 Uhr beträgt auf der Ebene von 1.7 m der Unterschied zwischen allen Wänden 0.6 K. Auf der Ebene von 10.7 m, die relevant für die Nachtlüftung ist, liegt die Differenz bei 0.4 K.

Auch wenn die Unterschiede, wie sich die Materialien auf das Mikroklima auswirken, klein scheinen, so ist es sinnvoll, bei der Planung von Stadträumen die Materialwahl zu berücksichtigen. Auch kleine Differenzen bilden einen Teil des grösseren Ganzen und können so, zusammen mit anderen Massnahmen, zum besseren Mikroklima einer Stadt einen wesentlichen Beitrag leisten.

Dass kleine Beiträge wichtig sind, wird dadurch unterstrichen, dass gerade kleinere Temperaturerhöhungen während Hitzewellen einen starken Einfluss auf die Sterblichkeit haben. Dies liegt daran, dass bei Temperaturextremen die Abhängigkeit der Mortalität von der Temperatur exponentiell zunimmt [10].

## Welche Simulationsergebnisse müssen mit Zurückhaltung interpretiert werden?

Bei zwei Wandkonstruktionen werden blanke Metalloberflächen simuliert. Leider resultieren aus den Simulationen unplausible Ergebnisse, die nicht validiert werden können. Dies führt zu der Entscheidung, die Ergebnisse für die blanken Metalloberflächen nicht zu verwenden (weitere Informationen finden sich in [Kapitel 6.3.2](#)).

Wie das Verhalten der dunklen Metallverkleidungen für die Wände zeigt, gibt es Konstruktionen ([Tabelle 4](#)), deren Simulationsergebnis stärker als bei den anderen Konstruktionen vom Kontext abhängt. Die Ergebnisse sind damit vorsichtig zu bewerten, da sie nicht unbedingt auf andere Situationen zu übertragen sind. In den Grafiken zur PET und zur Aussentemperatur ([Abb. 8 – Abb. 11](#)) sind diese Konstruktionen speziell gekennzeichnet (heller eingefärbt).

Material	Grund für bedingte Übertragbarkeit
<b>Wände</b>	
Reflektierender_Anstrich_d	Phänomene, die hier bei dunkleren Farben zu tieferen Temperaturen als bei der hellen Farbgebung führen, stellen sich unter Umständen nicht verlässlich ein.
LB_Sandwichpaneel_d	Bildung von lokalen Turbulenzen nicht «planbar»
LB_Glasfassade_Sonnenschutz_d	Bildung von lokalen Turbulenzen nicht «planbar»
HF_Metallblechverkleidung_d	Bildung von lokalen Turbulenzen nicht «planbar»
HF_Faserzementverkleidung_d	Phänomene, die hier zu tieferen Temperaturen als bei der hellen Farbgebung führen, stellen sich unter Umständen nicht verlässlich ein.
HF_Begrünungselement	Kann in feuchtem Zustand eine tieferes PET haben (siehe <a href="#">«Infobox: begrünte Fassade»</a> und <a href="#">Kapital 6.3.4</a> )
<b>Böden</b>	
B_Rasen	Kann in verschattetem / feuchten Zustand eine tiefere PET haben (siehe <a href="#">«Infobox: Rasen»</a> und <a href="#">Kapital 6.3.4</a> ).

**Tab. 4** Materialien, bei denen das Simulationsergebnis für die PET mit Vorsicht zu interpretieren ist.

## 2.2 Strahlungstechnische Grössen

### 2.2.1 Albedo

[Abb. 12](#) zeigt die Albedo für alle Konstruktionen und [Abb. 13](#) die Bewertung. Unter Albedo versteht man das Mass für das Rückstrahlvermögen (Reflexionsstrahlung) von nicht selber leuchtenden, diffus reflektierenden, nicht spiegelnden Oberflächen (siehe auch Definition [Kapitel 5.2.2](#)). Eine hohe Albedo bedeutet, dass ein grosser Teil der Strahlung reflektiert wird.

Es zeigt sich, dass in der Gruppe Böden das Material «B\_Whitetopping» das höchste, also beste, Rückstrahlvermögen aufweist. Die tiefste Albedo tritt beim dunklen Asphalt (B\_Aspphalt) auf. Wie zu erwarten, weisen bei den Wandkonstruktionen die hellen Farben eine höhere Albedo als die Dunklen auf. Dementsprechend fällt auch die Bewertung aus. Hier ist das am besten bewertete Material der helle, reflektierende Anstrich. Die Materialien mit dem geringsten Rückstrahlvermögen sind dunklen Metalloberflächen.

### 2.2.2 Solar Reflectance Index (SRI)

[Abb. 14](#) zeigt den «Solar Reflectance Index» und [Abb. 15](#) die resultierende Bewertung. Mit diesem Index können die Effekte von solarer Reflexion und thermischer Emissivität kombiniert betrachtet werden. Je höher der SRI-Wert ist, desto geringer ist der Aufheizeffekt infolge solarer Strahlung auf die Oberfläche. Die Rangfolge ist ähnlich wie bei der Albedo.

### 2.2.3 Visuelle Eigenschaften

[Abb. 16](#) zeigt die visuelle Reflexion, die Bewertung ist in [Abb. 17](#) wiedergegeben. Der Reflexionsgrad besagt, wie gross der reflektierte Anteil auftreffender Strahlung im sichtbaren Lichtspektrum ist. Ein hoher Reflexionsgrad kann Blendung hervorrufen. Damit sind die Bewertungen gegenläufig zur Albedo und zum SRI. Eine gute Bewertung bekommen Materialien, die wenig Blendung hervorrufen können. Dies sind dann tendenziell die Materialien mit einer dunklen Oberfläche.

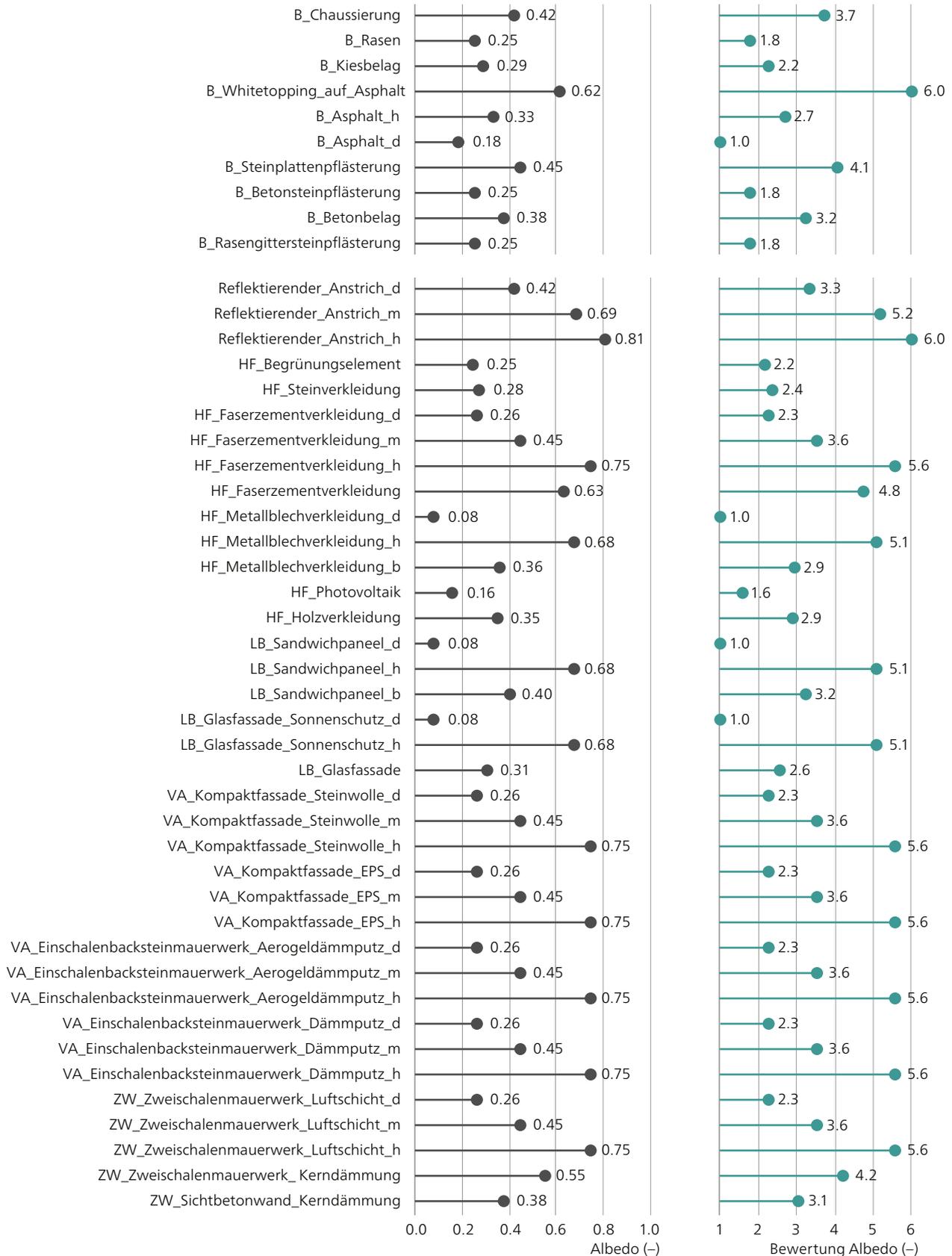
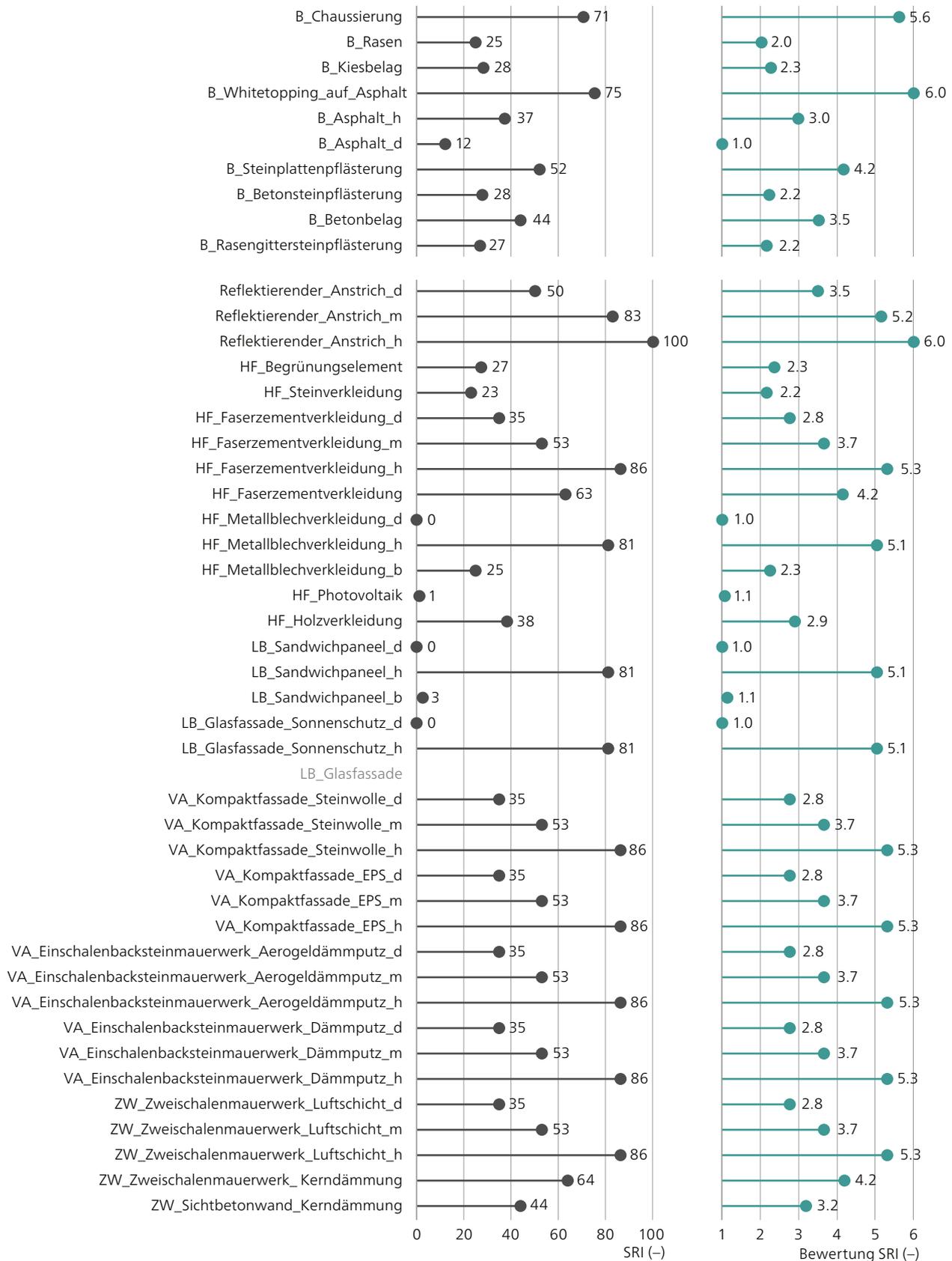
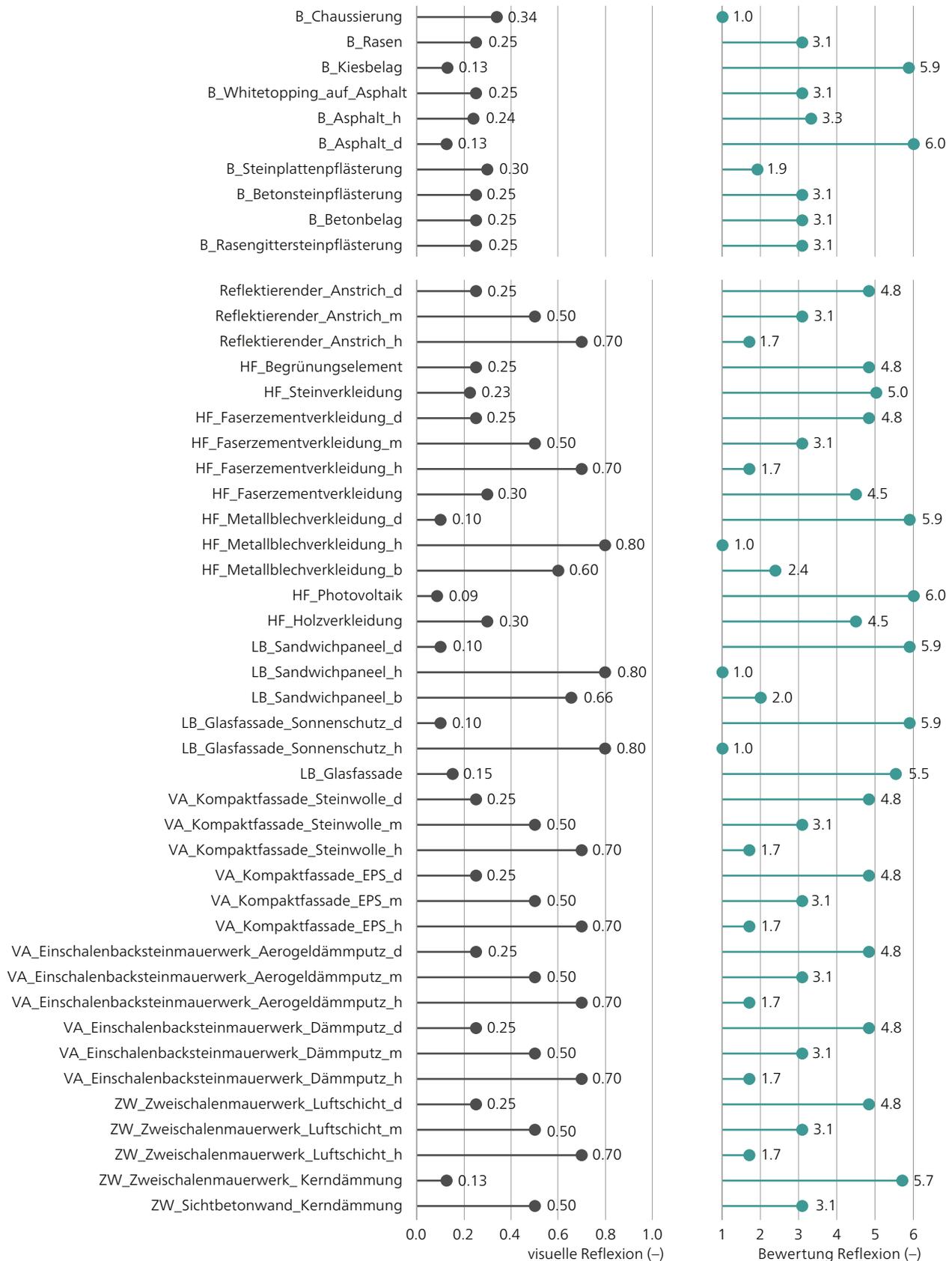


Abb. 12+13 Albedo und die Bewertung.

Verwendete Abkürzungen: siehe [Abkürzungsverzeichnis und Abb. 1.](#)



**Abb. 14+15** Solar Reflectance Index (SRI) und die Bewertung. Einige Materialien haben einen SRI von «0». Beim Material «LB\_Glasfassade» sind keine Daten verfügbar. Verwendete Abkürzungen: siehe [Abkürzungsverzeichnis und Abb. 1.](#)



**Abb. 16+17** Visuelle Reflexion und die Bewertung.  
 Verwendete Abkürzungen: siehe [Abkürzungsverzeichnis und Abb. 1.](#)

## 2.3 Nachhaltigkeit

### 2.3.1 Lebensdauer

[Abb. 18](#) zeigt die durchschnittliche Lebensdauer aller Konstruktionen, [Abb. 19](#) die entsprechende Bewertung. Eine lange Lebensdauer der Bauteile spart Ressourcen, da ein Ersatz erst später notwendig wird.

Von den Bodenkonstruktionen weisen «B\_Betonbelag» und geschlossene Oberflächen eine lange Lebensdauer auf. «B\_Kiesbelag» und «B\_Chaussierung», also Materialien mit einer hohen Versickerungsfähigkeit, müssen nach 15 Jahren erneuert, oder überholt werden. Ein versickerungsfähiges Material mit einer langen Lebensdauer sind Rasengittersteine.

Bei den Wandkonstruktionen sind hinterlüftete Fassaden und zweischalige Konstruktionen besonders langlebig.

### 2.3.2 Treibhausgasemissionen (Total)

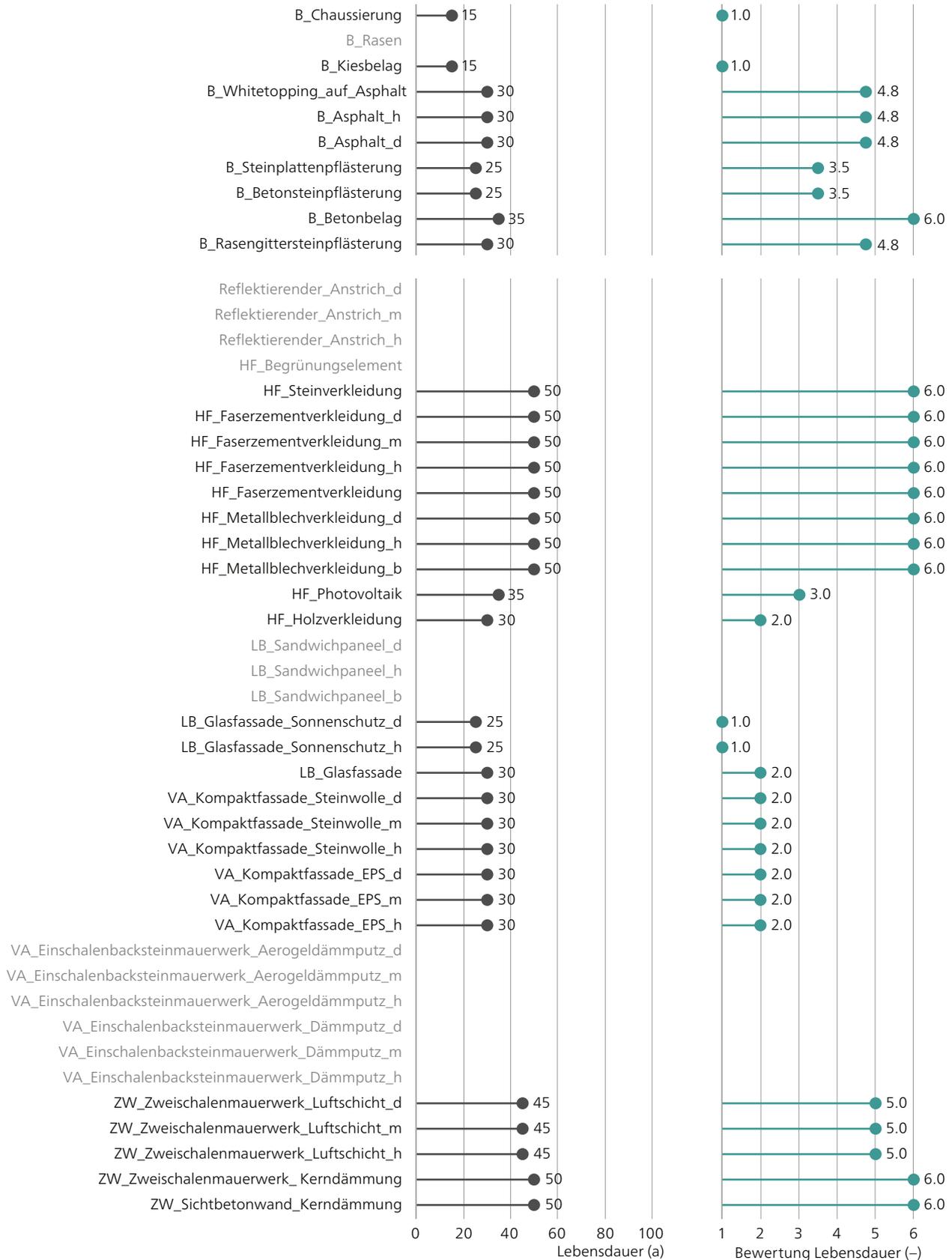
Die Treibhausgasemissionen für die Herstellung und Entsorgung sind in [Abb. 20](#) dargestellt. In [Abb. 21](#) sind die zugehörigen Bewertungen wiedergegeben. Ein hoher Wert weist auf hohe Emissionen bei Herstellung und Entsorgung hin und führt zu einer schlechten Bewertung.

In der Gruppe der Böden weist «B\_Betonbelag» hohe Treibhausgasemissionen auf, sehr niedrige Emissionen ruft «B\_Chaussierung» hervor. Allerdings ist hier zu beachten, dass «B\_Betonbelag» befahrbar ist und eine längere Lebensdauer aufweist. Wenn die Befahrbarkeit nicht zwingend erforderlich ist, ist damit «B\_Chaussierung» günstig.

Bei der Bewertung der Wandmaterialien und Konstruktionen ist auf folgenden Punkt zu achten: wie in [Kapitel 5.1.2](#) dargestellt, berücksichtigt der Materialkatalog immer nur die Schichten, die für das städtische Mikroklima massgeblich sind. Bei gedämmten Bauteilen ist das von aussen bis (und mit) Dämmung, bei hinterlüfteten Materialien ist die trennende Schicht die Luftschicht. Bei einem direkten Vergleich zwischen den anderen Wandkonstruktionen mit «Hinterlüfteter Fassade» (HF) sind die Konstruktionen ohne Hinterlüftung im Nachteil. Ein Vergleich innerhalb der jeweiligen Gruppe ist damit sinnvoller.

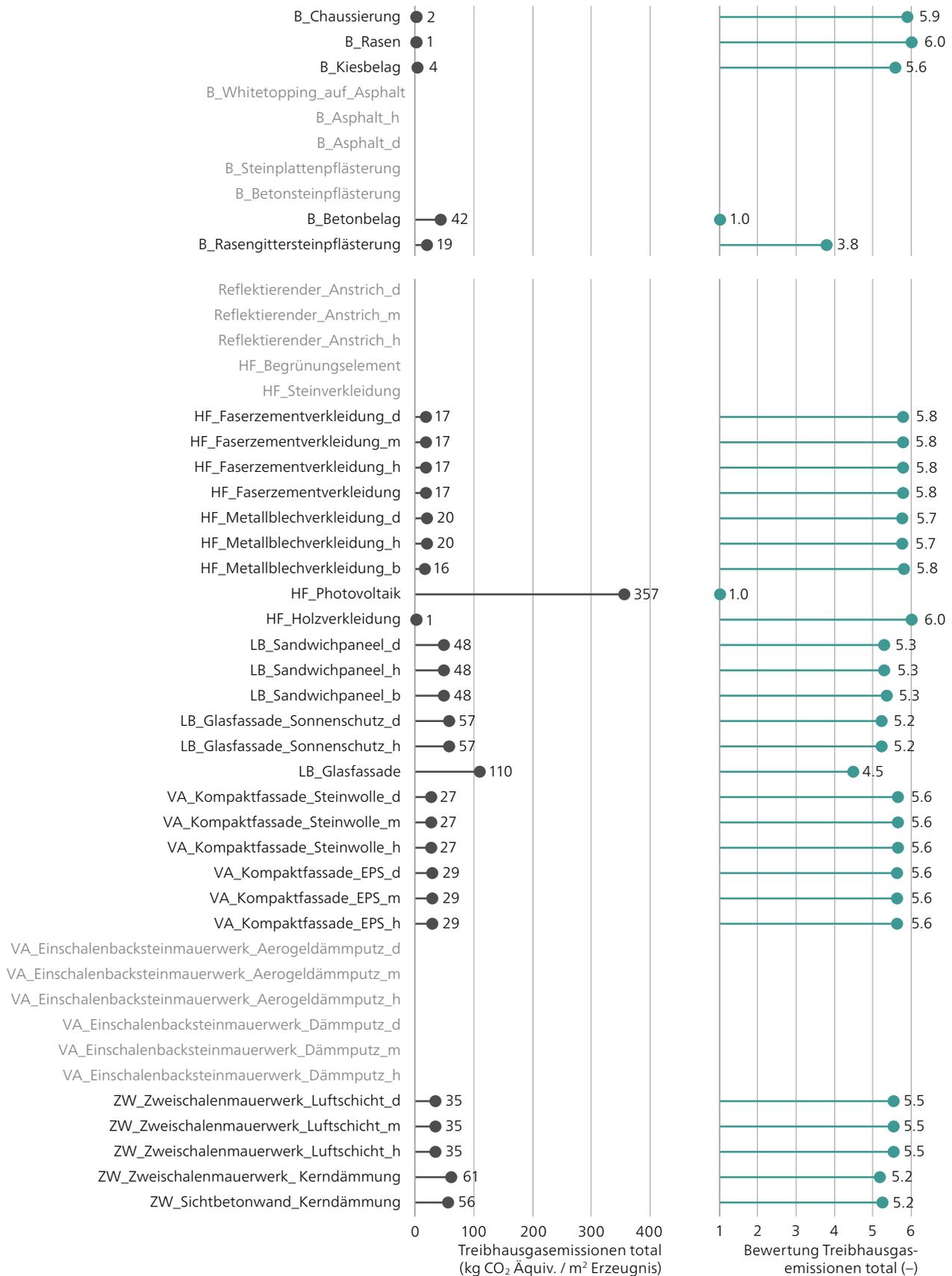
Bei den Wandmaterialien weist die hinterlüftete Fassade mit PV (HF\_Photovoltaik) die höchsten Emissionen auf, gefolgt von der Glasfassade (LB\_Glasfassade) und vom Sonnenschutz (LB\_Glasfassade\_Sonnenschutz, Achtung: die Glasfassade ist hier wegen der trennenden Luftschicht nicht enthalten, der Wert wäre also noch höher) und den Sandwichbauteilen (LB\_Sandwichpaneel). Das Material mit den tiefsten Emissionen ist die hinterlüftete Holzfassade (HF\_Holzverkleidung).

Kommentar: Für das Material PV (HF\_Photovoltaik) gibt es Angaben, die sich auf «Kilowatt Peak» beziehen. Unter der Annahme, dass für die Erzeugung von 1 kWp Nennleistung ca. 6 m<sup>2</sup> Modulfläche benötigt wird [11], können die Werte umgerechnet werden. Allerdings ist ein Vergleich mit den anderen Materialien trotzdem eher schwierig, da bei der negativen Bewertung der PV-Module ausser Acht gelassen wird, dass sie während ihrer Lebensdauer Strom produzieren.



**Abb. 18+19** Lebensdauer und die Bewertung.

Verwendete Abkürzungen: siehe [Abkürzungsverzeichnis und Abb. 1.](#)



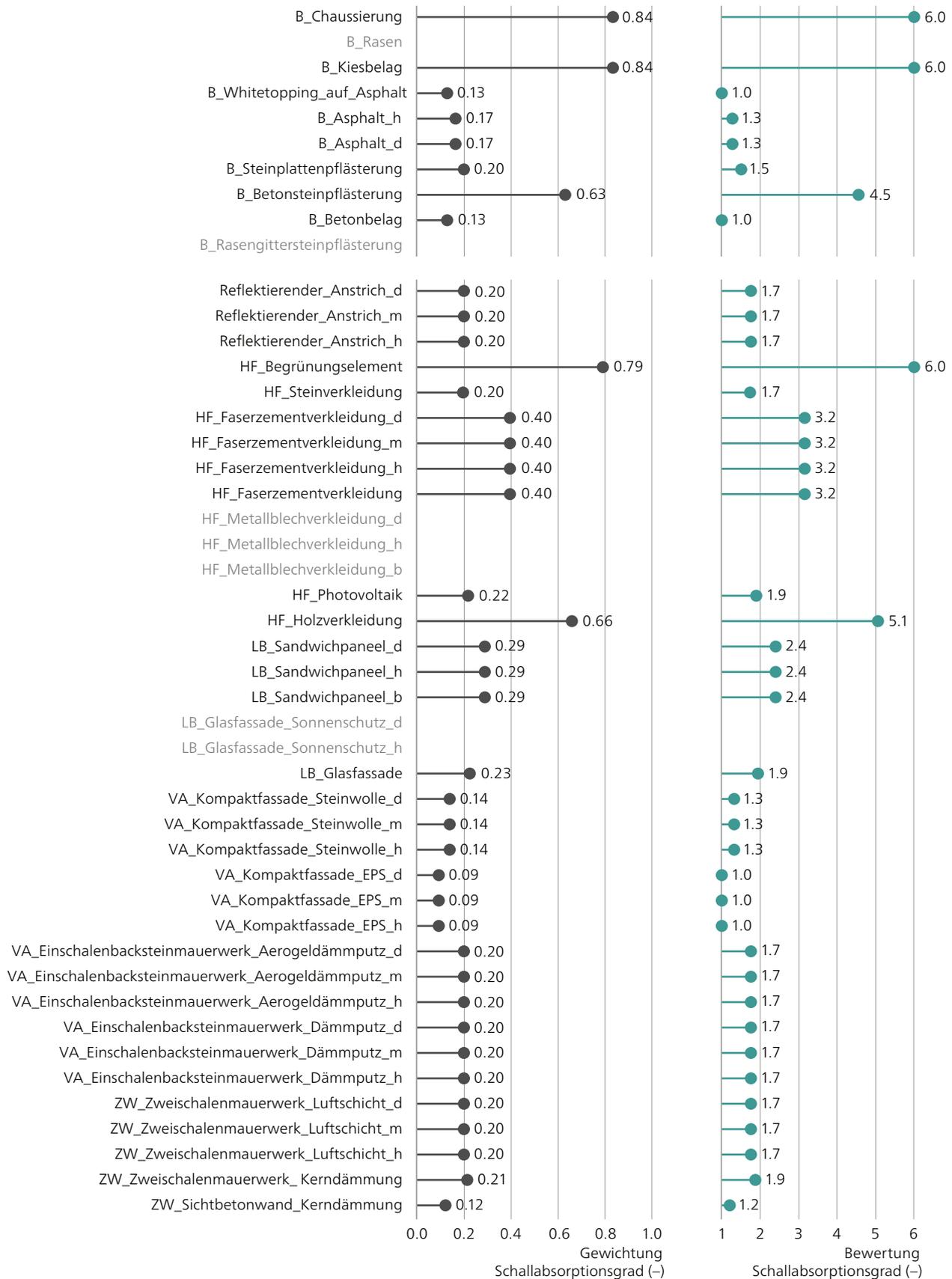
**Abb. 20+21** Treibhausgasemissionen für Herstellung und Entsorgung und die Bewertung. Anmerkung HF: hier werden nur die Schichten bis zur Hinterlüftung berücksichtigt, bei den anderen Konstruktionen wird die Dämmung eingerechnet. Verwendete Abkürzungen: siehe [Abkürzungsverzeichnis](#) und [Abb. 1](#).

## 2.4 Akustische Eigenschaften: Gewichtung Schallabsorptionsgrad

Den gewichteten Schallabsorptionsgrad zeigt [Abb. 22](#), die dazugehörige Bewertung ist in [Abb. 23](#) aufgeführt. Als Schallabsorptionsgrad wird das Verhältnis von absorbierte zu auffallender Schallenergie definiert. Die Gewichtung berücksichtigt die Nachhallzeit und die frequenzabhängige Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs. Ein hoher Wert (der Maximalwert liegt bei 1) weist auf eine den Schall dämpfende Wirkung im Strassenraum hin. Die frequenzabhängigen Schallabsorptionsgrade, aus denen der gewichtete Schallabsorptionsgrad berechnet wird, sind für jedes Material in der Datensammlung ([Kapitel 4](#)) aufgeführt.

Bei den Bodenkonstruktionen sind offenporige Beläge, wie «B\_Kiesbelag» und «B\_Chaussierung» vorteilhaft. Geschlossenporige Baustoffe, wie «B\_Betonbelag» und «B\_Aspphalt», sind eher schallhart.

Die beste Wandkonstruktion ist die hinterlüftete, begrünte Fassade (HF\_Begrünungselement), bzw. die hinterlüftete Fassade mit einer Holzverkleidung (HF\_Holzverkleidung).

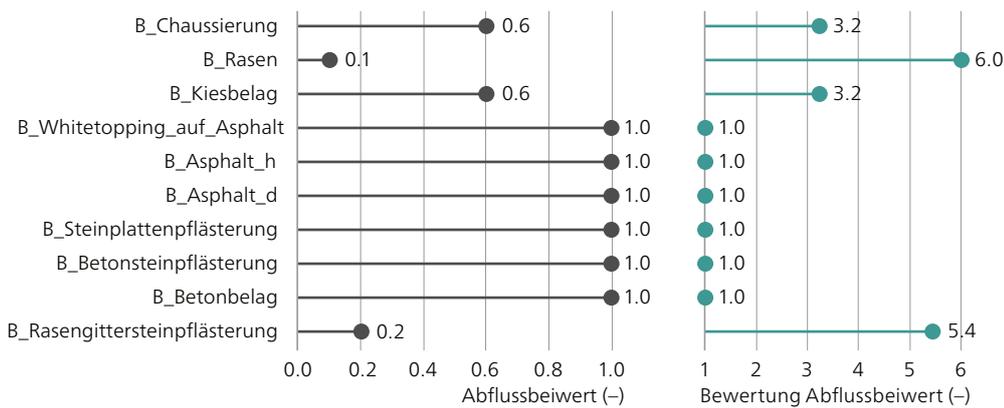


**Abb. 22+23** Gewichtung Schallabsorptionsgrad und die Bewertung.  
 Verwendete Abkürzungen: siehe [Abkürzungsverzeichnis und Abb. 1](#).

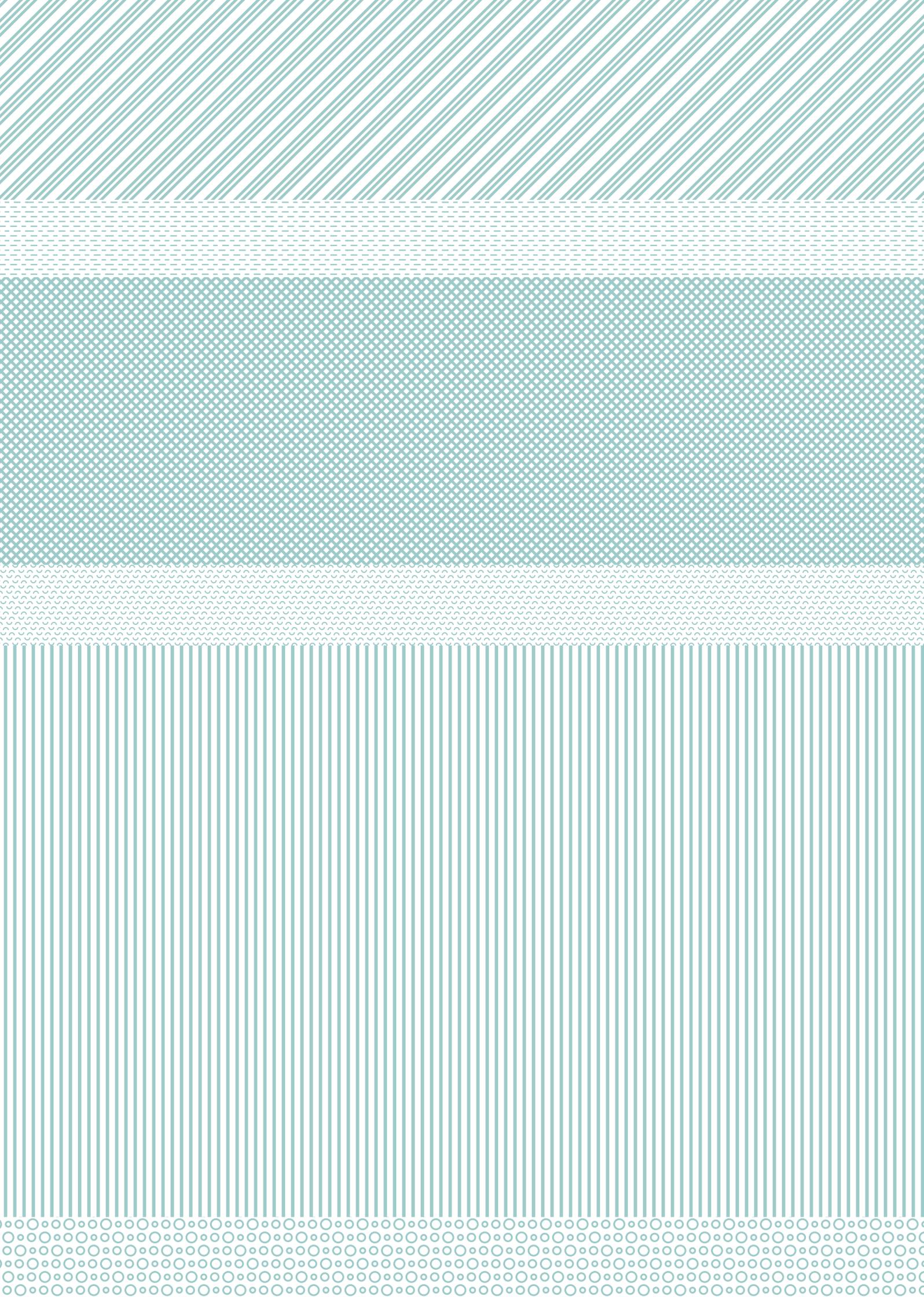
## 2.5 Versickerungsfähigkeit (Böden): Abflussbeiwert

Den Abflussbeiwert für die Bodenkonstruktionen zeigt [Abb. 24](#), die Bewertung [Abb. 25](#). Dieser Parameter beschreibt den Teil eines Niederschlagsereignisses, der direkt zum Abfluss gelangt im Verhältnis zum Gesamtniederschlag. Ein tiefer Abflussbeiwert weist auf eine gute Versickerung hin.

Einen gut bewerteten Abflussbeiwert haben die Konstruktionen «B\_Rasen» und «B\_Rasengittersteinpflästerung». Im Mittelfeld liegen «B\_Kiesbelag» und «B\_Chaussierung». Es überrascht wenig, dass geschlossene Oberflächen (wie z.B. «B\_Betonbelag», «B\_Aspphalt») schlecht bewertet werden.



**Abb. 24+25** Abflussbeiwert für alle Bodenkonstruktionen und die Bewertung.  
Verwendete Abkürzungen: siehe [Abkürzungsverzeichnis und Abb. 1](#).



# 3 Gesamtbewertung über alle Parameter

In diesem Kapitel wird eine Gesamtbewertung der detailliert betrachteten acht, bzw. neun Parameter vorgenommen. Hierbei werden die Einzelbewertungen addiert. Es wird keine Gewichtung der untersuchten Parameter vorgenommen. Die Gesamtbewertung ist damit bewusst einfach gehalten. Sie soll lediglich einen ersten Anhaltspunkt für die Einschätzung des Materials geben.

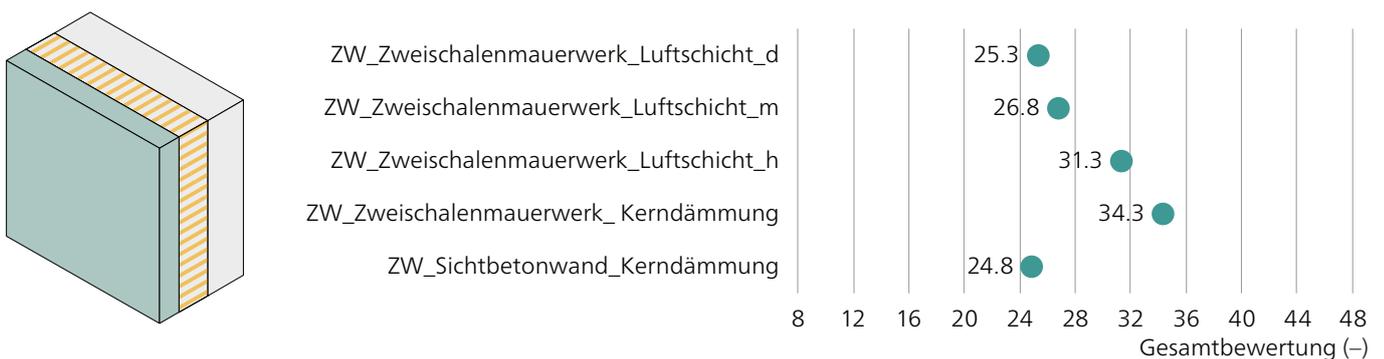
Fehlende Werte werde mittels einer Potentialabschätzung berücksichtigt. Informationen dazu finden sich in der [«Infobox: Umgang mit fehlenden Parametern \(Potentialabschätzung\)»](#) in [Kapitel 1.2.1](#). Eine detaillierte Beschreibung enthält [Kapitel 5.1.5](#).

## 3.1 Wände

Bei den Wandkonstruktionen können insgesamt 48 Punkte erreicht werden. Die Minimalbewertung liegt bei 8 Punkten (fehlende Angaben werden mit «1» bewertet). Eine Auflistung der untersuchten Wandkonstruktionen findet sich in [Kapitel 1.1](#).

