

# Baumaterialien für Städte im Klimawandel – ein Materialkatalog mit Empfehlungen

Projektteam:

Dr.-Ing. Caroline Hoffmann (FHNW)

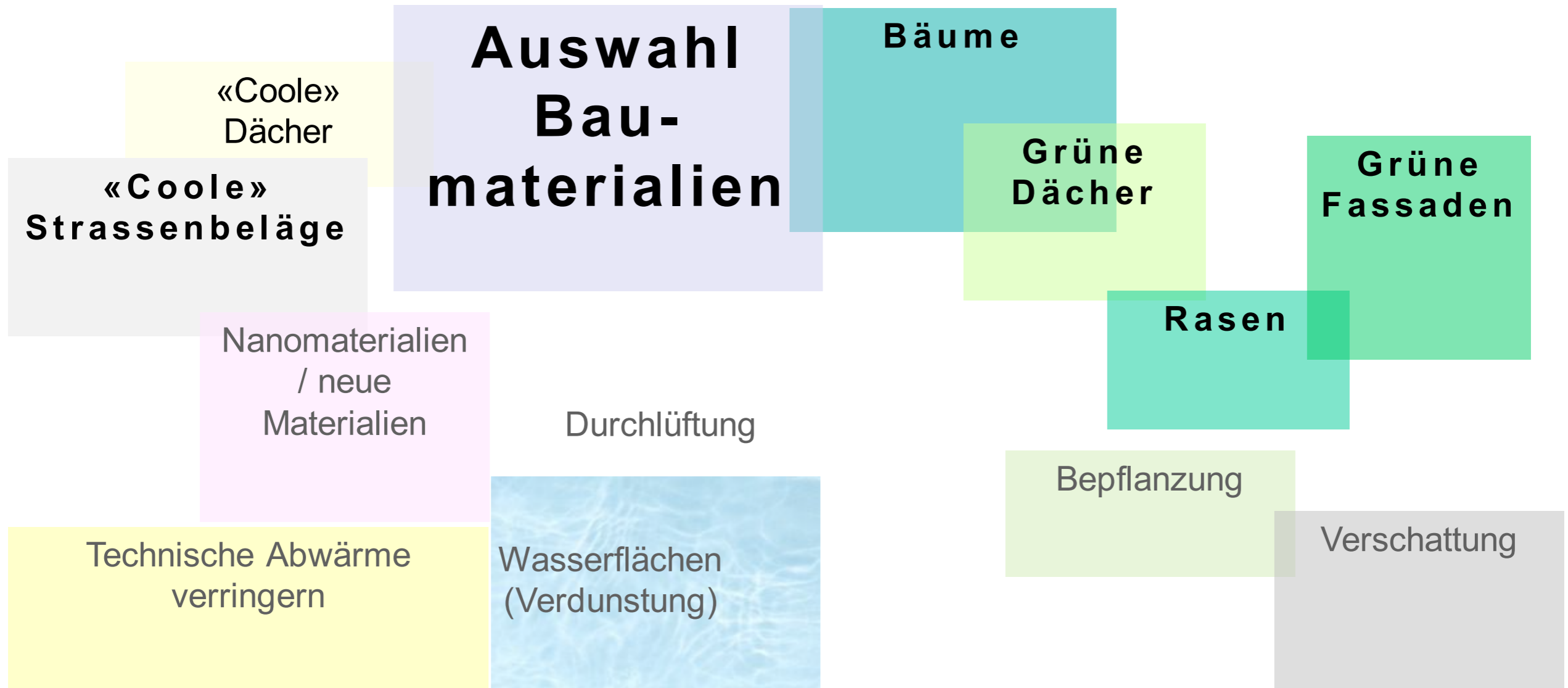
Prof. Dr. Achim Geissler (FHNW)

Miriam Mutti und Andreas Wicki (damals mcr, Universität Basel)

Franziska Schwager, AUE Basel Stadt

Stand: 21.02.2023

# Bausteine «Minderung» Wärmeinseleffekt



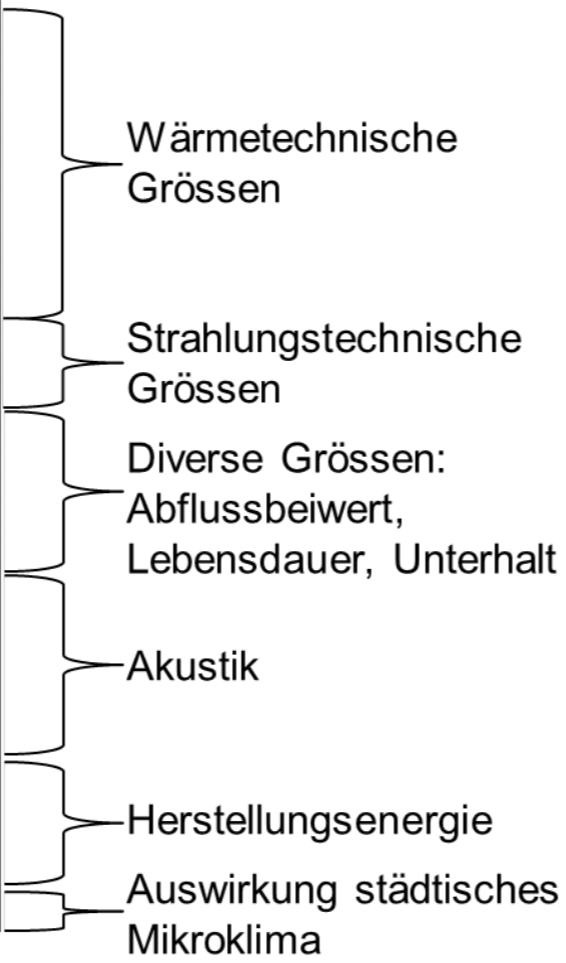
# Das Problem



# Materialkatalog mit Empfehlungen

Neue Elemente:  
 • Städtisches Mikroklima  
 • Alle Angaben in einem Dokument

Werte für			
Grösse	Symbol	Einheit	Material Kennwert
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$	2400
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	$c$	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	1.10
Heat capacity (Wärmekapazität)	$C$	$\text{J}^*(\text{kg}^*\text{K}^{-1})$	1100.00
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	$k$ (GB) $\lambda$ (D)	$(\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1})$ $\text{W}^*(\text{m}^*\text{K}^{-1})$	2.64
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\kappa$ (GB) $a$ (D)	$(\text{m}^2 \text{s}^{-1} * 10^{-6})$ $\text{m}^2/\text{s}$	1.80
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$(\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1})$	6.8E-07
Wärmeindringzahl	$b$	$\text{kJ} / \text{m}^2 \text{s}^{1/2}$ $\text{kJ} / \text{m}^2 \text{h}^{1/2}$	2180
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	m	2.18
Albedo	$\alpha$	-	0.13
Emissivität	$\varepsilon$	-	0.137
solar reflectance index (SRI)	SRI	-	
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	-	
Wasseraufnahmekoeffizient	$w$	$\text{kg}/(\text{m}^2 \text{s}^{0.5})$	
Abflussbeiwert	$\psi$	-	n. a.
Lebensdauer			
Unterhalt			
Nachrüstbarkeit			
Stromproduktion			
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	-	
$f_m$ 125		-	
$f_m$ 250		-	
$f_m$ 500		-	
$f_m$ 1000		-	
$f_m$ 2000		-	
$f_m$ 4000		-	
Umweltbelastungspunkte, Herstellung	UBP 2013	UBP/kg	
Umweltbelastungspunkte, Herstellung	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis	
Treibhausgasemissionen, Herstellung		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> Erzeugnis	
Treibhausgasemissionen, Herstellung		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis	
Ta Nacht	°C	°C	
PET Tag	PET	-	