### 3.1.1 Zweischalige Wandkonstruktionen

Das Material mit der besten Gesamtbewertung ist «ZW\_Zweischalenmauerwerk\_Kerndämmung» ([Abb. 26](#)). Dies liegt an einer guten Bewertung im Bereich Lebensdauer und Reflexion (Bewertung 6 und 5.7), sowie mittleren Werten im Bereich Albedo und SRI (jeweils Bewertung 4.2). Die Wand mit der tiefsten Punktzahl ist «ZW\_Sichtbetonwand\_Kerndämmung». Tiefe Bewertungen erreicht diese Wandkonstruktion im Bereich PET (Tag) und bei der Akustik (jeweils Bewertung 1.2).



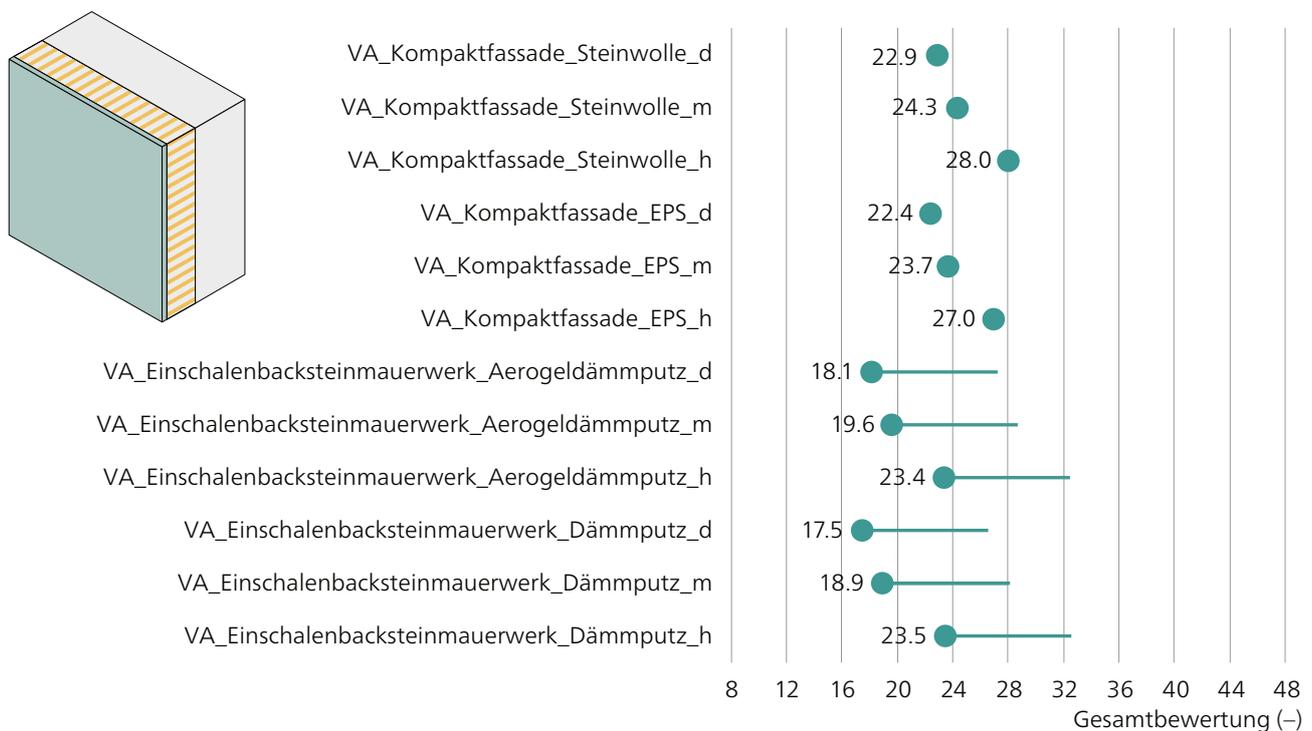
**Abb. 26** Gesamtbewertung zweischalige Wandkonstruktionen. Verwendete Abkürzungen: ZW = Zweischalige Wandkonstruktionen, m = Farbgebung mittel ( $\alpha = 0.45$ ), h = Farbgebung hell ( $\alpha = 0.75$ ), d = Farbgebung dunkel ( $\alpha = 0.26$ ). Eine Potentialabschätzung ist nicht notwendig, da alle Angaben verfügbar sind.

### 3.1.2 Verputzte Aussendämmung

In dieser Gruppe erhält das Material «VA\_Kompaktfassade\_Steinwolle\_h» ([Abb. 27](#)) die beste Gesamtbewertung. Zurückzuführen ist dies auf hohe Werte in den Bereichen Albedo und SRI (Bewertung 5.6 und 5.3). Tiefe Werte sind im Bereich Akustik (Bewertung 1.3) und Blendung (Bewertung 1.7) zu verzeichnen.

Das Material mit der schlechtesten Bewertung ist eine mit dunklem Dämmputz verputzte Backsteinwand (VA\_Einschalenbacksteinmauerwerk\_Dämmputz\_d). Dies ist auf eine ungünstige Bewertung bei PET (Tag) und Akustik (Bewertung 1.2 und 1.7) zurückzuführen. Allerdings ist sowohl beim Dämmputz als auch beim Aerogeldämmputz in der Bewertung eine hohe Unsicherheit (Potentialabschätzung) enthalten, da es keine Angaben zur Lebensdauer und zu den Treibhausgasemissionen gibt.

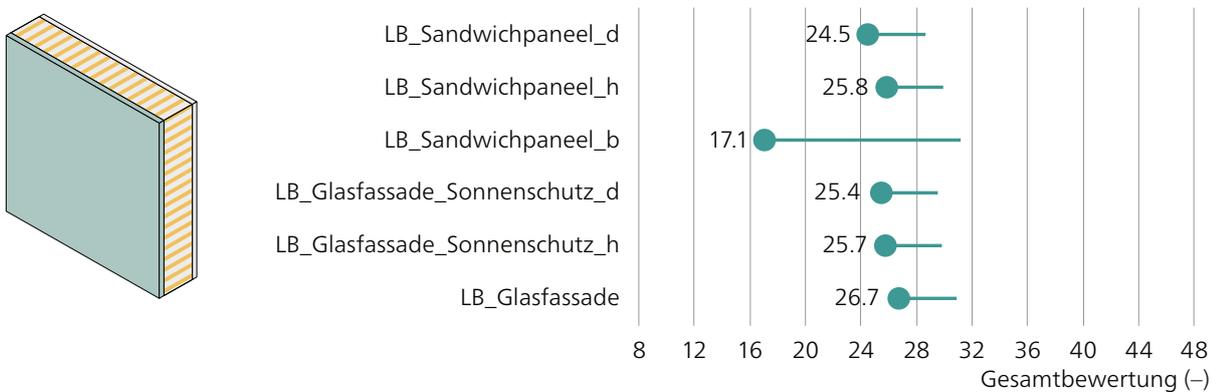
Es zeigt sich, dass eine helle Farbgebung in der Gesamtbewertung besser abschneidet, da sie bei den Parametern PET (Tag), Aussentemperatur ( $\theta_a$ ) Nacht, Albedo und SRI bessere Bewertungen erhält als dieselbe Konstruktion mit einer dunklen Farbgebung. Die schlechtere Bewertung im Bereich der Blendung bei hellen Oberflächen fällt bei der gewählten Betrachtungsweise (keine spezielle Gewichtung der Parameter) nicht stark ins Gewicht.



**Abb. 27** Gesamtbewertung verputzte Aussendämmung. Verwendete Abkürzungen: VA = Verputzte Aussendämmung, EPS = Expandiertes Polystyrol, m = Farbgebung mittel ( $\alpha = 0.45$ ), h = Farbgebung hell ( $\alpha = 0.75$ ), d = Farbgebung dunkel ( $\alpha = 0.26$ ). Zur Potentialabschätzung (durchgezogene Linie hinter dem Wertpunkt, siehe [Abb. 4](#) und die dazugehörige Infobox.

### 3.1.3 Glassfassade/Leichtbau

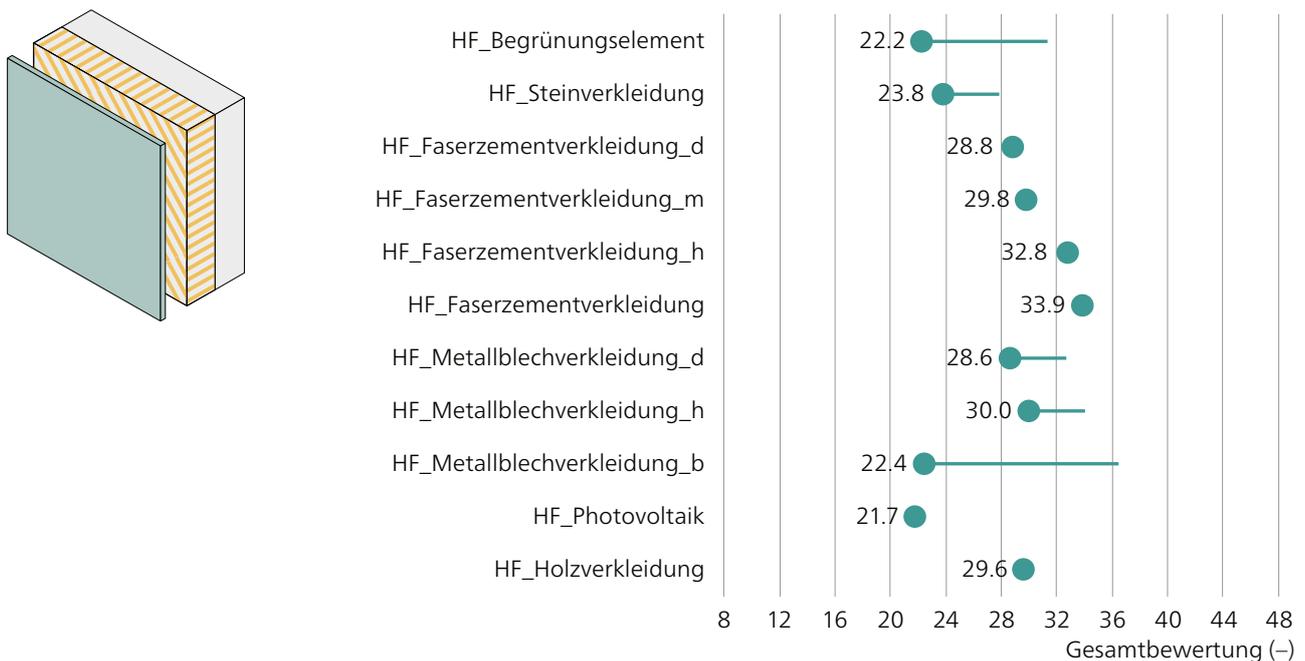
In dieser Gruppe (mit Ausnahme von «LB\_Sandwichpaneel\_b») erreichen die Bewertungen eine ähnlich hohe Punktzahl (Gesamtbewertung zwischen 24.5 und 26.7). Das am besten bewertete Material ist die Glasfassade (LB\_Glasfassade). Gute Bewertungen liegen bei der  $\theta_a$  in der Nacht (Bewertung 6) und bei der Reflexion (Bewertung 5.5) vor, eher schlecht bewertet sind die Bereiche Akustik (Bewertung 1.9) und Albedo (Bewertung 2.6). Die zweitbeste Bewertung erhält das Sandwichpaneel mit heller Farbgebung (LB\_Sandwichpaneel\_h, [Abb. 28](#)). Gute Bewertungen werden im Bereich Albedo und SRI erreicht (beide Bewertung 5.1). Im logischen Umkehrschluss tritt Blendung auf (Bewertung 1). Die schlechteste Bewertung erhält das blanke Sandwichpaneel. Hier sind die Bewertungen für den SRI (1.1) und die Blendung (2.0) tief. Allerdings gibt es bei diesem Material eine sehr hohe Unsicherheit (Potentialabschätzung). Dies liegt daran, dass keine Angaben für die PET (Tag), die Aussen-temperatur ( $\theta_a$ , Nacht, Erklärung siehe [Kapitel 6.3.2](#)) und die Lebensdauer verfügbar sind.



**Abb. 28** Gesamtbewertung Glassfassade/Leichtbau. Verwendete Abkürzungen: LB = Glasfassade/Leichtbau, m = Farbgebung mittel ( $\alpha = 0.45$ ), h = Farbgebung hell ( $\alpha = 0.75$ ), d = Farbgebung dunkel ( $\alpha = 0.26$ ), b = blank. Zur Potentialabschätzung (durchgezogene Linie hinter dem Wertpunkt, siehe [Abb. 4](#) und die dazugehörige Infobox.

### 3.1.4 Hinterlüftete Fassade

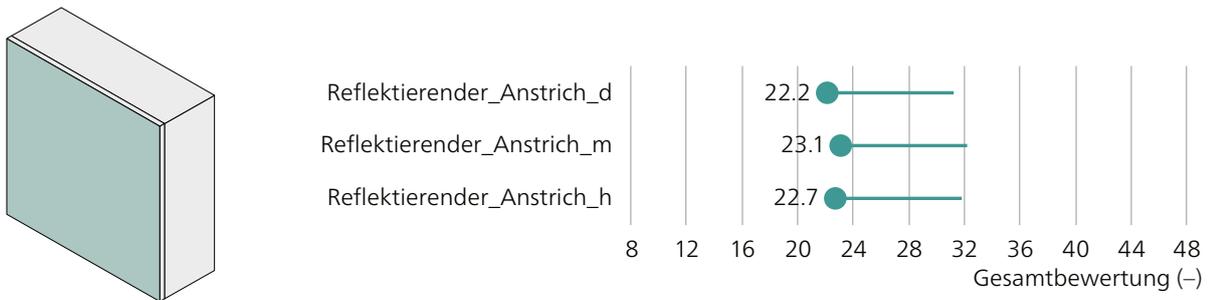
In dieser Materialgruppe erhält «HF\_Faserzementverkleidung» die beste Gesamtbewertung ([Abb. 29](#)). Dies liegt hauptsächlich an guten Bewertungen für die Lebensdauer (Bewertung 6.0) und die Treibhausgasemissionen (5.8). Da die natureigene Farbe von Faserzement zwischen den anderen untersuchten Farbtönen «hell» und «mittel» liegt, erhält das Material jeweils Bewertungen zwischen 4.2 und 4.8 in den Bereichen SRI, Albedo und Blendung. Beim hellen Farbton wird im Gegenteil dazu die Blendung schlecht bewertet, beim mittleren Farbton werden für SRI und Albedo tiefere Bewertungen erzielt. Das Material mit der schlechtesten Gesamtbewertung (21.7 Punkte) ist eine hinterlüftete PV-Fassade (HF\_Photovoltaik). Tiefe Bewertungen gibt es für die Bereiche Treibhausgasemissionen (Bewertung 1.0), den SRI (Bewertung 1.1) und Albedo (Bewertung 1.6). Trotz der tiefen Gesamtbewertung muss berücksichtigt werden, dass die Fassade im Laufe ihrer Lebensdauer Strom produziert. Die zweitschlechteste Gesamtbewertung erhält die begrünte Fassade (HF\_Begrünungselement). Dies liegt hauptsächlich an der hohen Unsicherheit (siehe Potentialabschätzung), da für dieses Material keine Angaben in den Bereichen Lebensdauer und Treibhausgasemissionen verfügbar sind und auch an der tiefen Bewertung für die PET (Bewertung 1.4). Hier sei daran erinnert, dass der schlechteste Fall untersucht wurde, nämlich eine ausgetrocknete begrünte Fassade am Ende einer Hitzeperiode ([«Infobox: begrünte Fassade» in Kapitel 2.1.1](#)). Eine sehr gute Bewertung 6 erhält das Material für die Akustik. Ergänzend zur (tiefen) Gesamtbewertung muss aber berücksichtigt werden, dass durch die Begrünung CO<sub>2</sub> gebunden wird.



**Abb. 29** Gesamtbewertung hinterlüftete Fassade. Verwendete Abkürzungen: HF = Hinterlüftete Fassade, m = Farbgebung mittel ( $\alpha = 0.45$ ), h = Farbgebung hell ( $\alpha = 0.75$ ), d = Farbgebung dunkel ( $\alpha = 0.26$ ). Zur Potentialabschätzung (durchgezogene Linie hinter dem Wertpunkt), siehe [Abb. 4](#) und die dazugehörige Infobox.

### 3.1.5 Reflektierende Anstriche

In [Abb.30](#) werden unterschiedlichen Farbvarianten eines reflektierenden Anstrichs miteinander verglichen. Bei der Bewertung besteht eine Unsicherheit, die darauf zurückzuführen ist, dass es keine Angaben zur Lebensdauer und zu den Treibhausgasemissionen gibt. Am besten wird der Anstrich mit der mittleren Farbgebung bewertet. Bei diesem Farbton wird, ähnlich wie beim Faserzement Eigenfarbe, ein Kompromiss in der Bewertung zwischen SRI, Albedo und Blendung erreicht.



**Abb.30** Gesamtbewertung reflektierende Anstriche Wand. Zur Farbgebung: m:  $\alpha = 0.69$ , h:  $\alpha = 0.81$ , d:  $\alpha = 0.42$ . Zur Potentialabschätzung (durchgezogene Linie hinter dem Wertpunkt), siehe [Abb.4](#) und die dazugehörige Infobox.

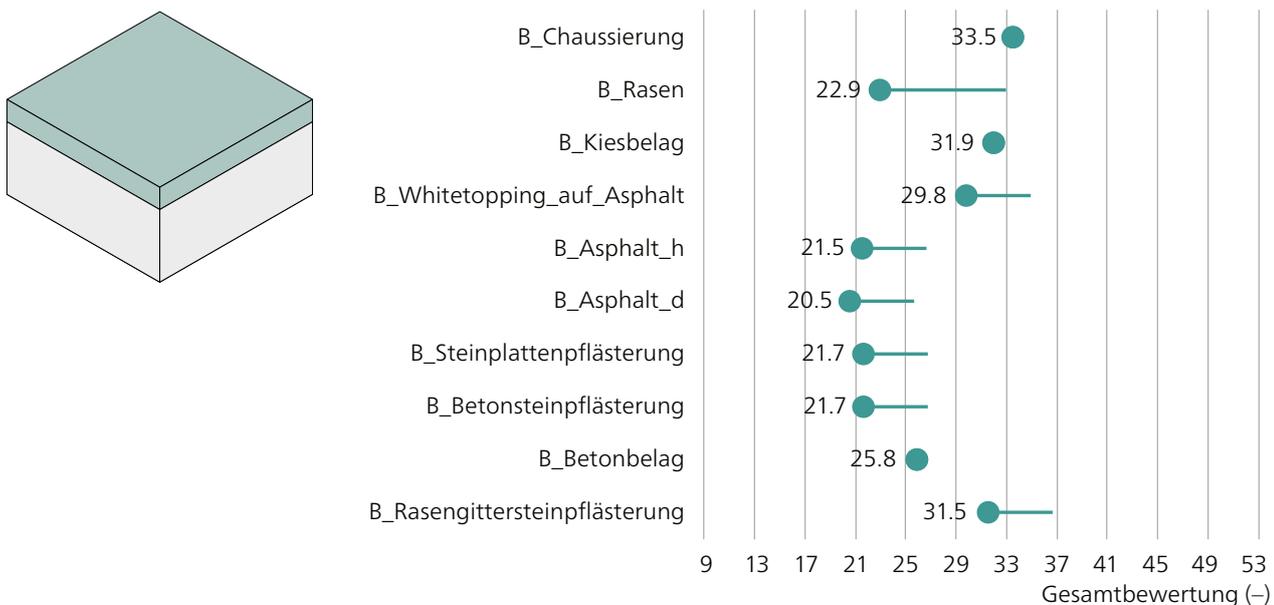
## 3.2 Böden

In dieser Gruppe werden neun Parameter bewertet. Im Idealfall kann ein Material also 54 Punkte erreichen, im schlechtesten Fall 9 Punkte. Eine Auflistung der untersuchten Bodenkonstruktionen findet sich in [Kapitel 1.1](#).

Die Gesamtbewertung ([Abb. 31](#)) zeigt, dass der Belag «B\_Chaussierung» die besten Werte aufweist (33.5). Besonders gute Bewertungen (jeweils Bewertung 6) erreicht dieses Material bei den Parametern PET (Tag), Akustik und Treibhausgasemissionen (5.9). Nachteilig an diesem Material sind allerdings die nächtlichen Aussentemperaturen, hohe Blendung und eine kurze Lebensdauer (jeweils Bewertung 1).

Ähnlich gut bewertet sind «B\_Kiesbelag» und «B\_Rasengittersteinpflasterung». Bei B\_Kiesbelag tritt weniger Blendung auf (Bewertung 5.9) als bei B\_Chaussierung, dafür ist auch die Bewertung für die PET tagsüber etwas schlechter (Bewertung 4.8, bei «B\_Chaussierung»: 5.6).

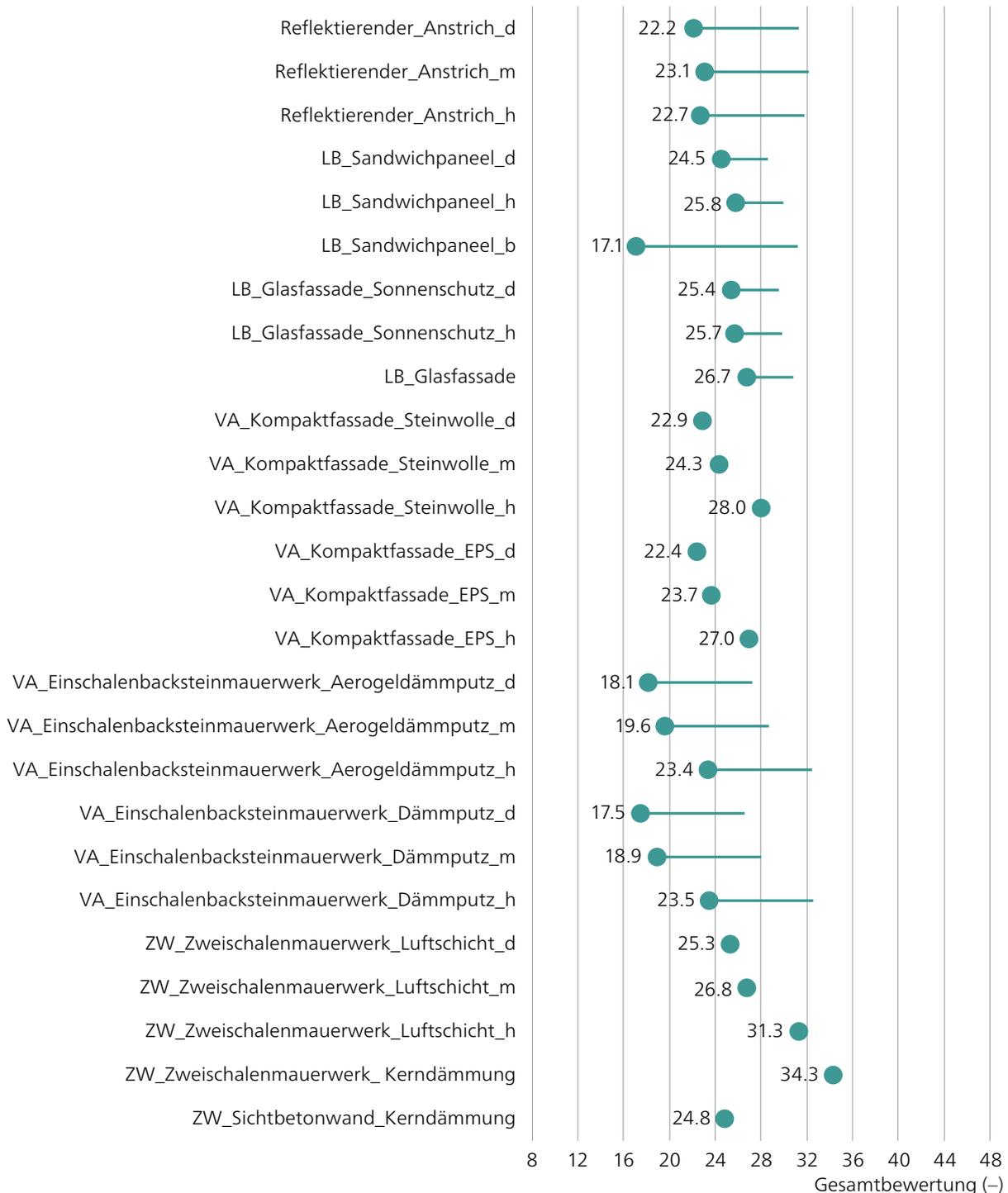
Der Belag «B\_Rasengittersteinpflasterung» weist in seinem Umfeld nachts eine tiefe Aussentemperatur auf (Bewertung 6) und hat einen guten Abflussbeiwert (Bewertung 5.4). Der Bodenbelag mit der tiefsten Gesamtbewertung ist «B\_Aspphalt». Nachteilig sind hier  $\theta_a$  in der Nacht, der SRI, die Albedo und der tiefe Abflussbeiwert (jeweils Bewertung 1). Überraschend sind die eher tiefen Werte für «B\_Rasen». Da für «B\_Rasen» Angaben zur Akustik und zur Lebensdauer fehlen, hat dieser eine sehr hohe Unsicherheit (siehe Potentialabschätzung) in der Gesamtbewertung. Tiefe Bewertungen werden in den Bereichen PET und Aussentemperatur ( $\theta_a$ ) erreicht (beide Bewertung 1, Bemerkung dazu: im Sinne des schlechtesten Falles wird der Rasen als ausgetrocknet angenommen, [«Infobox: Rasen», Kapitel 2.1.1](#)). Eine sehr gute Bewertung liegt beim Abflussbeiwert und bei den Treibhausgasemissionen (beide Bewertung 6) vor. Bei den Treibhausgasen ist allerdings anzumerken, dass für Erdreich keine Werte vorliegen und daher die Werte für Split genommen werden. Es ist anzunehmen, dass die Bewertung bei Akustik und Treibhausgasemissionen gut ausfällt, daher könnte dieses Material in der Realität besser zu bewerten sein. Ergänzend muss auch berücksichtigt werden, dass durch den Rasen CO<sub>2</sub> gebunden wird.



**Abb. 31** Gesamtbewertung Bodenmaterialien. Verwendete Abkürzungen: B = Umgebung Boden. Zur Potentialabschätzung (durchgezogene Linie hinter dem Wertpunkt) siehe [Abb. 4](#) und die dazugehörige Infobox.

### 3.3 Zusammenfassung

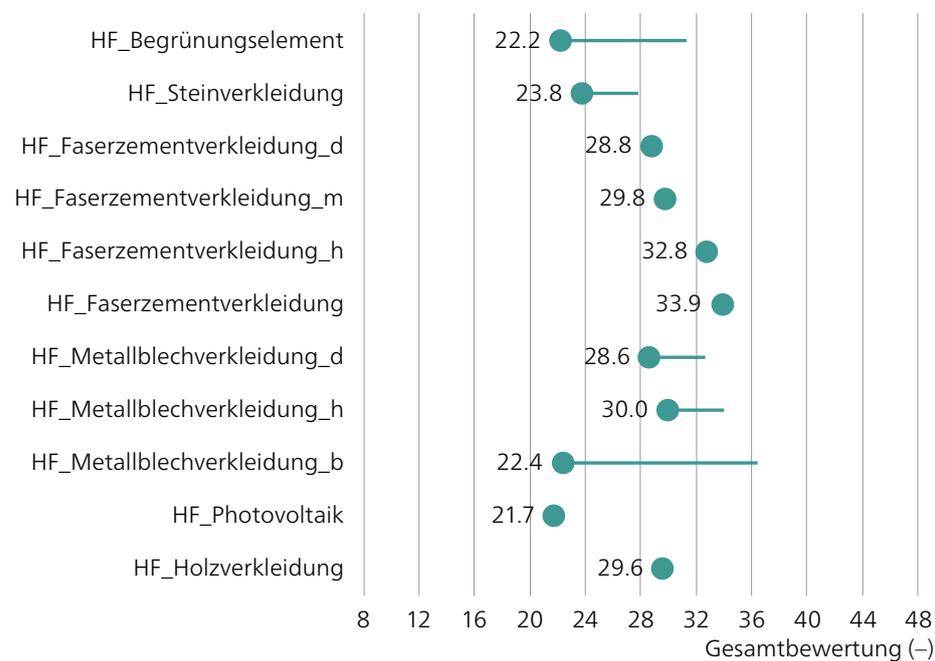
In [Abb. 32](#) ist die Gesamtbewertung für alle Wandkonstruktionen aus [Abb. 26](#), [Abb. 27](#), [Abb. 28](#) und [Abb. 30](#) (ausser den hinterlüfteten Fassaden, HF aus [Abb. 29](#)) in der Übersicht gezeigt. In [Abb. 33](#) werden HF getrennt dargestellt, da, wie in [Kapitel 5.1.2](#) gezeigt, der Materialkatalog immer nur die Schichten berücksichtigt, welche für das städtische Mikroklima massgeblich sind. Bei gedämmten Bauteilen sind das die Schichten bis und mit Dämmung, bei hinterlüfteten Materialien ist die trennende Schicht die Luftschicht. Damit sind beim Gesamtvergleich



**Abb. 32** Gesamtbewertung Wandkonstruktionen (ohne hinterlüftete Fassaden). Zur Potentialabschätzung (durchgezogene Linie hinter dem Wertpunkt) siehe [Abb. 4](#) und die dazugehörige Infobox.

die hinterlüfteten Materialien, was die Treibhausgasemissionen angeht, im Vorteil. Das Material mit der besten Bewertung stammt trotzdem nicht aus dieser Gruppe, sondern ist die zweischalige Backsteinwand mit Kerndämmung (ZW\_Zweischalenmauerwerk\_Kerndämmung, 34.3 Punkte). Das am zweitbesten bewertete Material ist eine hinterlüftete Fassade mit Faserzementverkleidung (HF\_Faserzementverkleidung, 33.9 Punkte). In der Gruppe der verputzten Aussendämmungen erhält die hell verputzte, mit Steinwolle gedämmte Betonwand (VA\_Kompaktfassade\_Steinwolle\_h, 28.0 Punkte) die beste Gesamtbewertung. In der Gruppe Leichtbau und Glasfassaden sind die Gesamtbewertungen in einem ähnlichen Bereich. Das hier am besten bewertete Material ist die Glasfassade (LB\_Glasfassade, 26.7 Punkte).

In der Gruppe der Böden ([Abb. 31](#)) erhalten die Beläge «B\_Chaussierung» (33.5 Punkte), «B\_Kiesbelag» 31.9 Punkte) und «B\_Rasengittersteinpflasterung» (31.5 Punkte) eine gute Bewertung.



**Abb. 33** Gesamtbewertung hinterlüftete Fassaden. Zur Potentialabschätzung (durchgezogene Linie hinter dem Wertpunkt) siehe [Abb. 4](#) und die dazugehörige Infobox.

# 4 Datensammlung

## 4.1 Zweischalige Wandkonstruktionen

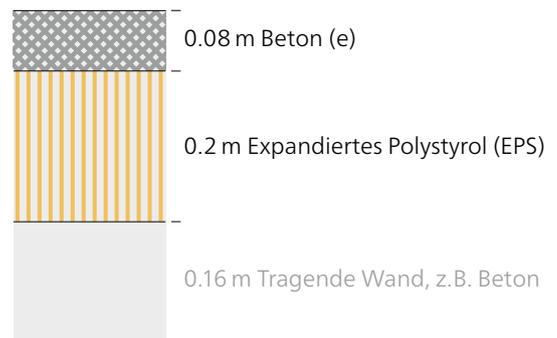
### 4.1.1 Sichtbetonwand mit Kerndämmung (ZW\_Sichtbetonwand\_Kerndämmung)

#### Ansicht



Quelle: Wesley Tingey auf Unsplash

#### Aufbau



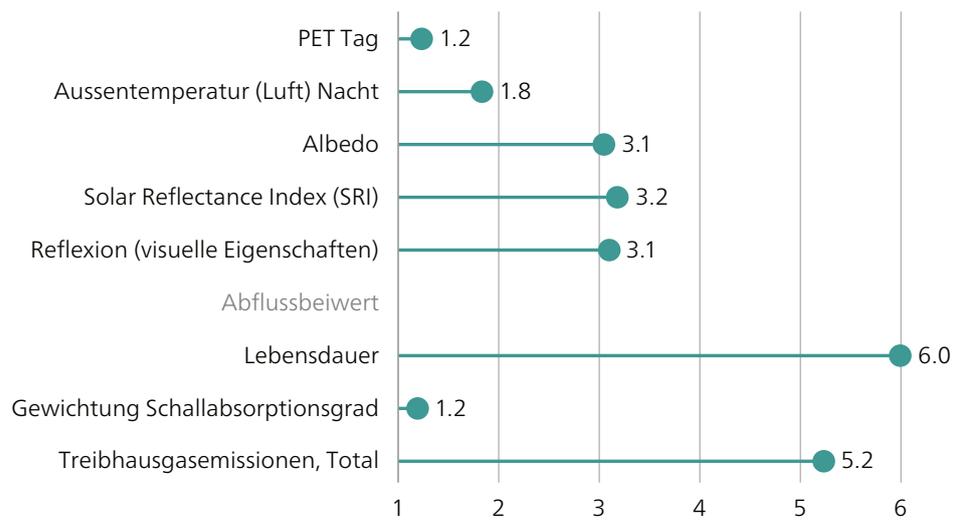
#### Materialdaten

Beton, hellgrau

PET Tag	°C	36.1
Ausstemperatur (Luft) Nacht	°C	21.9
Albedo	–	0.38
Solar Reflectance Index (SRI)	–	44
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.50
Abflussbeiwert	–	n.a.
Lebensdauer	a	50
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	0.12
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	55.9

## Bewertung

Beton, hellgrau



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien			
			Beton, hellgrau		EPS	
			Kennwert	(m)	spez. KW	Kennwert
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	2'400	0.080	192.00	15
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	c	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1.06			
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1'060			1'450
Heat capacity (Wärmekapazität)	C	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	2.54			
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	k (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$				
		$\lambda$ (D)	2.00			0.035
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$				
		a (D)	7.9E-07			
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	2'256			
Wärmeindringzahl	b	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	2.26			
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.14			
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	0.147			
Albedo	$\alpha$	–	0.38			
Emissivität	$\epsilon$	–	0.95			
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	43.8			
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.50			
Wasseraufnahmekoeffizient	w	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	n.a.			
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	1.80			
Abflussbeiwert	$\Psi$	–	n.a.			
Lebensdauer	a	–	50			
Unterhalt			nein			
Nachrüstbarkeit			ja			
Stromproduktion			nein			
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–				
$f_m$ 125		–	0.01			
$f_m$ 250		–	0.01			
$f_m$ 500		–	0.01			
$f_m$ 1000		–	0.02			
$f_m$ 2000		–	0.02			
$f_m$ 4000		–	0.02			
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	245			5'180
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	47'040			15'540
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	0.17			7.64
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	33			23
Aussentemperatur (Luft) Nacht	T <sub>a</sub>	°C	21.9			
PET Tag	PET	°C	36.1			

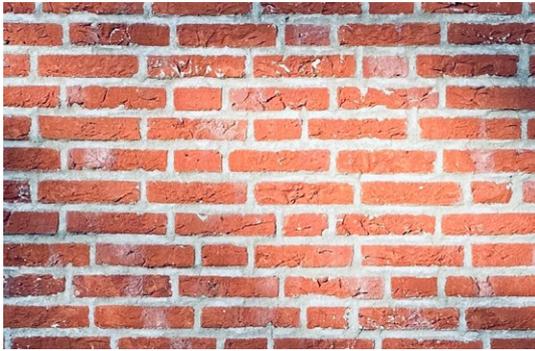
		<b>Literatur</b>	
(m)	spez. KW	<b>Gesamt</b> spez. KW	<b>Beton, hellgrau</b> <b>EPS</b>
0.200	3.00		Zürcher      Zürcher
			Zürcher      Zürcher
			Zürcher      Zürcher
			Wilson
			Wilson
			Wilson
			Hentschel/ Witting
			Hauser
			BNB              BNB
			Bobran
			KBOB              KBOB
		62'580	
			KBOB              KBOB
		56	

Literatur:

BNB, *Nutzungsdauern von Bauteilen 2017*, Berlin, 2017.  
H. W. Bobran and I. Bobran-Wittfoht, *Handbuch der Bauphysik*, 8th ed. Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co KG, 2010.  
G. Hauser, *Bauphysikalische Grundlagen Feuchtelehre – Vorlesungsskript Bauphysik I und II*, Kassel, 2003.  
H.-J. Hentschel, *Licht und Beleuchtung*, 5th ed. Heidelberg: Hüthig Verlag, 2002.  
KBOB / eco-bau/ IPB, *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009 / 1:2016*, Schweiz, 2016.  
H. R. Wilson, J. Hanek, and T. Kuhn, *Solar Reflectance Index (SRI) of Concrete*, CPI, vol. 05, pp. 104–109, 2015.  
W. Witting, *Licht. Sehen. Gestalten*, Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Verlag, 2014.  
C. Zürcher and T. Frank, *Bauphysik – Bau und Energie*, 4th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2014.

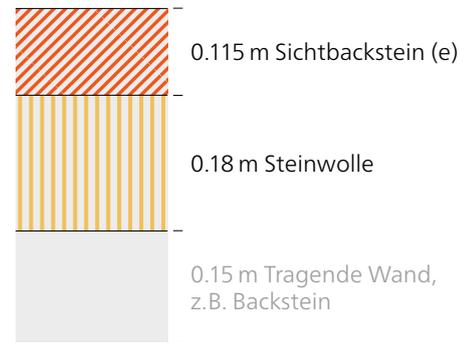
#### 4.1.2 Zweischalenmauerwerk mit Kerndämmung, Sichtbackstein aussen (ZW\_Zweischalenmauerwerk\_Kerndämmung)

##### Ansicht



Quelle: Maarten Scheer auf Unsplash

##### Aufbau



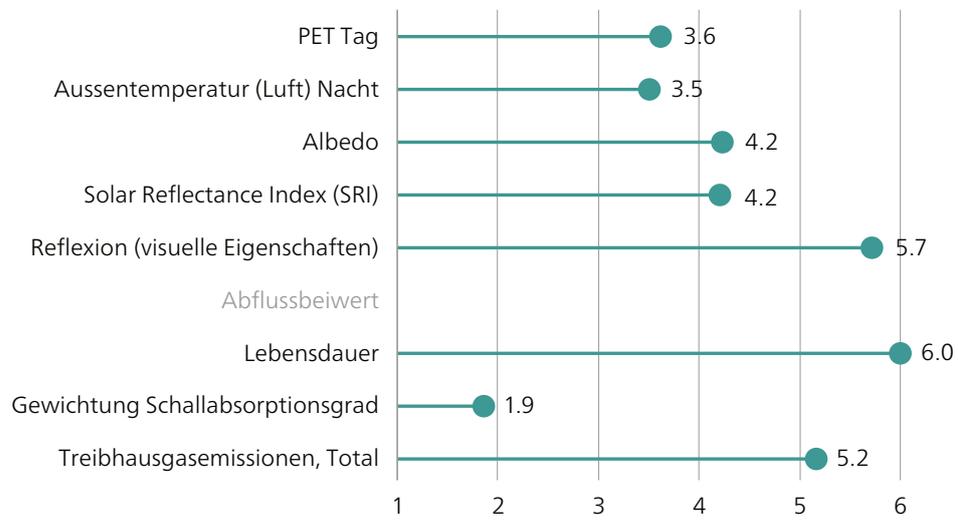
##### Materialdaten

##### Sichtbackstein

PET Tag	°C	33.1
Ausstemperatur (Luft) Nacht	°C	21.7
Albedo	–	0.55
Solar Reflectance Index (SRI)	–	64
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.13
Abflussbeiwert	–	n.a.
Lebensdauer	a	50
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	0.21
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	61.1

## Bewertung

### Sichtbackstein



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien				
			Sichtbackstein		Steinwolle		
			Kennwert	(m)	spez. KW	Kennwert	(m)
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	1'800	0.115	207.00	38	0.18
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	c	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	0.90				
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	900				
Heat capacity (Wärmekapazität)	C	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	1.62				
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	k (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$					
		$\lambda$ (D)	1.80		0.035		
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$					
		a (D)	1.1E-06				
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1'708				
Wärmeindringzahl	b	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1.71				
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.10				
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	0.175				
Albedo	$\alpha$	–	0.55				
Emissivität	$\epsilon$	–	0.90				
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	64.0				
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.13				
Wasseraufnahmekoeffizient	w	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	n.a.				
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	25.10				
Abflussbeiwert	$\Psi$	–	n.a.				
Lebensdauer	a	–	50				
Unterhalt			nein				
Nachrüstbarkeit			eventuell				
Stromproduktion			nein				
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–					
$f_m$ 125		–	0.02				
$f_m$ 250		–	0.03				
$f_m$ 500		–	0.03				
$f_m$ 1000		–	0.04				
$f_m$ 2000		–	0.05				
$f_m$ 4000		–	0.07				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	217		1'140		
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	44'919		7'798		
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	0.26		1.13		
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	53		8		
Aussentemperatur (Luft) Nacht	T <sub>a</sub>	°C	21.7				
PET Tag	PET	°C	33.1				

		<b>Literatur</b>	
	<b>Gesamt</b>	<b>Sichtbackstein</b>	<b>Steinwolle</b>
spez. KW	spez. KW		
6.84		Zürcher	Zürcher
		Zürcher	Zürcher
		Zürcher	Zürcher
		Radhi	
		Radhi	
		Radhi	
		Hentschel	
		Schwarz	
		BNB	BNB
		Bobran	
		KBOB	KBOB
	52'717	KBOB	KBOB
	61		

Literatur:

BNB, *Nutzungsdauern von Bauteilen 2017*, Berlin, 2017.  
H. W. Bobran and I. Bobran-Wittfoht, *Handbuch der Bauphysik*, 8th ed. Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co KG, 2010.  
H.-J. Hentschel, *Licht und Beleuchtung*, 5th ed. Heidelberg: Hüthig Verlag, 2002.  
KBOB / eco-bau / IPB, *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2016*, Schweiz, 2016.  
S. Kotthaus, T. E. L. Smith, M. J. Wooster, and C. S. B. Grimmond, *Derivation of an urban materials spectral library through emittance and reflectance spectroscopy*, ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., vol. 94, pp. 194–212, 2014.  
H. Radhi, E. Assem, and S. Sharples, *On the colours and properties of building surface materials to mitigate urban heat islands in highly productive solar regions*, Build. Environ., vol. 72, pp. 162–172, 2014.  
B. Schwarz, *Die kapillare Wasseraufnahme von Baustoffen*, Stuttgart, 1971.  
C. Zürcher and T. Frank, *Bauphysik – Bau und Energie*, 4th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2014.

### 4.1.3 Zweischalenmauerwerk verputzt (ZW\_Zweischalenmauerwerk\_Luftschicht)

#### Ansicht



Quelle: [www.oekologisch-bauen.info](http://www.oekologisch-bauen.info)

#### Aufbau



#### Farbvarianten



hell



mittel

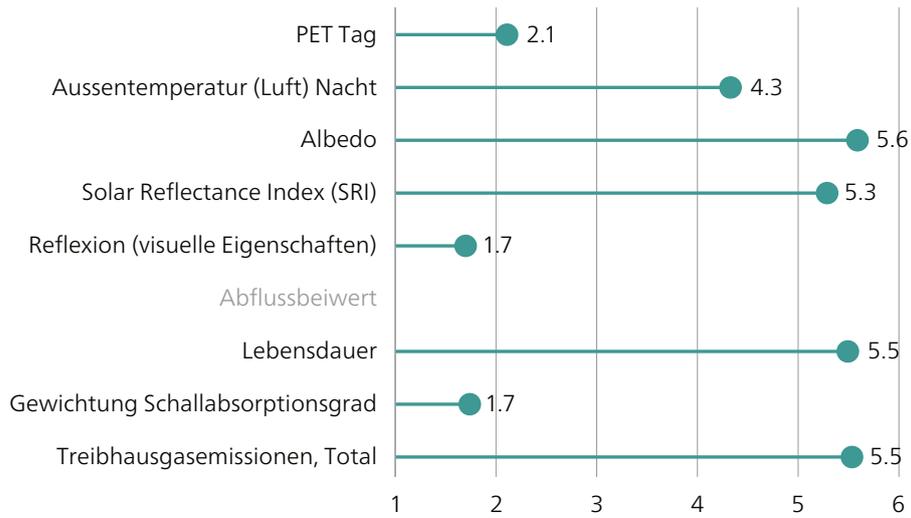


dunkel

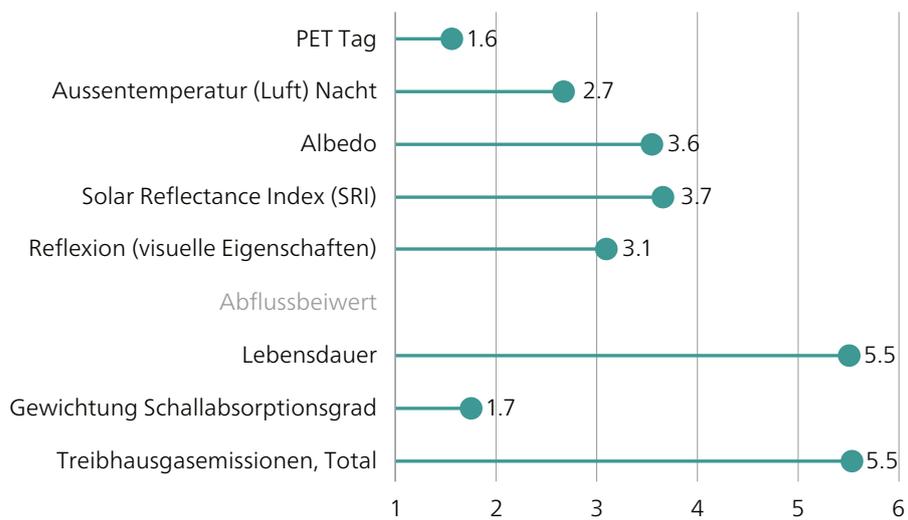
Materialdaten		Putz, hell	Putz, mittel	Putz, dunkel
PET Tag	°C	35.0	35.7	36.0
Ausstemperatur (Luft) Nacht	°C	21.6	21.8	21.9
Albedo	–	0.75	0.45	0.26
Solar Reflectance Index (SRI)	–	86	53	35
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.70	0.50	0.25
Abflussbeiwert	–	n.a.	n.a.	n.a.
Lebensdauer	a	45	45	45
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	0.20	0.20	0.20
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	34.5	34.5	34.5

## Bewertung

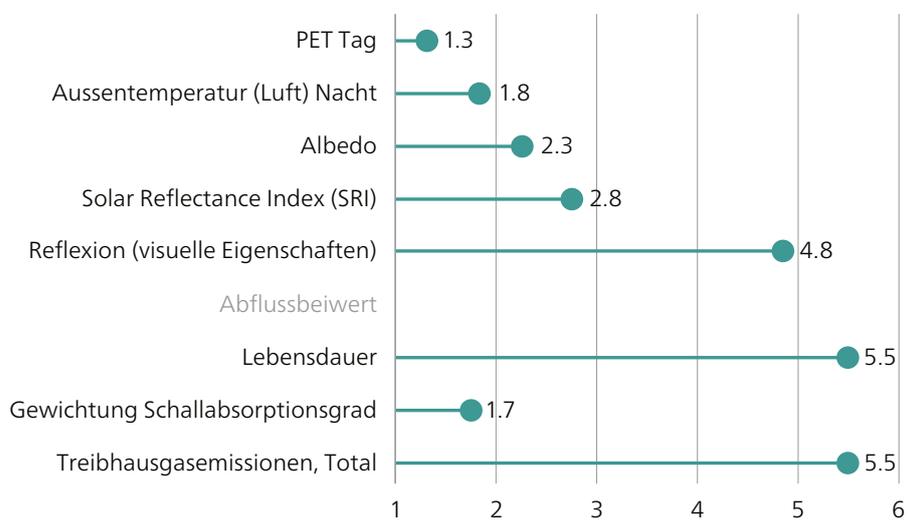
### Putz, hell



### Putz, mittel



### Putz, dunkel



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien				
			hell	mittel	dunkel	(m)	spez. KW
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	1'800			0.008	14.40
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	c	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1.10				
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1'100				
Heat capacity (Wärmekapazität)	C	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	1.98				
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	k (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$					
		$\lambda$ (D)	0.87				
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$					
		a (D)	4.4E-07				
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1312				
Wärmeindringzahl	b	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1.31				
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.08				
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	0.110				
Albedo	$\alpha$	–	0.75	0.45	0.26		
Emissivität	$\epsilon$	–	0.85	0.90	0.95		
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	86.0	53.0	35.0		
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.70	0.50	0.25		
Wasseraufnahmekoeffizient	w	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	n.a.				
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	2.50				
Abflussbeiwert	$\psi$	–	n.a.				
Lebensdauer	a	–	45				
Unterhalt			nein				
Nachrüstbarkeit			ja				
Stromproduktion			nein				
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–					
$f_m$ 125		–	0.02				
$f_m$ 250		–	0.02				
$f_m$ 500		–	0.03				
$f_m$ 1000		–	0.04				
$f_m$ 2000		–	0.05				
$f_m$ 4000		–	0.05				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	237				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	3'413				
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	0.25				
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	3.56				
Aussentemperatur (Luft) Nacht	T <sub>a</sub>	°C	21.6	21.8	21.9		
PET Tag	PET	°C	35.0	35.7	36.0		

Backstein			Gesamt	Literatur	
Kennwert	(m)	spez. KW	spez. KW	Putz	Backstein
1'000	0.12	120.00		Zürcher	zzwancor
900				Zürcher	zzwancor
0.30				Zürcher	zzwancor
				Alchapar	
				Alchapar	
				Alchapar	
				Hentschel	
				Hauser	
				BNB	BNB
				Bobran	
217				KBOB	KBOB
26'040			29'453		
0.26				KBOB	KBOB
31			35		

Literatur:

N. L. Alchapar, E. N. Correa, and A. M. Cantón, *Classification of building materials used in the urban envelopes according to their capacity for mitigation of the urban heat island in semiarid zones*, Energy Build., vol. 69, pp. 22–32, 2014.

BNB, *Nutzungsdauern von Bauteilen 2017*, Berlin, 2017.

H. W. Bobran and I. Bobran-Wittfoht, *Handbuch der Bauphysik*, 8th ed. Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co KG, 2010.

G. Hauser, *Bauphysikalische Grundlagen Feuchtelehre – Vorlesungsskript Bauphysik I und II*, Kassel, 2003.

H.-J. Hentschel, *Licht und Beleuchtung*, 5th ed. Heidelberg: Hüthig Verlag, 2002.

KBOB / eco-bau / IPB, *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2016*, Schweiz, 2016.

C. Zürcher and T. Frank, *Bauphysik – Bau und Energie*, 4th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2014.

zzwancor, *Mauerwerkshandbuch* [Online]. Available: <https://www.zz-ag.ch/produkte/wand/mauerwerk/swissmodul-10.html>

## 4.2 Verputzte Aussendämmung

### 4.2.1 Einschalenbacksteinmauerwerk mit 7 cm Dämmputz

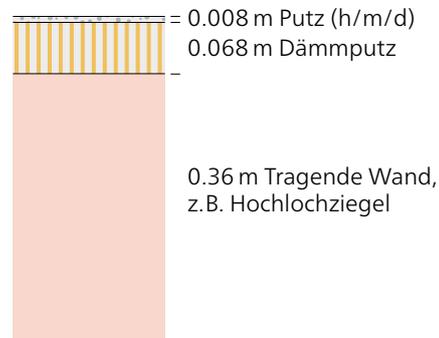
(VA\_Einschalenbacksteinmauerwerk\_Dämmputz)

#### Ansicht

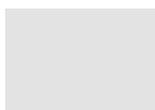


Quelle: www.oekologisch-bauen.info

#### Aufbau



#### Farbvarianten



hell



mittel



dunkel

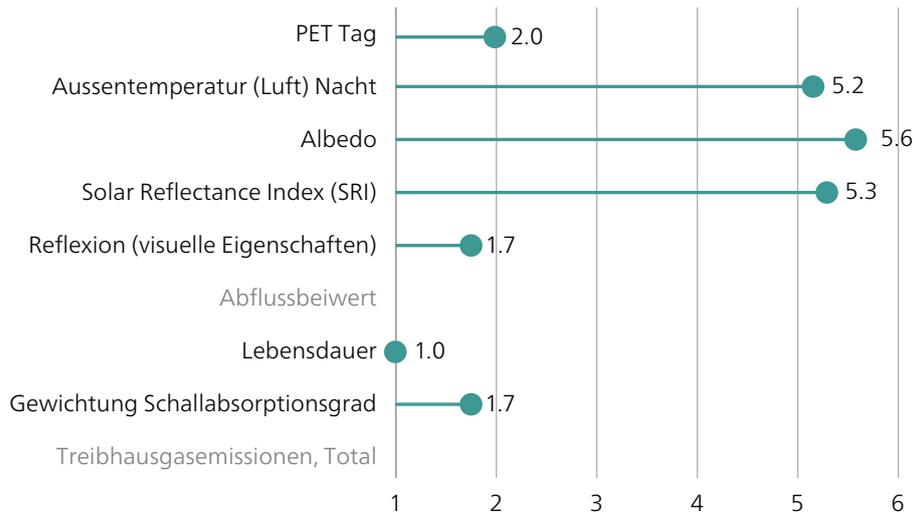
#### Materialdaten

		Putz, hell	Putz, mittel	Putz, dunkel
PET Tag	°C	35.2	35.9	36.1
Aussentemperatur (Luft) Nacht	°C	21.5	21.7	21.8
Albedo	–	0.75	0.45	0.26
Solar Reflectance Index (SRI)	–	86	53	35
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.70	0.50	0.25
Abflussbeiwert	–	n.a.	n.a.	n.a.
Lebensdauer	a	0.0	n.a.	n.a.
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	0.20	0.20	0.20
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	#WERT	#WERT	#WERT

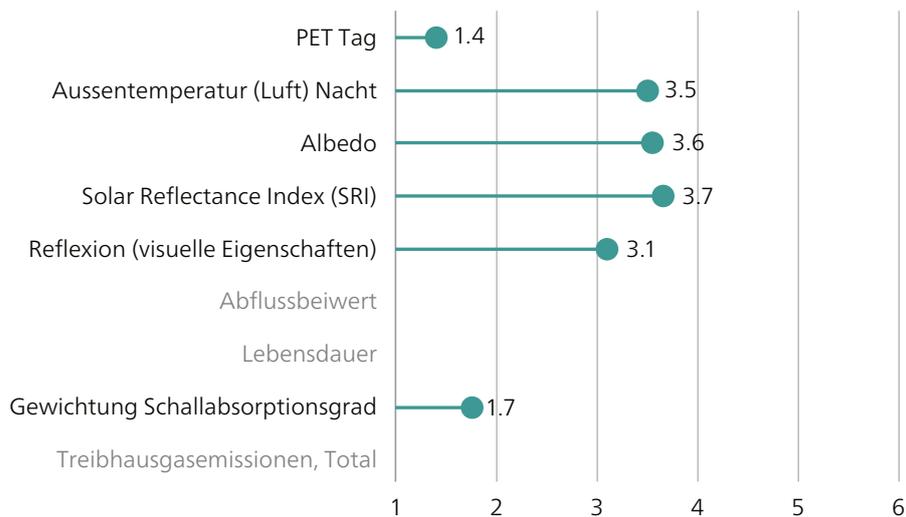
Kommentare: Die Angaben zur Lebensdauer beziehen sich auf den Deckputz. Für den Dämmputz selber existieren keine Angaben zur Lebensdauer. Es ist möglich, dass die Lebensdauer der Konstruktion kürzer ist. Die Angaben zum Schallabsorptionsgrad beziehen sich auf eine verputzte Mauerwerkswand. Für Wände mit einer dickeren Putzschicht existieren keine Angaben.

## Bewertung

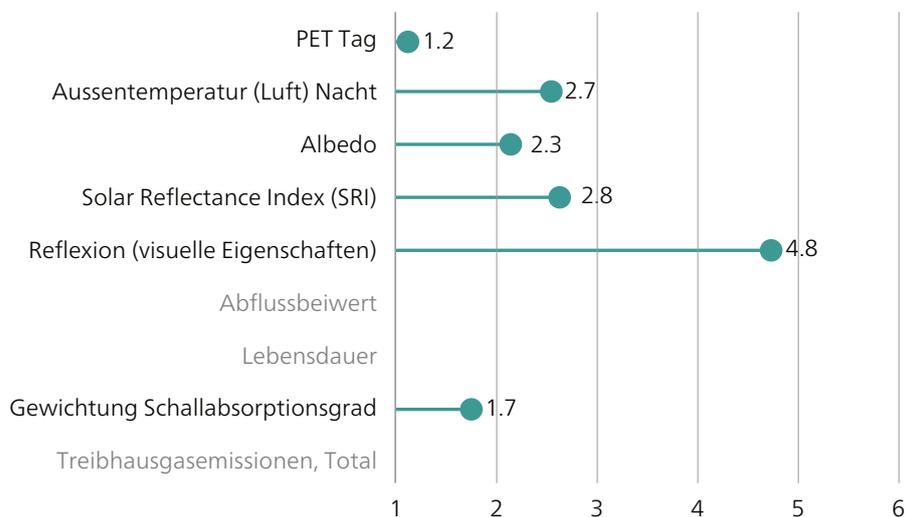
### Putz, hell



### Putz, mittel



### Putz, dunkel



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien				
			hell	mittel	dunkel	(m)	spez. KW
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	1'500			0.006	9.00
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	c	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	0.90				
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	900				
Heat capacity (Wärmekapazität)	C	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	1.35				
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	k (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$					
		$\lambda$ (D)	0.50				
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$					
		a (D)	3.7E-07				
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	822				
Wärmeindringzahl	b	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.82				
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.05				
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	0.101				
Albedo	$\alpha$	–	0.75	0.45	0.26		
Emissivität	$\epsilon$	–	0.85	0.90	0.95		
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	86.0	53.0	35.0		
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.70	0.50	0.25		
Wasseraufnahmekoeffizient	w	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	n.a.				
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	2.5				
Abflussbeiwert	$\psi$	–	n.a.				
Lebensdauer	a	–	45				
Unterhalt			nein				
Nachrüstbarkeit			ja				
Stromproduktion			nein				
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–					
$f_m$ 125		–	0.02				
$f_m$ 250		–	0.02				
$f_m$ 500		–	0.03				
$f_m$ 1000		–	0.04				
$f_m$ 2000		–	0.05				
$f_m$ 4000		–	0.05				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	237				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	2'133				
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	0.25				
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	2				
Aussentemperatur (Luft) Nacht	T <sub>a</sub>	°C	21.5	21.7	21.8		
PET Tag	PET	°C	35.2	35.9	36.1		

Dämmputz			Hochlochziegel			Gesamt	Literatur		
Kennwert	(m)	spez. KW	Kennwert	(m)	spez. KW	spez. KW	Putz aussen	Dämmputz	Hochlochziegel
220	0.070	15.40	750	0.365	273.75		Hagatherm	Hagatherm	Schild
1.00									
1'000			1'000				Zürcher	WECOBIS	Schild
0.22									
0.054			0.33				Hagatherm	Hagatherm	Schild
2.5E-07									
109									
0.11									
0.01									
0.082									
							Alchapar		
							Alchapar		
							Alchapar		
							Hentschel		
1.37							Hauser	Hagatherm	
							BNB		
nein									
ja									
nein									
							Bobran		
							Bobran		
							Bobran		
							Bobran		
							Bobran		
							Bobran		
n.a.			217				KBOB		KBOB
#WERT!			59'404			#WERT!			
n.a.			0.26				KBOB		KBOB
#WERT!			71			#WERT!			

Literatur:

- N. L. Alchapar, E. N. Correa, and A. M. Cantón, *Classification of building materials used in the urban envelopes according to their capacity for mitigation of the urban heat island in semiarid zones*, Energy Build., vol. 69, pp. 22–32, 2014.
- H. W. Bobran and I. Bobran-Wittfoht, *Handbuch der Bauphysik*, 8th ed. Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co KG, 2010.
- BNB, *Nutzungsdauern von Bauteilen 2017*, Berlin, 2017.
- Bundesministerium des Innern für Bau und Heimat, *WECOBIS*, 2018 [Online]. Available: [www.wecobis.de](http://www.wecobis.de) [Accessed: 03-Feb-2020].
- G. Hauser, *Bauphysikalische Grundlagen Feuchtelehre – Vorlesungsskript Bauphysik I und II*, Kassel, 2003.
- KBOB / eco-bau / IPB, *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2016*, Schweiz, 2016.
- K. Schild and W. M. Willems, *Wärmeschutz*, Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2011.
- C. Zürcher and T. Frank, *Bauphysik – Bau und Energie*, 4th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2014.

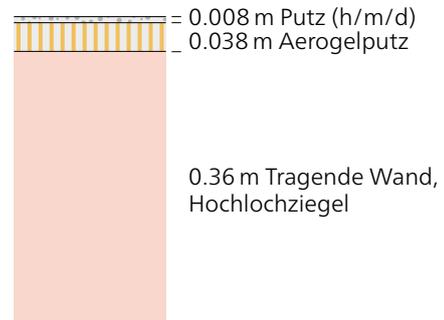
## 4.2.2 Einschalenbacksteinmauerwerk mit 4 cm Aerogelputz (VA\_Einschalenbacksteinmauerwerk\_Aerogelputz)

### Ansicht

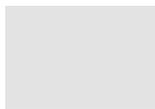


Quelle: [www.oekologisch-bauen.info](http://www.oekologisch-bauen.info)

### Aufbau



### Farbvarianten



hell



mittel



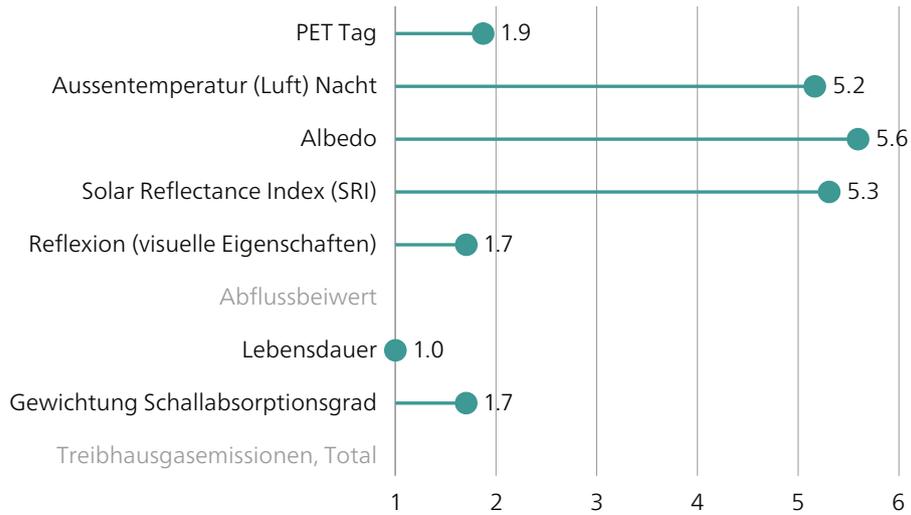
dunkel

Materialdaten		Putz, hell	Putz, mittel	Putz, dunkel
PET Tag	°C	35.3	36.1	36.4
Ausstemperatur (Luft) Nacht	°C	21.5	21.6	21.7
Albedo	–	0.75	0.45	0.26
Solar Reflectance Index (SRI)	–	86	53	35
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.70	0.50	0.25
Abflussbeiwert	–	n.a.	n.a.	n.a.
Lebensdauer	a	0.0	n.a.	n.a.
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	0.20	0.20	0.20
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	WERT!	#WERT!	#WERT!

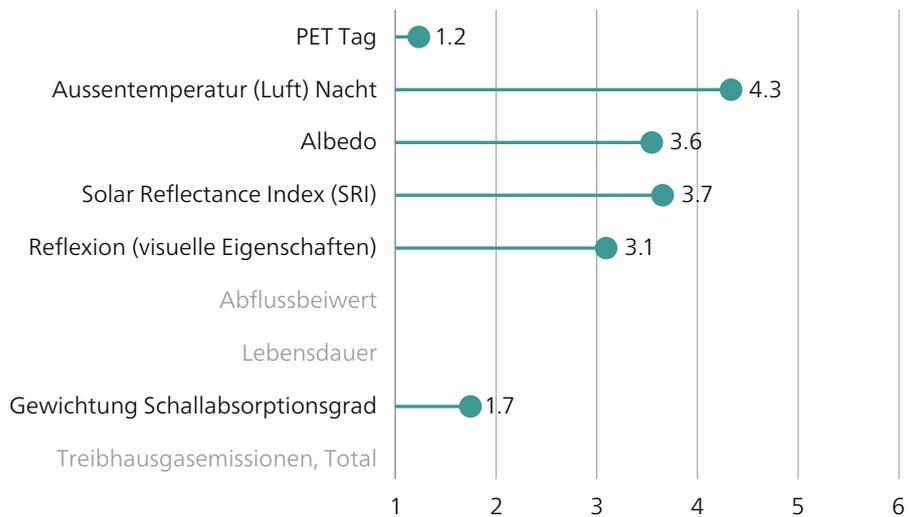
Kommentare: Die Angaben zur Lebensdauer beziehen sich auf den Deckputz. Für den Aerogelputz selber existieren keine Angaben zur Lebensdauer. Es ist möglich, dass die Lebensdauer der Konstruktion kürzer ist. Die Angaben zum Schallabsorptionsgrad beziehen sich auf eine verputzte Mauerwerkswand. Für Wände mit einer dickeren Putzschicht existieren keine Angaben.

## Bewertung

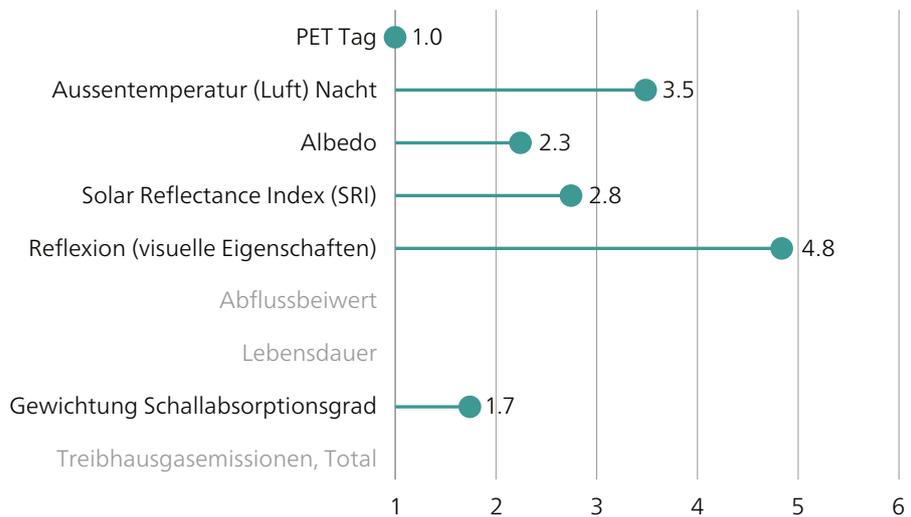
### Putz, hell



### Putz, mittel



### Putz, dunkel



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien				
			Putz				
			hell	mittel	dunkel		
			Kennwert	Kennwert	Kennwert	(m)	spez. KW
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	1'500			0.006	9.00
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	c	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	0.90				
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	900				
Heat capacity (Wärmekapazität)	C	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	1.35				
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	k (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$					
		$\lambda$ (D)	0.50				
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$					
		a (D)	3.7E-07				
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	822				
Wärmeindringzahl	b	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.82				
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.05				
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	0.101				
Albedo	$\alpha$	–	0.75	0.45	0.26		
Emissivität	$\epsilon$	–	0.85	0.90	0.95		
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	86.0	53.0	35.0		
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.70	0.50	0.25		
Wasseraufnahmekoeffizient	w	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	n.a.				
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	2.5				
Abflussbeiwert	$\Psi$	–	n.a.				
Lebensdauer	a	–	45				
Unterhalt			nein				
Nachrüstbarkeit			ja				
Stromproduktion			nein				
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–					
$f_m$ 125		–	0.02				
$f_m$ 250		–	0.02				
$f_m$ 500		–	0.03				
$f_m$ 1000		–	0.04				
$f_m$ 2000		–	0.05				
$f_m$ 4000		–	0.05				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	237				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	2'133				
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	0.25				
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	2				
Aussentemperatur (Luft) Nacht	T <sub>a</sub>	°C	21.5	21.6	21.7		
PET Tag	PET	°C	35.3	36.1	36.4		

Aerogelputz			Hochlochziegel			Gesamt	Literatur		
hell							Putz aussen	Aerogelputz hell	Hochlochziegel
Kennwert	(m)	spez. KW	Kennwert	(m)	spez. KW				
220	0.04	8.80	750	0.365	273.75		Hagatherm	Fixit 222	Schild
1.25									
1'250			1'000				Zürcher	www.energie-experten.org	Schild
0.28									
0.028			0.33				Hagatherm	Fixit	Schild
1.0E-07									
88									
0.09									
0.01									
0.053									
							Alchapar		
							Alchapar		
							Alchapar		
							Hentschel		
n.a.									
n.a.							Hauser		
							BNB		
nein									
ja									
nein									
							Bobran		
							Bobran		
							Bobran		
							Bobran		
							Bobran		
							Bobran		
n.a.			217				KBOB		KBOB
#WERT!			59'404			#WERT!			
n.a.			0.26				KBOB		KBOB
#WERT!			71			#WERT!			

Literatur:

N. L. Alchapar, E. N. Correa, and A. M. Cantón, *Classification of building materials used in the urban envelopes according to their capacity for mitigation of the urban heat island in semiarid zones*, Energy Build., vol. 69, pp. 22–32, 2014.

BNB, *Nutzungsdauern von Bauteilen 2017*, Berlin, 2017.

H. W. Bobran and I. Bobran-Wittfoht, *Handbuch der Bauphysik*, 8th ed. Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co KG, 2010.

G. Hauser, *Bauphysikalische Grundlagen Feuchtelehre – Vorlesungsskript Bauphysik I und II*, Kassel, 2003.

KBOB / eco-bau / IPB, *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2016*, Schweiz, 2016.

K. Schild and W. M. Willems, *Wärmeschutz*, Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2011.

C. Zürcher and T. Frank, *Bauphysik – Bau und Energie*, 4th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2014.

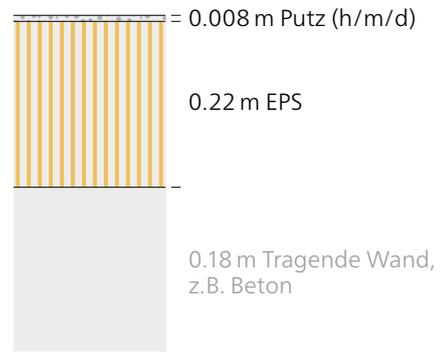
### 4.2.3 Kompaktfassade (EPS) (VA\_Kompaktfassade\_EPS)

#### Ansicht



Quelle: [www.oekologisch-bauen.info](http://www.oekologisch-bauen.info)

#### Aufbau



#### Farbvarianten



hell



mittel

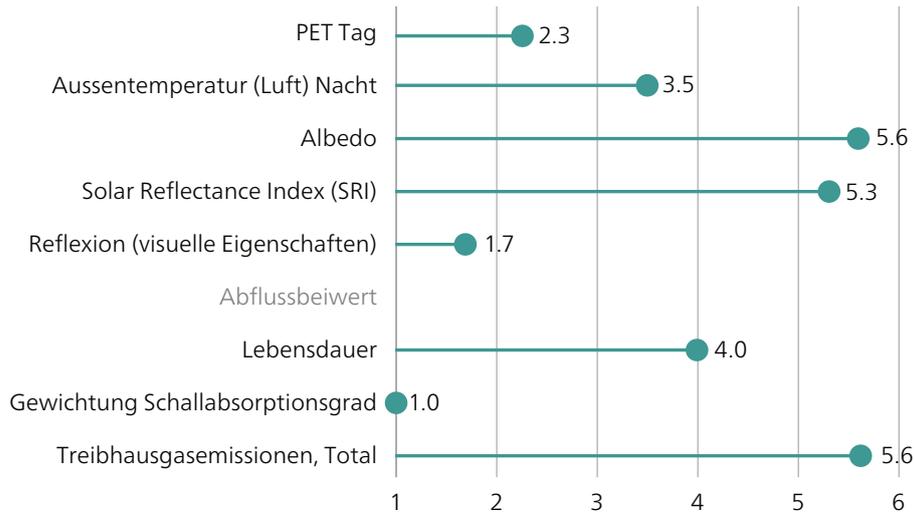


dunkel

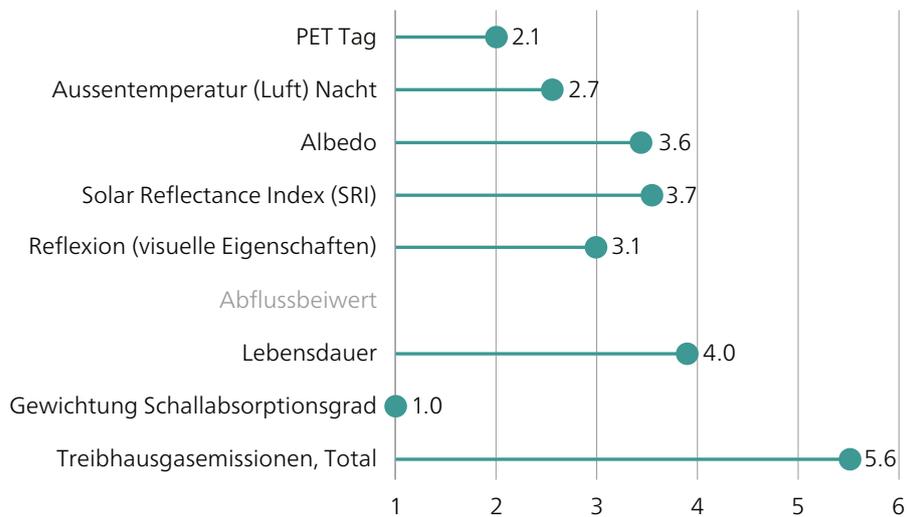
Materialdaten		Putz, hell	Putz, mittel	Putz, dunkel
PET Tag	°C	34.8	35.0	35.0
Ausstemperatur (Luft) Nacht	°C	21.7	21.8	21.9
Albedo	–	0.75	0.45	0.26
Solar Reflectance Index (SRI)	–	86	53	35
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.70	0.50	0.25
Abflussbeiwert	–	n.a.	n.a.	n.a.
Lebensdauer	a	30	30	30
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	0.09	0.09	0.09
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	28.8	28.8	28.8

## Bewertung

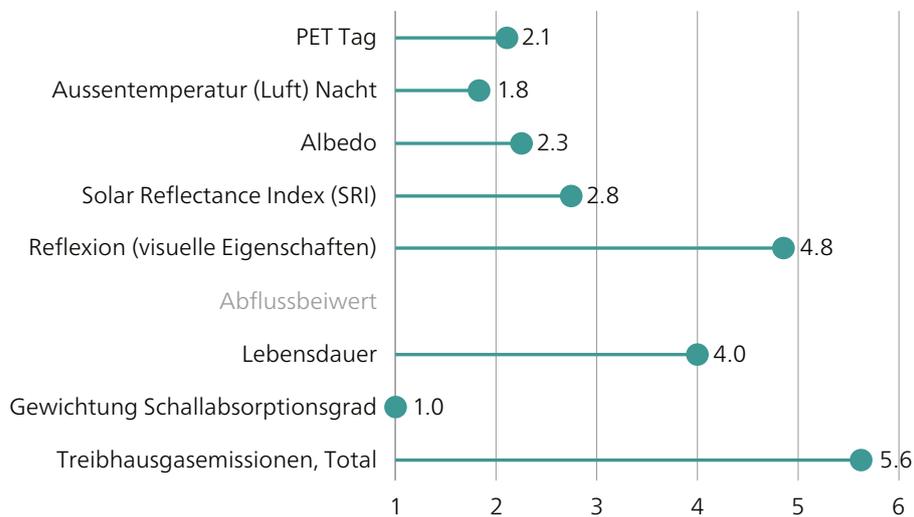
### Putz, hell



### Putz, mittel



### Putz, dunkel



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien						
			hell	mittel	dunkel				
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	1'800			(m)	0.008	spez. KW	14.40
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	c	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1.10						
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1'100						
Heat capacity (Wärmekapazität)	C	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	1.98						
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	k (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$							
		$\lambda$ (D)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	0.87					
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$							
		a (D)	$\text{m}^2/\text{s}$	4.4E-07					
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1'312						
Wärmeindringzahl	b	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1.31						
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.08						
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	0.110						
Albedo	$\alpha$	–	0.75	0.45	0.26				
Emissivität	$\epsilon$	–	0.85	0.90	0.95				
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	86.0	53.0	35.0				
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.70	0.50	0.25				
Wasseraufnahmekoeffizient	w	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	n.a.						
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	2.50						
Abflussbeiwert	$\Psi$	–	n.a.						
Lebensdauer	a	–	30						
Unterhalt			nein						
Nachrüstbarkeit			ja						
Stromproduktion			nein						
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–							
$f_m$ 125		–	0.02						
$f_m$ 250		–	0.05						
$f_m$ 500		–	0.03						
$f_m$ 1000		–	0.00						
$f_m$ 2000		–	0.00						
$f_m$ 4000		–	0.00						
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	237						
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	3'413						
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	0.25						
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	4						
Aussentemperatur (Luft) Nacht	T <sub>a</sub>	°C	21.7	21.8	21.9				
PET Tag	PET	°C	34.8	35.0	35.0				



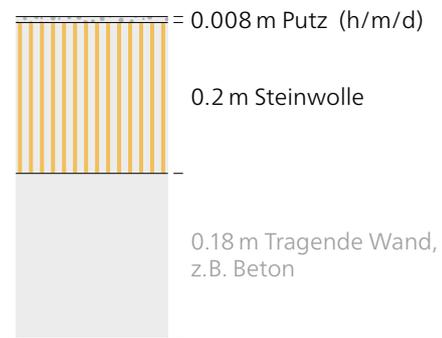
#### 4.2.4 Kompaktfassade (Steinwolle) (VA\_Kompaktfassade\_Steinwolle)

##### Ansicht



Quelle: [www.oekologisch-bauen.info](http://www.oekologisch-bauen.info)

##### Aufbau



##### Farbvarianten



hell



mittel



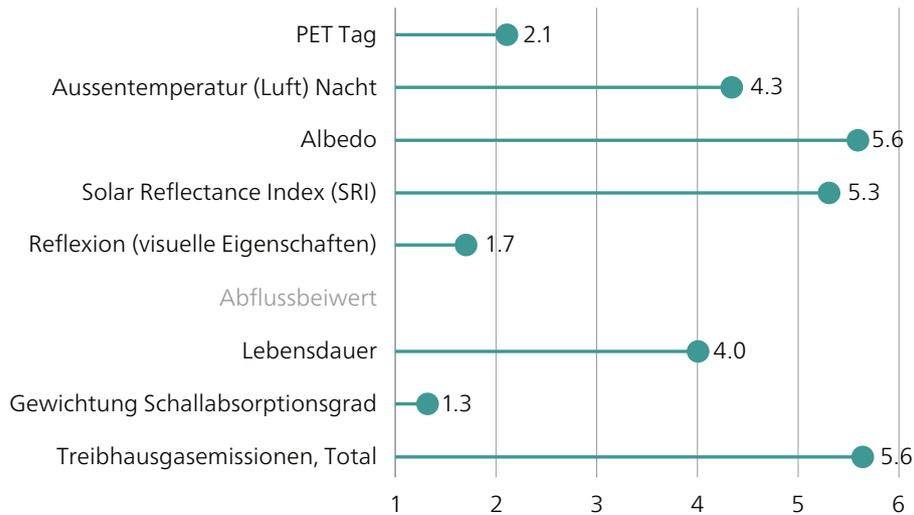
dunkel

##### Materialdaten

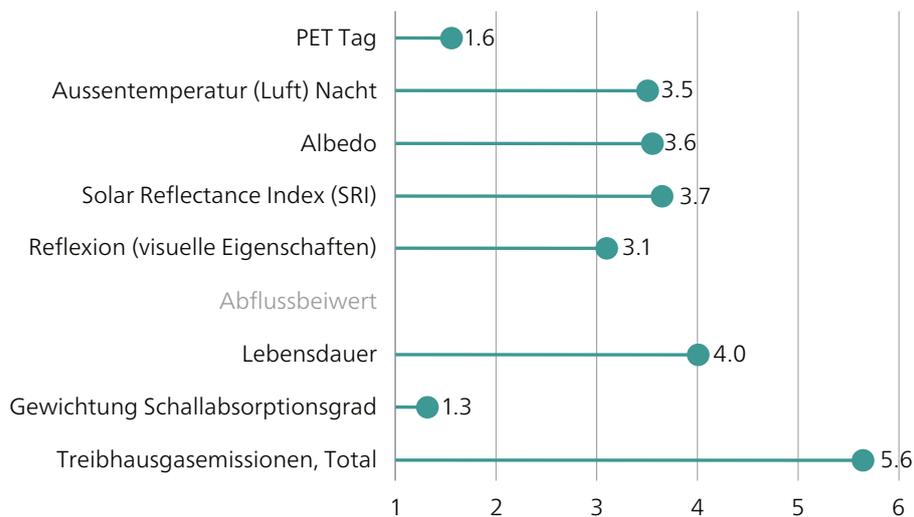
		Putz, hell	Putz, mittel	Putz, dunkel
PET Tag	°C	35.0	35.7	35.9
Ausstemperatur (Luft) Nacht	°C	21.6	21.7	21.8
Albedo	–	0.75	0.45	0.26
Solar Reflectance Index (SRI)	–	86	53	35
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.70	0.50	0.25
Abflussbeiwert	–	n.a.	n.a.	n.a.
Lebensdauer	a	30	30	30
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	0.14	0.14	0.14
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	27.3	27.3	27.3

## Bewertung

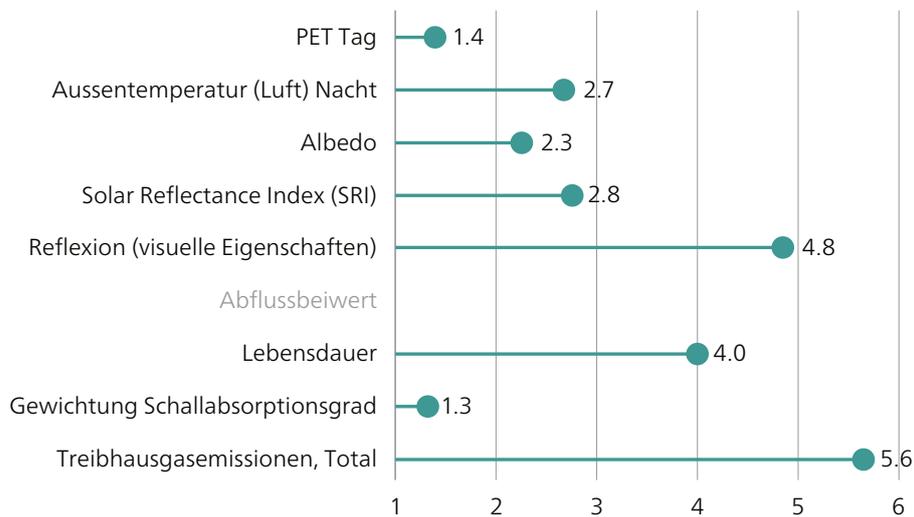
### Putz, hell



### Putz, mittel



### Putz, dunkel



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien				
			Putz hell	Putz mittel	Putz dunkel	(m)	spez. KW
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	1'800			0.008	14.40
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	c	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1.10				
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1'100				
Heat capacity (Wärmekapazität)	C	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	1.98				
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	k (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$					
		$\lambda$ (D)	0.87				
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$					
		a (D)	4.4E-07				
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1'312				
Wärmeindringzahl	b	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1.31				
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.08				
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	0.110				
Albedo	$\alpha$	–	0.75	0.45	0.26		
Emissivität	$\epsilon$	–	0.85	0.90	0.95		
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	86.0	53.0	35.0		
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.70	0.50	0.25		
Wasseraufnahmekoeffizient	w	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	n.a.				
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	2.50				
Abflussbeiwert	$\psi$	–	n.a.				
Lebensdauer	a	–	30				
Unterhalt			nein				
Nachrüstbarkeit			ja				
Stromproduktion			nein				
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–					
$f_m$ 125		–	0.01				
$f_m$ 250		–	0.19				
$f_m$ 500		–	0.02				
$f_m$ 1000		–	0.01				
$f_m$ 2000		–	0.01				
$f_m$ 4000		–	0.00				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	237				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	3'413				
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	0.25				
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	4				
Aussentemperatur (Luft) Nacht	T <sub>a</sub>	°C	21.6	21.7	21.8		
PET Tag	PET	°C	35.0	35.7	35.9		

Steinwolle			Gesamt	Literatur	
Kennwert	(m)	spez. KW	spez. KW	Putz aussen	Steinwolle
105	0.20	21.00		Zürcher	Swisspor ROC
1'044				Zürcher	Swisspor ROC
0.034				Zürcher	Swisspor ROC
				Alchapar	
				Alchapar	
				Alchapar	
				Hentschel	
				Hauser	
				BNB	BNB
				Kirchsteiger	
1'140				KBOB	
23'940			27'353		
1.13				KBOB	
24			27		

Literatur:

N. L. Alchapar, E. N. Correa, and A. M. Cantón, *Classification of building materials used in the urban envelopes according to their capacity for mitigation of the urban heat island in semiarid zones*, Energy Build., vol. 69, pp.22–32, 2014.

BNB, *Nutzungsdauern von Bauteilen 2017*, Berlin, 2017.

G. Hauser, *Bauphysikalische Grundlagen Feuchtelehre – Vorlesungsskript Bauphysik I und II*, Kassel, 2003.

KBOB / eco-bau / IPB, *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2016*, Schweiz, 2016.