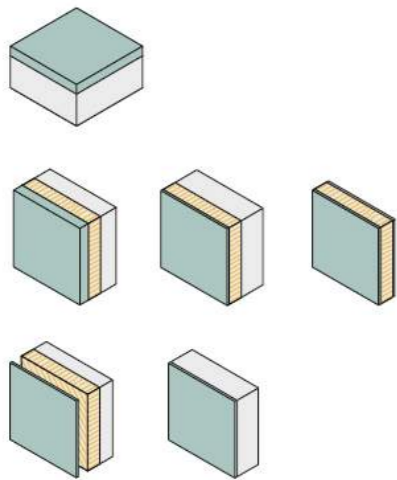
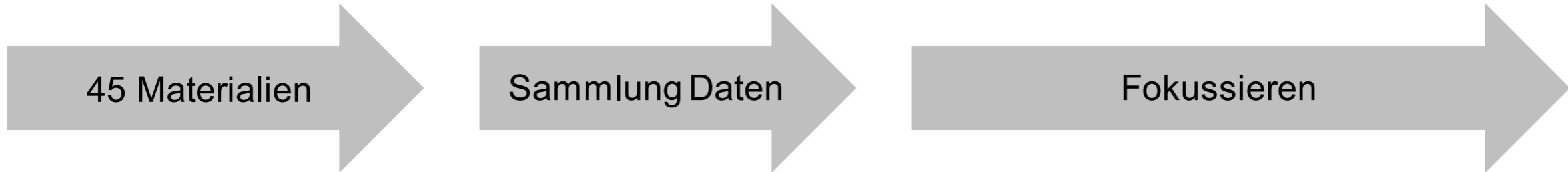
## Zielgruppe:

- Planer
- Entscheidungsträger

## Einsatzphase:

- frühes Planungsstadium
- Quartiersplan, Bebauungsplan

# Vorgehen...



Böden: 10  
Fassade: 35

Werte für

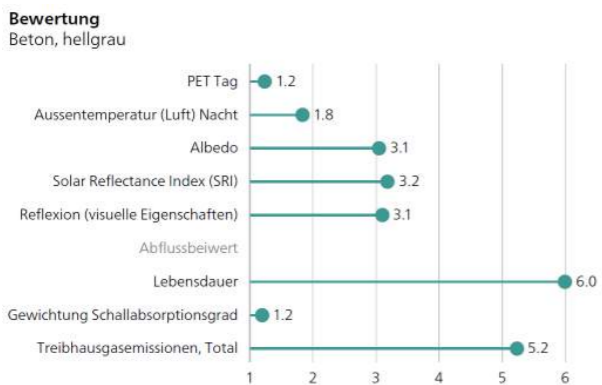
Grösse	Symbol	Einheit	Material	Kennwert
Density (Rohdichte)	$\rho$	$\text{kg m}^{-3}$		2400
Specific heat (Spezifische Wärmekapazität)	$c$	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$		1.10
Heat capacity (Wärmekapazität)	$C$	$\text{MJ m}^{-2} \text{K}^{-1}$		2.64
Thermal conductivity (Wärmeleitfähigkeit)	$k$ (GB)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$		1.80
Thermal diffusivity (Temperaturleitfähigkeit)	$\lambda$ (D)	$\text{W}^2 \text{m}^{-2} \text{K}^{-1} \text{s}^{-1}$		6.8E-07
Thermal admittance / thermal inertia (thermische Trägheit)	$\mu_s$	$(\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1})$		2180
Wärmeindringzahl	$b$	$\text{kJ} / \text{m}^2 \text{s}^{1/2} \text{K}^{-1}$		2.18
Eindringtiefe, 24 h	$\delta$	$\text{m}$		0.137
Albedo	$\alpha$	-		
Emissivität	$\epsilon$	-		
solar reflectance index (SRI)	SRI	-		
Reflexion (visuelle Eigenschaften)	$\rho$	-		
Wasseraufnahmekoeffizient	$w$	$\text{kg} / (\text{m}^2 \text{s}^{1/2})$		
Abflussbeiwert	$\psi$	-		n. a.
Lebensdauer				
Unterhalt				
Nachrüstbarkeit				
Stromproduktion				
Schallabsorptionsgrad bei Oktoavband-Mittelfrequenz von	$\alpha$	-		
$f_n$ 125				
$f_n$ 250				
$f_n$ 500				
$f_n$ 1000				
$f_n$ 2000				
$f_n$ 4000				
Umweltbelastungspunkte, Herstellung	UBP 2013	UBP/kg		
Umweltbelastungspunkte, Herstellung	UBP 2013	UBP/m <sup>2</sup> Erzeugnis		
Treibhausgasemissionen, Herstellung		$\text{kg CO}_2$ Äquiv. pro m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> Erzeugnis		
Treibhausgasemissionen, Herstellung		$\text{kg CO}_2$ Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis		
Ta Nacht	°C	°C		
PET Tag	PET	-		

- Auswirkung auf städtisches Mikroklima:
  - PET, Aussentemperatur*
- Strahlungstechnische Grössen:
  - Albedo, SRI, Blendung*
- Versickerungsfähigkeit (Böden):
  - Abflussbeiwert*
- Nachhaltigkeit:
  - Lebensdauer, Treibhausgasemissionen*
- Akustische Eigenschaften:
  - Gewichtung Schallabsorptionsgrad*

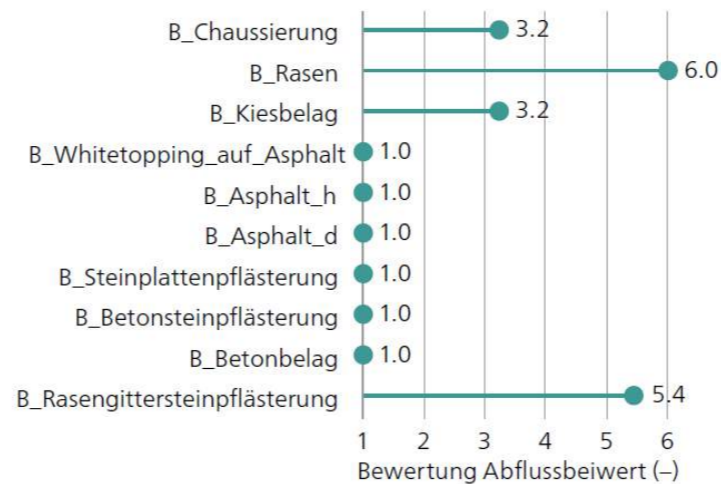
# ...Vorgehen



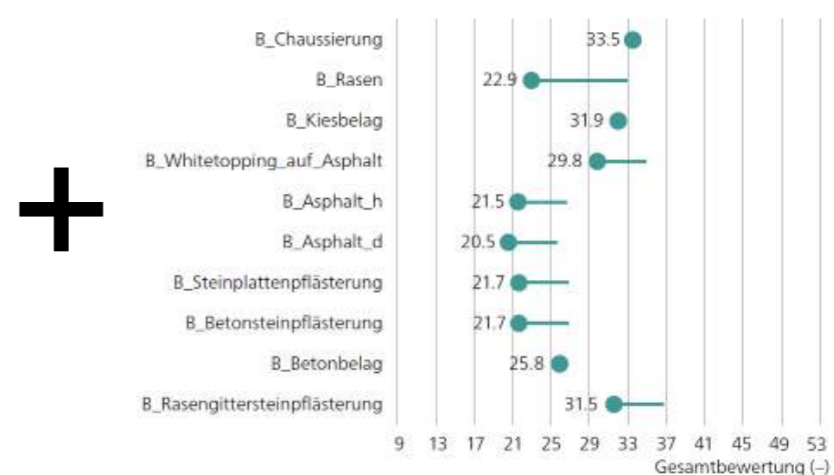
6 = sehr gut  
1 = schlecht



Bezug auf Parameter



Bezug Materialien untereinander  
(Gesamtpunktzahl)