S. K. Kirchsteiger, *Masterarbeit Schallabsorptionspotential urbaner Fassadensysteme*, Graz, 2017.

C. Zürcher and T. Frank, *Bauphysik – Bau und Energie*, 4th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2014.

## 4.3 Glassfassade / Leichtbau

### 4.3.1 Glasfassade (g-Wert 0.3) (LB\_Glasfassade)

#### Ansicht



Quelle: [www.rinoweder.ch](http://www.rinoweder.ch)

#### Aufbau

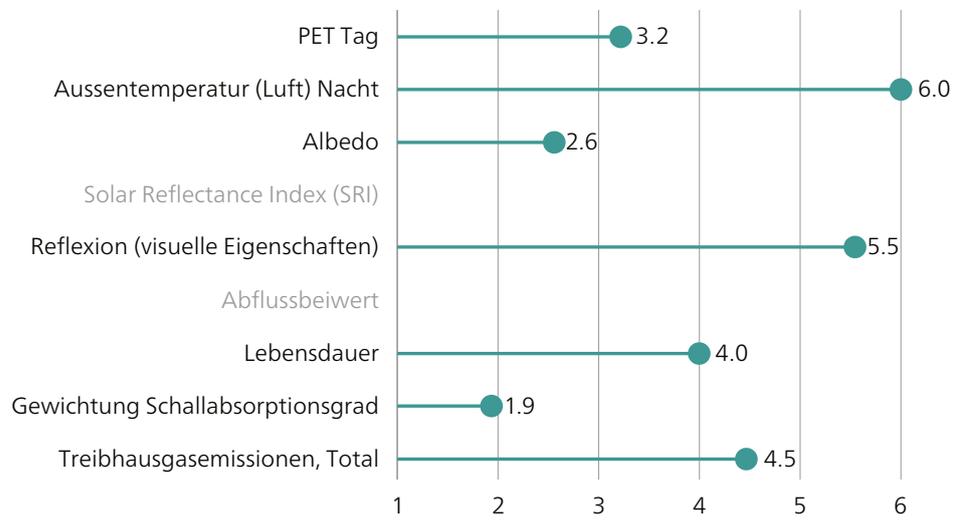
-  - 0.042 m Dreifach-Verglasung
-  - (3×0.006 m) mit Argon  
(2×0.012 m)

#### Materialdaten

		Glas
PET Tag	°C	33.6
Aussentemperatur (Luft) Nacht	°C	21.4
Albedo	–	0.31
Solar Reflectance Index (SRI)	–	n.a.
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.2
Abflussbeiwert	–	n.a.
Lebensdauer	a	30.0
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	0.2
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	110.0

## Bewertung

Glas



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien				
			Glas		Argon		
			Kennwert	(m)	spez. KW	Kennwert	(m)
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	2'500	0.006	15.00	1.70	0.012
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	c	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1.00				
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1'000			519	
Heat capacity (Wärmekapazität)	C	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	2.50				
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	k (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$					
		$\lambda$ (D)	1.00			0.017	
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$					
		a (D)	4.0E-07				
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1'581				
Wärmeindringzahl	b	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1.58				
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.09				
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	0.105				
Albedo	$\alpha$	–	0.305				
Emissivität	$\epsilon$	–	0.83				
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	n.a.				
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.15				
Wasseraufnahmekoeffizient	w	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	0.00				
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	0.00				
Abflussbeiwert	$\Psi$	–	n.a.				
Lebensdauer	a	–	30				
Unterhalt			nein				
Nachrüstbarkeit			nein				
Stromproduktion			nein				
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–					
$f_m$ 125		–	0.12				
$f_m$ 250		–	0.08				
$f_m$ 500		–	0.05				
$f_m$ 1000		–	0.04				
$f_m$ 2000		–	0.03				
$f_m$ 4000		–	0.02				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	124'000				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	124'000				
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	110				
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	110				
Aussentemperatur (Luft) Nacht	T <sub>a</sub>	°C	21.4				
PET Tag	PET	°C	33.6				

				<b>Literatur</b>	
<b>Glas</b>		<b>Gesamt</b>		<b>Glas</b>	<b>Argon</b>
spez. KW	Kennwert	(m)	spez. KW	spez. KW	
0.02	2'500	0.006	15.00		Zürcher
	1'000				Zürcher
	1.00				Zürcher
					Oke
					Huizenga
					Trösch
					Annahme
					BNB
					Bobran
					KBOB
			124'000		
			124'000		KBOB
			110		
			110		

Literatur:

- BNB, *Nutzungsdauern von Bauteilen 2017*, Berlin, 2017.  
H. W. Bobran and I. Bobran-Wittfoht, *Handbuch der Bauphysik*, 8th ed. Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co KG, 2010.  
H.-J. Hentschel, *Licht und Beleuchtung*, 5th ed. Heidelberg: Hüthig Verlag, 2002.  
C. Huizenga, D. Arasteh, C. Curija, and J. Klema, *Berkeley Lab WINDOW*, Regents of the University of California, Berkeley, 2018.  
KBOB / eco-bau / IPB, *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2016*, Schweiz, 2016.  
T. R. Oke, M. Gerald, A. Christen, and J. A. Voogt, *Urban Climates*, 1st ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.  
C. Zürcher and T. Frank, *Bauphysik – Bau und Energie*, 4th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2014.

### 4.3.2 Glasfassade mit Rafflamellenstore (geschlossen) (LB\_Glasfassade\_Sonnenschutz)

#### Ansicht



Quelle: Wolf Storen AG

#### Aufbau

- 0.00044 m Sonnenschutz (Aluminium, h/d)
- 0.1 m Hinterlüftung
- ≡≡≡ 0.042 m Dreifach-Verglasung (3×0.006 m)
- ≡≡≡ mit Argon (2×0.012 m)

#### Farbvarianten



hell



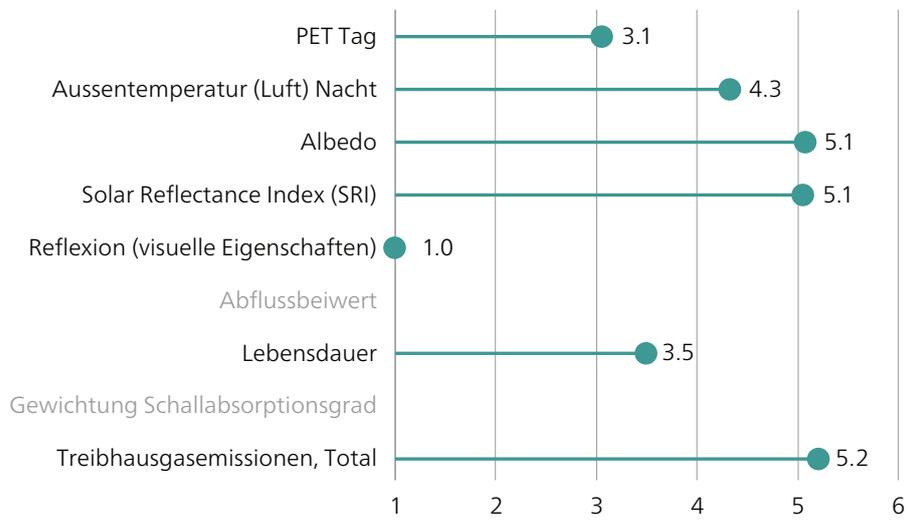
dunkel

<b>Materialdaten</b>		S. hell	S. dunkelgrau
PET Tag	°C	33.8	30.1
Ausstemperatur (Luft) Nacht	°C	21.6	21.6
Albedo	–	0.68	0.08
Solar Reflectance Index (SRI)	–	81	0
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.80	0.10
Abflussbeiwert	–	n.a.	n.a.
Lebensdauer	a	25	25
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	n.a.	n.a.
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	57.4	57.4

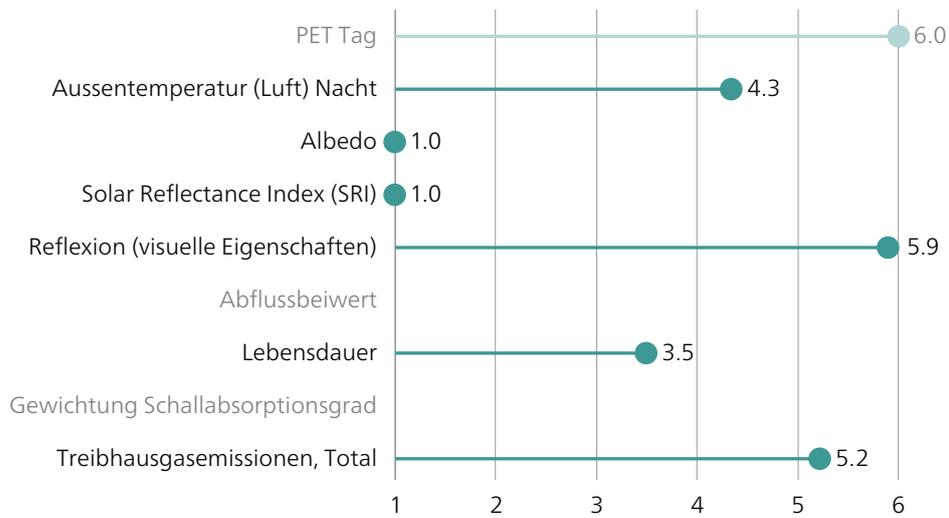
Kommentare: Die Ergebnisse für die PET (Sonnenschutz dunkelgrau) sind eventuell nicht auf andere räumliche Situationen übertragbar. Die Bewertung könnte damit schlechter ausfallen.

## Bewertung

### Rafflamellen hell



### Rafflamellen dunkelgrau



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien		
			Rafflamellen		
			hell	dunkelgrau	
			Kennwert	Kennwert	(m) spez. KW.
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	2'700		0.0004 1.19
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	$c$	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	0.88		
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	880		
Heat capacity (Wärmekapazität)	$C$	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	2.38		
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	$k$ (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$			
	$\lambda$ (D)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	160		
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$			
	$a$ (D)	$\text{m}^2/\text{s}$	6.7E-05		
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	19'498		
Wärmeindringzahl	$b$	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	19.50		
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1.17		
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	1.361		
Albedo	$\alpha$	–	0.675	0.075	
Emissivität	$\epsilon$	–	0.85	0.85	
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	81.0	0.0	
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.80	0.10	
Wasseraufnahmekoeffizient	$w$	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	0.00		
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	0.00		
Abflussbeiwert	$\psi$	–	n.a.		
Lebensdauer	$a$	–	25		
Unterhalt			ja		
Nachrüstbarkeit			ja		
Stromproduktion			nein		
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–			
$f_m$ 125		–	n.a.		
$f_m$ 250		–	n.a.		
$f_m$ 500		–	n.a.		
$f_m$ 1000		–	n.a.		
$f_m$ 2000		–	n.a.		
$f_m$ 4000		–	n.a.		
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	111'000		
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	111'000		
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	57.4		
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	57.4		
Aussentemperatur (Luft) Nacht	$T_a$	°C	21.6	21.6	
PET Tag	PET	°C	33.8	30.1	



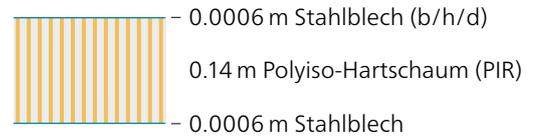
### 4.3.3 Sandwichpaneele (Leichtbaufassade Gewerbe-, Industriebau) (LB\_Sandwichpaneel)

#### Ansicht



Quelle: www.ais-online.de

#### Aufbau



#### Farbvarianten



Metall



hell

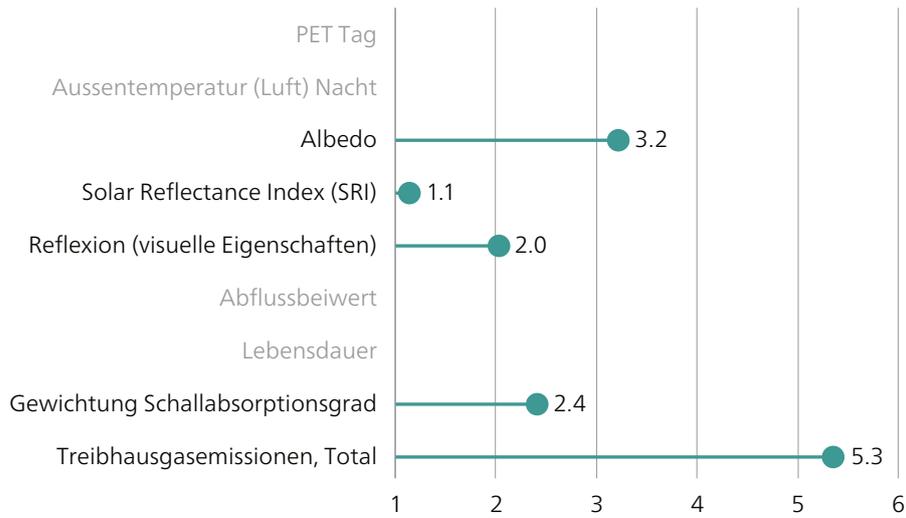


dunkel

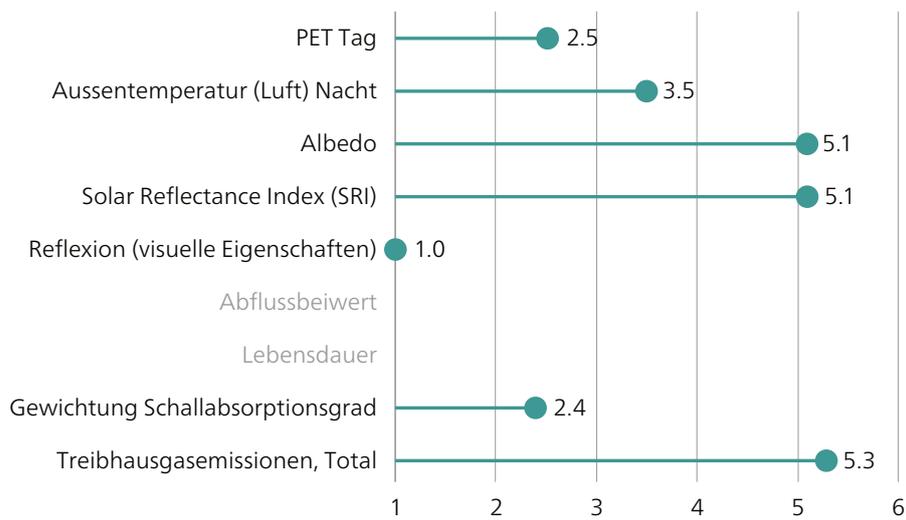
Materialdaten		Stahlblech	S. hell	S. dunkelgrau
PET Tag	°C	n.a.	34.5	31.0
Ausstemperatur (Luft) Nacht	°C	n.a.	21.7	21.8
Albedo	–	0.40	0.68	0.08
Solar Reflectance Index (SRI)	–	3	81	0
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.66	0.80	0.10
Abflussbeiwert	–	n.a.	n.a.	n.a.
Lebensdauer	a	n.a.	n.a.	n.a.
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	0.29	0.29	0.29
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	48.0	52.5	52.5

Kommentare: Die Ergebnisse für die PET (Stahlblech dunkelgrau) sind eventuell nicht auf andere räumliche Situationen übertragbar. Die Bewertung könnte damit schlechter ausfallen.

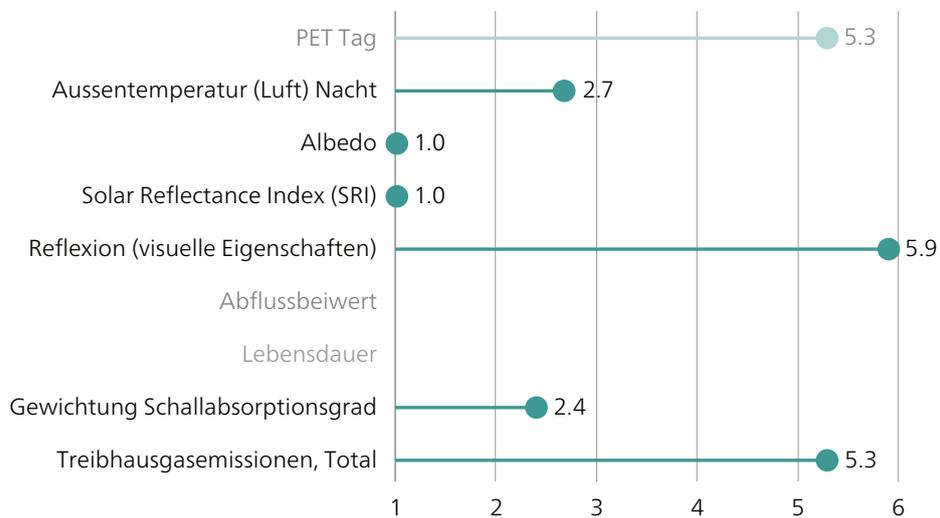
## Bewertung Stahlblech



## Stahlblech, hell



## Stahlblech, dunkelgrau



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien				
			Stahlblech			(m)	spez. KW
			Metall	hell	dunkelgrau		
			Kennwert	Kennwert	Kennwert		
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	7'800			0.0006	4.68
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	$c$	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	0.45				
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	450				
Heat capacity (Wärmekapazität)	$C$	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	3.51				
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	$k$ (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$					
	$\lambda$ (D)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	50				
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$					
	$a$ (D)	$\text{m}^2/\text{s}$	1.4E-05				
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	13'248				
Wärmeindringzahl	$b$	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	13.25				
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.79				
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	0.626				
Albedo	$\alpha$	–	0.400	0.675	0.075		
Emissivität	$\epsilon$	–	0.35	0.850	0.850		
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	2.5	81.0	0.0		
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.66	0.800	0.100		
Wasseraufnahmekoeffizient	$w$	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	0.00				
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	0.00				
Abflussbeiwert	$\psi$	–	n.a.				
Lebensdauer	$a$	–	n.a.				
Unterhalt			nein				
Nachrüstbarkeit			nein				
Stromproduktion			nein				
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–					
$f_m$ 125		–	0.06				
$f_m$ 250		–	0.06				
$f_m$ 500		–	0.07				
$f_m$ 1000		–	0.02				
$f_m$ 2000		–	0.09				
$f_m$ 4000		–	0.12				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	16'100	4'740	4'740		
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	75'348	80'088	80'088		
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	3.51	4.50	4.50		
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	16	21	21		
Aussentemperatur (Luft) Nacht	$T_a$	°C	n.a.	21.7	21.8		
PET Tag	PET	°C	n.a.	34.5	31.0		

PIR			Gesamt		Literatur	
Kennwert	(m)	spez. KW	Alublech blank	Alublech besch.	Stahlblech	PIR
30	0.14	4.20			Bobran	Swisspor PIR
1'400					Bobran	Swisspor PIR
0.02					Bobran	Swisspor PIR
					Santamouris	
					Santamouris	
					Santamouris	
					Hentschel	
					Annahme	
					Davies 2001	
					Davies 2001	
					Davies 2001	
					Davies 2001	
					Davies 2001	
					Davies 2001	
6'630					KBOB	KBOB
27'846			103'194	107'934		
7.52					KBOB	KBOB
32			48	53		

Literatur:  
H. W. Bobran and I. Bobran-Wittfoht, *Handbuch der Bauphysik*, 8th ed. Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co KG, 2010.  
Davies, J.M. (Ed.), 2001, *Lightweight sandwich construction*, Blackwell Science, London; Malden, MA.  
H.-J. Hentschel, *Licht und Beleuchtung*, 5th ed. Heidelberg: Hüthig Verlag, 2002.  
KBOB / eco-bau / IPB, *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2016*, Schweiz, 2016.  
M. Santamouris, A. Synnefa, and T. Karlessi, *Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions*, Sol. Energy, vol. 85, pp.3085–3102, 2011.  
C. Zürcher and T. Frank, *Bauphysik – Bau und Energie*, 4th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2014.

## 4.4 Hinterlüftete Fassade

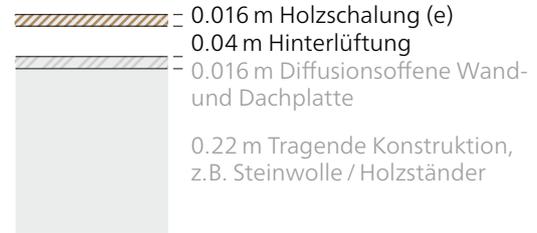
### 4.4.1 Holzverkleidung vor Holzständerwand mit Aussenwärmedämmung (HF\_Holzverkleidung)

#### Ansicht



Quelle: www.holzbau-teubner.de

#### Aufbau



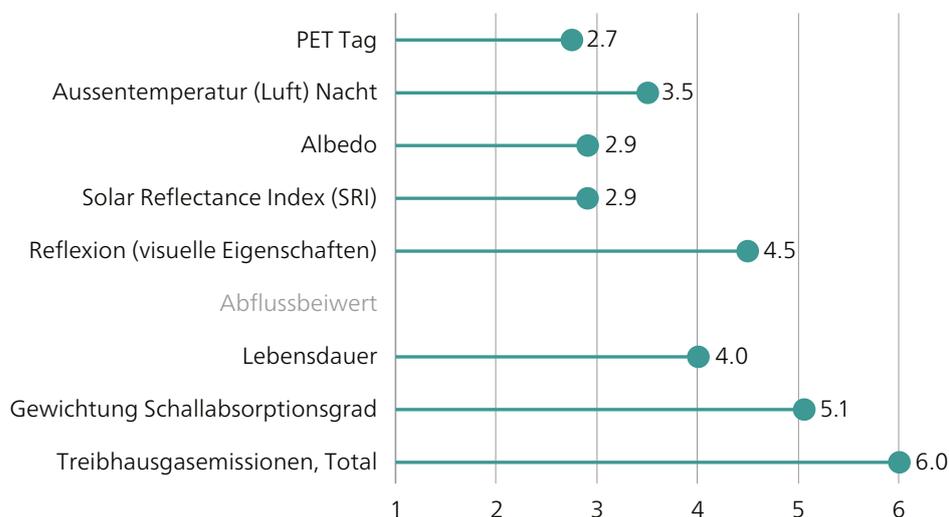
#### Materialdaten

#### Holzverkleidung Eiche

PET Tag	°C	34.2
Aussentemperatur (Luft) Nacht	°C	21.7
Albedo	–	0.35
Solar Reflectance Index (SRI)	–	38
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.30
Abflussbeiwert	–	n. a.
Lebensdauer	a	30
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	0.66
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	1.5

#### Bewertung

#### Holzverkleidung Eiche



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien			Literatur	
			Holzverkleidung Eiche		Gesamt		
			Kennwert	(m)	spez. KW	spez. KW	Holzverkleidung Eiche
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	737	0.016	11.79		Niemz
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	$c$	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1.61				
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1'610				Zürcher
Heat capacity (Wärmekapazität)	$C$	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	1.19				
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	$k$ (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$					
		$\lambda$ (D)	0.17				Niemz
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$					
		$a$ (D)	1.4E-07				
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	444				
Wärmeindringzahl	$b$	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.44				
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.03				
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	0.062				
Albedo	$\alpha$	–	0.35				techno-bloc.com
Emissivität	$\epsilon$	–	0.90				Oke
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	38.0				techno-bloc.com
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.30				Hentschel
Wasseraufnahmekoeffizient	$w$	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	0.08				Ruisinger
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	n.a.				
Abflussbeiwert	$\Psi$	–	n.a.				
Lebensdauer	$a$	–	30				BNB
Unterhalt			ja				
Nachrüstbarkeit			ja				
Stromproduktion			nein				
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–					
$f_m$ 125		–	0.19				Bobran
$f_m$ 250		–	0.36				Bobran
$f_m$ 500		–	0.73				Bobran
$f_m$ 1000		–	0.50				Bobran
$f_m$ 2000		–	0.25				Bobran
$f_m$ 4000		–	0.31				Bobran
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	420				KBOB
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	4'953			4'953	
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	0.13				KBOB
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	1			1.49	
Aussentemperatur (Luft) Nacht	$T_a$	°C	21.7				
PET Tag	PET	°C	34.2				

Literatur:

- BNB, *Nutzungsdauern von Bauteilen 2017*, Berlin, 2017.
- H. W. Bobran and I. Bobran-Wittfoht, *Handbuch der Bauphysik*, 8th ed. Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co KG, 2010.
- KBOB / eco-bau / IPB, *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2016*, Schweiz, 2016.
- Niemz, *Untersuchungen zur Wärmeleitfähigkeit ausgewählter einheimischer und fremdländischer Holzarten*, Bauphysik, vol. 29, no. 4, pp.311–312, 2007.
- U. Ruisinger, E. Stöcker, J. Grunewald, and H. Stopp, *Holzbalkenaufgabe in historischem Mauerwerk: Analyse, Bewertung und energetische Sanierung mittels Innendämmung*, in Mauerwerk Kalender, W. Jäger, Ed. Erst & Sohn GmbH & Co. KG, 2016, pp.351–384.
- T. R. Oke, M. Gerald, A. Christen, and J. A. Voogt, *Urban Climates*, 1st ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.
- C. Zürcher and T. Frank, *Bauphysik – Bau und Energie*, 4th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2014.

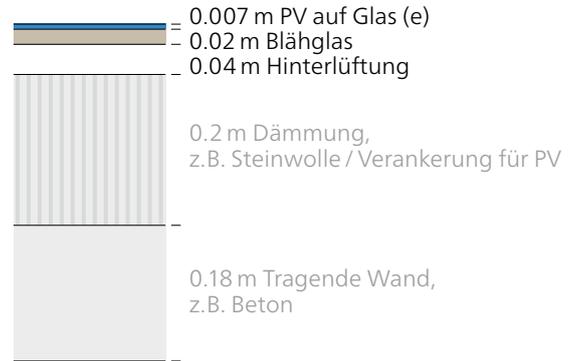
#### 4.4.2 PV (hinterlüftet, Dämmung Steinwolle) (HF\_Photovoltaik)

##### Ansicht



Quelle: [www.ernstschweizer.ch](http://www.ernstschweizer.ch)

##### Aufbau



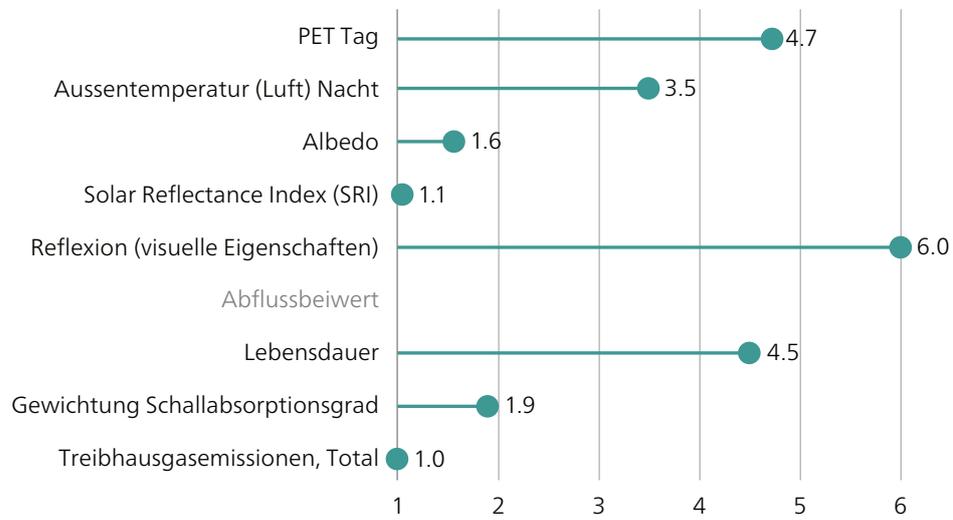
##### Materialdaten

PV/Glas

PET Tag	°C	31.7
Ausstemperatur (Luft) Nacht	°C	21.7
Albedo	–	0.16
Solar Reflectance Index (SRI)	–	1
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.09
Abflussbeiwert	–	n.a.
Lebensdauer	a	35
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	0.22
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	356.7

## Bewertung

PV/Glas



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien				
			PV/Glas	Blähglas			
			Kennwert	(m)	spez. KW	Kennwert	(m)
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	2'500	0.007	17.50	500	0.02
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	c	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1.00				
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1'000			1'000	
Heat capacity (Wärmekapazität)	C	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	2.50				
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	k (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$					
		$\lambda$ (D)	1.00			0.09	
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$					
		a (D)	4.0E-07				
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1'581				
Wärmeindringzahl	b	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1.58				
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.09				
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	0.105				
Albedo	$\alpha$	–	0.16				
Emissivität	$\epsilon$	–	0.83				
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	1.0				
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.09				
Wasseraufnahmekoeffizient	w	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	0.00				
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	0.00				
Abflussbeiwert	$\Psi$	–	n.a.				
Lebensdauer	a	–	35				
Unterhalt			ja				
Nachrüstbarkeit			ja				
Stromproduktion			ja				
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–					
$f_m$ 125		–	0.18				
$f_m$ 250		–	0.06				
$f_m$ 500		–	0.04				
$f_m$ 1000		–	0.03				
$f_m$ 2000		–	0.02				
$f_m$ 4000		–	0.02				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	3'170'000.00				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	528'333				
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	2'140				
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	357				
Aussentemperatur (Luft) Nacht	T <sub>a</sub>	°C	21.7				
PET Tag	PET	°C	31.7				

		<b>Literatur</b>	
	<b>Gesamt</b>	<b>PV/Glas</b>	<b>Blähglas</b>
spez. KW	spez. KW		
10.00		Zürcher	Wikipedia
		Zürcher	Wikipedia
		Zürcher	Wikipedia
		Cekon	
		Huizenga	
		Cekon	
		Cekon	
		www.swissolar.ch	
		PTB	
		KBOB	
	528'333	KBOB	
	357		

Literatur:

- M. Cekon and P. Rovnanik, *Optical performance of colored crystalline solar cells for building energy efficient application*, in 2nd International Materials, Industrial, and Manufacturing Engineering Conference, MIMEC2015, 2015, pp.342–347.
- C. Huizenga, D. Arasteh, C. Curija, and J. Klema, *Berkeley Lab WINDOW*, Regents of the University of California, Berkeley, 2018.
- KBOB / eco-bau / IPB, *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2016*, Schweiz, 2016.
- PTB, *Absorptionstabelle abstab\_wf.xls*, 2020 [Online]. Available: [www.ptb.de](http://www.ptb.de) [Accessed: 08-Sep-2020].
- C. Zürcher and T. Frank, *Bauphysik – Bau und Energie*, 4th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2014.

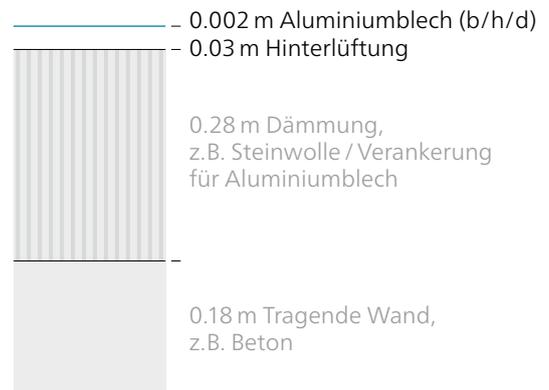
### 4.4.3 Metallblechverkleidung (HF\_Metallblechverkleidung)

#### Ansicht



Quelle: www.gabs.ch

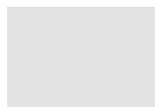
#### Aufbau



#### Farbvarianten



Metall



hell



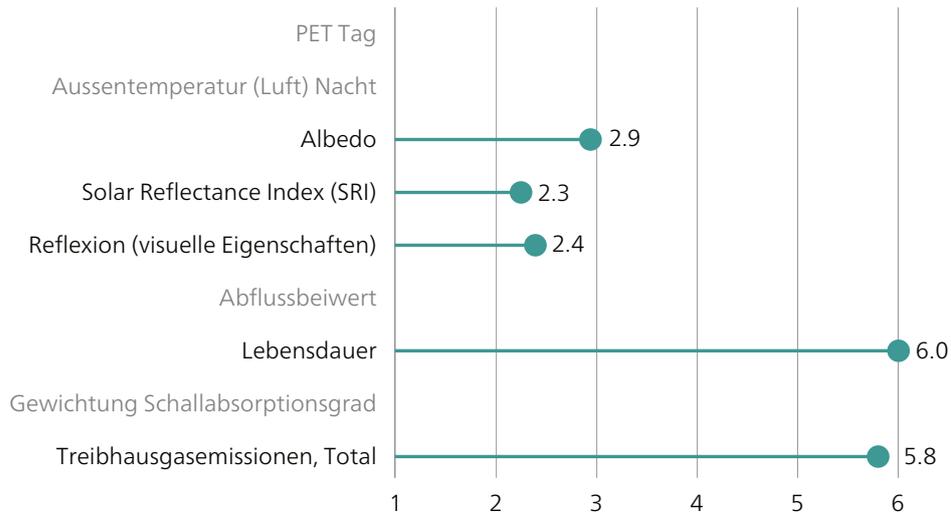
dunkel

Materialdaten		Alublech	A. hell	A. dunkelgrau
PET Tag	°C	n.a.	34.4	31.0
Aussentemperatur (Luft) Nacht	°C	n.a.	21.7	21.8
Albedo	–	0.36	0.68	0.08
Solar Reflectance Index (SRI)	–	25	81	0
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.60	0.80	0.10
Abflussbeiwert	–	n.a.	n.a.	n.a.
Lebensdauer	a	50	50	50
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	n.a.	n.a.	n.a.
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	15.9	19.6	19.6

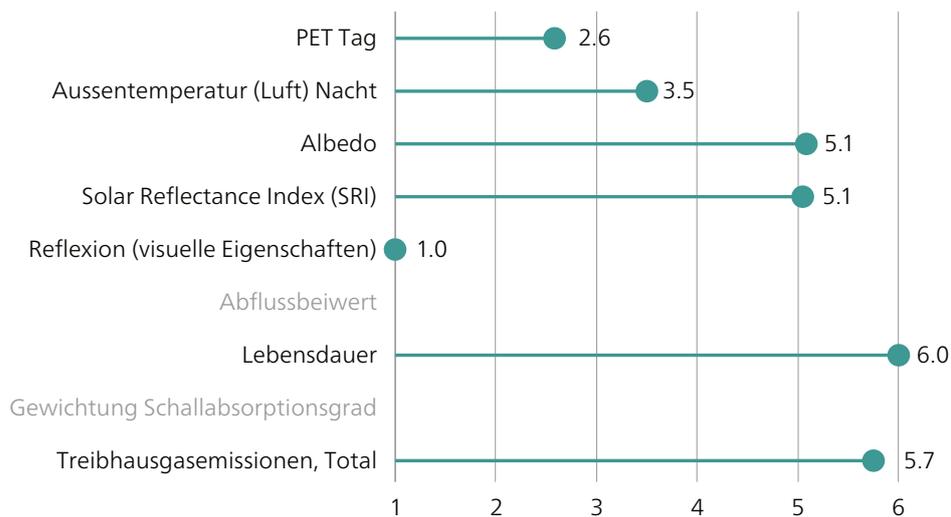
Kommentare: Die Ergebnisse für die PET (Aluminiumblech dunkelgrau) sind eventuell nicht auf andere räumliche Situationen übertragbar. Die Bewertung könnte damit schlechter ausfallen.

## Bewertung

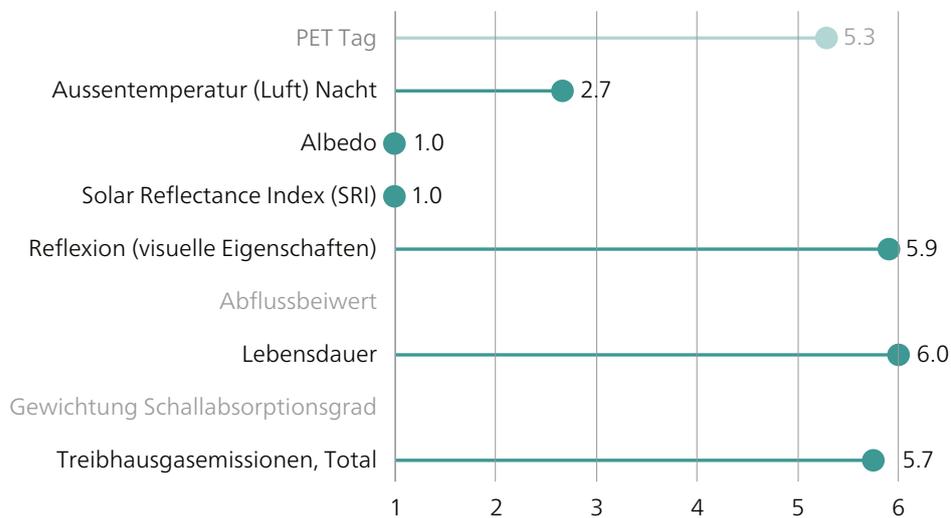
### Alublech



### Alublech, hell



### Alublech, dunkelgrau



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien				
			Alublech				
				hell	dunkelgrau		
			Kennwert	Kennwert	Kennwert	(m)	spez. KW
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	2'700			0.002	5.40
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	c	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	0.88				
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	880				
Heat capacity (Wärmekapazität)	C	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	2.38				
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	k (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$					
		$\lambda$ (D)	160				
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$					
		a (D)	6.7E-05				
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	19'498				
Wärmeindringzahl	b	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	19.50				
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1.17				
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	1.361				
Albedo	$\alpha$	–	0.36	0.68	0.075		
Emissivität	$\epsilon$	–	0.58	0.85	0.85		
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	25.0	81.0	0.0		
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.60	0.80	0.10		
Wasseraufnahmekoeffizient	w	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	0.00				
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	0.00				
Abflussbeiwert	$\Psi$	–	n.a.				
Lebensdauer	a	–	50				
Unterhalt			nein				
Nachrüstbarkeit			ja				
Stromproduktion			nein				
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–					
$f_m$ 125		–	n.a.				
$f_m$ 250		–	n.a.				
$f_m$ 500		–	n.a.				
$f_m$ 1000		–	n.a.				
$f_m$ 2000		–	n.a.				
$f_m$ 4000		–	n.a.				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	7'300	4'470	4'470		
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	39'420	43'890	43'890		
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	2.94	3.72	3.72		
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	16	20	20		
Aussentemperatur (Luft) Nacht	T <sub>a</sub>	°C	n.a.	21.7	21.8		
PET Tag	PET	°C	n.a.	34.4	31.0		

**Literatur**

**Alublech**

**Gesamt**

A. blank    A. besch.

Zürcher

Zürcher

Zürcher

Kotthaus

Radhi

SRI calculator

Hentschel,  
Witting

BNB

KBOB

39'420    43'890

KBOB

16    20

Literatur:

BNB, *Nutzungsdauern von Bauteilen 2017*, Berlin, 2017.

KBOB / eco-bau / IPB, *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2016*, Schweiz, 2016.

S. Kotthaus, T. E. L. Smith, M. J. Wooster, and C. S. B. Grimmond, *Derivation of an urban materials spectral library through emittance and reflectance spectroscopy*, ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., vol. 94, pp. 194–212, 2014.

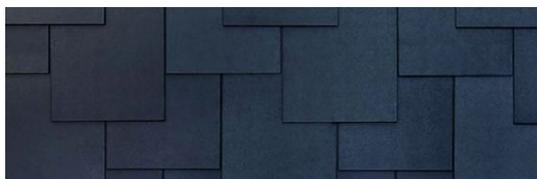
H.-J. Hentschel, *Licht und Beleuchtung*, 5th ed. Heidelberg: Hüthig Verlag, 2002.

W. Witting, *Licht. Sehen. Gestalten*. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Verlag, 2014.

C. Zürcher and T. Frank, *Bauphysik – Bau und Energie*, 4th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2014.

#### 4.4.4 Faserzementverkleidung, Eternit (HF\_Faserzementverkleidung)

##### Ansicht

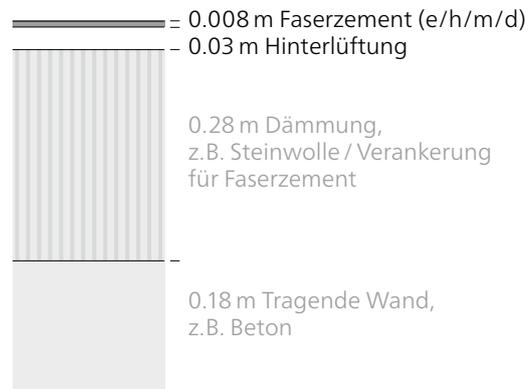


Quelle: www.etermit.ch

##### Farbvarianten



##### Aufbau

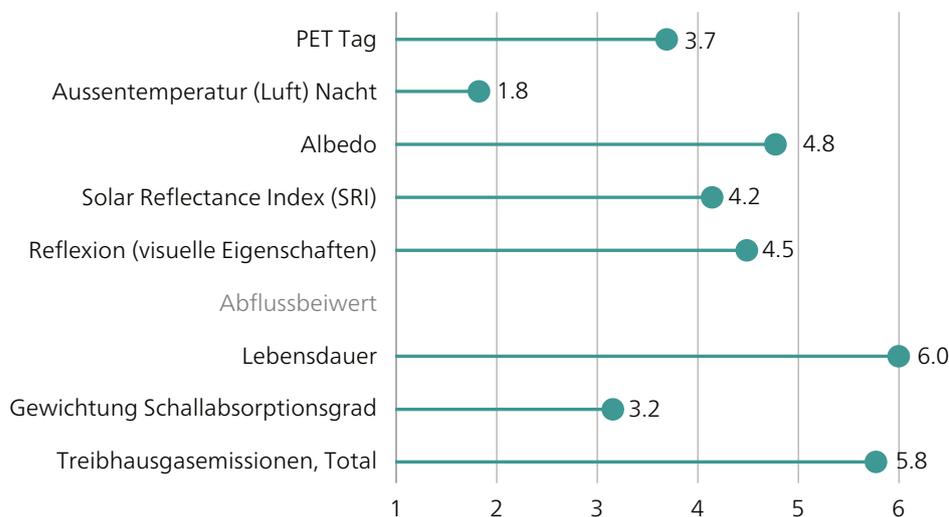


Materialdaten		Faserzement	F. hell	F. mittel	F. dunkel
PET Tag	°C	33.0	34.4	34.2	33.9
Ausstemperatur (Luft) Nacht	°C	21.9	21.8	21.9	22.0
Albedo	–	0.63	0.75	0.45	0.26
Solar Reflectance Index (SRI)	–	63	86	53	35
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.30	0.70	0.50	0.25
Abflussbeiwert	–	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Lebensdauer	a	50	50	50	50
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	0.40	0.40	0.40	0.40
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	17.4	17.4	17.4	17.4

Kommentare: Die Ergebnisse für die PET (Faserzement dunkel) sind eventuell nicht auf andere räumliche Situationen übertragbar. Die Bewertung könnte damit schlechter ausfallen.

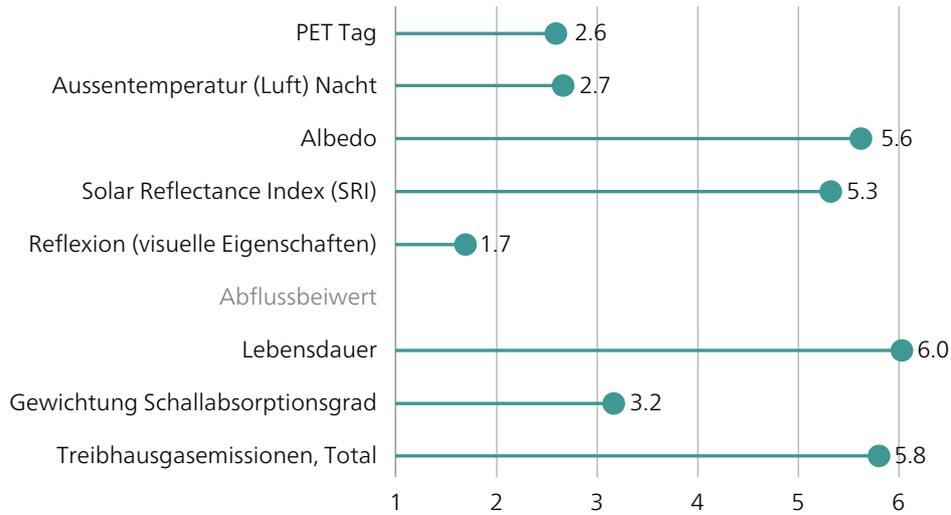
##### Bewertung

Faserzement



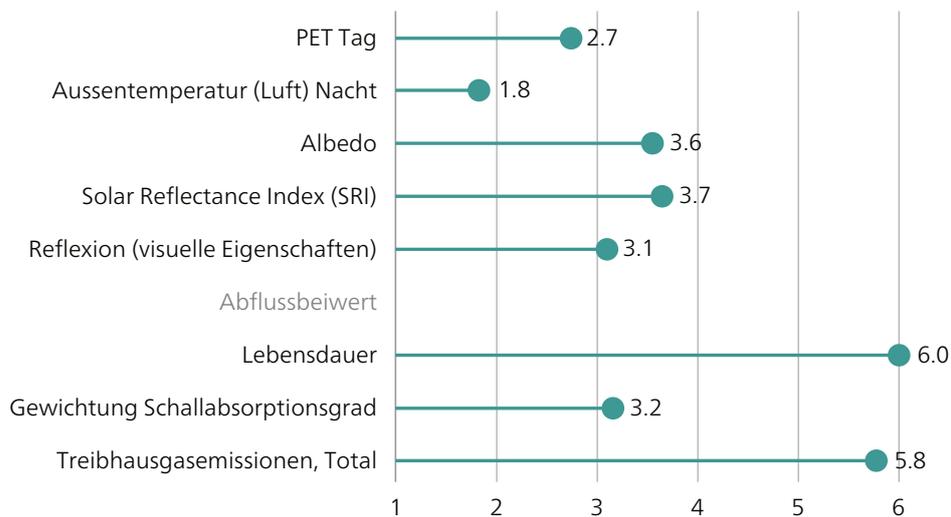
## Bewertung

Faserzement, hell



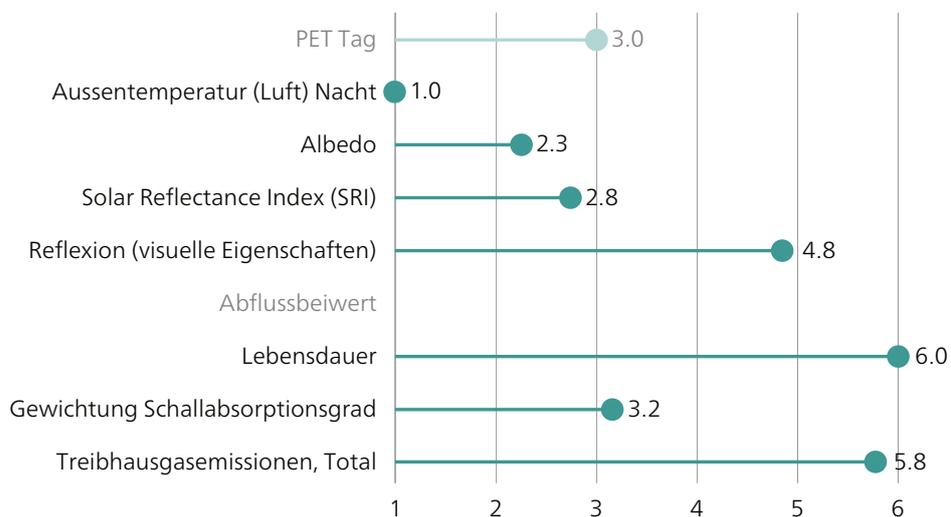
## Bewertung

Faserzement, mittel



## Bewertung

Faserzement, dunkel



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien			
			Faserzement			
			hell	mittel	dunkel	
			Kennwert	Kennwert	Kennwert	Kennwert (m)
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	2'000			0.008
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	$c$	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1.10			
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1'100			
Heat capacity (Wärmekapazität)	$C$	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	2.20			
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	$k$ (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$				
	$\lambda$ (D)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	0.48			
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$				
	$a$ (D)	$\text{m}^2/\text{s}$	2.2E-07			
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1'028			
Wärmeindringzahl	$b$	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1.03			
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.06			
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	0.077			
Albedo	$\alpha$	–	0.63	0.75	0.45	0.26
Emissivität	$\varepsilon$	–	0.90	0.85	0.90	0.95
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	63.0	86.0	53.0	35.0
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.30	0.70	0.50	0.25
Wasseraufnahmekoeffizient	$w$	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	5.00	n.a.	0.00	0.00
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	n.a.			
Abflussbeiwert	$\psi$	–	n.a.			
Lebensdauer	$a$	–	50			
Unterhalt			nein			
Nachrüstbarkeit			ja			
Stromproduktion			nein			
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–				
$f_m$ 125		–	0.67			
$f_m$ 250		–	0.21			
$f_m$ 500		–	0.14			
$f_m$ 1000		–	0.07			
$f_m$ 2000		–	0.06			
$f_m$ 4000		–	0.05			
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	1'030			
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	16'480			
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	1.09			
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	17			
Aussentemperatur (Luft) Nacht	$T_a$	°C	21.9	21.8	21.9	22.0
PET Tag	PET	°C	33.0	34.4	34.2	33.9

		Literatur
Gesamt		Faserzement
spez. KW	spez.KW	
16.00		Zürcher
		Zürcher
		Zürcher
		Alchapar
		Alchapar
		Alchapar
		Hauser
		BNB
		Willems
		KBOB
	16'480	
		KBOB
	17	

Literatur:

- Alchapar, N., Correa, E., Cantón, A., Lesino, G., 2011. *Urban Heat Island Mitigation. Classification of Building Materials Used in the Urban Envelopes According their Capacity for Cooling the City*, in: Proceedings of the ISES Solar World Congress 2011. International Solar Energy Society, Kassel, Germany, pp. 1–12. <https://doi.org/10.18086/swc.2011.02.01>
- BNB, *Nutzungsdauern von Bauteilen 2017*, Berlin, 2017.
- G. Hauser, *Bauphysikalische Grundlagen Feuchtelehre – Vorlesungsskript Bauphysik I und II*, Kassel, 2003.
- KBOB / eco-bau / IPB, *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2016*, Schweiz, 2016.
- Willems, W.M., Schild, K., Dinter, S., Stricker, D. (Eds.), 2010, *Formeln und Tabellen Bauphysik: Wärmeschutz – Feuchteschutz – Klima – Akustik – Brandschutz*; 2., aktualisierte und erw. Aufl., Vieweg+Teubner, Wiesbaden.
- C. Zürcher and T. Frank, *Bauphysik – Bau und Energie*, 4th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2014.

#### 4.4.5 Kunststein / Natursteinverkleidung (HF\_Steinverkleidung)

##### Ansicht



Quelle: [www.linea-cladding.com](http://www.linea-cladding.com)

##### Aufbau



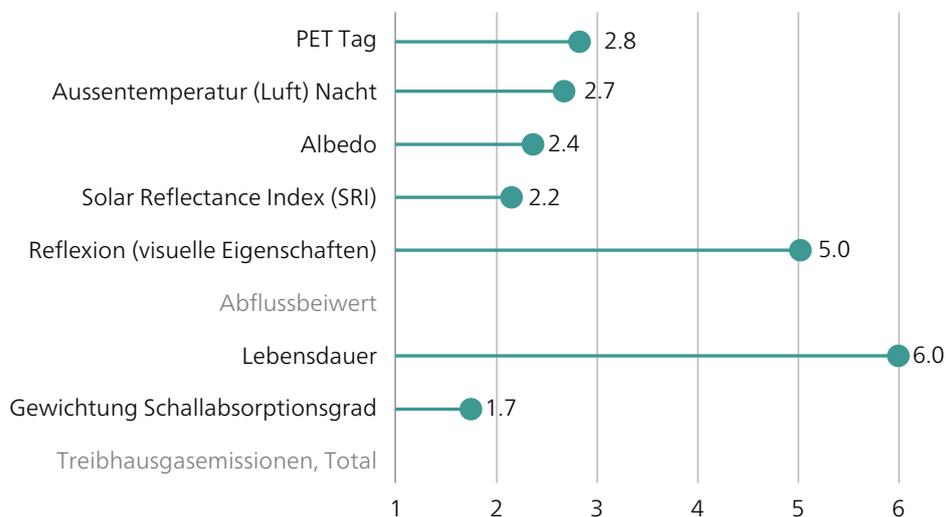
##### Materialdaten

##### Granit

PET Tag	°C	34.1
Ausstemperatur (Luft) Nacht	°C	21.8
Albedo	–	0.28
Solar Reflectance Index (SRI)	–	23
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.23
Abflussbeiwert	–	n.a.
Lebensdauer	a	50
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	0.20
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	#WERT!

##### Bewertung

##### Granit



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien			Gesamt	Literatur
			Granit				
			Kennwert	(m)	spez. KW	spez. KW	Granit
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	2'750	0.03	82.50		Zürcher
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	c	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	0.80				
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	800				Zürcher
Heat capacity (Wärmekapazität)	C	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	2.20				
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	k (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$					
		$\lambda$ (D)	2.80				Zürcher
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$					
		a (D)	1.3E-06				
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	2'482				
Wärmeindringzahl	b	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	2.48				
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.15				
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	0.187				
Albedo	$\alpha$	–	0.28				Radhi
Emissivität	$\epsilon$	–	0.90				Radhi
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	23.0				Radhi
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.23				Hentschel
Wasseraufnahmekoeffizient	w	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	0.08				Scheffler
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	n.a.				
Abflussbeiwert	$\Psi$	–	n.a.				
Lebensdauer	a	–	50				BNB
Unterhalt			nein				
Nachrüstbarkeit			ja				
Stromproduktion			nein				
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–					
$f_m$ 125		–	0.02				Bobran
$f_m$ 250		–	n.a.				
$f_m$ 500		–	0.05				Bobran
$f_m$ 1000		–	n.a.				
$f_m$ 2000		–	0.04				Bobran
$f_m$ 4000		–	n.a.				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	n.a.				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	#WERT!			#WERT!	
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	n.a.				
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	#WERT!			#WERT!	
Aussentemperatur (Luft) Nacht	$T_a$	°C	21.8				
PET Tag	PET	°C	34.1				

Literatur:

BNB, *Nutzungsdauern von Bauteilen 2017*, Berlin, 2017.

H. W. Bobran and I. Bobran-Wittfoht, *Handbuch der Bauphysik*, 8th ed. Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co KG, 2010.

H.-J. Hentschel, *Licht und Beleuchtung*, 5th ed. Heidelberg: Hüthig Verlag, 2002.

H. Radhi, E. Assem, and S. Sharples, *On the colours and properties of building surface materials to mitigate urban heat islands in highly productive solar regions*, Build. Environ., vol. 72, pp. 162–172, 2014.

G. A. Scheffler and R. Plagge, *Ein Trocknungskoeffizient für Baustoffe*, Bauphysik, vol. 31, no. 3, pp. 125–138, 2009.

C. Zürcher and T. Frank, *Bauphysik – Bau und Energie*, 4th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2014.

#### 4.4.6 Vorgehängtes Begrünungselement (HF\_Begrünungselement)

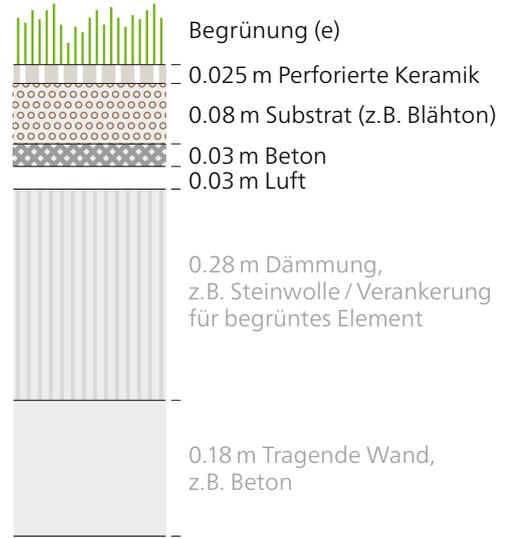
##### Ansicht



Quelle: Skyflor

Kommentar Aufbau: Die Begrünung durchdringt die perforierte Keramik und wurzelt im Blähton.

##### Aufbau

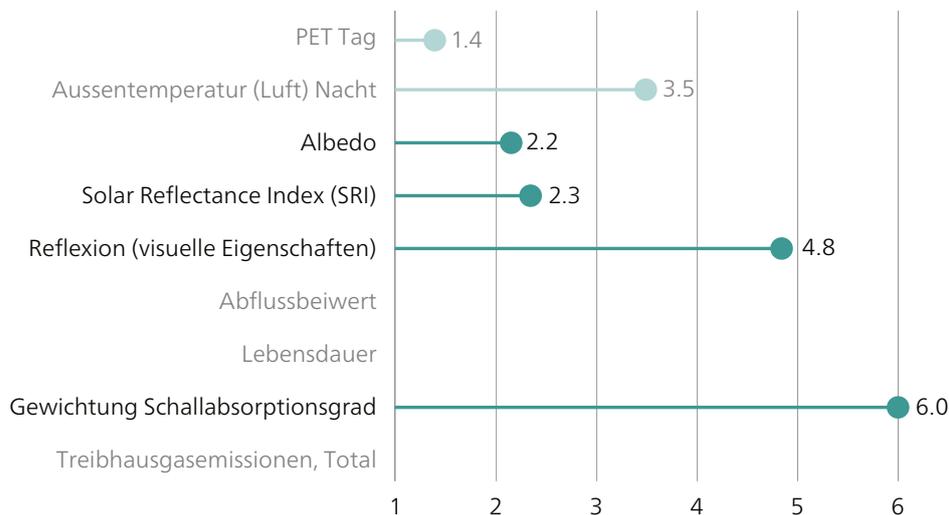


Materialdaten	Bepflanzung und Element	
PET Tag	°C	35.9
Ausstemperatur (Luft) Nacht	°C	21.7
Albedo	–	0.25
Solar Reflectance Index (SRI)	–	27
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.25
Abflussbeiwert	–	n.a.
Lebensdauer	a	n.a.
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	0.79
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	#WERT!

Kommentare: Die Ergebnisse für die PET und die Ausstemperatur Nacht sind eventuell nicht auf andere räumliche Situationen übertragbar. Die Bewertung könnte damit schlechter ausfallen.

##### Bewertung

Bepflanzung und Element



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien			Literatur	
			Bepflanzung und Element		Gesamt		
			Kennwert	(m)	spez. KW	spez. KW	Element
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	1'481	0.135	199.94		Skyflor
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	$c$	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	0.80				
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	800.00				Zürcher
Heat capacity (Wärmekapazität)	$C$	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	1.18				
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	$k$ (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$					
		$\lambda$ (D)	0.50				Skyflor
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$					
		$a$ (D)	4.2E-07				
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	770				
Wärmeindringzahl	$b$	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.77				
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.05				
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	0.108				
Albedo	$\alpha$	–	0.25				Victorero
Emissivität	$\epsilon$	–	0.94				Victorero
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	27.0				Victorero
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.25				Witting
Wasseraufnahmekoeffizient	$w$	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	n.a.				
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	n.a.				
Abflussbeiwert	$\Psi$	–	n.a.				
Lebensdauer	$a$	–	n.a.				
Unterhalt			ja				
Nachrüstbarkeit			ja				
Stromproduktion			nein				
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–					
$f_m$ 125		–	0.13				Empa
$f_m$ 250		–	0.31				Empa
$f_m$ 500		–	0.71				Empa
$f_m$ 1000		–	0.85				Empa
$f_m$ 2000		–	0.75				Empa
$f_m$ 4000		–	0.83				Empa
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	n.a.				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	#WERT!			#WERT!	
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	n.a.				
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	#WERT!			#WERT!	
Aussentemperatur (Luft) Nacht	$T_a$	°C	21.7				
PET Tag	PET	°C	35.9				

Literatur:

Empa, *Prüfbericht Nr. 5214.007431: Luftschalldämmung und Schallabsorption Lärmschutzwand- und Fassadensystem <Skyflor>*, Dübendorf, 2014.

P. Gallinelli, D. Varesano, S. Polli, and M. Sanchez, *Rapport final mesure valeur lamda en cellule thermique*, Genf, 2014.

F. Victorero, S. Vera, W. Bustamante, and F. Tori, *Experimental study of the thermal performance of living walls under semiarid climatic conditions*, in 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015, 2015, pp. 3416–3422.

W. Witting, *Licht. Sehen. Gestalten*. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Verlag, 2014.

C. Zürcher and T. Frank, *Bauphysik – Bau und Energie*, 4th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2014.

## 4.5 Reflektierende Anstriche Wand

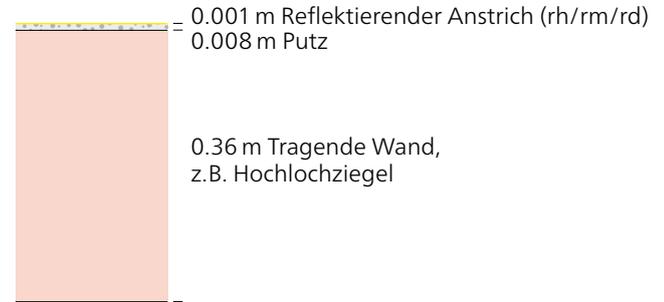
### 4.5.1 Reflektierender Anstrich auf Putz und Einschalenmauerwerk (Reflektierender\_Anstrich)

#### Ansicht



Quelle: unbekannt

#### Aufbau



#### Farbvarianten



hell



mittel



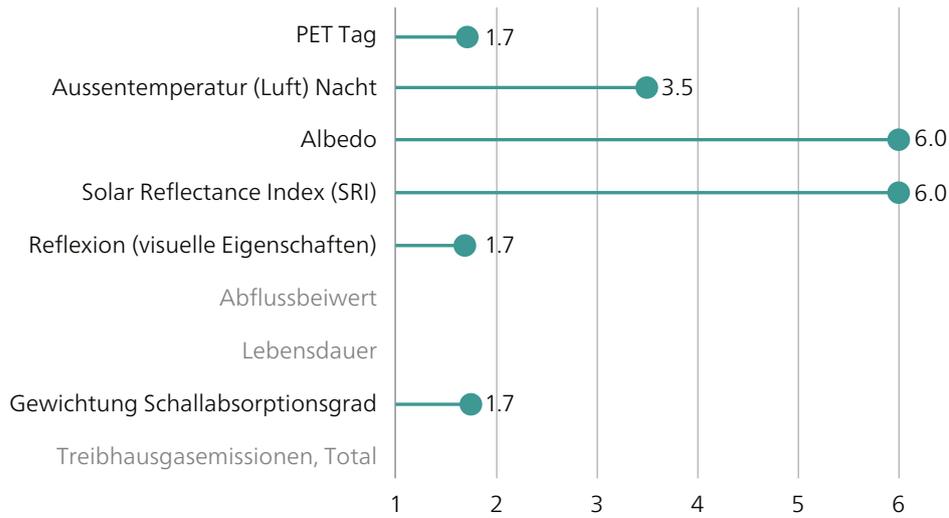
dunkel

Materialdaten		hell	mittel	dunkel
PET Tag	°C	35.5	34.6	33.6
Aussentemperatur (Luft) Nacht	°C	21.7	21.7	21.7
Albedo	–	0.81	0.69	0.42
Solar Reflectance Index (SRI)	–	100	83	50
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.70	0.50	0.25
Abflussbeiwert	–	n.a.	n.a.	n.a.
Lebensdauer	a	n.a.	n.a.	n.a.
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	0.20	0.20	0.20
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	#WERT!	#WERT!	#WERT!

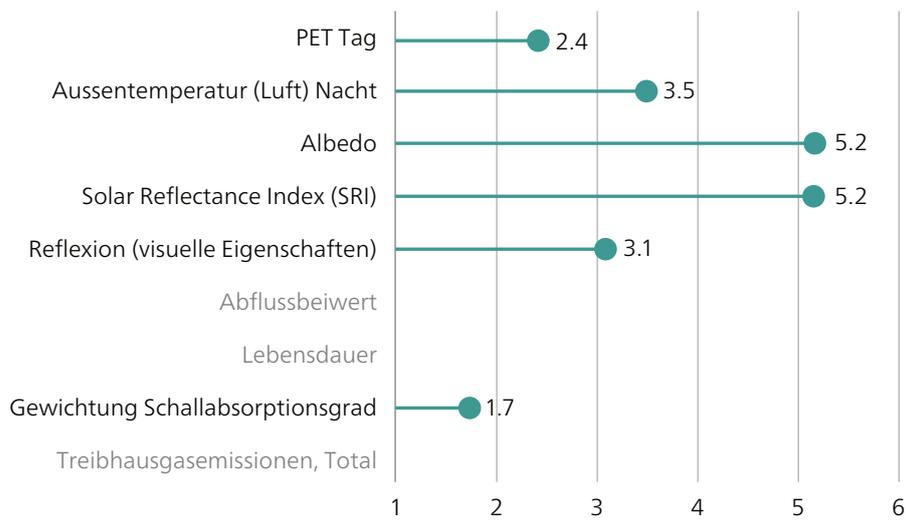
Kommentare: Das verwendete Produkt ist bezüglich seiner Ökoverträglichkeit auf das Grundwasser zu überprüfen. Das Schweizer Chemikalienrecht (ChemG, SR 813.1) sieht dazu verschiedene Anforderungen vor, welche weitgehend mit dem europäischen Chemikalienrecht harmonisiert sind. Die Ergebnisse für die PET (dunkler Anstrich) sind eventuell nicht auf andere räumliche Situationen übertragbar. Die Bewertung könnte damit schlechter ausfallen.

## Bewertung

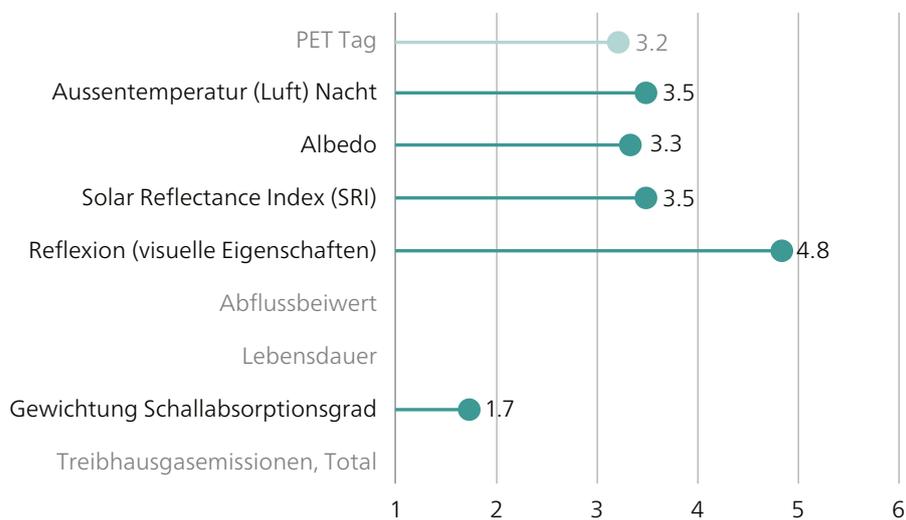
### Reflektierender Anstrich, hell



### Reflektierender Anstrich, mittel



### Reflektierender Anstrich, dunkel



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien				
			Reflektierender Anstrich				
			hell	mittel	dunkel	(m)	spez. KW
			Kennwert	Kennwert	Kennwert		
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	1'050			0.001	1.05
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	c	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1.50				
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1'500				
Heat capacity (Wärmekapazität)	C	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	1.58				
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	k (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$					
		$\lambda$ (D)	0.20				
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$					
		a (D)	1.3E-07				
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	561				
Wärmeindringzahl	b	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.56				
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.03				
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	0.059				
Albedo	$\alpha$	–	0.81	0.69	0.42		
Emissivität	$\epsilon$	–	0.89	0.89	0.87		
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	100.0	83	50		
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.70	0.50	0.25	0.00	
Wasseraufnahmekoeffizient	w	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	n.a.				
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	0.20				
Abflussbeiwert	$\Psi$	–	n.a.				
Lebensdauer	a	–	n.a.				
Unterhalt			ja				
Nachrüstbarkeit			ja				
Stromproduktion			nein				
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–					
$f_m$ 125		–	0.02				
$f_m$ 250		–	0.02				
$f_m$ 500		–	0.03				
$f_m$ 1000		–	0.04				
$f_m$ 2000		–	0.05				
$f_m$ 4000		–	0.05				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	n.a.				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	#WERT!				
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	n.a.				
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	#WERT!				
Aussentemperatur (Luft) Nacht	T <sub>a</sub>	°C	21.7	21.7	21.7		
PET Tag	PET	°C	35.5	34.6	33.6		

Anmerkungen: Das verwendete Produkt ist bezüglich seiner Ökoverträglichkeit auf das Grundwasser zu überprüfen. Das Schweizer Chemikalienrecht (ChemG, SR 813.1) sieht dazu verschiedene Anforderungen vor, welche weitgehend mit dem europäischen Chemikalienrecht harmonisiert sind.



## 4.6 Umgebung Boden

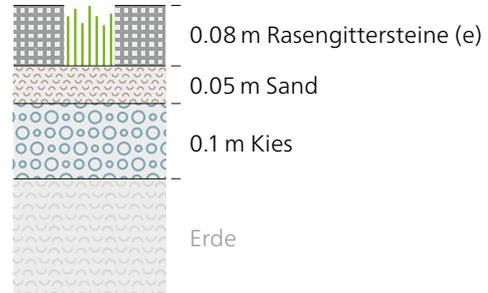
### 4.6.1 Rasengittersteinpflasterung für Wege/befahrbare Flächen (B\_Rasengittersteinpflasterung)

#### Ansicht



Quelle: [www.plantopedia.de](http://www.plantopedia.de)

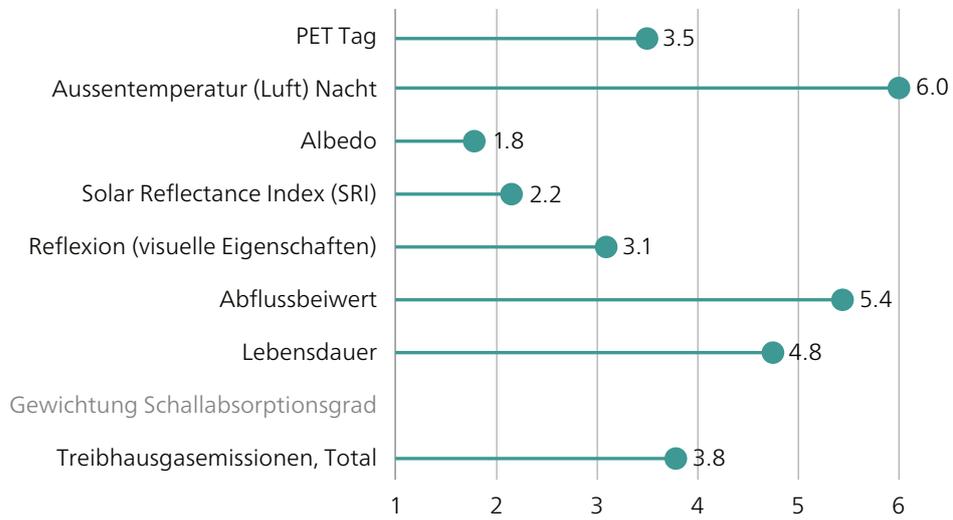
#### Aufbau



Materialdaten		Rasengitterstein
PET Tag	°C	33.7
Ausentemperatur (Luft) Nacht	°C	21.6
Albedo	–	0.25
Solar Reflectance Index (SRI)	–	27
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.25
Abflussbeiwert	–	0.20
Lebensdauer	a	30
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	n.a.
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	19.2

Kommentare: Für die Erde in den Rasengittersteinen sind keine Daten zum Umweltbelastungspunkten und Treibhausgasemissionen vorhanden. Stattdessen werden die Werte für Split eingesetzt.

**Bewertung**  
Rasengitterstein



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien				
			Rasengitterstein		Sand		
			Kennwert	(m)	spez. KW	Kennwert	(m)
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	1'450	0.08	116	1'700	0.05
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	c	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1.06				
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1'060			1'300	
Heat capacity (Wärmekapazität)	C	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	1.54				
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	k (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$					
		$\lambda$ (D)	2.00			1.60	
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$					
		a (D)	1.3E-06				
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1'753				
Wärmeindringzahl	b	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1.75				
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.11				
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	0.189				
Albedo	$\alpha$	–	0.25				
Emissivität	$\epsilon$	–	0.93				
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	26.6				
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.25				
Wasseraufnahmekoeffizient	w	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	n.a.				
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	1.80				
Abflussbeiwert	$\Psi$	–	0.20				
Lebensdauer	a	–	30				
Unterhalt			ja				
Nachrüstbarkeit			ja				
Stromproduktion			nein				
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–					
$f_m$ 125		–	n.a.				
$f_m$ 250		–	n.a.				
$f_m$ 500		–	n.a.				
$f_m$ 1000		–	n.a.				
$f_m$ 2000		–	n.a.				
$f_m$ 4000		–	n.a.				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	153			65.70	
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	17'740			5'585	
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	0.14			0.014	
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	16			1	
Aussentemperatur (Luft) Nacht	T <sub>a</sub>	°C	21.6				
PET Tag	PET	°C	33.7				

Anmerkungen: Für die Erde in den Rasengittersteinen sind keine Daten zum Umweltbelastungspunkten und Treibhausgasemissionen vorhanden. Statt dessen wurden die Werte für Split eingesetzt.

spez. KW	Kies		spez. KW	Gesamt spez. KW	Literatur	
	Kennwert	(m)			Rasengitterstein	Sand/Kies
85.00	1'800	0.1	180.00		Creabeton	Zürcher
	710				Zürcher	Zürcher
	0.70				Zürcher	Zürcher
					Wilson	
					Wilson	
					Wilson	
					Schwarz	
					SN 592000:2012	
					Sieker	
	61.00				KBOB	KBOB
	10'980			34'305		
	0.012				KBOB	KBOB
	2			19		

Literatur:

KBOB / eco-bau / IPB, *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2016*, Schweiz, 2016.

B. Schwarz, *Die kapillare Wasseraufnahme von Baustoffen*, Stuttgart, 1971.

H. Sieker, *Durchlässige Pflasterbeläge*, 2020 [Online]. Available: <https://www.sieker.de/fachinformationen/regenwasserbewirtschaftung/article/durchlaessige-pflasterbelaege-151.html> [Accessed: 07-Oct-2020].

SN 592000:2012, *Anlagen für die Liegenschaftsentwässerung – Planung und Ausführung*, 2012, pp. 1–204.

H. R. Wilson, J. Hanek, and T. Kuhn, *Solar Reflectance Index (SRI) of Concrete*, CPI, vol. 05, pp. 104–109, 2015.

C. Zürcher and T. Frank, *Bauphysik – Bau und Energie*, 4th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2014.

## 4.6.2 Betonbelag (B\_Betonbelag)

### Ansicht



Quelle: Martin van Maaren auf Unsplash

### Aufbau

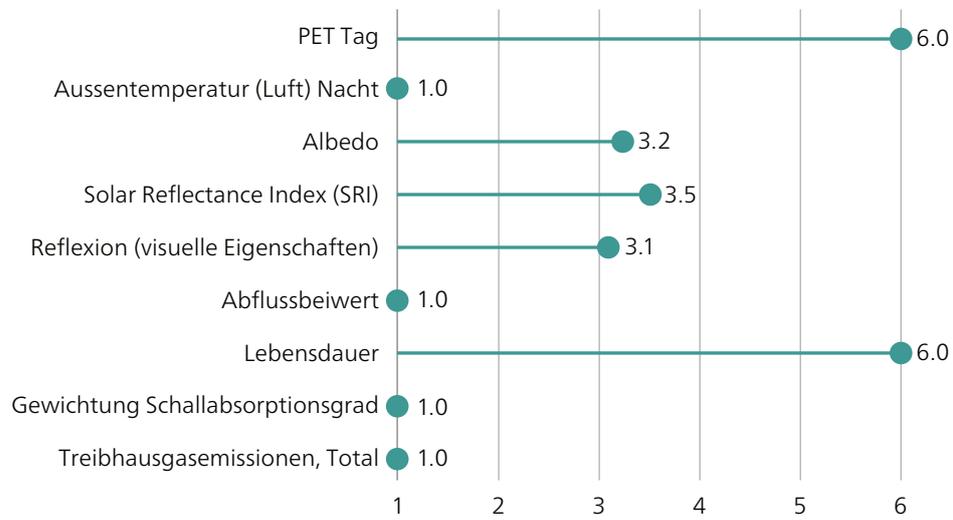


### Materialdaten

Materialdaten		Beton
PET Tag	°C	33.5
Ausstemperatur (Luft) Nacht	°C	21.7
Albedo	–	0.38
Solar Reflectance Index (SRI)	–	44
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.25
Abflussbeiwert	–	1.00
Lebensdauer	a	35
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	0.13
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	42.4

## Bewertung

Beton



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien				
			Beton		Kies		
			Kennwert	(m)	spez. KW	Kennwert	(m)
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	2'200	0.18	396.00	1'800	0.15
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	$c$	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1.07				
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1'070			710	
Heat capacity (Wärmekapazität)	$C$	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	2.35				
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	$k$ (GB) $\lambda$ (D)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$					
		$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	1.60			0.70	
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB) $a$ (D)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$					
		$\text{m}^2/\text{s}$	6.8E-07				
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1'941				
Wärmeindringzahl	$b$	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1.94				
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.12				
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	0.137				
Albedo	$\alpha$	–	0.38				
Emissivität	$\varepsilon$	–	0.95				
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	43.8				
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.25				
Wasseraufnahmekoeffizient	$w$	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	n.a.				
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	1.80				
Abflussbeiwert	$\Psi$	–	1.00				
Lebensdauer	$a$	–	35				
Unterhalt			ja				
Nachrüstbarkeit			ja				
Stromproduktion			nein				
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–					
$f_m$ 125		–	0.01				
$f_m$ 250		–	0.01				
$f_m$ 500		–	0.02				
$f_m$ 1000		–	0.02				
$f_m$ 2000		–	0.02				
$f_m$ 4000		–	0.02				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	94			61.00	
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	37'343			16'470	
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	0.10			0.012	
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	39			3	
Aussentemperatur (Luft) Nacht	$T_a$	°C	21.7				
PET Tag	PET	°C	33.5				

spez. KW	Erde		spez. KW	Gesamt spez. KW	Literatur	
	Kennwert	(m)			Beton	Kies/Erde
270.00	1'700	0.5	850.00		Info.Zentrum Beton	Zürcher
	1'420				Zürcher	Zürcher
	0.70				Zürcher	Zürcher
					Wilson	
					Wilson	
					Wilson	
					Witting	
					Schwarz	
					SN 592000:2012	
					Agethen	
					PTB	
					PTB	
					PTB	
					PTB	
					PTB	
					PTB	
					KBOB	KBOB
			53'813		KBOB	KBOB
			42			

Literatur:

- U. Agethen, K.-J. Frahm, K. Renz, and E. P. Thees, *Arbeitsblatt der BTE Arbeitsgruppe: Lebensdauer von Bauteilen, Zeitwerte*, Essen, 2008.
- InformationsZentrum Beton, *Fahrbahndeckenbeton für Straßen*, Deutschland, 2015, pp. 1–12.
- KBOB / eco-bau / IPB, *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009 / 1:2016*, Schweiz, 2016.
- PTB, *Absorptionstabelle abstab\_wf.xls*, 2020 [Online]. Available: [www.ptb.de](http://www.ptb.de) [Accessed: 08-Sep-2020].
- B. Schwarz, *Die kapillare Wasseraufnahme von Baustoffen*, Stuttgart, 1971.
- SN 592000:2012, *Anlagen für die Liegenschaftsentwässerung – Planung und Ausführung*, 2012, pp. 1–204.
- H. R. Wilson, J. Hanek, and T. Kuhn, *Solar Reflectance Index (SRI) of Concrete*, CPI, vol. 05, pp. 104–109, 2015.
- W. Witting, *Licht. Sehen. Gestalten*. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Verlag, 2014.
- C. Zürcher and T. Frank, *Bauphysik – Bau und Energie*, 4th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2014.

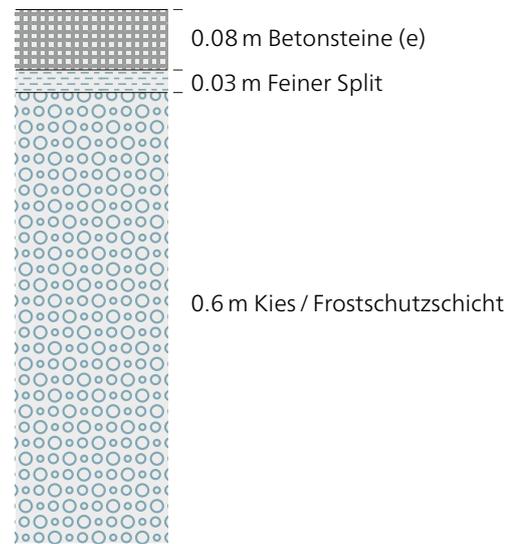
### 4.6.3 Betonsteinpflasterung für Wege, befahrbar (B\_Betonsteinpflasterung)

#### Ansicht



Quelle: Carl Raw auf Unsplash

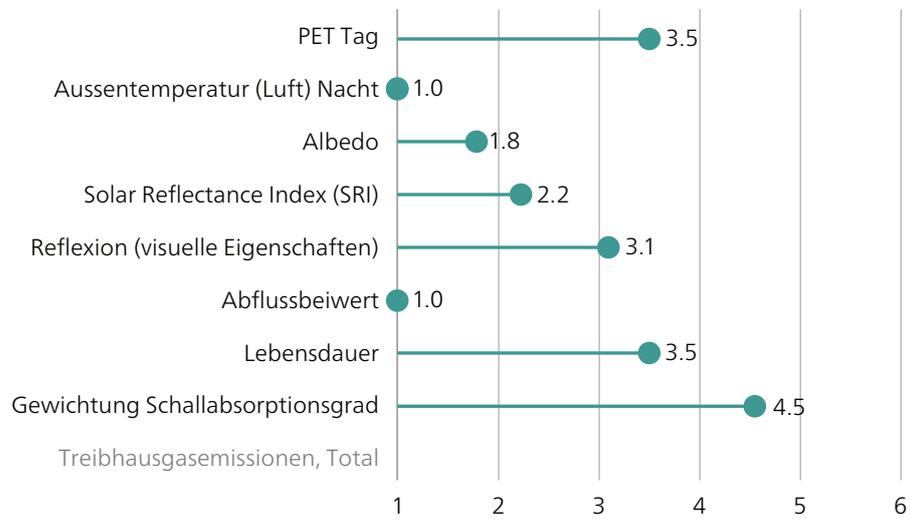
#### Aufbau



Materialdaten		Betonsteinpflasterung
PET Tag	°C	33.7
Ausstemperatur (Luft) Nacht	°C	21.7
Albedo	–	0.25
Solar Reflectance Index (SRI)	–	28
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.25
Abflussbeiwert	–	1.00
Lebensdauer	a	25
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	0.63
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	#WERT!

## Bewertung

### Betonsteinpflasterung



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien				
			Betonsteinpflasterung			Split	
			Kennwert	(m)	spez. KW	Kennwert	(m)
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	2'000	0.08	160.00	1'700	0.03
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	$c$	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1.08				
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1'080			1'800.00	
Heat capacity (Wärmekapazität)	$C$	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	2.16				
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	$k$ (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$					
		$\lambda$ (D)	1.20			1.50	
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$					
		$a$ (D)	5.6E-07				
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1'610				
Wärmeindringzahl	$b$	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1.61				
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.10				
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	0.124				
Albedo	$\alpha$	–	0.25				
Emissivität	$\epsilon$	–	0.95				
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	27.6				
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.25				
Wasseraufnahmekoeffizient	$w$	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	0.03				
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	1.80				
Abflussbeiwert	$\Psi$	–	1.00				
Lebensdauer	$a$	–	25				
Unterhalt			ja				
Nachrüstbarkeit			ja				
Stromproduktion			nein				
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–					
$f_m$ 125		–	0.36				
$f_m$ 250		–	0.44				
$f_m$ 500		–	0.31				
$f_m$ 1000		–	0.29				
$f_m$ 2000		–	0.39				
$f_m$ 4000		–	0.25				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	n.a.			39.80	
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	#WERT!			2'030	
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	n.a.			0.01	
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	#WERT!			0	
Aussentemperatur (Luft) Nacht	$T_a$	°C	21.7				
PET Tag	PET	°C	33.7				

spez. KW	Kies		spez. KW	Gesamt spez. KW	Literatur	
	Kennwert	(m)			Betonstein- pflasterung	Split/Kies
51.00	1'800	0.2	360.00		Zürcher	Zürcher
	710.00				Zürcher	Zürcher
	0.70				Zürcher	Zürcher
					Wilson	
					Wilson	
					Wilson	
					Witting	
					Schwarz	
					SN 592000:2012	
					Agethen	
					PTB	
					PTB	
					PTB	
					PTB	
					PTB	
					PTB	
	61.00					KBOB
	21'960			#WERT!		
	0.01					KBOB
	4			#WERT!		

Literatur:

- U. Agethen, K.-J. Frahm, K. Renz, and E. P. Thees, *Arbeitsblatt der BTE Arbeitsgruppe: Lebensdauer von Bauteilen, Zeitwerte*, Essen, 2008.
- KBOB / eco-bau / IPB, *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009 / 1:2016*, Schweiz, 2016.
- PTB, *Absorptionstabelle abstab\_wf.xls*, 2020 [Online]. Available: [www.ptb.de](http://www.ptb.de) [Accessed: 08-Sep-2020].
- B. Schwarz, *Die kapillare Wasseraufnahme von Baustoffen*, Stuttgart, 1971.
- SN 592000:2012, *Anlagen für die Liegenschaftsentwässerung – Planung und Ausführung*, 2012, pp. 1–204.
- H. R. Wilson, J. Hanek, and T. Kuhn, *Solar Reflectance Index (SRI) of Concrete*, CPI, vol. 05, pp. 104–109, 2015.
- W. Witting, *Licht. Sehen. Gestalten*. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Verlag, 2014.
- C. Zürcher and T. Frank, *Bauphysik – Bau und Energie*, 4th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2014.