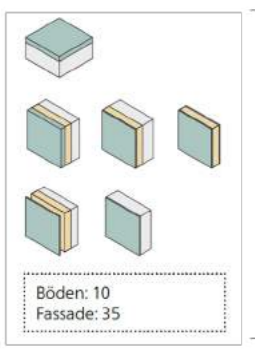


# Einblick in den Katalog

Beispiel Simulation

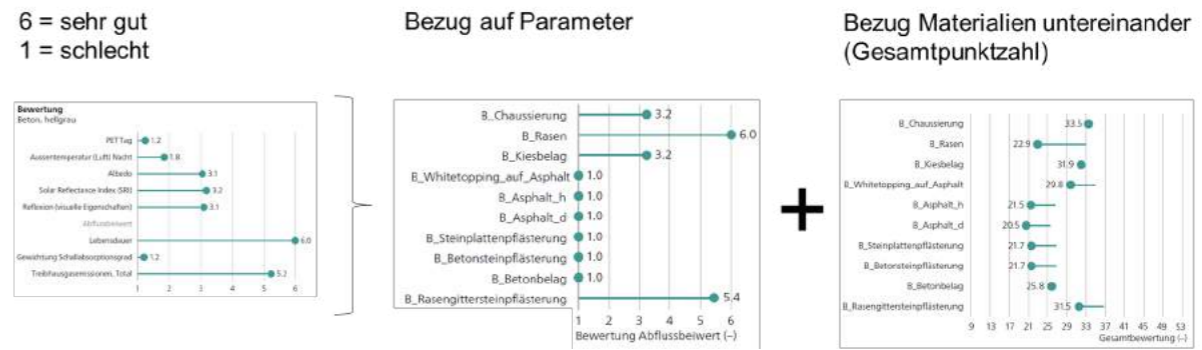
Beispiel Aussentemperatur

Beispiel Boden / Wände

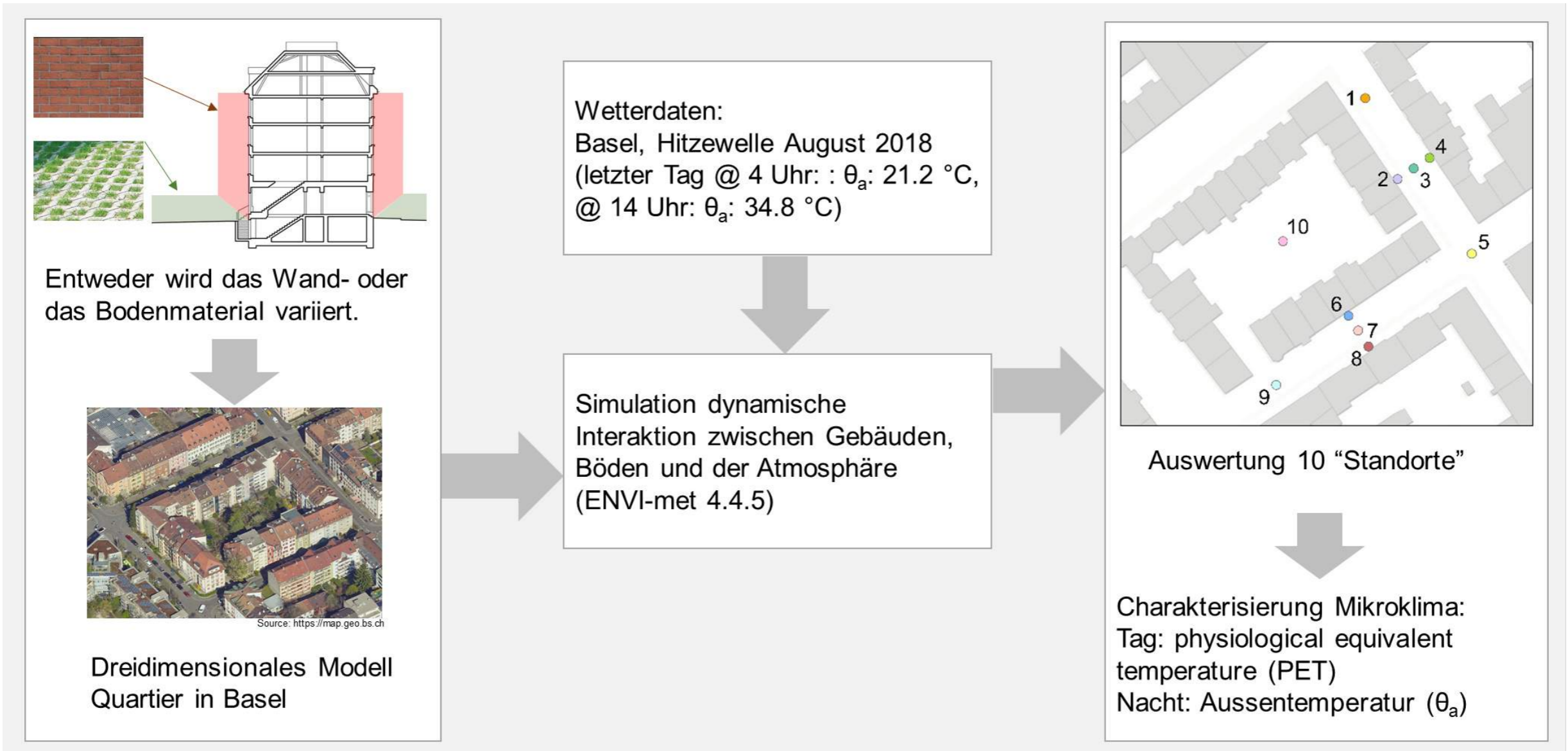


Code	Material	Gruppe	Wert
1	Alu-Platte	1	0.05
2	Alu-Platte	1	0.05
3	Alu-Platte	1	0.05
4	Alu-Platte	1	0.05
5	Alu-Platte	1	0.05
6	Alu-Platte	1	0.05
7	Alu-Platte	1	0.05
8	Alu-Platte	1	0.05
9	Alu-Platte	1	0.05
10	Alu-Platte	1	0.05
11	Alu-Platte	1	0.05
12	Alu-Platte	1	0.05
13	Alu-Platte	1	0.05
14	Alu-Platte	1	0.05
15	Alu-Platte	1	0.05
16	Alu-Platte	1	0.05
17	Alu-Platte	1	0.05
18	Alu-Platte	1	0.05
19	Alu-Platte	1	0.05
20	Alu-Platte	1	0.05
21	Alu-Platte	1	0.05
22	Alu-Platte	1	0.05
23	Alu-Platte	1	0.05
24	Alu-Platte	1	0.05
25	Alu-Platte	1	0.05
26	Alu-Platte	1	0.05
27	Alu-Platte	1	0.05
28	Alu-Platte	1	0.05
29	Alu-Platte	1	0.05
30	Alu-Platte	1	0.05
31	Alu-Platte	1	0.05
32	Alu-Platte	1	0.05
33	Alu-Platte	1	0.05
34	Alu-Platte	1	0.05
35	Alu-Platte	1	0.05

- Auswirkung auf städtisches Mikroklima: *PET, Aussentemperatur*
- Strahlungstechnische Grössen: *Albedo, SRI, Blendung*
- Versickerungsfähigkeit (Böden): *Abflussbeiwert*
- Nachhaltigkeit: *Lebensdauer, Treibhausgasemissionen*
- Akustische Eigenschaften: *Gewichtung Schallabsorptionsgrad*

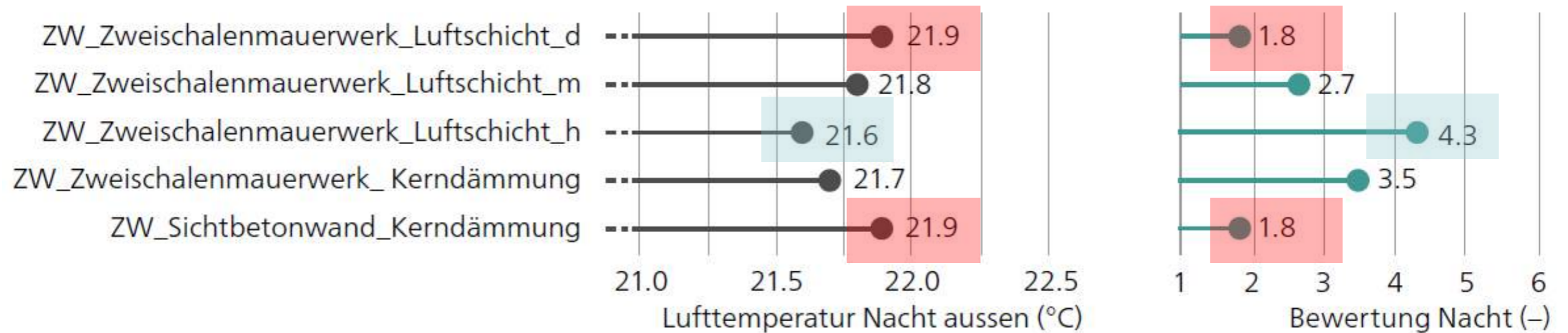
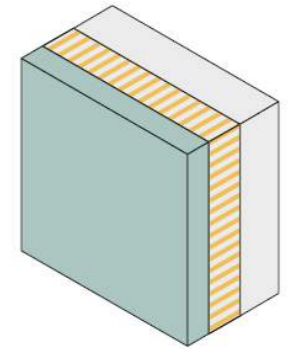