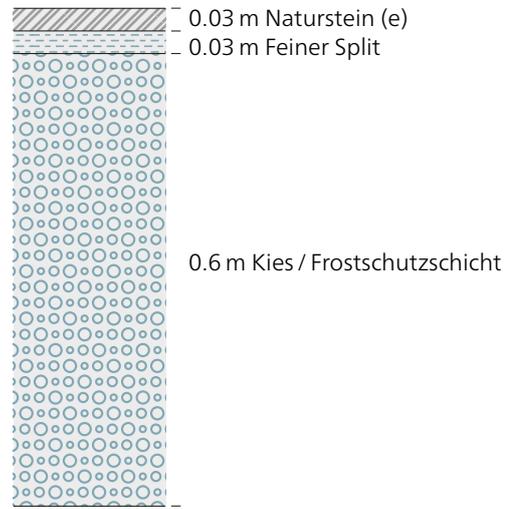
#### 4.6.4 Steinplattenpflasterung für Wege (B\_Steinplattenpflasterung)

##### Ansicht



Quelle: [www.torriani-sa.ch](http://www.torriani-sa.ch)

##### Aufbau

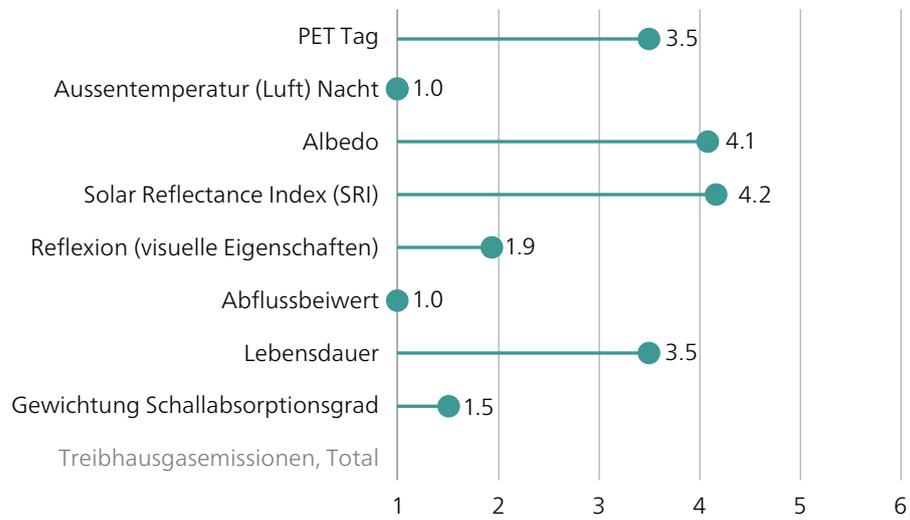


##### Materialdaten

Sandstein

PET Tag	°C	33.7
Ausentemperatur (Luft) Nacht	°C	21.7
Albedo	–	0.45
Solar Reflectance Index (SRI)	–	52
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.30
Abflussbeiwert	–	1.00
Lebensdauer	a	25
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	0.20
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	#WERT!

## Bewertung Sandstein



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien				
			Sandstein			Split	
			Kennwert	(m)	spez. KW	Kennwert	(m)
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	2'000	0.03	60.00	1'700	0.03
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	c	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1.10				
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1'100			1'800.00	
Heat capacity (Wärmekapazität)	C	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	2.20				
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	k (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$					
		$\lambda$ (D)	1.10			1.50	
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$					
		a (D)	5.0E-07				
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1'556				
Wärmeindringzahl	b	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1.56				
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.09				
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	0.117				
Albedo	$\alpha$	–	0.45				
Emissivität	$\epsilon$	–	0.92				
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	52.0				
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.30				
Wasseraufnahmekoeffizient	w	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	0.05				
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	3.20				
Abflussbeiwert	$\Psi$	–	1.00				
Lebensdauer	a	–	25				
Unterhalt			ja				
Nachrüstbarkeit			ja				
Stromproduktion			nein				
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–					
$f_m$ 125		–	0.02				
$f_m$ 250		–	0.02				
$f_m$ 500		–	0.03				
$f_m$ 1000		–	0.04				
$f_m$ 2000		–	0.05				
$f_m$ 4000		–	0.05				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	n.a.			64.90	
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	#WERT!			3'310	
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	n.a.			0.01	
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	#WERT!			1	
Aussentemperatur (Luft) Nacht	T <sub>a</sub>	°C	21.7				
PET Tag	PET	°C	33.7				

spez. KW	Kies		spez. KW	Gesamt spez. KW	Literatur	
	Kennwert	(m)			Sandstein	Split/Kies
51.00	1'800	0.2	360.00		Zürcher	Zürcher
	710.00				Zürcher	Zürcher
	0.70				Zürcher	Zürcher
					Radhi	
					Radhi	
					Radhi	
					Hentschel	
					Schwarz	
					Schwarz	
					SN 592000:2012	
					Agethen	
					PTB	
					PTB	
					PTB	
					PTB	
					PTB	
					PTB	
	61.00					KBOB
	21'960			#WERT!		
	0.01					KBOB
	4			#WERT!		

Literatur:

- U. Agethen, K.-J. Frahm, K. Renz, and E. P. Thees, *Arbeitsblatt der BTE Arbeitsgruppe: Lebensdauer von Bauteilen, Zeitwerte*, Essen, 2008.
- H.-J. Hentschel, *Licht und Beleuchtung*, 5th ed. Heidelberg: Hüthig Verlag, 2002.
- KBOB / eco-bau / IPB, *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009 / 1:2016*, Schweiz, 2016.
- PTB, *Absorptionstabelle abstab\_wf.xls*, 2020 [Online]. Available: [www.ptb.de](http://www.ptb.de) [Accessed: 08-Sep-2020].
- H. Radhi, E. Assem, and S. Sharples, *On the colours and properties of building surface materials to mitigate urban heat islands in highly productive solar regions*, *Build. Environ.*, vol. 72, pp. 162–172, 2014.
- B. Schwarz, *Die kapillare Wasseraufnahme von Baustoffen*, Stuttgart, 1971.
- SN 592000:2012, *Anlagen für die Liegenschaftsentwässerung – Planung und Ausführung*, 2012, pp. 1–204.
- C. Zürcher and T. Frank, *Bauphysik – Bau und Energie*, 4th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2014.

## 4.6.5 Schwarzbelag (Asphalt) (B\_Aspphalt)

### Ansicht



Quelle: sq lim auf Unsplash

### Aufbau



### Farbvarianten



Standard

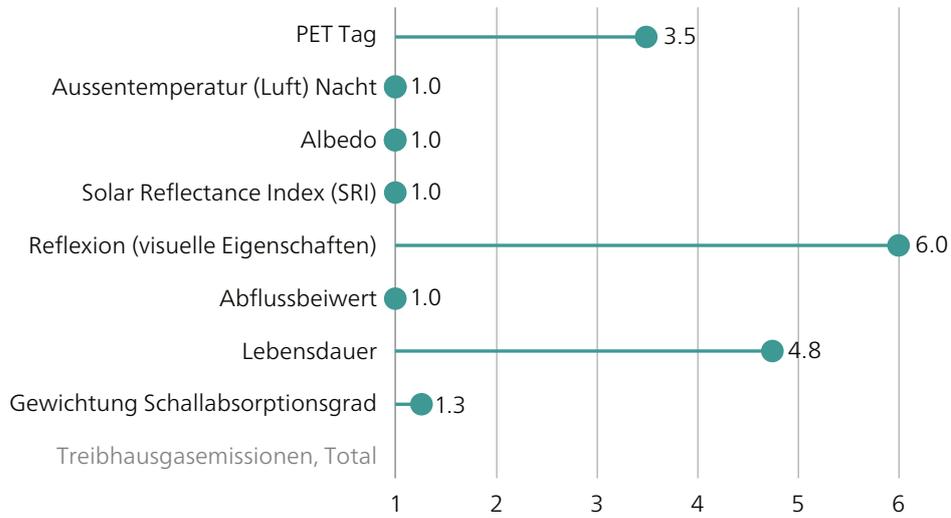


reflektierend

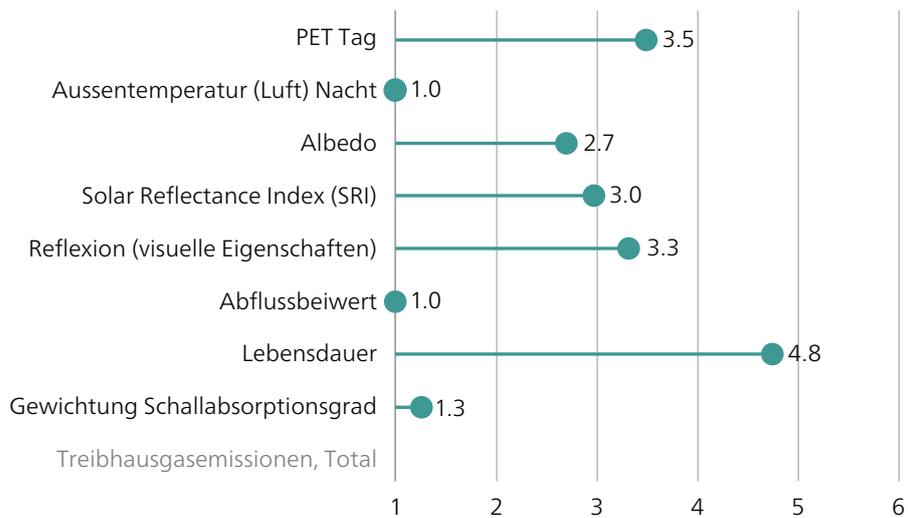
Materialdaten		Standard	reflektierend
PET Tag	°C	33.7	33.7
Ausstemperatur (Luft) Nacht	°C	21.7	21.7
Albedo	–	0.18	0.33
Solar Reflectance Index (SRI)	–	12	37
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.13	0.24
Abflussbeiwert	–	1.00	1.00
Lebensdauer	a	30	30
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	0.17	0.17
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	#WERT!	#WERT!

## Bewertung

### Asphalt, Standard



### Asphalt, reflektierend



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien				
			Asphalt Standard	reflekt.	Beton		
			Kennwert	Kennwert	(m)	spez. KW	Kennwert
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	2'200		0.04	88.00	2'200
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	$c$	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1.50				
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1'500.00				1'070.00
Heat capacity (Wärmekapazität)	$C$	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	3.30				
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	$k$ (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$					
	$\lambda$ (D)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	0.70				1.60
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$					
	$a$ (D)	$\text{m}^2/\text{s}$	2.1E-07				
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1'520				
Wärmeindringzahl	$b$	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1.52				
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.09				
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	0.076				
Albedo	$\alpha$	–	0.18	0.33			
Emissivität	$\epsilon$	–	0.82	0.94			
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	12.0	37.00			
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.13	0.24			
Wasseraufnahmekoeffizient	$w$	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	n.a.				
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	n.a.				
Abflussbeiwert	$\psi$	–	1.00				
Lebensdauer	$a$	–	30	n.a.			
Unterhalt			nein	ja			
Nachrüstbarkeit			ja	ja			
Stromproduktion			nein	nein			
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–					
$f_m$ 125		–	0.02				
$f_m$ 250		–	0.03				
$f_m$ 500		–	0.03				
$f_m$ 1000		–	0.03				
$f_m$ 2000		–	0.03				
$f_m$ 4000		–	0.02				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	n.a.				94.30
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	#WERT!				16'597
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	n.a.				0.10
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	#WERT!				17
Aussentemperatur (Luft) Nacht	$T_a$	°C	21.7	21.7			
PET Tag	PET	°C	33.7	33.7			

Literatur:

U. Agethen, K.-J. Frahm, K. Renz, and E. P. Thees, *Arbeitsblatt der BTE Arbeitsgruppe: Lebensdauer von Bauteilen, Zeitwerte*, Essen, 2008.

H.-J. Hentschel, *Licht und Beleuchtung*, 5th ed. Heidelberg: Hüthig Verlag, 2002.

KBOB / eco-bau / IPB, *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2016*, Schweiz, 2016.

S. Kotthaus, T. E. L. Smith, M. J. Wooster, and C. S. B. Grimmond, *Derivation of an urban materials spectral library through emittance and reflectance spectroscopy*, ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., vol. 94, pp. 194–212, 2014.

G.-E. Kyriakidis and M. Santamouris, *Using reflective pavements to mitigate urban heat island in warm climates – Results from a large scale urban mitigation project*, Urban Clim., vol. 24, pp. 326–339, 2018.

					Literatur			
Kies					Gesamt	Asphalt Standard	Asphalt reflekt.	Beton/Kies
(m)	spez. KW	Kennwert	(m)	spez. KW	spez. KW			
0.08	176.00	1'800	0.5	900.00		Zürcher	Zürcher	Zürcher
		710.00				Zürcher	Zürcher	Zürcher
		0.70				Zürcher	Zürcher	Zürcher
						Kotthaus	StreetBond	
						Kotthaus	StreetBond	
						Uzarowski	StreetBond	
						Hentschel	Santamouris	
						SN	SN	
						592000:2012	592000:2012	
						Agethen	Uzarowski	
						PTB		
						PTB		
						PTB		
						PTB		
						PTB		
						PTB		
		61.00						KBOB
		54'900			#WERT!			
		0.01						KBOB
		11			#WERT!			

PTB, *Absorptionstabelle abstab\_wf.xls*, 2020 [Online]. Available: [www.ptb.de](http://www.ptb.de) [Accessed: 08-Sep-2020].  
 SN 592000:2012, *Anlagen für die Liegenschaftsentwässerung – Planung und Ausführung*, 2012, pp. 1–204.  
 L. Uzarowski, R. Rizvi, and S. Manolis, *Reducing Urban Heat Island Effect by Using Light Coloured Asphalt Pavement*, in Conference of the Transportation Association of Canada, 2018, pp. 1–14.  
 C. Zürcher and T. Frank, *Bauphysik – Bau und Energie*, 4th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2014.

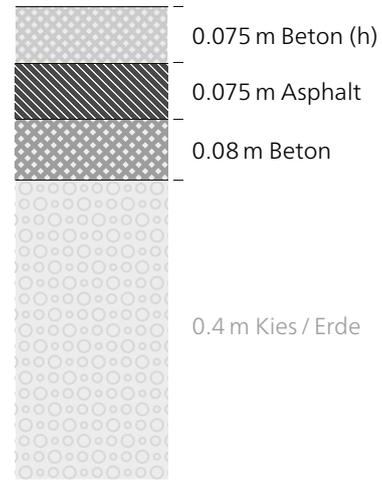
## 4.6.6 Whitetopping auf Asphalt (B\_Whitetopping\_auf\_Aspphalt)

### Ansicht



Quelle: Louisiana Department of Transportation and Development, DOTD, USA.

### Aufbau



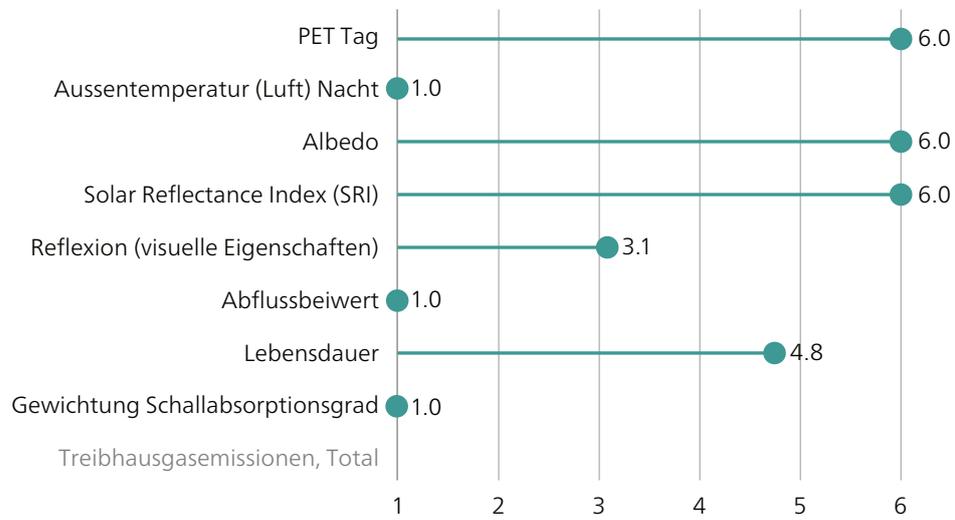
### Materialdaten

Beton, hell

PET Tag	°C	33.5
Ausstemperatur (Luft) Nacht	°C	21.7
Albedo	–	0.62
Solar Reflectance Index (SRI)	–	75
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.25
Abflussbeiwert	–	1.00
Lebensdauer	a	30
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	0.13
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	#WERT!

## Bewertung

Beton, hell



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien				
			Beton, hell	Asphalt			
			Kennwert	(m)	spez. KW	Kennwert	(m)
Density (Rohdichte)	$\rho$	kg m <sup>-3</sup>	2'400	0.08	180.00	2'200	0.08
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	c	kJ kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	1.06				
		J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	1'060.00			1'500.00	
Heat capacity (Wärmekapazität)	C	MJ m <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>	2.54				
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	k (GB)	W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>					
		$\lambda$ (D)	2.00			0.70	
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> 10 <sup>-6</sup>					
		a (D)	7.9E-07				
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	J m <sup>-2</sup> s <sup>-1/2</sup> K <sup>-1</sup>	2'256				
Wärmeindringzahl	b	kJ m <sup>-2</sup> s <sup>-1/2</sup> K <sup>-1</sup>	2.26				
		kJ m <sup>-2</sup> h <sup>-1/2</sup> K <sup>-1</sup>	0.14				
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	0.147				
Albedo	$\alpha$	–	0.62				
Emissivität	$\epsilon$	–	0.93				
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	75.3				
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.25				
Wasseraufnahmekoeffizient	w	kg m <sup>-2</sup> s <sup>-0.5</sup>	1.80				
		kg m <sup>-2</sup> h <sup>-0.5</sup>	n.a.				
Abflussbeiwert	$\Psi$	–	1.00				
Lebensdauer	a	–	30				
Unterhalt			ja				
Nachrüstbarkeit			ja				
Stromproduktion			nein				
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–					
f <sub>m</sub> 125		–	0.01				
f <sub>m</sub> 250		–	0.01				
f <sub>m</sub> 500		–	0.02				
f <sub>m</sub> 1000		–	0.02				
f <sub>m</sub> 2000		–	0.02				
f <sub>m</sub> 4000		–	0.02				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	n.a.			n.a.	
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	#WERT!			#WERT!	
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	n.a.			n.a.	
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	#WERT!			#WERT!	
Aussentemperatur (Luft) Nacht	T <sub>a</sub>	°C	21.7				
PET Tag	PET	°C	33.5				

spez. KW	Beton		spez. KW	Gesamt spez. KW	Literatur		
	Kennwert	(m)			Beton, hell	Asphalt	Beton
165.00	1'800	0.08	144.00		Zürcher	Zürcher	Zürcher
	710.00				Zürcher	Zürcher	Zürcher
	0.70				Zürcher	Zürcher	Zürcher
					Wilson		
					Wilson		
					Wilson		
					Witting		
					Schwarz		
					SN 592000:2012		
					Anonym		
					PTB		
					PTB		
					PTB		
					PTB		
					PTB		
					PTB		
	61.00						KBOB
	8'784			#WERT!			
	0.01						KBOB
	2			#WERT!			

Literatur:

- Anonym, *Whitotopping mit Hochleistungsbeton*, Strasse und Autobahn, no. 9, pp. 666–668, 2010.  
 KBOB / eco-bau / IPB, *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2016*, Schweiz, 2016.  
 B. Schwarz, *Die kapillare Wasseraufnahme von Baustoffen*, Stuttgart, 1971.  
 SN 592000:2012, *Anlagen für die Liegenschaftsentwässerung – Planung und Ausführung*, 2012, pp. 1–204.  
 H. R. Wilson, J. Hanek, and T. Kuhn, *Solar Reflectance Index (SRI) of Concrete*, CPI, vol. 05, pp. 104–109, 2015.  
 W. Witting, *Licht. Sehen. Gestalten*. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Verlag, 2014.  
 C. Zürcher and T. Frank, *Bauphysik – Bau und Energie*, 4th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2014.

## 4.6.7 Kiesbelag (B\_Kiesbelag)

### Ansicht



Quelle: [www.meyerkieswerk.ch](http://www.meyerkieswerk.ch)

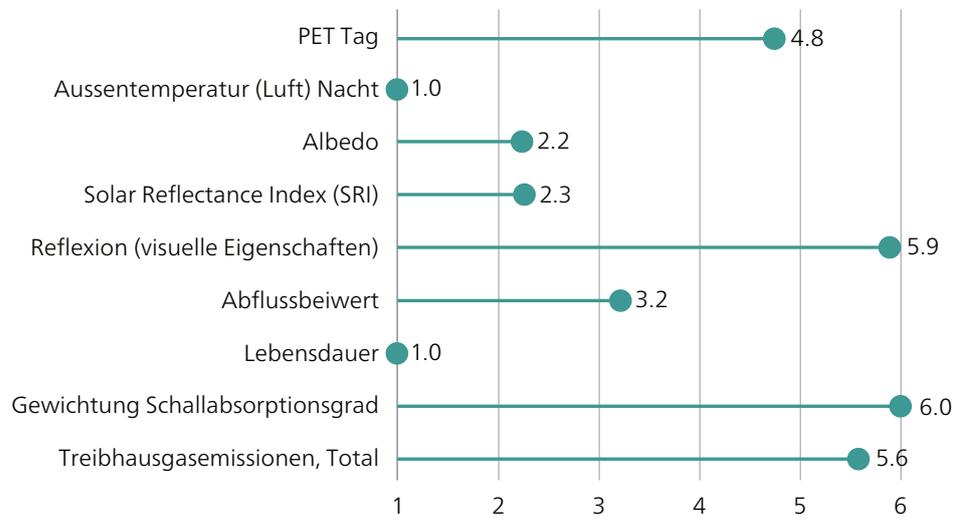
### Aufbau



Materialdaten		Kies
PET Tag	°C	33.6
Ausstemperatur (Luft) Nacht	°C	21.7
Albedo	–	0.29
Solar Reflectance Index (SRI)	–	28
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.13
Abflussbeiwert	–	0.60
Lebensdauer	a	15
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	0.84
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	4.3

## Bewertung

Kies



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien					
			Kies			Erde		
			Kennwert	(m)	spez. KW	Kennwert	(m)	
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	1'800	0.2	360.00	1'700	0.5	
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	c	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	0.71					
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	710.00			1'420		
Heat capacity (Wärmekapazität)	C	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	1.28					
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	k (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$						
		$\lambda$ (D)	0.70			0.70		
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$						
		a (D)	5.5E-07					
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	946					
Wärmeindringzahl	b	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.95					
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.06					
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	0.123					
Albedo	$\alpha$	–	0.29					
Emissivität	$\epsilon$	–	0.90					
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	28.0					
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.13					
Wasseraufnahmekoeffizient	w	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	n. a					
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	n. a					
Abflussbeiwert	$\Psi$	–	0.60					
Lebensdauer	a	–	15					
Unterhalt			ja					
Nachrüstbarkeit			ja					
Stromproduktion			nein					
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–						
$f_m$ 125		–	0.24					
$f_m$ 250		–	0.60					
$f_m$ 500		–	0.65					
$f_m$ 1000		–	0.70					
$f_m$ 2000		–	0.75					
$f_m$ 4000		–	0.80					
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	61.00					
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	21'960					
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	0.012					
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	4					
Aussentemperatur (Luft) Nacht	T <sub>a</sub>	°C	21.7					
PET Tag	PET	°C	33.6					

		Literatur	
	Gesamt	Kies	Erde
spez. KW	spez. KW		
850.00		Schild	Zürcher
		Lassacher	
		Lassacher	Zürcher
		Schild	Zürcher
		Pisello	
		Pisello	
		Pisello	
		Dorno	
		SN 592000:2012	
		Agethen	
		PTB	
		KBOB	
	21'960		
		KBOB	
	4.3		

Literatur:

U. Agethen, K.-J. Frahm, K. Renz, and E. P. Thees, *Arbeitsblatt der BTE Arbeitsgruppe: Lebensdauer von Bauteilen, Zeitwerte*, Essen, 2008.

C. Dorno, *Allgemeine aus Meteorologie und Klimatologie, Strahlung, Spezifisch-medizinische Klimatologie und Höhenklima*, 1st ed. Paderborn: Salzwater Verlag GmbH, 1924.

KBOB / eco-bau / IPB, *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2016*, Schweiz, 2016.

S. Lassacher, S. Puschnigg, and J. Lindorfer, *Technische Aspekte der Forcierung von Primärenergieeffizienz von oberösterreichischen Produktionsstandorten durch Nutzung von Wärmespeichern*, Linz, 2018.

A. L. Pisello, V. L. Castaldo, G. Pignatta, and F. Cotana, *Experimental analysis of natural gravel covering as cool roof and cool pavement*, in 14th CIRIAF National Congress – Energy, Environment and Sustainable Development, 2014, pp. 1–17.

PTB, *Absorptionstabelle abstab\_wf.xls*, 2020 [Online]. Available: [www.ptb.de](http://www.ptb.de) [Accessed: 08-Sep-2020].

K. Schild and W. M. Willems, *Wärmeschutz*, Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2011.

SN 592000:2012, *Anlagen für die Liegenschaftsentwässerung – Planung und Ausführung*, 2012, pp. 1–204.

C. Zürcher and T. Frank, *Bauphysik – Bau und Energie*, 4th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2014.

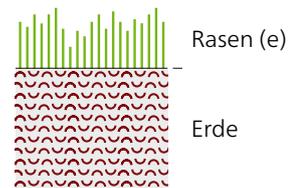
## 4.6.8 Grünfläche (Rasen) (B\_Rasen)

### Ansicht



Quelle: Bradley Brister auf Unsplash

### Aufbau



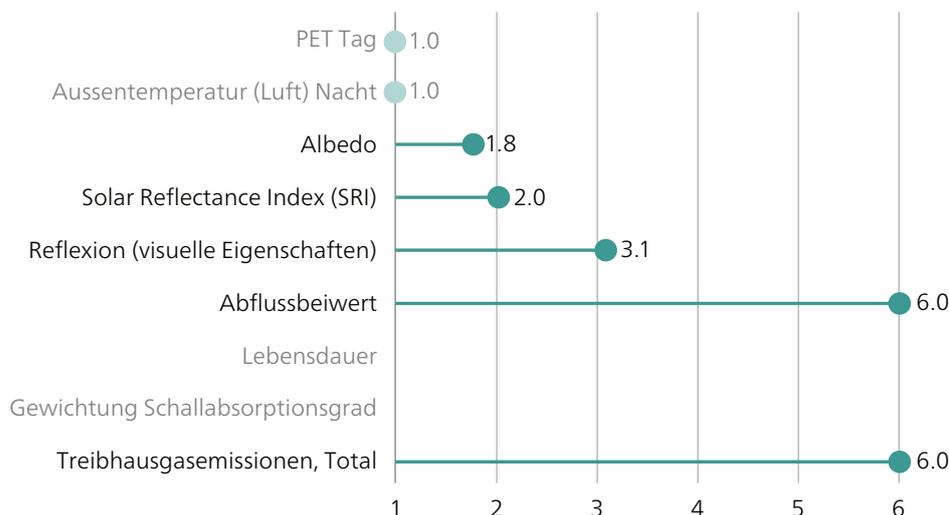
### Materialdaten

		Rasen
PET Tag	°C	33.9
Ausstemperatur (Luft) Nacht	°C	21.7
Albedo	–	0.25
Solar Reflectance Index (SRI)	–	25
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.25
Abflussbeiwert	–	0.10
Lebensdauer	a	n.a.
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	n. a
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	0.8

Kommentare: Für Erde sind keine Daten zum Umweltbelastungspunkten und Treibhausgasemissionen vorhanden. Stattdessen werden die Werte für Split eingesetzt. Die Ergebnisse für die PET und die Ausstemperatur Nacht sind eventuell nicht auf andere räumliche Situationen übertragbar. Die Bewertung könnte damit schlechter ausfallen.

### Bewertung

Rasen



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien			Literatur	
			Rasen	Gesamt	Rasen		
			Kennwert	(m)	spez. KW	spez. KW	
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	1'700	0	255.00		Zürcher
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	c	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1.30				
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1'300.00				Zürcher
Heat capacity (Wärmekapazität)	C	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	2.21				
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	k (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$					
		$\lambda$ (D)	2.40				Zürcher
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$					
		a (D)	1.1E-06				
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	2'303				
Wärmeindringzahl	b	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	2.30				
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.14				
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	0.173				
Albedo	$\alpha$	–	0.25				Oke
Emissivität	$\epsilon$	–	0.90				Oke
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	25.0				Levinson
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.25				Witting
Wasseraufnahmekoeffizient	w	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	n.a.				
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	n.a.				
Abflussbeiwert	$\Psi$	–	0.10				SN 592000:2012
Lebensdauer	a	–	n.a.				
Unterhalt			ja				
Nachrüstbarkeit			nein				
Stromproduktion			nein				
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–					
$f_m$ 125		–	n.a.				
$f_m$ 250		–	n.a.				
$f_m$ 500		–	n.a.				
$f_m$ 1000		–	n.a.				
$f_m$ 2000		–	n.a.				
$f_m$ 4000		–	n.a.				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	35.90				KBOB
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	9'155			9'155	
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	0.003				KBOB
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	1			0.8	
Aussentemperatur (Luft) Nacht	T <sub>a</sub>	°C	21.7				
PET Tag	PET	°C	33.9				

Anmerkungen: Für Erde sind keine Daten zum Umweltbelastungspunkten und Treibhausgasemissionen vorhanden. Statt dessen wurden die Werte für Split eingesetzt.

#### Literatur:

- KBOB / eco-bau / IPB, *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2016*, Schweiz, 2016.  
R. Levinson, *SRI-calc 10*, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley.  
T. R. Oke, M. Gerald, A. Christen, and J. A. Voogt, *Urban Climates*, 1st ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.  
SN 592000:2012, *Anlagen für die Liegenschaftsentwässerung – Planung und Ausführung*, 2012, pp. 1–204.  
W. Witting, *Licht. Sehen. Gestalten*. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Verlag, 2014.  
C. Zürcher and T. Frank, *Bauphysik – Bau und Energie*, 4th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2014.

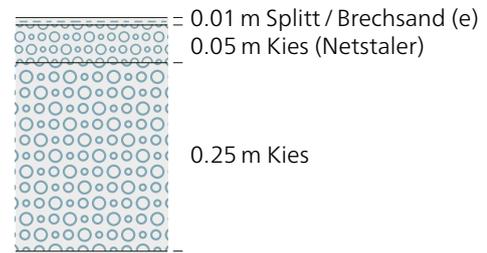
#### 4.6.9 Chaussierung (Wassergebundene Deckschicht) (B\_Chaussierung)

##### Ansicht



Quelle: <https://georgmuellerag.ch>

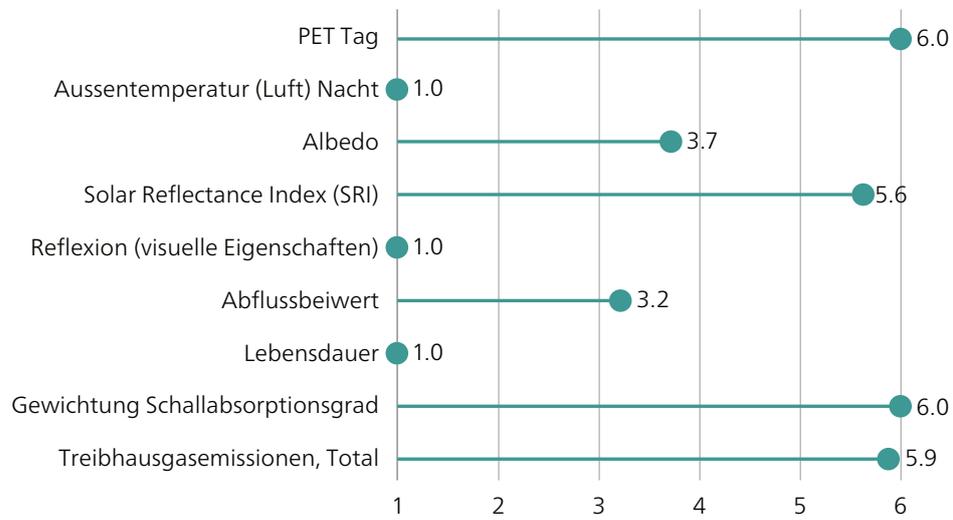
##### Aufbau



Materialdaten		Splitt/Brechsand
PET Tag	°C	33.5
Ausstemperatur (Luft) Nacht	°C	21.7
Albedo	–	0.42
Solar Reflectance Index (SRI)	–	71
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	–	0.34
Abflussbeiwert	–	0.60
Lebensdauer	a	15
Gewichtung Schallabsorptionsgrad	–	0.84
Treibhausgasemissionen, Total	kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	1.8

## Bewertung

Splitt/Brechsand



Grösse	Symbol	Einheit	Materialien				
			Splitt/Brechsand			Kies (Netstaler)	
			Kennwert	(m)	spez. KW	Kennwert	(m)
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	1'700	0.01	17.00	1'700	0.05
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	c	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	0.71				
		$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1'420			1'420	
Heat capacity (Wärmekapazität)	C	$\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$	2.41				
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	k (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$					
		$\lambda$ (D)	0.70			0.70	
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB)	$\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^{-6}$					
		a (D)	2.9E-07				
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1'300				
Wärmeindringzahl	b	$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	1.30				
		$\text{kJ m}^{-2} \text{h}^{-1/2} \text{K}^{-1}$	0.08				
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	0.089				
Albedo	$\alpha$	–	0.42				
Emissivität	$\epsilon$	–	0.94				
Solar reflectance index (SRI)	SRI	–	70.6				
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	–	0.34				
Wasseraufnahmekoeffizient	w	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-0.5}$	n.a.				
		$\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-0.5}$	n.a.				
Abflussbeiwert	$\Psi$	–	0.60				
Lebensdauer	a	–	15				
Unterhalt			ja				
Nachrüstbarkeit			ja				
Stromproduktion			nein				
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	–					
$f_m$ 125		–	0.24				
$f_m$ 250		–	0.60				
$f_m$ 500		–	0.65				
$f_m$ 1000		–	0.70				
$f_m$ 2000		–	0.75				
$f_m$ 4000		–	0.80				
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/kg	35.90			39.80	
Umweltbelastungspunkte, Total	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	610			3'383	
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro kg Erzeugnis	0.003			0.005	
Treibhausgasemissionen, Total		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	0.05			0.43	
Aussentemperatur (Luft) Nacht	T <sub>a</sub>	°C	21.7				
PET Tag	PET	°C	33.5				

spez. KW	Kies		spez. KW	Gesamt spez. KW	Literatur	
	Kennwert	(m)			Splitt/Brechsand	Kies (Netstaler)
85.00	1'700	0.25	425.00		Zürcher	Zürcher
	1'420				Zürcher	Zürcher
	0.70				Zürcher	Zürcher
					Wilson	
					Wilson	
					Wilson	
					Witting	
					SN 592000:2012	
					Agethen	
					PTB	
					PTB	
					PTB	
					PTB	
					PTB	
	35.90				KBOB	KBOB
	15'258			19'251		
	0.003				KBOB	KBOB
	1.28			1.8		

Literatur:

- U. Agethen, K.-J. Frahm, K. Renz, and E. P. Thees, *Arbeitsblatt der BTE Arbeitsgruppe: Lebensdauer von Bauteilen, Zeitwerte*, Essen, 2008.
- KBOB / eco-bau / IPB, *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2016*, Schweiz, 2016.
- PTB, *Absorptionstabelle abstab\_wf.xls*, 2020 [Online]. Available: [www.ptb.de](http://www.ptb.de) [Accessed: 08-Sep-2020].
- SN 592000:2012, *Anlagen für die Liegenschaftsentwässerung – Planung und Ausführung*, 2012, pp. 1–204.
- H. R. Wilson, J. Hanek, and T. Kuhn, *Solar Reflectance Index (SRI) of Concrete*, CPI, vol. 05, pp. 104–109, 2015.
- C. Zürcher and T. Frank, *Bauphysik – Bau und Energie*, 4th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2014.

## 5 Anhang 1: Methodik Materialkatalog

### 5.1 Auswahl Materialien

Der Materialkatalog fokussiert auf Wand- und gebäudenahe Bodenmaterialien. Es werden Materialien der folgenden Gruppen untersucht:

- Zweischalige Wandkonstruktionen (Abkürzung ZW\_)
- Verputzte Aussendämmung (Abkürzung VA\_)
- Glasfassade / Leichtbau (Abkürzung LB\_)
- Hinterlüftete Fassade (Abkürzung HF\_)
- Reflektierende Anstriche Wand (Abkürzung Reflektierender\_Anstrich\_)
- Umgebung Boden (B\_)

Die Auswahl der Materialien orientiert sich in Absprache mit den Projektpartnern an der modernen, städtischen Schweizer Baulandschaft. Angaben, auf welchem Niveau die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) festgelegt sind und Angaben zu den U-Werten der einzelnen Konstruktionen finden sich in Kapitel 5.1.2. und 5.1.4.

#### 5.1.1 Benennung Materialien

Bei der Benennung der Materialien und Konstruktionen kommt die Systematik gemäss Abb. 1 im Abkürzungsverzeichnis zum Einsatz.

#### 5.1.2 Berücksichtigung von mehrschichtigen Konstruktionen

Für Materialangaben werden Kennwerte jeweils für die Materialisierung der äussersten Schicht angegeben. Speziell beim Farbanstrich beziehen sich die Werte (z. B. Speicherfähigkeit) damit auf eine sehr dünne Schicht. Aus diesem Grund werden die Materialien für einige Parameter (siehe Tabelle 8) in einer Kombination betrachtet (z. B. Farbanstrich auf Putz). Dabei sollen immer die Schichten, welche nach aussen thermisch wirksam sind, berücksichtigt werden.

Im Detail werden damit folgende Festlegungen getroffen:

- Wandaufbauten mit Wärmedämmung: Wandaufbau von aussen nach innen bis und mit Wärmedämmung. Bei einer Kompaktfassade (Putz und Dämmung auf tragender Wand) werden Putz und Wärmedämmung berücksichtigt. Die raumseitige Schicht (hier die tragende Wand) ist durch die Dämmschicht vom Aussenklima abgekoppelt und beeinflusst das Mikroklima aussen nicht. Daher wird sie nicht berücksichtigt. Angaben zur Simulation siehe Kapitel 6.2.1
- Wandaufbauten ohne Wärmedämmung: Bei diesen Bauteilen (z. B. Farbanstrich auf Putz) wird die tragende Wand berücksichtigt, da es keine entkoppelnde Dämmschicht gibt.
- Wandaufbauten mit belüfteten Luftschichten: nur die aussenseitig der Luftschicht befindliche Konstruktion wird berücksichtigt. Die zirkulierende Luft entkoppelt die aussenseitige Wandverkleidung (z. B. Holzschalung) von der übrigen Wandkonstruktion. Angaben zur Simulation siehe Kapitel 6.2.1
- Boden: nur Belag  
Angaben zur Simulation siehe Kapitel 6.2.1
- Sonderfall Rasengittersteine: Hier wird bei allen Parametern nur das Material berücksichtigt: Ausnahme: Simulation (siehe Kapitel 6.2.1) und Treibhausgasemissionen (Berücksichtigung Füllung der Löcher mit Split (da keine Angaben für Erde verfügbar sind)).

Die Fassadenbauteile erfüllen dabei die U-Werte gemäss Tabelle 5. Bei der Berechnung der U-Werte wird das gesamte Bauteil berücksichtigt.

Tabelle 5: U-Werte der Fassadenbauteile.

Konstruktionstyp (-)	Beispielmaterial (-)	U-Wert W/(m <sup>2</sup> K)	Kommentar (-)
Neubau: diverse Materialien	VA_Kompaktfassade_EPS, ZW_Zweischalenmauerwerk_Kern- dämmung	0.17	Einzelanforderung an den winterlichen Wärmeschutz Energieverordnung Basel- Stadt, Anhang 1, 772.110, Stand 01.10.2020
Sanierung: Einschalenbacksteinmauerwerk mit Dämmputz / Aerogel	VA_Einschalenbacksteinmauer- werk_Dämmputz, VA_Einschalenbacksteinmauer- werk_Aerogeldämmputz	0.40	Maximal zulässiger Wärmedurchgangskoeffizient zur Oberflächenkondensatfreiheit gemäss SIA 180:2014 [12]
Sanierung: Einschalenbacksteinmauerwerk mit reflektierendem Anstrich	Reflektierender_Anstrich	0.79	Annahme: unsaniertes Bestandsmauerwerk

### 5.1.3 Farbgebung der Materialien

#### Materialien mit farbneutraler Oberflächenbehandlung

Für Baustoffe wie Sichtbeton, Naturholz, oder Stein wird die natureigene Materialfarbe berücksichtigt.

#### Farbwahl verputzte und/oder gestrichene Bauteile

Für Bauteile, die eine unterschiedliche Farbgebung der Oberfläche haben können, werden drei Werte angegeben. Zur Orientierung für den Leser können bestimmten Albedowerten gemäss [13] Begrifflichkeiten und Farben zugeordnet werden:

- Sehr hell (im Weiteren „hell“): Albedo 0.75, Beispielfarbe: helles weiss
- Mittelhell (im Weiteren „mittel“): Albedo 0.45, Beispielfarbe: grün
- Dunkel: Albedo: 0.26, Beispielfarbe: braun, dunkelgrau

Die Strahlungsdaten werden aus [14] für einen Putz mit mittlerer Körnung (medium granitex) entnommen.

### 5.1.4 Aufbau der Materialien

In Tabelle 6 sind die untersuchten Materialien mit ihren für das Mikroklima wirksamen Schichten, ihrer Farbe und dem resultierenden U-Wert dargestellt. Tabelle 7 zeigt den Konstruktionsaufbau. Mit schwarzer Schrift sind hier die für das Mikroklima aussen wirksamen Schichten eingetragen, die graue Schrift zeigt nicht wirksamen Schichten.

Tabelle 6: Materialien und Angabe der für das Mikroklima wirksamen Schicht(en). „Baulter“ bezeichnet den Gebäudezustand, bei dem der Konstruktionstyp am häufigsten anzutreffen ist. Bei der Berechnung der U-Werte wird das gesamte Bauteil berücksichtigt.

Typ Konstruktion	Bezeichnung	Konstruktion	Für das Mikroklima nach aussen "wirksame" Schicht	Farbe	Baulter	U-Wert
					(-)	
Zweischalige Wandkonstruktionen	ZW_Sichtbetonwand_Kerndämmung	Sichtbetonwand mit Kerndämmung, Betonfertigteil aussen ca. 8 cm dick	Beton, 8 cm, Kerndämmung	grau	Neubau	0.17
	ZW_Zweischalenmauerwerk_Kerndämmung	Zweischalenmauerwerk mit Kerndämmung, Sichtbackstein aussen ca. 11.5 cm dick	Backstein aussen 11.5 cm, Kerndämmung	dunkelbraun	Neubau	0.17
	ZW_Zweischalenmauerwerk_Luftschicht	Zweischalenmauerwerk verputzt, Backstein aussen 12 cm, innen 15 cm, dazwischen Luftschicht	Backstein aussen 12 cm	hell/mittel/dunkel	Neubau	0.17
Verputzte Aussendämmung	VA_Einschalenbacksteinmauerwerk_Dämmputz	Einschalenbacksteinmauerwerk mit 7 cm Hagatherm Dämmputz	gesamte Konstruktion	hell/mittel/dunkel	Sanierung	0.39
	VA_Einschalenbacksteinmauerwerk_Aerogeldämmputz	Einschalenbacksteinmauerwerk mit 4 cm Aerogeldämmputz	gesamte Konstruktion	hell/mittel/dunkel	Sanierung	0.37
	VA_Kompaktfassade_EPS	Kompaktfassade (EPS) mit 8 mm Putz	EPS und Putz, 8 mm	hell/mittel/dunkel	Neubau	0.17
	VA_Kompaktfassade_Steinwolle	Kompaktfassade (Steinwolle) mit 8 mm Putz	Steinwolle und Putz, 8 mm	hell/mittel/dunkel	Neubau	0.16
Glasfassade / Leichtbau	LB_Glasfassade	Glasfassade (g-Wert 0.3)	Glas, äussere Schicht		Neubau	0.70
	LB_Glasfassade_Sonnenschutz	Glasfassade mit Sonnenschutz	Sonnenschutz (Lamellen)	hell/dunkel	Neubau / Sanierung	
	LB_Sandwichpaneel	Sandwichpaneel (Leichtbaufassade Gewerbe-, Industriebau)	Stahlblech und Dämmung	blech/hell/dunkel	Neubau	0.16
Hinterlüftete Fassade	HF_Holzverkleidung	Holzverkleidung vor Holzständerwand mit Aussenwärmedämmung und Lattenrost	Holzverkleidung	hellbraun	Neubau	0.17
	HF_Photovoltaik	PV (hinterlüftet, Dämmung Steinwolle)	PV	dunkelblau	Neubau	0.17
	HF_Metallblechverkleidung	Metallblechverkleidung (hinterlüftet)	Metallblech	blech/hell/dunkel	Neubau	0.17
	HF_Faserzementverkleidung	Faserzementverkleidung (Eternit)	Faserzement (Eternit)	natur/hell/mittel/dunkel	Neubau	0.17
	HF_Steinverkleidung	Kunststein / Natursteinverkleidung (hinterlüftet)	Kunststein	mittelgrau	Neubau	0.17
	HF_Begrünungselement	Vorgehängtes Begrünungselement	Bepflanztes Keramikelement mit Substrat auf Beton	grün	Neubau	0.17
Anstriche Wand	Reflektierender_Anstrich	Reflektierender Anstrich auf Putz und Einschalenmauerwerk (innovativer Anstrich, "cool colour")	Anstrich, Putz und Untergrund	hell/mittel/dunkel	Sanierung	0.79
Umgebung (Boden)	B_Rasengittersteinpflasterung	Rasengittersteinpflasterung für Wege/befahrbare Flächen	Rasen und Rasengitterstein	mittelgrau/grün		
	B_Betonbelag	Betonbelag	Betonbelag und 50 cm Erde	hellgrau		
	B_Betonsteinpflasterung	Betonsteinpflasterung für Wege, befahrbar	Betonplatten, Kiesbett und Erde (Kies und Erde zusammen 50 cm)	grau		
	B_Steinplattenpflasterung	Steinplattenpflasterung für Wege	Steinplatten, Kiesbett und Erde (Kies und Erde zusammen 50 cm)	mittelgrau		
	B_Aspphalt	Schwarzbelag (Asphalt)	Asphalt, Bindeschicht und Tragschicht (zusammen 50 cm)	dunkel/hell reflektierend		
	B_Whitotopping_auf_Aspphalt	Betonbelag auf Asphalt	Betonschicht, Asphalt, Bindeschicht und Tragschicht (zusammen 50 cm)	hellgrau		
	B_Kiesbelag	Kiesbelag	Kies und 50 cm Erde	mittelgrau		
	B_Rasen	Grünfläche (Rasen)	Rasen auf Erde, 50 cm	grün		
	B_Chaussierung	Chaussierung (Wassergebunden Deckschicht)	Splitt, bindiger Kies und Kies	hellgrau		

Tabelle 7: Materialien und Konstruktionsaufbauten. Farbcode: die Schichten, welche nach aussen nicht thermisch wirksam sind, haben die Schriftfarbe grau.

Typ Konstruktion	Bezeichnung	Aufbau: Schichten von aussen nach innen (schwarz: wirksame Schichten)											
		Schicht 1			Schicht 2			Schicht 3			Schicht 4		
		Material	$\rho$ (m)	$\lambda$ (kg/m <sup>3</sup> )(W/mK)	Material	$\rho$ (m)	$\lambda$ (kg/m <sup>3</sup> )(W/mK)	Material	$\rho$ (m)	$\lambda$ (kg/m <sup>3</sup> )(W/mK)	Material	$\rho$ (m)	$\lambda$ (kg/m <sup>3</sup> )(W/mK)
Zweischalige Wandkonstruktionen	ZW_Sichtbetonwand_Kerndämmung	Beton	0.08	2400	2.0	EPS	0.20	15	0.035	Beton	0.18	2400	2.5
	ZW_Zweischalenmauerwerk_Kerndämmung	Sichtbackstein	0.115	1800	1.8	Steinwolle	0.18	38	0.035	Backstein	0.15	1000	0.3
	ZW_Zweischalenmauerwerk_Luftschicht	Putz	0.008	1800	0.87	Backstein	0.12	1000	0.3	Luft	0.04		
Verputzte Aussendämmung	VA_Einschalenbacksteinmauerwerk_Dämmputz	Putz	0.006	1500	0.5	Putz (Hagatherm)	0.07	220	0.054	Hochlochziegel	0.36	750	0.33
	VA_Einschalenbacksteinmauerwerk_Aerogeldämmputz	Putz	0.006	1500	0.5	Putz (Aerogel)	0.04	220	0.028	Hochlochziegel	0.36	750	0.33
	VA_Kompaktfassade_EPS	Putz	0.008	1800	0.87	EPS	0.22	15	0.038	Beton	0.18	2400	2.5
	VA_Kompaktfassade_Steinwolle	Putz	0.008	1800	0.87	Mineralfaser	0.20	105	0.034	Beton	0.18	2400	2.5
Glasfassade / Leichtbau	LB_Glasfassade	Glas	0.006	2500	1.00	Argon	0.012	1.7	0.017	Glas	0.006	2500	1
	LB_Glasfassade_Sonnenschutz	Aluminium	4E-04	2700	160	Luft	0.1			Glas	0.006	2500	1
	LB_Sandwichpaneel	Stahlblech	6E-04	7800	50	PIR	0.14	30	0.022	Stahlblech	5E-04	7800	50
Hinterlüftete Fassade	HF_Holzverkleidung	Eiche	0.016	737	0.17	Luft	0.04			DWD-Platte	0.016	800	0.1
	HF_Photovoltaik	PV	0.007	2500	1.00	Blähglas	0.02	500	0.09	Luft	0.04		
	HF_Metalblechverkleidung	Aluminium / Blech	0.002	2700	160	Luft	0.03			Steinwolle	0.28	70	0.034
	HF_Fasermzementverkleidung	Fasermzement	0.008	2000	0.48	Luft	0.03			Steinwolle	0.28	70	0.034
	HF_Steinverkleidung	Granit	0.03	2750	2.8	Luft	0.03			Steinwolle	0.28	70	0.034
	HF_Begrünungselement	Gesamtes Element	0.025	1481	0.5	Substrat (Blähton)	0.08	1481	0.5	Beton	0.03	1481	0.5
Anstriche Wand	Reflektierender_Anstrich	Ref. Anstrich	0.001			Putz	0.008	1500	0.87	Hochlochziegel	0.36	750	0.33
Umgebung (Boden)	B_Rasengittersteinpflasterung	Beton/Gras	0.08	1450	2	Sand	0.05	1700	1.6	Kies	0.1	1800	0.7
	B_Betonbelag	Beton	0.18	2200	1.6	Kies	0.15	1800	0.7	Erde	0.5	1700	0.7
	B_Betonsteinpflasterung	Beton	0.08			feiner Splitt	0.03			Kies (Trageschicht)	0.2		
	B_Steinplattenpflasterung	Sandstein	0.03			feiner Splitt	0.03			Kies (Trageschicht)	0.2		
	B_Aspphalt	Asphalt	0.04			Beton	0.08			Erde/Kies	0.5		
	B_Whitertopping_auf_Aspphalt	Beton	0.075			Asphalt	0.075			Beton	0.08		
	B_Kiesbelag	Kies	0.2	1800	0.7	Erde	0.5	1700	0.7				
	B_Rasen	Rasen/Erde											
B_Chaussierung	Splitt /Brechsand	0.01	1700	0.7	Kies (Netztaler)	0.05	1700	0.7	Kiesgemisch	0.25	1700	0.7	

### 5.1.5 Bewertung der Materialien

Um eine Übersicht über zentrale Eigenschaften eines Materials zu erhalten, werden für die Böden neun und für die Wände acht Parameter herausgegriffen und bewertet. Die Bewertung jedes Parameters erfolgt mit einer Skala (6 = sehr gut, 1 = ungenügend). Für jeden Parameter werden die Materialien jeweils innerhalb der Gruppe Fassadenmaterial oder Boden verglichen. Das innerhalb der Gruppe beste Material (z. B. mit der tiefsten PET 30.1 °C) wird mit 6 Punkten bewertet, das innerhalb der Gruppe schlechteste Material (z. B. mit der höchsten PET 36.4 °C) wird mit einem Punkt bewertet. Zwischenwerte werden linear interpoliert. Aus den Bewertungen für jeden der neun (Böden), bzw. acht (Fassaden) Parameter gemäss Tabelle 2 kann für jedes Material eine Gesamtbewertung erfolgen. Bei der Gesamtbewertung werden die Punkte aus jedem bewerteten Bereich addiert. Es erfolgt keine Gewichtung der einzelnen Parameter. Materialien mit einer insgesamt hohen Punktzahl haben in mehreren Bereichen eine gute Bewertung erhalten, verfügen also über vorteilhafte Eigenschaften. Die Gesamtbewertung ist damit bewusst einfach gehalten. Sie soll lediglich einen ersten Anhaltspunkt für die Einschätzung des Materials geben. –

#### Umgang mit fehlenden Parametern (Potentialabschätzung)

Da bei einigen Materialien nicht für alle Parameter Angaben existieren, sind die Gesamtbewertungen mit einer Potentialabschätzung versehen. Sie zeigt an, wie hoch die Bewertung wäre, wenn in den fehlenden Bereichen jeweils die maximale Bewertung „6“ erreicht

würde. Wäre für die fehlenden Bereiche nur die minimale Bewertung von „1“ gegeben, so wäre die Endbewertung pro fehlenden Parameter um einen Punkt höher als das aktuelle Ergebnis. Zum Gesamtergebnis wird also jeder fehlende Parameter mit einem Punkt hinzuaddiert (da dies die Bewertung des Materials im schlechtesten Fall ist). Beispiel: für ein Fassadenmaterial fehlen zwei Parameter. Die Gesamtbewertung beträgt 23.5 (ohne die fehlenden Parameter beträgt sie 21.5).

Anmerkung: Sollte zukünftig ein fehlender Wert für einen Parameter ergänzt werden können, so ist es möglich, dass sich die gesamte Bewertung für den Parameter verschiebt. Dies ist dann der Fall, wenn der ergänzte Wert den bisher höchsten Wert überschreitet, oder den bisher tiefsten Wert unterschreitet. Begründung: die höchste (6) und tiefste (1) Bewertung beziehen sich auf das schlechteste und das beste Ergebnis für den Parameter innerhalb einer Gruppe (z. B. Böden). Als Beispiel seien Werte zwischen 50 und 100 angenommen. Liegt nun der ergänzte Wert bei 30, so verschiebt sich die Bewertung entsprechend.

## 5.2 Berücksichtigte Grössen des Materialkatalogs

### 5.2.1 Übersicht

Eine Übersicht zu den berücksichtigten Grössen im Materialkatalog zeigt Tabelle 8.

Tabelle 8: Übersicht über die Grössen für den Materialkatalog.

Grösse	Symbol	Einheit	Formel	Berücksichtigte Schicht	Literatur
Density (Rohdichte)	$\rho$	kg m <sup>-3</sup>		aussenseitige Schicht	
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	$c$	J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>		aussenseitige Schicht	
Heat capacity (Wärmekapazität)	$C$	MJ m <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>	$C = \rho c$	aussenseitige Schicht	Oke, 2017 [5]
Thermal conductivity (GB) Wärmeleitfähigkeit (D)	$k$ $\lambda$	W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>		aussenseitige Schicht	Oke, 2017 [5] Zürcher
Thermal diffusivity (GB) (Temperaturleitfähigkeit) (D)	$\kappa$ $a$	m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s	$a = \lambda \frac{\lambda}{\rho c}$	aussenseitige Schicht	
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	J m <sup>-2</sup> s <sup>-1/2</sup> K <sup>-1</sup>	$\mu = k C^{-1/2}$	aussenseitige Schicht	[15], [16]
Wärmeindringzahl	$b$	kJ m <sup>-2</sup> s <sup>-1/2</sup>	$b = \sqrt{\lambda \rho c}$	aussenseitige Schicht	
Eindringtiefe	$\delta$	m	$\delta = \sqrt{\frac{\lambda T}{\rho c \pi}}$	aussenseitige Schicht	
Albedo	$\alpha$	-		aussenseitige Schicht	
Emissivität	$\varepsilon$	-		aussenseitige Schicht	[5]

Grösse	Symbol	Einheit	Formel	Berücksichtigte Schicht	Literatur
Solar Reflectance Index (SRI)	SRI	-	$SRI = \frac{T_b - T_s}{T_b - T_w}$ <i>T<sub>b</sub> = black pattern temp., K</i> <i>T<sub>w</sub> = white pattern temp., K</i> <i>T<sub>s</sub> = steady-state surface temp., K</i>	aussenseitige Schicht	[14]
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	ρ	-	-	aussenseitige Schicht	
Wasseraufnahmekoeffizient (auch als A-Wert oder A <sub>w</sub> -Wert bekannt)	w	kg m <sup>-2</sup> h <sup>-0.5</sup>	$w = \frac{W}{\sqrt{t}}$ <i>W = Wasseraufnahme je Flächeneinheit, kg/m<sup>2</sup></i> <i>t = Zeit, h</i>	aussenseitige Schicht	
Abflussbeiwert	ψ	-	$\psi = \frac{A_o}{N}$ <i>A<sub>o</sub> = Teil des Niederschlagsereignisses, der abfliesst</i> <i>N = Gesamtniederschlag</i>	aussenseitige Schicht	
Lebensdauer		a		Konstruktion	
Unterhalt				Konstruktion	
Nachrüstbarkeit				aussenseitige Schicht	
Stromproduktion				aussenseitige Schicht	
Schallabsorptionsgrad bei best. Terz, bzw. Oktavbandmittelfrequenz	α	-		Konstruktion	
Umweltbelastungspunkte, Herstellung und Entsorgung	UBP 2013	UBP/Mengeinheit		Konstruktion	
Treibhausgasemissionen, Herstellung und Entsorgung		kg CO <sub>2</sub> Äquiv. Pro m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> Erzeugnis		Konstruktion	
Aussentemperatur (θ <sub>a</sub> ) (Luft) Nacht	T <sub>a</sub>	°C		Konstruktion	
PET Tag	PET	°C		Konstruktion	

## 5.2.2 Erläuterungen zu einigen Grössen

### Spektrale Strahlung

In der Klimatologie werden die folgenden Definitionen verwendet [5]:

- Langwellige Strahlung (in der Erdatmosphäre): Bandbreite Wellenlängen 3-100 µm. Wird auch als Infrarotstrahlung bezeichnet.
- Kurzwellige Strahlung (abgegeben von der Sonne): im Bereich von 0.15 bis 3 (oder 4) µm. Auch als Solarstrahlung bezeichnet.
- Sichtbares Licht: 380 – 780 nm (0.38 – 0.78 µm)

## Albedo

Mass für das Rückstrahlvermögen (Reflexionsstrahlung) von nicht selber leuchtenden, diffus reflektierenden (nicht spiegelnden) Oberflächen. Entspricht dem Verhältnis von rückgestrahlter zu einfallender Strahlung (Albedo 0.90 = 90 % Rückstrahlung). Messung mit Albedometer oder Zweifach-Pyranometer.

In der Klimatologie referenziert Albedo auf die kurzwellige (solare) Strahlung.

Albedo entspricht hier dem solaren Strahlungsreflexionsgrad (im Weiteren auch als solarer Reflexionsgrad bezeichnet).

## Solar Reflectance Index (SRI)

Der SRI wurde von der ASTM (American Society for Testing and Materials) für horizontale und geneigte opake Flächen entwickelt. Seine Berechnung und Messung wird in [17] festgelegt. Dieser Index ermöglicht es, die relative stationäre Temperatur einer Oberfläche in Bezug auf die Temperatur einer weissen und einer schwarzen Standardoberfläche unter standardisierten Umgebungsbedingungen zu bestimmen. Mit dem Index können die Effekte von solarer Reflexion und thermischer Emissivität kombiniert betrachtet werden. Je höher der SRI-Wert ist, desto höher ist im Allgemeinen die solare Strahlungsreflexion und desto geringer ist die solare Strahlungsabsorption. In anderen Worten: je höher der SRI-Wert ist, desto geringer ist der Aufheizeffekt infolge solarer Strahlung auf eine Oberfläche. Die Methode gilt für Oberflächen mit Emissionsgraden > 0.01 und Oberflächentemperaturen < 423 K (150 °C).

Die Standardbedingungen für die Berechnung des SRI-Wertes sind wie folgt definiert:

- Weisse Oberfläche: SRI = 100, solare Reflexion = 0.80, langwelliger Emissionsgrad: 0.90
- Schwarze Oberfläche: SRI = 0, solare Reflexion = 0.050, langwelliger Emissionsgrad: 0.90
- Lufttemperatur 310 K
- Himmelstemperatur 300 K
- Konvektiver Wärmeübergangskoeffizient in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit. Für mittlere Windgeschwindigkeit: 12 W/(m<sup>2</sup> K)
- Solare Einstrahlung (kurzwellig) 1000 W/m<sup>2</sup>

Mit diesen Parametern kann die stationäre Temperatur der Oberfläche entweder über eine Wärmebilanzgleichung iterativ gelöst werden. Alternativ kann die stationäre Temperatur ( $T_s$ ) der Oberfläche mit einem empirischen Ansatz ermittelt werden (Formel gemäss ASTM E1980-11, da Standard nicht frei verfügbar entnommen aus [14]):

$$T_s (K) = 309.07 + \frac{1066.07 \alpha - 31.98 \varepsilon}{6.78 \varepsilon + h_c} - \frac{890.94 \alpha^2 + 2153.8 \alpha \varepsilon}{6.78 \varepsilon + h_c} \quad (1)$$

Dabei sind:

$\alpha$  = solare Absorption = 1 – solare Reflexion

$\varepsilon$  = langwelliger Emissionsgrad

$h_c$  = konvektiver Wärmeübergangskoeffizient

Der SRI wird daraus wie folgt berechnet [14]:

$$SRI = 100 \frac{T_b - T_s}{T_b - T_w} \quad (-) \quad (2)$$

Dabei sind:

$T_b$  = Referenztemperatur (stationär) schwarze Oberfläche (solare Reflexion 0.05, langwelliger Emissionsgrad: 0.90), K

$T_w$  = Referenztemperatur (stationär) weisse Oberfläche (solare Reflexion 0.80, langwelliger Emissionsgrad: 0.90), K

Anmerkung zu Wänden: obwohl der SRI für horizontale Flächen gilt, trifft die Berechnungstheorie mit einer kleinen Einschränkung auch für Wände zu [18]. Die Einschränkung betrifft nach dem Verständnis der Berichtsvfasser die empirische Gleichung 1, da in dieser die langwellige Abstrahlung in den Halbraum enthalten ist und Wände nur in den Viertelraum abstrahlen. Die Angaben sind also als eine Näherung zu betrachten.

### Wasseraufnahmekoeffizient

Der Wasseraufnahmekoeffizient  $w$  (= Wassersaugfähigkeit) dient zur Beurteilung der Regenschutzwirkung einer Oberflächenschicht (z.B. Aussenputz, Beschichtung) und gibt an, wie viel Liter Wasser durch 1 m<sup>2</sup> Saugfläche hindurch in einer Stunde eingesaugt werden.

> 2.0 stark saugend, ≤ 2 Wasser hemmend, ≤ 0.5 Wasser abweisend, ≤ 0.001 wasserdicht

### Abflussbeiwert

Der Abflussbeiwert  $\Psi$  beschreibt den Teil eines Niederschlagsereignisses, der direkt zum Abfluss gelangt ( $A_o$ ) im Verhältnis zum Gesamtniederschlag ( $N$ ). Er lässt sich wie folgt

$$\Psi = A_o / N \quad (3)$$

berechnen und ist ohne Einheit.

Die in der SN 592000:2012 „Anlagen für die Liegenschaftsentwässerung – Planung und Ausführung“ [19] angegebenen Werte finden auch im Katalog Verwendung:

- Plätze und Wege mit Hartbelag:  $\Psi = 1.0$
- Plätze und Wege mit Kiesbelag:  $\Psi = 0.6$
- Plätze und Wege mit Ökosystem (Splittfugen):  $\Psi = 0.6$
- Plätze und Wege mit sicherfähigem Belag:  $\Psi = 0.6$
- Plätze und Wege mit Rasengittersteinen:  $\Psi = 0.2$
- Wiesen ohne / mit Vernässung und Verdichtung: 0.1 – 0.25 / 0.35 – 0.55

### Lebensdauer

Ergänzend zum Thema «Unterhalt» wird der Parameter «Lebensdauer» aufgenommen. Dieser Begriff im Sinne der Nutzungsdauer beschreibt «innerhalb des Prognoseszenarios die angenommene Zeitspanne, nach der ein heute eingebautes Bauteil vermutlich ausgetauscht werden wird» [20]. Die «technische Lebensdauer» ist die Zeitspanne zwischen Errichtung und Ausfall [21]. Angaben, die im Materialkatalog für die Lebensdauer verwendet werden, beziehen sich auf diese beiden Angaben. Der Grund ist, dass in der Literatur beide Begriffe zu finden sind und nicht klar gegeneinander abgegrenzt werden. Klar abgegrenzt ist die wirtschaftliche Nutzungsdauer, auf die sich der Bericht nicht bezieht. Sie bezeichnet den «Zeitraum, in dem es unter den gegebenen Bedingungen sinnvoll ist, das Bauteil zu nutzen» [21].

Bei den im Katalog betrachteten Materialien (Fassade und gebäudenaher Böden) wird davon ausgegangen, dass in der Regel eine lange Lebensdauer vorteilhaft ist, da ein Ersatz erst später notwendig wird.

## Unterhalt

Ursprünglich war die Berücksichtigung eines Parameters zur Abnutzung des Bodens geplant. Für den Abrieb Boden gibt es für Bodenplatten fünf Beanspruchungsgruppen. Allerdings würden alle Bodenmaterialien aussen in die Beanspruchungsgruppe fünf fallen.

Als Ersatz wird der Parameter «Unterhalt» (ja/nein) gewählt. Bei offenporigen Belägen wird so berücksichtigt, dass diese gereinigt werden müssen. Bei Anstrichen (z. B: cool coatings, reflektierende Anstriche) wird berücksichtigt, dass die Anstriche altern/verschmutzen und damit die Albedo reduziert wird.

## Schallabsorptionsgrad

Die akustische Bewertung der Konstruktion erfolgt anhand der Schallabsorptionsgrade  $\alpha$  der jeweiligen Konstruktion. Es werden, soweit vorhanden, die sechs Schallabsorptionsgrade der Oktavband-Mittelfrequenzen im Bereich von 125 Hz bis 4000 Hz angegeben.

## Treibhausgasemissionen und UBP

Angegeben wird der Wert für Herstellung und Entsorgung. Bezeichnet als „Total“. Die Nutzung ist damit nicht berücksichtigt. Da die Angaben zwischen den Ländern stark streuen und auch die Bilanzgrenzen nicht immer gleich definiert sind, wird, um die Vergleichbarkeit der Materialien untereinander zu gewährleisten, auf eine einzige Datenquelle aus der Schweiz zurückgegriffen [22]. Bei mehrschichtigen Konstruktionen werden hierbei die Schichten, welche nach aussen thermisch wirksam sind, berücksichtigt (siehe auch Kapitel 5.1.2).

## Auswirkung Material auf Mikroklima (Hitzestress)

Zur Quantifizierung des Hitzestresses, der auf Personen im Aussenraum einwirkt, sind tagsüber die PET (physiological equivalent temperature) und nachts die Aussentemperatur ( $\theta_a$ ) relevant. Da das Modell der PET auf dem PMV-Modell basiert, wird dieses in nachstehendem Exkurs erläutert.

### *Exkurs: „Predicted-Mean-Vote Model“ (PMV-Modell)*

Aus dem Gebäudebereich bzw. für Innenräume bekannt ist das von P. O. Fanger entwickelte „Predicted-Mean-Vote Model“ (PMV-Modell) [23]. Grundannahme ist dabei, dass das Wärmeempfinden des Menschen abhängig vom thermischen Gleichgewicht seines Körpers im Ganzen ist. Dieses Gleichgewicht wird von

- zwei körperlichen Parametern, (metabolischer Umsatz als Mass für die physische Aktivität und Wärmeschutzgrad der Bekleidung) und
- vier umgebungsklimatischen Parametern (Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchte)

beeinflusst. Die Wahrnehmung eines gegebenen Innenraumklimas ist stark vom subjektiven Empfinden abhängig. Der dadurch entstehenden Streuung wird durch breiter gefasste Komfortbereiche, dem PMV, Rechnung getragen, die mit einer Aussage über den Unzufriedenheitsgrad, dem «predicted percentage of dissatisfied» (PPD), verknüpft sind. Der PPD-Index ist ein dem PMV-Index zugeordneter Prozentsatz, der mit dem mittleren Prozentsatz einer grösseren Anzahl von Versuchspersonen innerhalb der statistischen Unsicherheit übereinstimmt [24]. Anhand von den sechs Einflussfaktoren kann über die Berechnung des PMV-Index das Wärmeempfinden des Körpers vorausgesagt werden. Der Index bestimmt den zu erwartenden Durchschnittswert für die Klimabeurteilung durch eine grosse Personengruppe anhand einer 7-stufigen Klimabeurteilungsskala, die von „heiss“ über „neutral“ (als angestrebte Grösse) bis „kalt“ reicht. Der PPD-Index prognostiziert den Anteil der Gruppe, der sich wahrscheinlich „zu warm“ oder „zu kalt“ fühlt, wobei stets von mindestens fünf Prozent Unzufriedenen ausgegangen wird ( $PPD \geq 5\%$ ). Ein Wert von  $PMV = 0 \pm 0.5$  bedeutet dabei thermische Behaglichkeit (Tabelle 9).

Diese Behaglichkeitsgleichung ist nur für stationäre Verhältnisse und Innenräume gültig. Für aussenklimatische Verhältnisse müssen vor allem die Strahlungsbedingungen im Freien berücksichtigt werden.

**PET – Physiologisch Äquivalente Temperatur (tagsüber)**

Dieses Modell geht auf das „Münchener Energiebilanz Modell für Individuen (MEMI)“ zurück [25]. Dieses erweitert das PMV – Modell beträchtlich. Es fliessen hier die Energiebilanzgleichung des Körpers, die Gleichung für den Wärmefluss vom Körperkern zur Hautoberfläche und die Gleichung für den Wärmefluss von der Haut durch die Kleidung zur Kleidungsoberfläche ein. Damit können die Hauttemperatur, die Kleidungstemperatur und die Körperkerntemperatur berechnet werden. Diese Grössen werden dafür benötigt, die Energiebilanzgleichung zu lösen.

**Vorgehen zur Berechnung der PET**

- Definition aller Energiegewinne und –verluste des menschlichen Körpers (Energiebilanzgleichung) im Aussenraum (Modell MEMI)
- Berechnung der Hauttemperatur und der Körperkerntemperatur, die den Energiegewinnen und –verlusten des Körpers im Aussenraum entsprechen (Modell MEMI)
- Auflösen des Gleichungssystems nach der Lufttemperatur (mit den folgenden Festlegungen: Luftgeschwindigkeit (v) = 0.1 m/s, Dampfdruck (VP) = 12 hPa (entspricht einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 % bei ca. 20 °C) und Strahlungstemperatur (T<sub>mrt</sub>) = Aussentemperatur (θ<sub>a</sub>). Damit wird sinnbildlich die Person in einen Innenraum ohne direkte Sonnenstrahlung versetzt und dort die Raumlufttemperatur bestimmt, die zu derselben Hauttemperatur und Körperkerntemperatur führt, welche die Bedingungen draussen hervorgerufen haben.
- Die resultierende Temperatur ist die gesuchte PET

Das Wärmeempfinden und die PET werden massgeblich von der Sonneneinstrahlung (kurzwelliger Strahlung) und dem Wind gesteuert. Eine Veränderung der Lufttemperatur wird dadurch teilweise kompensiert. Eine Bewertung der PET findet sich in Tabelle 9.

Tabelle 9: Klimabeurteilung mit dem PMV-Index und der PET (metabolische Rate 80 W und Wärmedurchgangswiderstand der Bekleidung 0.90 clo (leichter Anzug) [27].

Thermisches Empfinden	PMV	PET	
sehr heiss	> + 3.5	> 41 °C	Extreme Wärmebelastung
heiss	+ 2.5 – 3.5	35 - 41 °C	Starke Wärmebelastung
warm	+ 1.5 – 2.5	29 - 35°C	Mässige Wärmebelastung
Leicht warm	+ 0.5 – 1.5	23 - 29°C	Schwache Wärmebelastung
behaglich	- 0.5 – + 0.5	18 - 23 °C	Keine Belastung
Leicht kühl	- 0.5 – - 1.5	13 - 18 °C	Schwache Kältebelastung
kühl	- 1.5 – - 2.5	8 - 13 °C	Mässige Kältebelastung
kalt	- 1.5 – -2.5	4 - 8 °C	Starke Kältebelastung
sehr kalt	< - 3.5	< 4 °C	Extreme Kältebelastung

Die PET kann aus den Simulationsergebnissen des Mikroklimas berechnet werden. Die gesamten Formeln und ein Skript (Python) zur Berechnung finden sich in [26]. Das Skript zur Berechnung wurde von A. Wicki (damals Atmosphärenwissenschaften, Uni Basel) auf die Auswertung von ENVI-met Simulationen angepasst und für vorliegendes Projekt weiterentwickelt.

#### *Lufttemperatur ( $\theta_a$ ) aussen (nachts)*

Da nachts keine Solarstrahlung anfällt, ist für die Charakterisierung des Mikroklimas nachts die Aussentemperatur,  $\theta_a$  eine gute Näherung.

### 5.3 Datengewinnung

Die meisten Daten können aus Datensammlungen oder Datenbanken bezogen werden. Die Daten zum städtischen Mikroklima werden im Rahmen des Projektes mittels Simulationen ermittelt (siehe Kapitel 6).

#### 5.3.1 Kriterien für die Materialdatensuche aus Sammlungen

Allgemein soll der Materialkatalog nicht produktspezifisch sein. D.h., wenn Ziegel charakterisiert werden, sollen die Angaben für alle Tonziegel einer Farbgruppe gelten und nicht für ein spezifisches Firmenprodukt. Eine Ausnahme bilden innovative Materialien wie z. B. hochreflektierende Anstriche.

Quellen für die Datensuche, nach Häufigkeit:

- Allgemeinere Datensammlungen für Sonderthemen (z. B: Albedo verschiedener Baustoffe): Bücher, Fachartikel
- Herstellerangaben (Internet)

Verwendete Kennzeichnung für die Wertung der Informationsverfügbarkeit in den Tabellen (siehe auch Tabelle 3):

- Feld = blau: Information aus Herstellerunterlagen für das gesuchte oder ein sehr ähnliches Produkt ersichtlich
- Feld = olive: Information aus Materialdatenbank erhältlich für sehr ähnliches Material
- Feld = helles olive: Information aus Materialdatenbank erhältlich für Materialgruppe
- Feld = hellgrau «n.a»: Keine Information erhältlich
- Feld = grau «n.a»: Angabe nicht anwendbar  
Beispiel: der Abflussbeiwert gilt für Böden und ist bei Wänden nicht anwendbar.
- Feld = weiss «#WERT!»: der Inhalt der Zelle wird berechnet, es fehlt jedoch mindestens ein nötiger Wert für die vorgesehene Berechnung.

#### 5.3.2 Plausibilitätscheck Daten aus Sammlungen

Bei Datensammlungen zu einem Thema, z. B. Albedo oder Reflexionsgrad, kommt es vor, dass zu den Materialdaten die Angabe fehlt, auf welches Strahlungsspektrum sich die Daten beziehen. Wenn möglich, werden daher die zu prüfenden Datenlisten mit Daten für bekannte Materialien (z. B. Schnee) abgeglichen. Nur wenn diese gleich oder Abweichungen plausibel sind, wird die Datensammlung verwendet.

Die Daten werden untereinander dahingehend verglichen, ob berichtete Unterschiede zwischen den Materialien plausibel sind.

## 5.4 Auswahl zentrale Parameter und ihre Bewertung

Um eine Charakterisierung der Materialien in der Übersicht zu ermöglichen, werden im Rahmen des Projektes neun Parameter für eine Bewertung herausgegriffen. Die nachstehend genannten Parameter stammen aus fünf Themenbereichen:

- Auswirkung auf städtisches Mikroklima: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET, Tag), Aussentemperatur ( $\theta_a$ , Nacht)
- Strahlungstechnische Grössen: Albedo, Solar Reflectance Index, Visuelle Reflexion (Blendung)
- Nachhaltigkeit: Lebensdauer, Treibhausgasemissionen
- Akustische Eigenschaften: Gewichtung Schallabsorptionsgrad
- Versickerungsfähigkeit (Böden): Abflussbeiwert

In der Bewertung wird zwischen Wand- und Bodenmaterialien differenziert. Die Materialien von Wand- und Bodenkonstruktionen werden getrennt verglichen. Die Bewertung erfolgt in einer Skala, wobei das beste Material in der Gruppe mit einer „6“ und das Schlechteste einer „1“ bewertet wird.

### 5.4.1 Bewertung Schallabsorptionsgrad

Es werden die sechs Schallabsorptionsgrade der Oktavband-Mittelfrequenzen im Bereich von 125 Hz bis 4000 Hz angegeben. Um zusammenfassend einen Wert ausgeben und diesen bewerten zu können, wird wie folgt vorgegangen (Systematik entspricht [28]).

1. Ermittlung der Zwischenbewertung auf Basis des Schallabsorptionsgrades  
Jeder der sechs Schallabsorptionsgrade wird mit der Bewertungskurve aus Abb. 34 bewertet. Die Kurve nimmt mit steigendem Schallabsorptionsgrad zu, da eine reduzierte Nachhallzeit im Aussenraum als wünschenswert gilt. Die Bewertungskurve entspricht in etwa dem umgekehrten Verlauf der Nachhallzeiten.

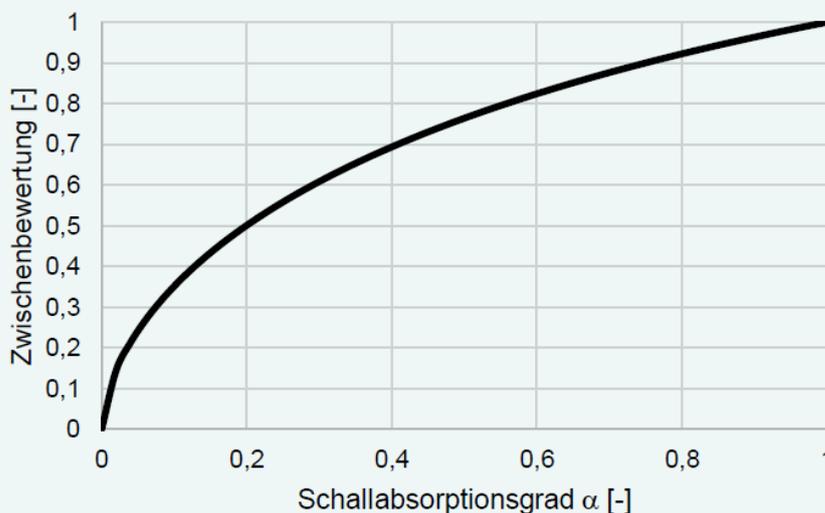


Abb. 34: Bewertungskurve zur Ermittlung der Zwischenbewertung in Abhängigkeit des Schallabsorptionsgrades  $\alpha$  (entnommen aus [28]).

2. Gewichtung der Zwischenbewertung auf Basis der subjektiven Wahrnehmung der jeweiligen Frequenz  
Die frequenzabhängige Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs wird durch eine Gewichtung der Zwischenbewertung berücksichtigt. Hier fließen die Zusammenhänge zwischen Schalldruckpegel, Lautstärkepegel und Frequenz sowie die Zusammenhänge von Lautstärkepegel und Lautheit ein. Als Referenzwert wird ein Schalldruckpegel von 70 dB angenommen. Zunächst werden die Lautstärkepegel bei den Oktavbandmitten-

Frequenzen ermittelt und in die entsprechende Lautheit umgerechnet. Schliesslich wird die Gewichtung jeder Frequenz bestimmt. Die Werte zeigt Tabelle 10.

Tabelle 10: Lautstärkepegel  $L_N$ , Lautheit  $N$  und Gewicht  $\gamma$  der Zwischenbewertung in Abhängigkeit der Frequenzen  $f$  ausgehend von einem Schalldruckpegel von 70 dB (entnommen aus [28]).

Frequenz $f$ (Hz)	Lautstärkepegel $L_N$ (phon)	Lautheit $N$ (sone)	Gewicht $\gamma$ (-)
125	69	7.5	0.122
250	74	10.6	0.172
500	74	10.6	0.172
1000	70	8	0.130
2000	73	9.8	0.161
4000	79	14.9	0.243

### 3. Berechnung der Endbewertung der Akustik auf Basis der gewichteten Zwischenbewertungen

Die Berechnung der Endbewertung erfolgt über Multiplikation der Zwischenbewertungen (Abb. 34) mit den zugehörigen Gewichten aus Tabelle 10 und anschliessender Addition aller gewichteten Zwischenbewertungen. Die Endbewertung beträgt maximal 1.0.

## 6 Anhang 2: Methodik und kritische Diskussion der Simulationen

### 6.1 Auswahl Simulationsprogramme städtisches Mikroklima

Ziel der Simulationen ist es, Materialien hinsichtlich ihrer Auswirkung auf das lokale Mikroklima zu untersuchen. Das verwendete Programm muss daher das Gebäude hinreichend genau abbilden, aber auch den städtischen Kontext realistisch berücksichtigen. Als Ausgabe sind sowohl Oberflächentemperaturen, besonders aber auch mittlere Strahlungstemperaturen und der daraus resultierende Hitzestress, denen ein Mensch im Aussenraum ausgesetzt ist, gewünscht (siehe Abb. 35). Im Rahmen des Projektes wird 2019 eine Evaluation möglicher Programme durchgeführt (Tabelle 11). Es wird entschieden, ENVI-met zu verwenden. Als Hauptgrund gilt, dass ENVI-met die Aussentemperatur ( $\theta_a$ ) an unterschiedlichen Orten im Strassenraum differenziert abbilden kann und das Programm im Projektteam bereits vorgängig bekannt war (kürzere Einarbeitung). Andere Programme, wie z. B. CitySim zum Zeitpunkt der Programmevaluation, verwenden eine einheitliche Lufttemperatur für den Aussenraum.

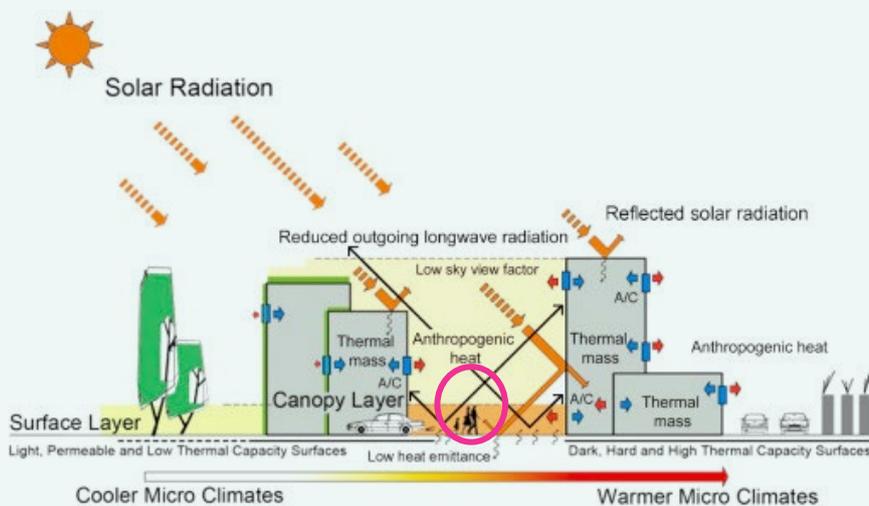


Abb. 35: Bezugspunkt für Bewertung des Wärmeinseleffekts in der Simulation (rosa Kreis). Quelle Abbildung: [29].

Tabelle 11: Bewertung Simulationsprogramme Stand 2019  
Die in der Kommentarspalte genannten Vor- und Nachteile beziehen sich auf die Fragestellungen im Projekt.