# Ablauf Simulation

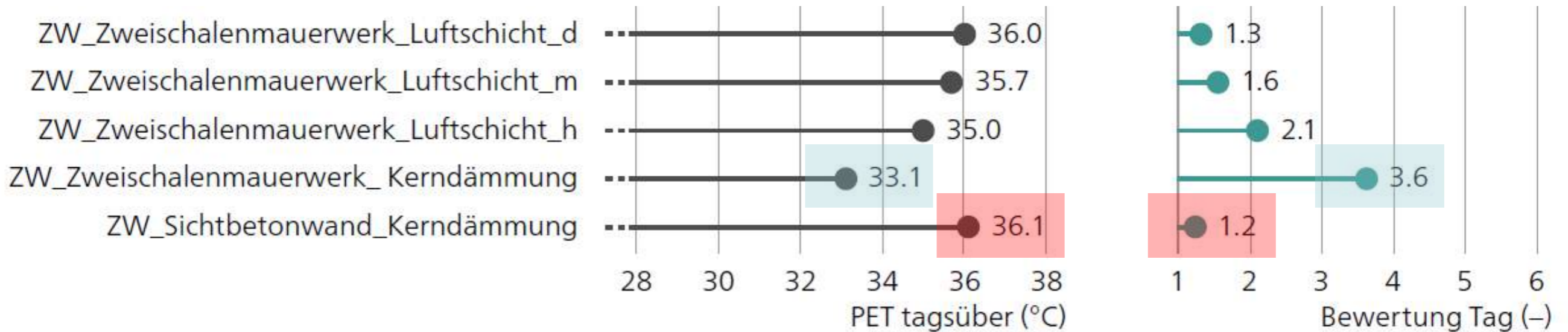
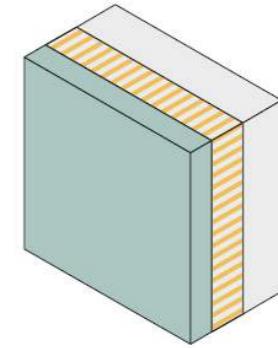




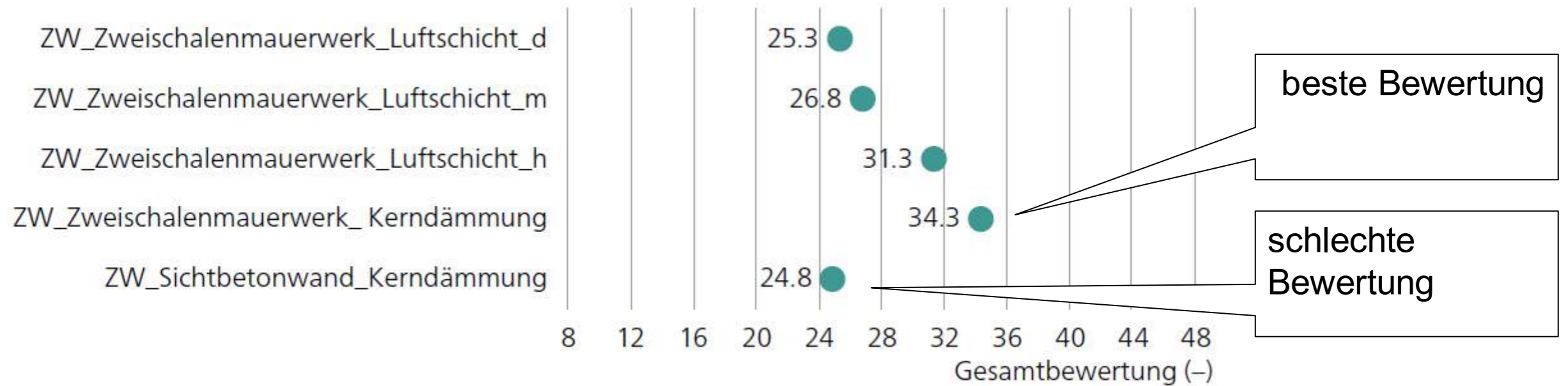
# Ergebnisse Nacht «Zweischalige Wandkonstruktionen» (ein Parameter)



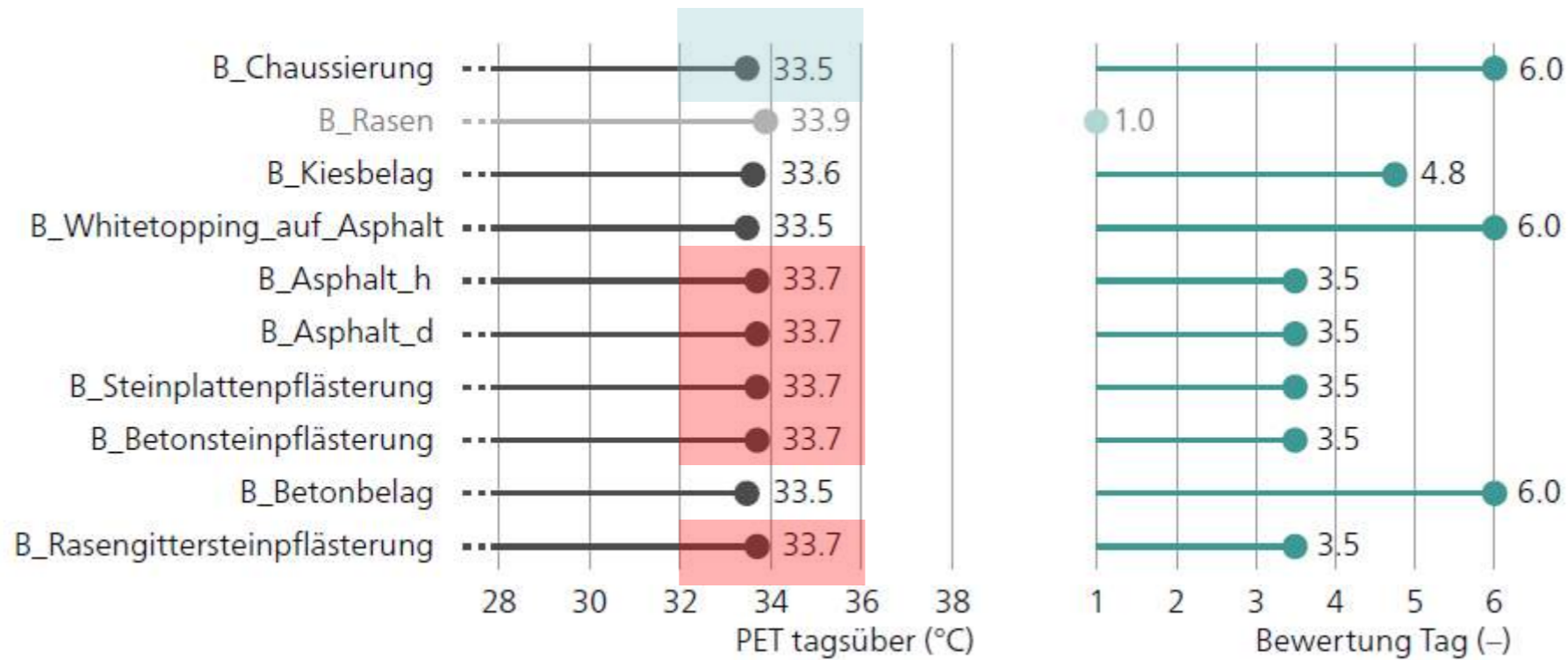
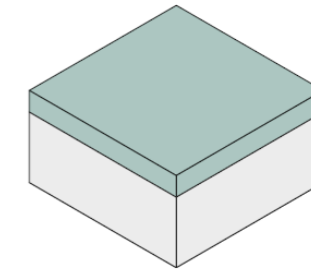
# Ergebnisse PET «Zweischalige Wandkonstruktionen» (ein Parameter)



# Gesamtbewertung «Zweischalige Wandkonstruktionen» (alle Parameter)



# Ergebnisse PET Boden (ein Parameter)



# Warum wird der Rasen schlecht bewertet?

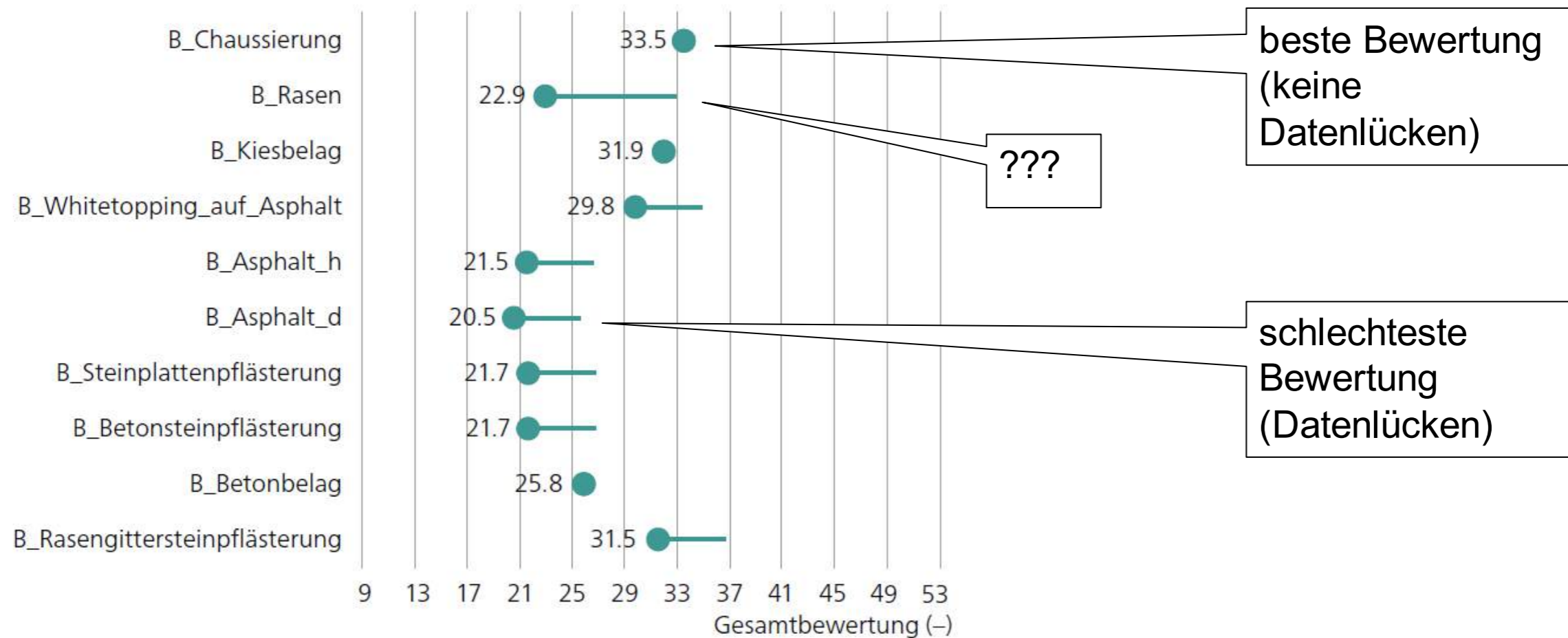
## Trockener Rasen

- Ausgewertete Periode liegt am Ende einer Hitzewelle
- Verdunstungseffekt ist nicht mehr vorhanden
- Hohe PET

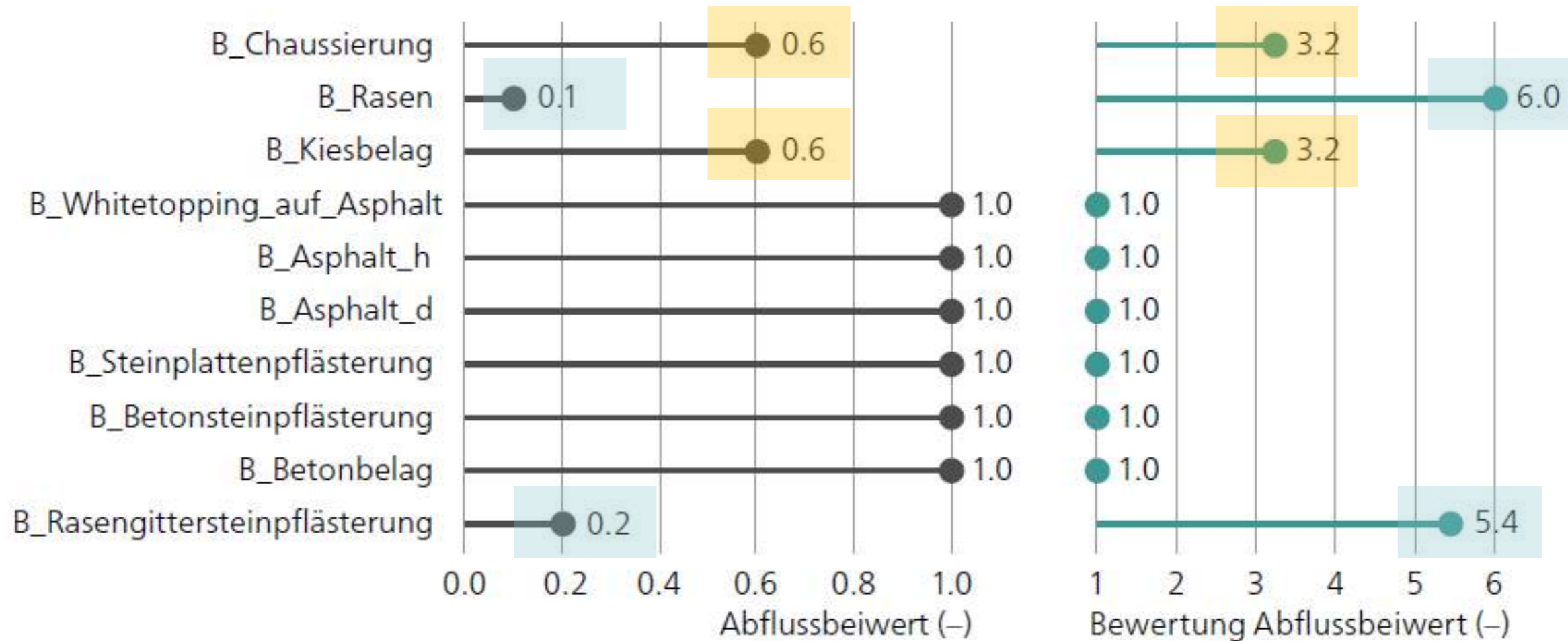
## Feuchter, beschatteter Rasen

- Rasenfläche im Vergleich zu versiegelten Platz  
PET 2.6 – 2.8 K tiefer (Tag) / Aussentemperatur: - 0.3 und + 0.3 K (Nacht)
- Rasenfläche im Vergleich zu Strassenschluchten  
PET 3.7 – 6.9 K tiefer (Tag) / Aussentemperatur: - 0.1 und - 1.1 K (Nacht)