Programm	Berücksichtigte Materialparameter Gebäude	Kommentar	Quelle
ENVI-met	Absorption Transmission Reflexion Emission Spezifische Wärmekapazität Wärmeleitfähigkeit Dichte	Verwendung eines "Dynamic multiple-node model" (S. 154). 3 unterschiedliche Materialien pro Bauteil (also max. 7 Knoten). Gilt für Wand und Dach. Bezüglich der Innenraumtemperatur wird die folgende Vereinfachung gemacht: «simplified method does not account for reflection of shortwave radiation inside the building and radiative transfers between inner walls. The inside volumes of the buildings are, to reduce the complexity of the model, treated as an empty volume filled with air.» Vorteile: - Berücksichtigt detailliertes Gebäude-/Vegetationsmodell, kann ganze Stadtquartiere/Städte rechnen - Berücksichtigung Komfortparameter Person im Aussenraum (MRT, PET) - Berücksichtigt Mikrometeorologie und Wärmeaustausch/Energiebilanz - Nutzerfreundlich, Programm ist im Projektteam bereits bekannt, vergleichbare Referenzobjekte Nachteile: - Lizenzkosten Infos: <a href="https://www.envi-met.com">https://www.envi-met.com</a>	[30]
CitySim Pro	Solare Absorption Visuelle Absorption Reflexion Emission Spezifische Wärmekapazität Dichte Wärmeleitfähigkeit	"CitySim includes the thermal mass in the simulation; it uses a simplified thermal model (validated against BESTEST) that proved to be similar to EnergyPlus in terms of heating/cooling demand." Auskunft: Programmentwickler 01.04.19 Vorteile: - Programmentwickler kommen von der Gebäudeseite - Berücksichtigung Komfortparameter Person im Aussenraum (MRT) - Andere Projekte (A.13, ev. A.05) im Pilotprogramm verwenden das Programm (Resultate damit ev. vergleichbar, Wissenstransfer) - Für Forschungszwecke gratis Nachteile: - Stadtklima gut berücksichtigt? - Programm ist im Projektteam unbekannt. Infos: <a href="http://kaemco.ch/download.php">http://kaemco.ch/download.php</a>	[31], [32]
UWG, SOLWEIG	Albedo Emission	Der Speicherterm wird in dem Programm indirekt über die Oberflächentemperaturen berechnet. Wenn neue Materialien definiert werden, müsste deren Oberflächentemperatur, respektive die Temperaturamplitude, bekannt sein oder berechnet werden (Messung oder Simulation). Vorteile: - Berücksichtigung Komfortparameter Person im Aussenraum (MRT, PET) - open source - Programm ist im Projektteam bekannt. Nachteile: - Berücksichtigung Gebäude für Projektzwecke eventuell zu ungenau	[33], [9]
Urban Weather generator, Urban microclimate	U-Wert Albedo Emission Spezifische Wärmekapazität Dichte Wärmeleitfähigkeit	Gebäudemodell vorhanden. Vorteile: - Berücksichtigt detailliertes Gebäudemodell - Berücksichtigung Komfortparameter Person im Aussenraum (MRT) - open source Nachteile: - Programm ist im Projektteam unbekannt. Infos: <a href="http://urbanmicroclimate.scripts.mit.edu/uwg.php">http://urbanmicroclimate.scripts.mit.edu/uwg.php</a>	[34], [35]

## 6.2 Randbedingungen der Simulationen des städtischen Mikroklimas

Die Auswirkung der einzelnen Materialien auf das Mikroklima eines typischen städtischen Areals wird anhand von mikroskaligen Stadtklima-Simulationen geprüft. Als Simulationsprogramm wird ENVI-met, Version 4.4.5 verwendet.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die getroffenen Annahmen für die Randbedingungen der Simulationen zusammengefasst.

## 6.2.1 Betrachtung Bauteile

### Mehrschichtige Konstruktionen und Wärmeschutz

In ENVI-met können Konstruktionsaufbauten mit maximal drei Schichten berücksichtigt werden. Wie in Kapitel 5.1.1 dargestellt ist, werden mehrschichtige Bauteile von aussen bis und mit Dämmschicht betrachtet (Beispiel: berücksichtigte Schichten bei einer Betonwand mit Kompaktfassade: Putz und Wärmedämmung). Da die Dämmschicht den inneren Teil (im Beispiel die Betonwand) vom Aussenklima abkoppelt, wirkt sich die Betonwand nicht auf das Aussenklima aus. Zur Bestimmung der Dämmschichtstärke wird für das gesamte Bauteil (Beispiel: berücksichtigte Schichten bei einer Betonwand mit Kompaktfassade: Putz, Wärmedämmung und Beton) der U-Wert berechnet. Die Bauteile erfüllen die in Kapitel 5.1.2 und 5.1.4 genannten U-Werte.

Bei Konstruktionen mit einer Luftschicht als Hinterlüftung wird programmbedingt die Luftschicht als ruhend (keine Luftzirkulation) angenommen. Damit ist der schlechteste Fall für das städtische Mikroklima abgebildet.

Auch für Böden gilt die Obergrenze von drei Schichten. Die Schichtdicke des Bodenpaketes beträgt mindestens 50 cm. Bei den Rasengittersteinen sind die Löcher mit Erde gefüllt.

### Referenzkonstruktionen

Bei der Simulation wird jeweils ein Bauteiltyp (z. B. „Wand“) variiert. Die anderen Bauteile, z. B. Dächer und Böden der Umgebung, haben dabei eine Referenzkonstruktion. Wenn also die unterschiedlichen Wände berechnet werden, sind alle Dächer und Böden über die entsprechende Referenzkonstruktion definiert.

Die Referenzkonstruktionen sind die folgenden:

- Wand: Zweischalen-Mauerwerk. Werte für Absorption / Albedo Putz: 0.70 / 0.30 (Näherung für Ziegel)
- Dach: Werte für Absorption / Albedo: 0.70 / 0.30 (Näherung für Dachziegel)
- Boden: Werte für Absorption / Albedo: 0.82 / 0.18 (Näherung für gealterten Asphalt).

### Alterung und Verschmutzung Materialien

Die Alterung der Materialien, eine Verschmutzung oder ein Ausbleichen werden nicht berücksichtigt. Dies ist auch bei reflektierenden Anstrichen der Fall. In der Literatur lassen sich die folgenden Angaben finden, die eine grobe Abschätzung ermöglichen:

- Reflektierende Anstriche: Gemäss einem Test von 69 möglichen Wandanstrichen mit reflektierenden Eigenschaften (Cool Colors), beträgt der Verlust der Albedo nach 12 Monaten bei keinem Material mehr als 10 %. Für 65 der 69 Wandanstriche liegt der Verlust unter 5 % [36].
- Whitetopping für Strassen: Angaben zur Alterung. Neuer Beton: Albedo 0.35-0.40, gealterter Beton: Albedo 0.20-0.30 [37] (Zeitraum Untersuchung bis 1.5 Jahre [38]).
- Reflektierender Asphalt: Angaben zur Alterung. Nach 6 Monaten war die Albedo um fast 50 % von 0.33 auf 0.17 reduziert. Mittels einer aktiven Reinigung mit Wasser konnte der ursprüngliche Wert wiederhergestellt werden. [39]

Da nach den derzeitigen Kenntnissen der Verfasser keine Norm vorliegt, die Testverfahren für eine frühzeitige Alterung für reflektierende Materialien berücksichtigt, ist unklar, wie sich das Alterungsverhalten über die Jahre entwickelt und ob es nach einigen Jahren zu einer Sättigung kommt. Wenn dies nicht der Fall ist, dann ist die Lebensdauer des Materials damit kurz. Wie sich die Alterung auf die simulierten reflektierenden Materialien auswirkt, kann auf Basis der vorhandenen Daten nicht genau gesagt werden. Als sehr grobe Näherung für einen möglichen Alterungsprozess kann verglichen werden, wie sich die PET verändert, wenn für Materialien (z. B. in der Gruppe VA) unterschiedliche Farbtöne berechnet wurden. Ein Sprung

zwischen den drei Farbkategorien (hell, mittel und dunkel) kann eine Zunahme der PET zwischen 0.0 und 0.8 K bewirken. Umgekehrt gilt dies auch für ein mögliches Ausbleichen der Materialien (Abnahme PET).

### 6.2.2 Klima, Betrachtungszeitraum und ausgewertete Grössen

Für die Simulation werden die Wetterdaten einer Hitzewelle in Basel in der ersten Augustwoche 2018 verwendet (Basel-Binningen, Quelle MeteoSchweiz). Es wird eine Folge von vier Tagen (01. – 04.08.2018) mit hohen Aussentemperaturen ( $\theta_a$ ) und wolkenlosem Himmel betrachtet. Am vierten Tag mit den höchsten  $\theta_a$  werden zwei Zeitpunkte (4 Uhr und 14 Uhr) mit dem Tagesmaximum und dem Tagesminimum analysiert: um 14 Uhr liegt die Aussentemperatur  $\theta_a$  bei 34.8 °C, um 4 Uhr liegt sie bei 21.2 °C. Ausgewertet werden  $\theta_a$  und PET (physiological equivalent temperature).

### 6.2.3 Betrachteter Ausschnitt

Das für die Simulationen modellierte Areal stellt eine Hofsituation in der Stadt Basel dar (Abb. 36). Dieses weist nachts einen Wärmeinseleffekt zwischen 3 und 4 K auf (Abb. 37).



Abb. 36: Ausschnitt Hofsituation, Quelle: <https://map.geo.bs.ch>



Abb. 37: Klimaanalysekarte Basel Stadt, Ist-Situation Wärmeinseleffekt Nachts 4 Uhr, Quelle: <https://map.geo.bs.ch>, Grundlagen [40]

Der Modellausschnitt bildet einen Bereich mit den Abmessungen von ca. 100 x 100 m ab (Abb. 38). Die Gebäude sind ca. 20 m hoch (vier Stockwerke inkl. halbe Höhe des Schrägdaches). Der Hof und die Strasse enthalten im Modell keine Bäume. Die Platzierung der Sensoren, mit welchen die Simulationsergebnisse ausgewertet werden, zeigt Abb. 39. Die Sensoren sind von den Fassaden jeweils 1 m entfernt, oder in der Mitte der Strasse bzw. des Hofes platziert. Ihre Höhe beträgt 1.7 und 10.7 m (1.7 m = Person, 10.7 m = Höhe Fenster für Nachtlüftung).

Die Rasterweite des Modells liegt bei 1.5 m.



Abb. 38: Abmessungen des Modells, Quelle: <https://map.geo.bs.ch>.

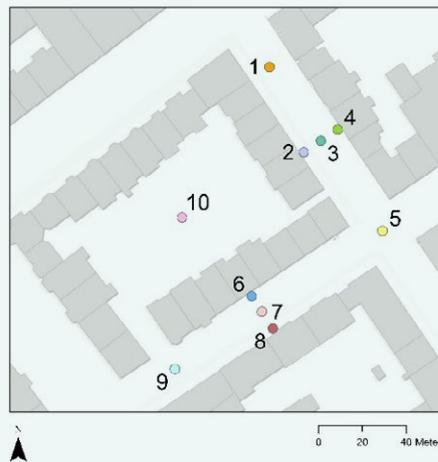


Abb. 39: Platzierung der Sensoren, Quelle: <https://map.geo.bs.ch>.

## 6.2.4 Dächer

### Dachform

Die Geometrie von ENVI-met Modellen beruht auf Quadern. Damit kann ENVI-met keine geneigten Ebenen (z. B. Dächer) berücksichtigen. Es gibt zwar grundsätzlich die Möglichkeit, eine geneigte Ebene durch ein treppenförmiges Aufeinanderstapeln zu nähern, doch dies bedingt ein sehr feines Netz im Modell, welches wiederum zu sehr speicher- und rechenzeitintensiven Modellen führt. Es wird daher vorab die Fragestellung untersucht, ob von der Dachform (flach / geneigt) ein für vorliegendes Projekt signifikanter Einfluss auf die Durchströmung der Strasse bzw. die fassadennahen Temperaturen zu erwarten ist.

In [41] werden diverse Dachformen und geometrische Verhältnisse (Höhe Gebäude / Strassenbreite) untersucht. Diskutiert werden dabei geometrische Verhältnisse von 1:1 (Strasse ist so breit, wie die Gebäude hoch sind) und 1:2 (Strasse ist halb so breit, wie die Gebäude hoch sind). Die Windrichtung ist dabei normal (rechtwinklig) zum Strassenzug.

1:1:

- 1) Flachdach: «Walze» nahe Gebäudewand. Windabgewandt ist diese schwächer = weniger Durchmischung.
- 2) Geneigtes Dach: etwas weniger Durchmischung auf der Strasse als im Dachbereich.

1:2:

- 1) Flachdach: Die Strasse wird durchströmt.
- 2) Geneigtes Dach: Die Strasse wird weniger durchströmt. Dafür der Bereich zwischen den Dächern.

Wenn also die Simulation nur Flachdächer berücksichtigt, dann wird die Durchmischung im Strassenraum gegenüber der «Realität» mit geneigten Dächern tendenziell etwas überschätzt, d.h., die Temperaturen im Strassenbereich werden etwas unterschätzt. Abweichend zur genannten Studie [41] werden in vorliegendem Projekt reale Klimadaten verwendet. Die Windrichtung ist damit nicht durchgängig gleich und normal zum Strassenzug. Es ist davon auszugehen, dass damit die Unterschiede, welche die unterschiedlichen Dachformen in der Durchmischung im Strassenbereich hervorrufen, weitestgehend verschwinden.

### Dacheindeckung

Basierend auf den Erkenntnissen zur Dachform wäre es möglich Materialien für Flachdächer zu untersuchen. Da sich allerdings der Fokus der Bewertung auf den Hitzestress in der Strasse bezieht, wird über eine weitere Voruntersuchung abgeklärt, inwiefern sich durch die Materialisierung von Flachdächern das Mikroklima im Strassenraum verändert. Es werden ein weisses (Absorption 0.15) und ein schwarzes (Absorption 0.80) Flachdach verglichen. An einem Sommertag zeigt sich im Strassenraum ein minimaler Unterschied von 0.01 um 4 Uhr und von 0.03 K um 14 Uhr (n. b: im Luftraum direkt über dem Flachdach ist der Temperaturunterschied höher, dieser Bereich wird im Materialkatalog aber nicht ausgewertet). Aus diesem Grund erscheint eine Variierung der Dachmaterialien bezogen auf die untersuchte Fragestellung nicht sinnvoll.

### Fazit

Das ENVI-met Modell wird im Projekt ausschliesslich mit Flachdächern aufgebaut. Wie in Kapitel 6.2.1 dargelegt, werden als Standardmaterial für die Flachdächer Ziegel verwendet. Diese finden in der Praxis zwar nur auf Schrägdächern Verwendung, es soll aber der reale Reflexionsgrad für die Dachlandschaft des Areals angenähert werden. In den Ergebnissen sind die Dächer damit berücksichtigt, die Dachdeckung wird aber nicht variiert.

#### 6.2.5 Umgebung Modell

Das eigentliche Modell wird in ENVI-met in eine grössere Umgebung eingebettet, die den räumlichen Kontext darstellt. Da es sich um einen städtischen Kontext handelt, wird die Albedo von Ziegeldächern angenommen (0.3).

#### 6.2.6 Startbedingungen für die Simulation

Das Programm errechnet mit Eingabewerten (Tabelle 12) und mit dem ersten Zeitschritt der Klimadaten das Verhalten der Modellumgebung. Für den Wind wird mit diversen Zwischenrechnungen sichergestellt, eine realistische Ausgangsverteilung der Wirbel zu erhalten, da sich diese erst nach einige Sekunden Simulationszeit entwickeln. Mit diesem Zwischenschritt erfolgt die Neuberechnung der Turbulenzverteilung, die nun den Ausgang für die eigentliche Simulation der Windverhältnisse bildet. Alle anderen Variablen werden integriert, bis sich ein stationärer Zustand eingestellt hat. Dann startet die instationäre Rechnung und damit die eigentliche Simulation. Die Werte in Tabelle 12 verändern sich also ab der ersten berechneten Stunde. Genauere Angaben zum Initialisierungsprozess finden sich in [42].

Tabelle 12: Verwendete ENVI-met Initialisierungsparameter der Simulationen. Bodenfeuchte: Angabe als relative Feuchte [43]

Parameter	Wert
Potenzielle Temperatur der Atmosphäre	21.0 °C
Spezifische Feuchte in einer Höhe von 2'500 m	7 g Wasser / kg Luft
Relative Feuchte in 2 m über Grund	50 %
Rauhigkeitslänge z0 (Windprofil)	0.1 m
Windgeschwindigkeit in 10 m über Grund	1.4 m
Windrichtung	140°
Bodentemperatur Schicht 0-20 cm	19.9 °C
Bodentemperatur Schicht 20-50 cm	19.9 °C
Bodentemperatur Schicht > 50 cm	19.9 °C
Bodenfeuchte Schicht 0-20 cm	Aussen
Bodenfeuchte Schicht 20-50 cm	75 %
Bodenfeuchte Schicht > 50 cm	75 %
Raumlufttemperatur Gebäude	19.9 °C

### 6.3 Kritische Diskussion Simulationsergebnisse für das städtische Mikroklima

Tabelle 13 zeigt die Ergebnisse für die Aussentemperatur ( $\theta_a$ ) am 04.08.2018 um 4:00 Uhr morgens und die PET am 04.08.2018 um 14:00 Uhr. Die Ergebnisse gelten für die in Kapitel 6.2 genannten Randbedingungen und Modellanordnung. In den nachfolgenden Abschnitten werden die Resultate kritisch diskutiert.

Tabelle 13: Ergebnisse für die Aussentemperatur um 04:00 Uhr und die PET um 14:00 Uhr des 04.08.2018 auf einer Höhe von 1.7 m. Farbcode: rot = höchster Wert innerhalb der Untergruppe (z. B. Leichtbau (LB), blau = tiefster Wert innerhalb der Untergruppe. Simulationsergebnisse, die mit Zurückhaltung interpretiert werden müssen, haben eine graue Schriftfarbe.

	Material	PET @ 14 Uhr	$\theta_a$ @ 4 Uhr	
Bodenmaterialien	B_Whitetopping_auf_Aspphalt	33.5	21.7	
	B_Steinplattenpflästerung	33.7	21.7	
	B_Rasen	33.9	21.7	
	B_Rasengittersteinpflästerung	33.7	21.6	
	B_Kiesbelag	33.6	21.7	
	B_Chaussierung	33.5	21.7	
	B_Betonsteinpflästerung	33.7	21.7	
	B_Betonbelag	33.5	21.7	
	B_Aspphalt_h	33.7	21.7	
	B_Aspphalt_d	33.7	21.7	
	Wandmaterialien	ZW_Zweischalenmauerwerk_Luftschicht_m	35.7	21.8
		ZW_Zweischalenmauerwerk_Luftschicht_h	35.0	21.6
ZW_Zweischalenmauerwerk_Luftschicht_d		36.0	21.9	
ZW_Zweischalenmauerwerk_Kerndämmung		33.1	21.7	
ZW_Sichtbetonwand_Kerndämmung		36.1	21.9	
VA_Einschalenbacksteinmauerwerk_Dämmputz_m		35.9	21.7	
VA_Einschalenbacksteinmauerwerk_Dämmputz_h		35.2	21.5	
VA_Einschalenbacksteinmauerwerk_Dämmputz_d		36.1	21.8	
VA_Einschalenbacksteinmauerwerk_Aerogeldämmputz_m		36.1	21.6	
VA_Einschalenbacksteinmauerwerk_Aerogeldämmputz_h		35.3	21.5	
VA_Einschalenbacksteinmauerwerk_Aerogeldämmputz_d		36.4	21.7	
VA_Kompaktfassade_Steinwolle_m		35.7	21.7	
VA_Kompaktfassade_Steinwolle_h		35.0	21.6	
VA_Kompaktfassade_Steinwolle_d		35.9	21.8	
VA_Kompaktfassade_EPS_m		35.0	21.8	
VA_Kompaktfassade_EPS_h		34.8	21.7	
VA_Kompaktfassade_EPS_d		35.0	21.9	
Reflektierender_Anstrich_m		34.6	21.7	
Reflektierender_Anstrich_h		35.5	21.7	
Reflektierender_Anstrich_d		33.6	21.7	
LB_Sandwichpaneel_h		34.5	21.7	
LB_Sandwichpaneel_d		31.0	21.8	
LB_Glasfassade_Sonnenschutz_h		33.8	21.6	
LB_Glasfassade_Sonnenschutz_d		30.1	21.6	
LB_Glasfassade		33.6	21.4	
HF_Steinverkleidung		34.1	21.8	
HF_Photovoltaik		31.7	21.7	
HF_Metallblechverkleidung_h		34.4	21.7	
HF_Metallblechverkleidung_d		31.0	21.8	
HF_Holzverkleidung		34.2	21.7	
HF_Begrünungselement		35.9	21.7	
HF_Faserzementverkleidung		33.0	21.9	
HF_Faserzementverkleidung_m	34.2	21.9		
HF_Faserzementverkleidung_h	34.4	21.8		
HF_Faserzementverkleidung_d	33.9	22.0		

### 6.3.1 Hinterlüftete Wandkonstruktionen

Wie in Kapitel 6.2.1 erwähnt, behandelt ENVI-met die Luftschicht vereinfachend wie eine Dämmschicht ( $\lambda = 0.025 \text{ W (m K)}^{-1}$ ).

Unter der Prämisse, dass in der Realität die Hinterlüftung wirksam ist, sollte die Aussenschicht von Konstruktionen tiefere Temperaturen aufweisen als zum Beispiel die äusserste Schicht von verputzten Aussendämmungen. Speziell nachts ist dieser Unterschied zu erwarten, da die Luftschicht ja durch den Auftrieb natürlich belüftet wird und somit die äusserste Schicht «temperiert» wird.

Die Simulationsergebnisse passen gut zur genannten Vereinfachung: die höchsten Temperaturen für alle Wände zeigen sich beim Material «HF\_Faserzementverkleidung\_d». Die Simulationsergebnisse für diese Konstruktionstypen stellen also den schlechtesten Fall mit einer unterbundenen Hinterlüftung dar.

### 6.3.2 Blanke Metalloberflächen

Bei zwei Konstruktionen werden blanke Metalloberflächen simuliert. Blanke Metalloberflächen haben einen tiefen Emissionsgrad  $\epsilon$  zwischen 0.35 und 0.60 (bei üblichen Materialien ist  $\epsilon = 0.90$ ). Aufgrund der Abstrahlung sind besonders nachts tiefe Temperaturen zu erwarten, tagsüber dominiert dieses Phänomen jedoch nicht das Ergebnis. Die Ergebnisse der Simulationen von blanken Metalloberflächen ergeben als mittleren Wert für die PET um 14 Uhr die folgenden Werte:

- „LB\_Sandwichpaneel\_b“: PET 25.0 °C @ 14 Uhr
- „HF\_Metallblechverkleidung\_b“: PET 28.8 °C @ 14 Uhr

Damit ist die PET aller ausgewerteten Rezeptoren also im Mittel tiefer als die Aussenlufttemperatur  $\theta_a$  (34.8 °C). Dieses Ergebnis ist nicht plausibel. Auf Nachfrage empfiehlt der Programmhersteller zunächst, für die Simulationen einen „Advanced Radiation Transfer Scheme (IVS)“ zu verwenden. Da hiermit die Ergebnisse jedoch gleich bleiben, werden in einem weiteren Schritt Beta-Versionen eines Updates für das IVS Tool in Version 4.4.6 getestet. Bei der Version mit den plausibelsten Werten (Stand 24.06.21) sind die Werte für die PET höher, liegen aber deutlich über den Werten für die anderen Materialien:

- «LB\_Sandwichpaneel\_b»: PET 40.5 °C @ 14 Uhr
- „HF\_Metallblechverkleidung\_b“: PET 40.7 °C @ 14 Uhr

Eine Testrechnung mit einem nicht metallischen Material zeigt, dass die PET sich dort um 9 K erhöht. Diese Abweichung von den bisherigen Simulationsergebnissen scheint den Verfassern (zu) hoch. Zusammen mit der Tatsache, dass sich die Beta-Version des IVS-Tools zum Zeitpunkt der Untersuchungen noch in der Testphase befindet, führt dies zur Entscheidung, die Ergebnisse für die blanken Metalloberflächen nicht zu verwenden.

### 6.3.3 Verhalten von dunklen und hellen Wandoberflächen

Grundsätzlich ist zu erwarten, dass bei einer Veränderung der Farbe eines Materials die dunklere Farbgebung zu höheren Luft- und Oberflächentemperaturen und damit zu einer höheren PET in der Umgebung führt.

Bei einigen Wandkonstruktionen ruft die helle Farbgebung eine höhere PET hervor, als die dunkle Farbe. Die Konstruktionen, bei denen dies auftritt, sind in Tabelle 14 aufgelistet. Mit Ausnahme des reflektierenden Anstrichs und des Faserzements bestehen die Konstruktionen aus einer Metallschicht in Verbindung mit einer Dämmung oder einer Luftschicht. Die thermische Trägheit der Konstruktionen ist also gering. Die Analyse der Windgeschwindigkeit zeigt, dass sich mit dunkel gefärbten Metallschichten eine höhere Windgeschwindigkeit im betrachteten Ausschnitt einstellt. Die hohen Oberflächentemperaturen des dunklen Metalls rufen also Turbulenzen hervor, die bis zu einem gewissen Grad durch den ausgelösten thermischen Auftrieb auch erwartbar sind. Diese Turbulenzen führen zu einer tieferen PET (Rezeptor 10 Differenz zur hellen Farbgebung 4.7 – 4.9 K, Mittel alle Rezeptoren: 3.4 – 3.7 K). Konstruktionen mit einer (etwas) höheren thermischen Trägheit sind der reflektierende Anstrich (auf verputztem Hochlochziegel) und die Faserzementverkleidung. Hier ist das Phänomen schwächer, die Differenz bei der PET liegt zwischen der hellen und der dunklen Farbe bei 2.7 K bzw. 0.4 K (Rezeptor 10, Mittel alle

Rezeptoren: 1.9 bzw. 0.5 K). Der Unterschied bei der Windgeschwindigkeit ist hier allerdings sehr klein (reflektierender Anstrich) oder sogar gegenläufig (beim Faserzement tritt bei der hellen Farbgebung eine höhere Windgeschwindigkeit auf). Folglich sind für die kleine Differenz beim Faserzement andere Gründe, wie z. B. die nicht berücksichtigte Hinterlüftung, die Ursache.

Bei Konstruktionen, z. B. Wandtypen mit verputzter Aussendämmung, bei denen wie erwartet die PET aufgrund der dunklen Farbe höher ist als bei der hellen Farbe (VA\_Kompaktfassade\_Steinwolle\_h und \_d und VA\_Kompaktfassade\_EPS\_h und \_d), ist die Windgeschwindigkeit bei der helleren Farbgebung höher (Differenz 0.02 – 0.04 m/s).

Tabelle 14: PET Rezeptor 10 (Mitte Innenhof), maximale und minimale  $\theta$  des Bodens, maximale  $\theta$  aller Wände und Windgeschwindigkeit um 14 Uhr im Innenhof.

Material	PET (°C) Rezeptor 10	Max $\theta$ von allen Wänden* (°C)	Max $\theta^{**}$ ; Min $\theta^{***}$ auf dem Boden im Innenhof (°C)	Windgeschwindig- keit, Höhe 1.7 m, Rezeptor 10 (m/s)
Reflektierender_ Anstrich_h / _d	43.0 / 40.3	43.3 / 43.4	40.0±0.5; <20.8 / 39.5±0.5; <20.8	0.06 / 0.08
LB_Sandwich- paneel_h / _d	41.6 / 36.7	43.3 / 43.3	39.7±0.5; <20.8 / 37.8±0.5; <20.8	0.07 / 0.11
LB_Glasfassade_ Sonnenschutz_h / _d	40.5 / 35.6	43.0 / 43.0	39.5±0.5; <20.8 / 35.8±0.5; <20.8	0.08 / 0.64
HF_Metallblechver- kleidung_h / _d	41.4 / 36.7	43.2 / 43.3	39.7±0.5; <20.8 / 37.9±0.5; <20.8	0.07 / 0.11
HF_Faserzementver- kleidung_h / _d	41.3 / 40.9	43.3 / /43.3	39.7±0.5; <20.8 / 39.6±0.5; <20.8	0.08 / 0.07

Beschränkungen der grafischen Ausgabe von ENVI-met 4.4.5:

\* = die Oberflächentemperatur von einzelnen Wänden scheint nicht standardmässig zugänglich zu sein.

\*\* es wird nur ein Temperaturbereich angegeben, die angegebene Temperatur kann also um 0.5 K höher oder tiefer sein.

\*\*\*es wird keine genauere minimale  $\theta$  ausgegeben. Die minimale Temperatur liegt also unter 20.8 °C.

#### 6.3.4 Begrünung Wand und Boden

Mit Zurückhaltung zu interpretieren sind die eher schlechten Ergebnisse für begrünte Fassaden und den Rasen. Sie können damit erklärt werden, dass die in den Simulationen ausgewertete Periode am Ende einer Hitzewelle liegt und die oberen Schichten des Bodens und die Wand als ausgetrocknet angenommen sind. Unter den gewählten Einstellungen im Simulationsprogramm (und auch in der Realität [4]) ist der Verdunstungseffekt damit nicht mehr vorhanden. Beim Rasen kommt hinzu, dass auch die Wahl eines eher ungünstigen Erdreichtyps mit wenig Speichermasse das Ergebnis negativ beeinflusst. Es wird also der schlechteste Fall dargestellt. Es kann davon ausgegangen werden, dass in einer feuchteren Periode oder mit einer permanenten Bewässerung die resultierende PET tiefer wäre. Dies bestätigen Messungen aus der Literatur. Diese sind in der «Infobox: begrünte Fassade» und in der «Infobox: Rasen» in Kapitel 2.1.1 dargestellt. Grundsätzlich tragen begrünte Flächen dann am wirksamsten dazu bei, den Hitzestress zu minimieren, wenn sie zusätzlich noch beschattet und bewässert sind. Natürlich wäre der Aufwand für die Bewässerung in der Bewertung der Ökologie zu berücksichtigen.

#### 6.3.5 Validierung Bodentemperatur

Die untersuchten Konstruktionen für den Boden führen bei den Ergebnissen für die PET nur zu Streuungen innerhalb einer schmalen Bandbreite von 0.4 K. Es ist anzunehmen, dass die thermische Masse des Bodens grössere Differenzen verhindert. Zusätzlich wird die resultierende PET auch stark von der solaren Einstrahlung und dem Wind beeinflusst.

Zu Beginn der Simulation hat der Boden eine Temperatur von 19.9 °C (Tabelle 12). Am Ende des Simulationszeitraums (letzte Stunde) liegt die Temperaturspanne im gesamten Areal zwischen 19.9 °C und 27.8 °C (Tiefe 35 cm, Bodentyp: Referenz mit  $\alpha = 0.18$ ). Diese Werte können mit verfügbaren Messdaten der Bodentemperaturen in zwei Ortschaften (Tiefe: 35 cm, ländliche, unbebaute Gegend, 01.08.2018) nahe bei Basel verglichen werden [44]: In Brislach und Therwil wurden 20.5 °C und 21.4 °C gemessen. Der tiefere Wert der Simulationsergebnisse zeigt somit eine gute Übereinstimmung mit den Messresultaten. Wenn man den städtischen Kontext des Simulationsszenarios berücksichtigt, dann ist auch der höhere Wert der Bandbreite plausibel.

### 6.3.6 Raumlufthtemperatur im Gebäude

Die Simulationen konzentrieren sich auf das Mikroklima ausserhalb der Gebäude. Obwohl bei den meisten der untersuchten Konstruktionen das Innenklima der Gebäude vom Aussenklima durch eine Dämmschicht entkoppelt ist und damit die Aussentemperatur der Wand nicht signifikant beeinflusst, ist es aus Plausibilitätsgründen wünschenswert, dass die Raumlufthtemperaturen realistisch sind. Die Starttemperatur innen ( $\theta_i$ ) liegt bei 19.9 °C (Tabelle 12). Vereinfachend behandelt ENVI-met jeden Gebäudeblock als eine hohle Einheit ohne thermische Masse (wie z. B. Trennwände, Böden etc.). Zusätzlich werden Belüftung und solare Gewinne nicht berücksichtigt. Eine exemplarische Überprüfung der Raumlufthtemperatur in einem Gebäudeblock (Abb. 39, U-förmige Blockbebauung, die den Innenhof mit Rezeptor 10 umgibt) zeigt, dass  $\theta_i$  am Ende der Simulationsperiode 26.5 °C beträgt. Dieses Resultat ist plausibel.

### 6.3.7 Streuung Ergebnisse im betrachteten Ausschnitt

In den vorangehenden Auswertungen wird jeweils der Mittelwert der zehn definierten Rezeptoren analysiert (Verteilung Rezeptoren siehe Abb. 39). Die Streuung zwischen den Rezeptoren kann durch die Standardabweichung und die Differenz zwischen dem Minimal- und Maximalwert für die PET oder die  $\theta_a$  für jedes Material beschrieben werden.

Die Standardabweichung der PET um 14 Uhr (auf 1.7 m Höhe) liegt zwischen 2.5 K (HF\_Metallblechverkleidung\_h) und 3.7 K (VA\_Einschalenbacksteinmauerwerk\_Aerogeldämmputz\_d). Der Mittelwert der Standardabweichungen liegt bei 3.0 K. Angesichts der Verteilung der Rezeptoren und der Tatsache, dass die Besonnungs- und Verschattungssituation unterschiedlich ist, ist dieser Wert realistisch.

Die höchste Differenz bei der PET zwischen den Rezeptoren tritt mit 11.5 K beim Material «VA\_Einschalenbacksteinmauerwerk\_Aerogeldämmputz\_d» auf. Die geringste Differenz mit 8.0 K tritt bei der Glasfassade mit Sonnenschutz (LB\_Glasfassade\_Sonnenschutz\_d) auf. Der Mittelwert aller Differenzen liegt bei 9.5 K (Ebene 1.7 m).

Während der Nacht ist die Streuung von  $\theta_a$  mit einer Standardabweichung zwischen 0.0 K und 0.1 K deutlich kleiner. Die maximale Temperaturdifferenz liegt bei 0.4 K.

# 7 Anhang 3: Literatur

Anmerkung: Die Datenquellen für die Datensammlung in Kapitel 4 sind direkt im jeweiligen Unterkapitel für jedes Material separat angegeben.

- [1] M. Ecklin, *Diese Gemeinde macht Ernst: Hier ist Rasen sprengen verboten*, bz Basel, Basel, 2018.
- [2] N. L. Landolt, *Erste Bewässerungsverbote in Aargauer Gemeinden: «Es geht nicht mehr anders»*, Aargauer Zeitung, Aargau, 2018.
- [3] N. H. Wong et al., *Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls*, Build. Environ., vol. 45, no. 3, pp. 663–672, 2010.
- [4] M. A. Rahman et al., *Comparative analysis of shade and underlying surfaces on cooling effect*, Urban For. Urban Green., vol. 63, no. June, 2021.
- [5] T. R. Oke, M. Gerald, A. Christen, and J. A. Voogt, *Urban Climates*, 1st ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.
- [6] D. Armson, P. Stringer, and A. R. Ennos, *The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area*, Urban For. Urban Green., vol. 11, no. 3, pp. 245–255, 2012.
- [7] R. A. Spronken-Smith and T. R. Oke, *The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates*, Int. J. Remote Sens., vol. 19, no. 11, pp. 2085–2104, 1998.
- [8] P. Cohen, O. Potchter, and A. Matzarakis, *Daily and seasonal climatic conditions of green urban open spaces in the Mediterranean climate and their impact on human comfort*, Build. Environ., vol. 51, pp. 285–295, 2012.
- [9] F. Lindberg, S. Onomoura, and C. S. B. Grimmond, *Influence of ground surface characteristics on the mean radiant temperature in urban areas*, Int. J. Biometeorol., pp. 1–14, 2016.
- [10] M. Ragettli, *Heat-related mortality in Switzerland: Relevance and the effect of heat-health action plans*, in Swiss TPH Winter Symposium, 2019.
- [11] Öffentliche Energieberatung Bern-Mittelland, *Photovoltaik – Solarstrom für Ihr Zuhause*, Bern, 2013.
- [12] SIA 180, *Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden*, Schweiz, 2014, pp. 1–72.
- [13] H. Taha, D. Sailor, and H. Akbari, *High-Albedo Materials for Reducing Building Cooling Energy Use*, Berkeley, 1992.
- [14] N. L. Alchapar, E. N. Correa, and A. M. Cantón, *Classification of building materials used in the urban envelopes according to their capacity for mitigation of the urban heat island in semiarid zones*, Energy Build., vol. 69, pp. 22–32, 2014.
- [15] E. Erell, D. Pearlmutter, and T. Williamson, *Urban Microclimate – Designing the Spaces Between Buildings*, 1st ed. New York: Earthscan, 2011.
- [16] N. Gaitani, I. Burud, T. Thiis, and M. Sanamouris, *High-resolution spectral mapping of urban thermal properties with Unmanned Aerial Vehicles*, Build. Environ., vol. 121, pp. 215–224, 2017.
- [17] ASTM, ASTM E1980 – 11(2019): *Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces*, USA, 2019.
- [18] E. Lorenz, M. VanGeem, and J. Feld, *Concrete Construction, Solar Reflectance for Walls*, 2011 [Online]. Available: [https://www.concreteconstruction.net/business/management/solar-reflectance-for-walls\\_o](https://www.concreteconstruction.net/business/management/solar-reflectance-for-walls_o). [Accessed: 26-Feb-2020].
- [19] SN 592000:2012, *Anlagen für die Liegenschaftsentwässerung – Planung und Ausführung*, 2012, pp. 1–204.
- [20] BNB, *Nutzungsdauern von Bauteilen 2017*, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Berlin, 2017.
- [21] C. Bahr and K. Lennerts, *Lebens- und Nutzungsdauer von Bauteilen – Endbericht*, 2010.
- [22] KBOB / eco-bau / IPB, *Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2016*, Schweiz, 2016.
- [23] P. O. Fanger, *Thermal Comfort*, Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.
- [24] C. Zürcher and T. Frank, *Bauphysik – Bau und Energie*, 4th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2014.
- [25] P. Höppe, *The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment*, Int. J. Biometeorol., vol. 43, no. 2, pp. 71–75, 1999.

- [26] E. Walther and Q. Goestchel, *The P.E.T. comfort index: Questioning the model*, Build. Environ., vol. 137, no. April, pp. 1–10, 2018.
- [27] H. Mayer and A. Matzarakis, *Die Richtlinie VDI 3787 Blatt 2 «Methoden zur humanbiometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung, Teil I: Klima»*, in *Umweltsimulation: Methodik, Anwendung, Nutzen*, 1999, pp. 53–62.
- [28] J. Dürr, *Aufbau und Validierung des MCDM-Modells BASK zur Bewertung der Materialisierung von urbanen Oberflächen*, Fachhochschule Nordwestschweiz, 2020.
- [29] A. Soltani and E. Sharifi, *Daily variation of urban heat island effect and its correlations to urban greenery: A case study of Adelaide*, Front. Archit. Res., vol. 6, no. 4, pp. 529–538, 2017.
- [30] H. Simon, *Modeling urban microclimate – Development, implementation and evaluation of new and improved calculation methods for the urban microclimate model ENVI-met*, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, 2016.
- [31] K. Orehounig, A. Mahdavi, E.-M. Doppelbauer, W. Loibl, and T. Tötzer, *Projections of design implications on energy performance of future cities: A case study from Vienna*, Sustain. Cities Soc., vol. 12, pp. 92–101, 2014.
- [32] E. Naboni, M. Meloni, S. Coccolo, J. Kaempf, and J.-L. Scartezzini, *An overview of simulation tools for predicting the mean radiant temperature in an outdoor space*, Energy Procedia, vol. 122, pp. 1111–1116, 2017.
- [33] F. Lindberg, C. S. B. Grimmond, A. Gabey, B. Huang, and C. W. Kent, *Urban Multi-scale Environmental Predictor (UMEP): An integrated tool for city-based climate services*, Environ. Model. Softw., vol. 99, pp. 70–87, 2018.
- [34] K. Gunawardena, T. Kershaw, and K. Steemers, *Simulation pathway for estimating heat island influence on urban/suburban building space-conditioning loads and response to facade material changes*, Build. Environ., vol. 150, pp. 195–205, 2019.
- [35] A. Nakano, B. Bueno, L. Norford, and C. F. Reinhart, *Urban weather generator – a novel workflow for integrating urban heat island effect within urban design process*, in *Building Simulation*, 2015.
- [36] R. Levinson, G. Ban-Weiss, P. Berdahl, S. Chen, H. Destailats, and N. Dumas, *Solar-Reflective «Cool» Walls: Benefits, Technologies, and Implementation*, California Energy Commission, 2019.
- [37] M. Santamouris, *Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island – A review of the actual developments*, Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 26, pp. 224–240, 2013.
- [38] R. Levinson and H. Akbari, *Effects of composition and exposure on the solar reflectance of portland cement concrete*, 2002.
- [39] G.-E. Kyriakodis and M. Santamouris, *Using reflective pavements to mitigate urban heat island in warm climates – Results from a large scale urban mitigation project*, Urban Clim., vol. 24, pp. 326–339, 2018.
- [40] C. Burmeister, B. Büter, and P. Trute, *Stadtklimaanalyse Kanton Basel-Stadt 2019 – Grundlagen, Methoden, Ergebnisse (Rev09)*, Basel, 2019.
- [41] S. H. Hosseini, P. Ghobadi, T. Ahmadi, and J. K. Calautit, *Numerical investigation of roof heating impacts on thermal comfort and air quality in urban canyons*, Appl. Therm. Eng., vol. 123, pp. 310–326, 2017.
- [42] M. Bruse, *Die Auswirkungen kleinskaliger Umweltgestaltung auf das Mikroklima – Entwicklung des prognostischen numerischen Modells ENVI-met zur Simulation der Wind-, Temperatur- und Feuchteverteilung in städtischen Strukturen*, Ruhr-Universität Bochum, 1999.
- [43] ENVI\_MET – *Technical Model Webpage*, 2021 [Online]. Available: <https://envi-met.info/doku.php>.
- [44] D. Schmutz, *Messnetz Bodenfeuchte Jahresbericht 2018*, Liestal, 2018.



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Ein Projekt im Rahmen des Pilotprogramms  
Anpassung an den Klimawandel, unterstützt  
durch das Bundesamt für Wohnungswesen BWO

## Impressum

### Herausgeber

Bundesamt für Wohnungswesen BWO  
Hallwylstrasse 4, 3003 Bern  
Tel. +41 58 480 91 11  
info@bwo.admin.ch, www.bwo.admin.ch

### Download

www.bwo.admin.ch  
www.nccs.admin.ch

### Projektteam

Christian Feigenwinter, Atmosphärenwissenschaften, Universität Basel  
Miriam Mutti, damals Atmosphärenwissenschaften, Universität Basel  
Franziska Schwager, Amt für Umwelt und Energie des Kantons Basel-Stadt  
Andreas Wicki, GEO Partner AG, damals Atmosphärenwissenschaften, Universität Basel

### Projektpartner

Amt für Umwelt und Energie des Kantons Basel-Stadt  
Atmosphärenwissenschaften, Universität Basel  
Baugenossenschaft wohnen&mehr, Basel

### Autor/innen

Caroline Hoffmann, INEB, FHNW, Caroline.Hoffmann@fhnw.ch  
Achim Geissler, INEB, FHNW, Achim.Geissler@fhnw.ch

Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW  
Institut Nachhaltigkeit und Energie am Bau  
Hofackerstrasse 30  
CH-4132 Muttenz  
www.fhnw.ch

### Finanzierung

Bundesamt für Wohnungswesen BWO  
Amt für Umwelt und Energie des Kantons Basel-Stadt

### Gestaltung

Hahn+Zimmermann, Bern

### Zitierweise

Caroline Hoffmann, Achim Geissler (2022). Baumaterialien für Städte im Klimawandel.  
Materialkatalog mit Empfehlungen. Bundesamt für Wohnungswesen, Bern.

### Anmerkungen

Die Zusammenfassung dieses Berichtes ist in deutscher, französischer und  
italienischer Sprache erhältlich.

Der Bericht gibt die Auffassung der Autorinnen und Autoren wieder, die nicht  
notwendigerweise mit derjenigen der Auftraggebenden übereinstimmen muss.

### Titelbild

© VBS