# Gesamtbewertung Böden (alle Parameter)

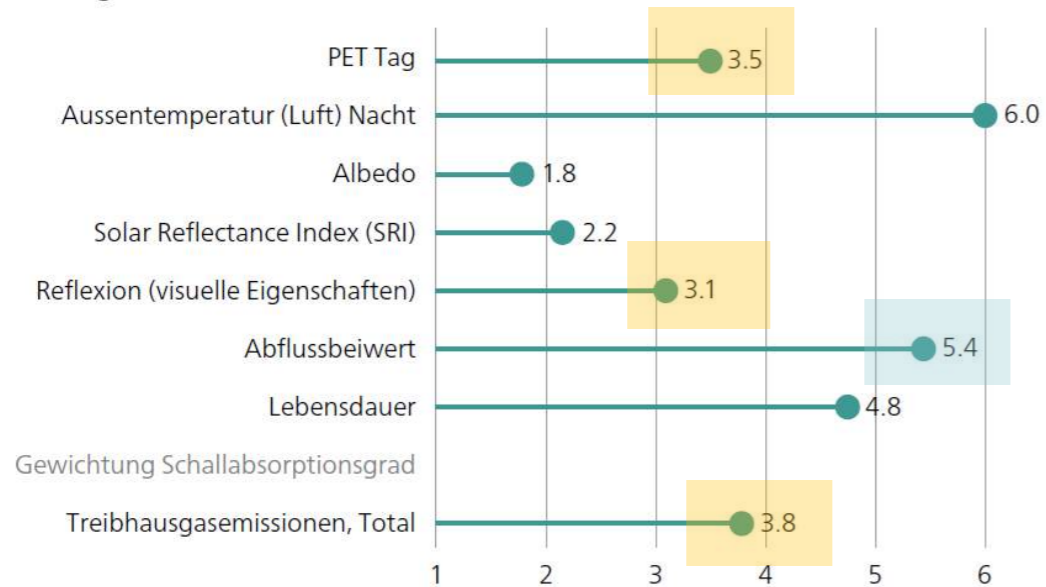


# Beispiel 1: Suche Böden für das Konzept «Schwammstadt»



# Auswahl Böden mit tiefem Abflussbeiwert...

**Bewertung**  
Rasengitterstein



**Ansicht**

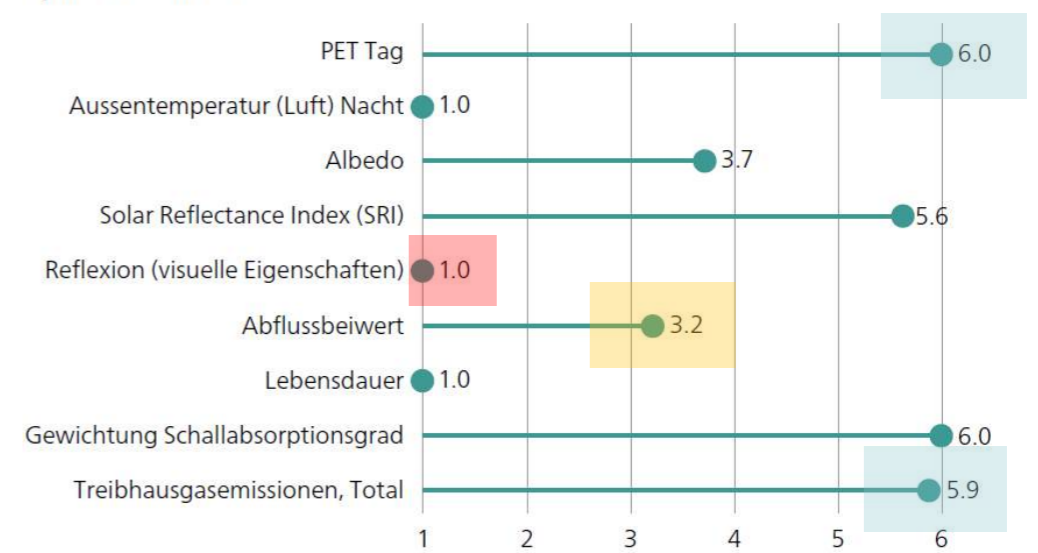


Quelle: [www.plantopedia.de](http://www.plantopedia.de)

**Aufbau**



**Bewertung**  
Splitt/Brechsand

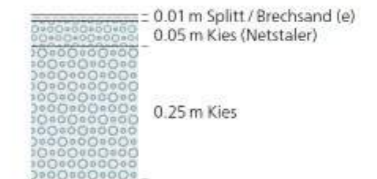


**Ansicht**



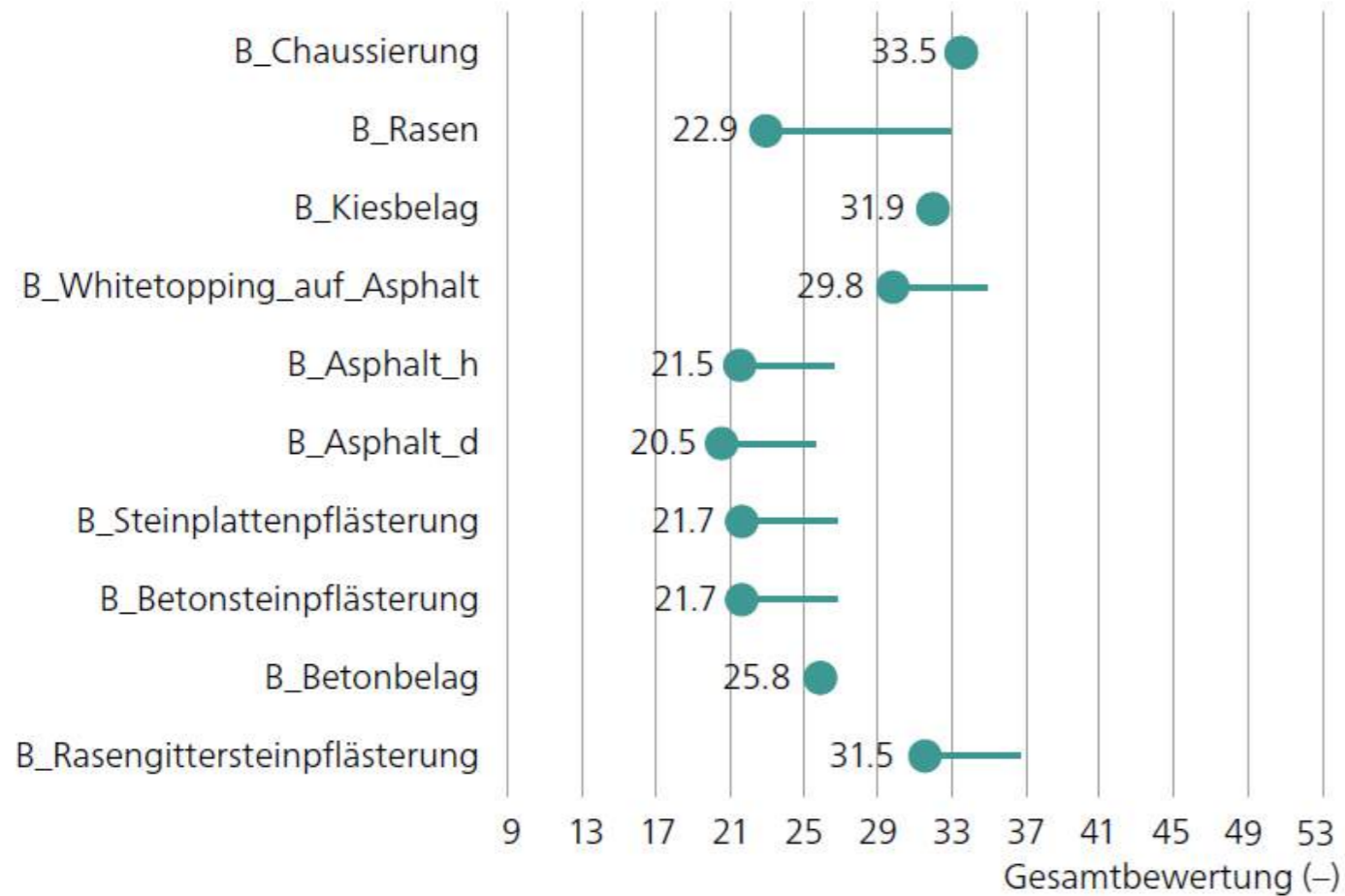
Quelle: <https://georgmuellerag.ch>

**Aufbau**





# Gesamtbewertung Böden (alle Parameter)



- Beste Werte Abflussbeiwert:
  - Rasen
  - Rasengittersteine
  - Chaussierung
  - Kies
- Beste Gesamtbewertung:
  - Chaussierung
  - Kies
  - Rasengittersteine
  - Rasen

# Beispiel 2: Suche bestes Wandmaterial städtisches Mikroklima

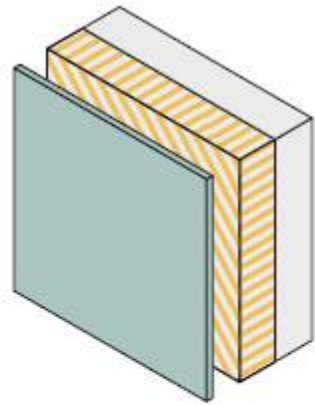
Materialdatensammlung sortiert nach PET tagsüber

	PET Tag	Aussentemperatur (Luft) Nacht	Albedo	Solar Reflectance Index (SRI)	Reflexion (visuelle Eigenschaften)	Lebensdauer	Bewertung Schallabsorptionsgrad	Treibhausgasemissionen, Total
Wandkonstruktionen		°C				Jahre		kg CO <sub>2</sub> -Äquiv. pro m <sup>2</sup> Erzeugnis
LB_Glasfassade_Sonnenschutz_d	21.6	0.08	0	0.10	25	n. vorhanden	57	
LB_Sandwichpaneel_d	21.8	0.08	0	0.10	n. vorhanden	2.4	53	
HF_Metallblechverkleidung_d	21.8	0.08	0	0.10	50	n. vorhanden	20	
HF_Photovoltaik	21.7	0.16	1	0.09	35	1.9	357	
HF_Faserzementverkleidung	21.9	0.63	63	0.30	50	3.2	17	
ZW_Zweischalenmauerwerk_Kerndämmung	33.1	21.7	0.55	64	0.13	50	1.9	61
LB_Glasfassade	33.6	21.4	0.31	n. vorhanden	0.15	30	1.9	110
Reflektierender_Anstrich_d	(33.6)	21.7	0.42	50	0.25	n. vorhanden	1.7	n. vorhanden
LB_Glasfassade_Sonnenschutz_h	33.8	21.6	0.68	81	0.80	25	n. vorhanden	57
HF_Faserzementverkleidung_d	(33.9)	22.0	0.26	35	0.25	50	3.2	17
HF_Steinverkleidung	34.1	21.8	0.28	23	0.23	50	1.7	n. vorhanden
HF_Holzverkleidung	34.2	21.7	0.35	38	0.30	30	5.1	1
HF_Faserzementverkleidung_m	34.2	21.9	0.45	53	0.50	50	3.2	17
HF_Metallblechverkleidung_h	34.4	21.7	0.68	81	0.80	50	n. vorhanden	20
HF_Faserzementverkleidung_h	34.4	21.8	0.75	86	0.70	50	3.2	17
LB_Sandwichpaneel_h	34.5	21.7	0.68	81	0.80	n. vorhanden	2.4	53
Reflektierender_Anstrich_m	34.6	21.7	0.69	83	0.50	n. vorhanden	1.7	n. vorhanden
VA_Kompaktfassade_EPS_h	34.8	21.7	0.75	86	0.70	30	1.0	29
ZW_Zweischalenmauerwerk_Luftschicht_h	35.0	21.6	0.75	86	0.70	45	1.7	35

Sortiert nach PET

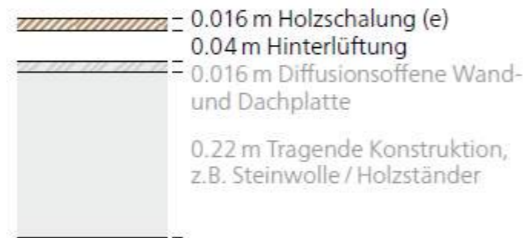
[...]

# ...Übersicht «Hinterlüftete Fassade»

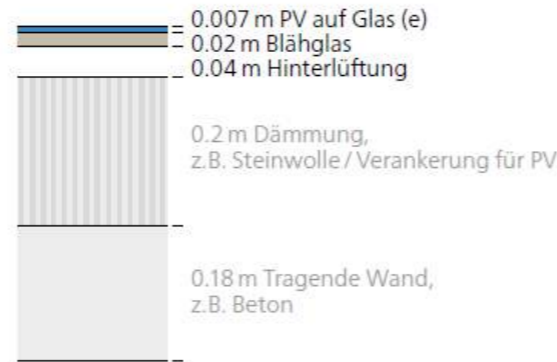


Hinterlüftete Fassade

**Holzverkleidung vor Holzständerwand mit Aussenwärmedämmung**  
→ HF\_Holzverkleidung



**PV (hinterlüftet, Dämmung Steinwolle)**  
→ HF\_Photovoltaik



**Kunststein / Natursteinverkleidung**  
→ HF\_Steinverkleidung



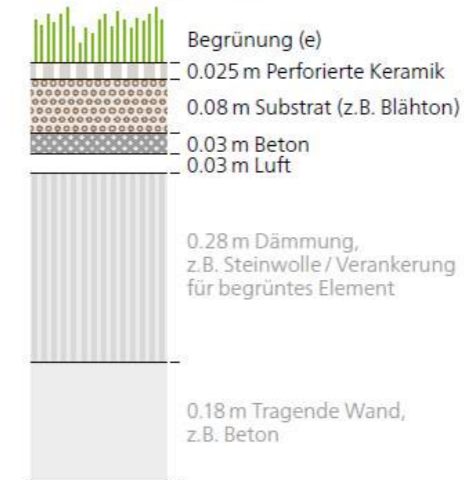
**Metallblechverkleidung**  
→ HF\_Metallblechverkleidung



**Faserzementverkleidung, Eternit**  
→ HF\_Faserzementverkleidung

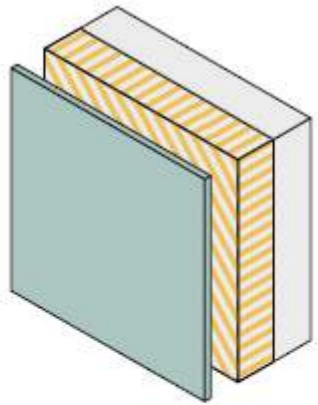


**Vorgehängtes Begrünungselement**  
→ HF\_Begrünungselement



Hellgrau: Schichten nicht relevant für städtisches Klima: keine Berücksichtigung bei Treibhausgas emissionen

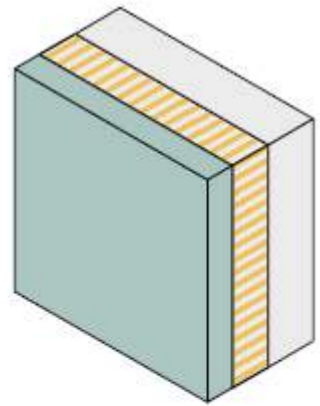
# ...Ergebnis «Hinterlüftete Fassade»



Hinterlüftete Fassade

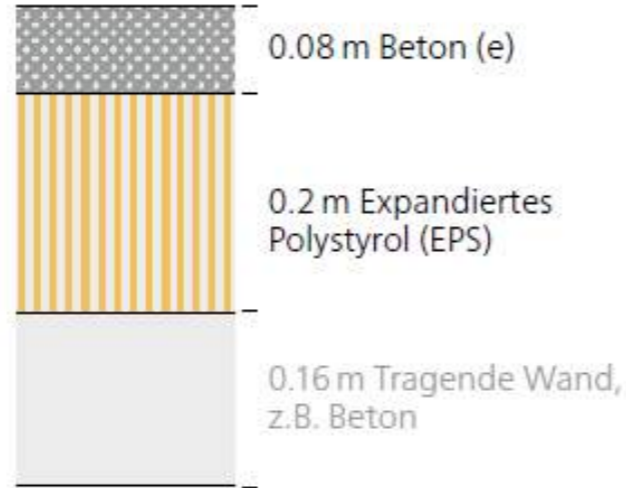
	PET Tag	Aussen-temperatur (Luft) Nacht	Treibhausgas-emissionen, Total	Gesamt-bewertung
	°C	°C	kg CO2_Äquiv. pro m2 Erzeugnis	-
Wandkonstruktionen				
HF_Metallblechverkleidung_d	(31.0)	(21.8)	20	28.6
HF_Photovoltaik	31.7	21.7	357	21.7
HF_Faserzementverkleidung	33.0	21.9	17	33.9
HF_Faserzementverkleidung_d	(33.9)	(22.0)	17	28.8
HF_Steinverkleidung	34.1	21.8	n. vorhanden	23.8
HF_Holzverkleidung	34.2	21.7	1	29.6
HF_Faserzementverkleidung_m	34.2	21.9	17	29.8
HF_Metallblechverkleidung_h	34.4	21.7	20	30.0
HF_Faserzementverkleidung_h	34.4	21.8	17	32.8
HF_Begrünungselement	(35.9)	(21.7)	n. vorhanden	22.2
HF_Metallblechverkleidung_b	n. vorhanden	n. vorhanden	16	22.4

# ...Übersicht «Zweischalige Wandkonstruktionen»

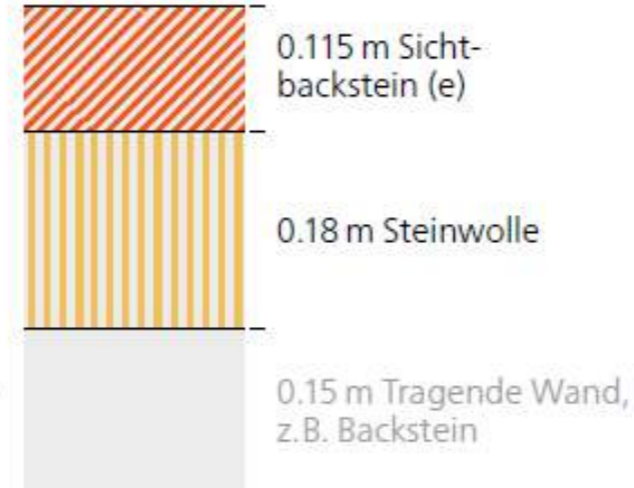


Zweischalige Wandkonstruktion

**Sichtbetonwand mit Kerndämmung**  
 → ZW\_Sichtbetonwand\_Kerndämmung



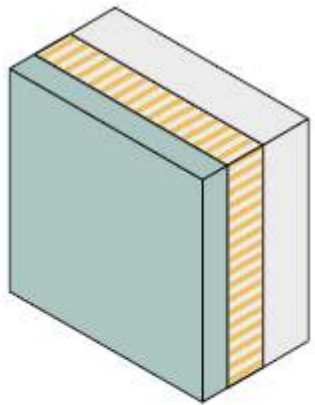
**Zweischalenmauerwerk mit Kerndämmung, Sichtbackstein aussen**  
 → ZW\_Zweischalenmauerwerk\_Kerndämmung



**Zweischalenmauerwerk verputzt**  
 → ZW\_Zweischalenmauerwerk\_Luftschicht



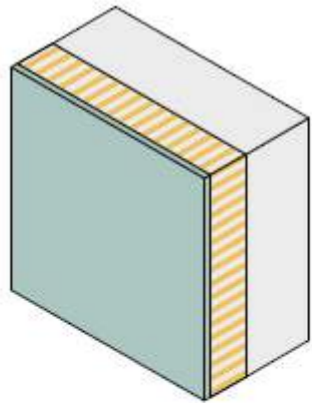
# ...Ergebnis «Zweischalige Wandkonstruktionen»



Zweischalige  
Wandkonstruktion

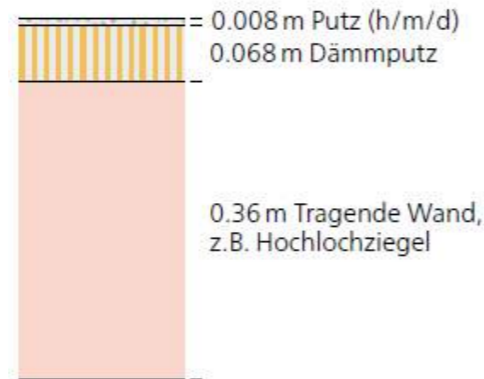
	PET Tag	Aussen- temperatur (Luft) Nacht	Treibhausgas- emissionen, Total	Gesamt- bewertung
	°C	°C	kg CO2_Äquiv. pro m2 Erzeugnis	-
Wandkonstruktionen				
ZW_Zweischalenmauerwerk_Kerndämmung	33.1	21.7	61	34.3
ZW_Zweischalenmauerwerk_Luftschicht_h	35.0	21.6	35	31.3
ZW_Zweischalenmauerwerk_Luftschicht_m	35.7	21.8	35	26.8
ZW_Zweischalenmauerwerk_Luftschicht_d	36.0	21.9	35	25.3
ZW_Sichtbetonwand_Kerndämmung	36.1	21.9	56	24.8

# ...Übersicht «Verputzte Aussendämmung»

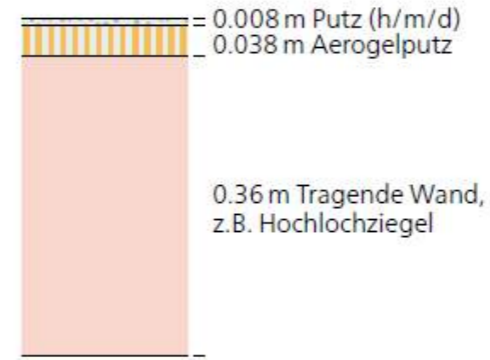


Verputzte  
Aussendämmung

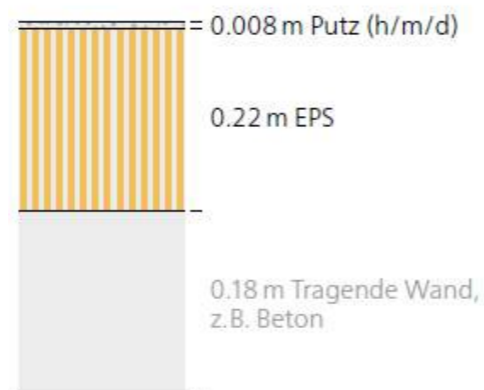
**Einschalenbacksteinmauerwerk  
mit 7 cm Dämmputz**  
→ VA\_Einschalenbacksteinmauerwerk\_Dämmputz



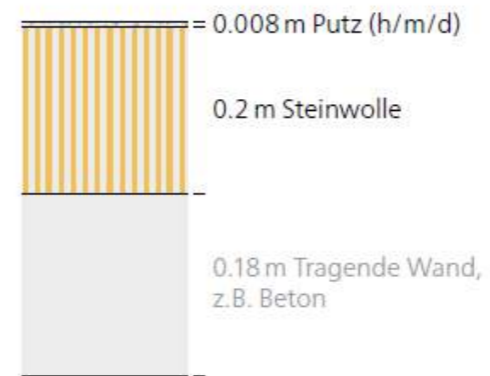
**Einschalenbacksteinmauerwerk  
mit 4 cm Aerogeldämmputz**  
→ VA\_Einschalenbacksteinmauerwerk\_Aerogeldämmputz



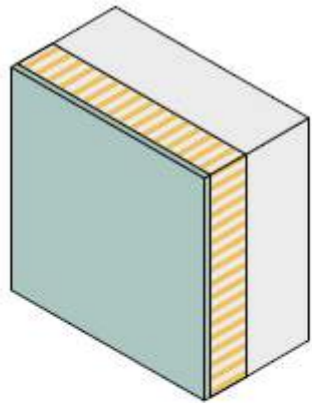
**Kompaktfassade (EPS)**  
→ VA\_Kompaktfassade\_EPS



**Kompaktfassade (Steinwolle)**  
→ VA\_Kompaktfassade\_Steinwolle



# ...Ergebnis «Verputzte Aussendämmung»



Verputzte  
Aussendämmung

	PET Tag	Aussen- temperatur (Luft) Nacht	Treibhausgas- emissionen, Total	Gesamt- bewertung
	°C	°C	kg CO2_Äquiv. pro m2 Erzeugnis	-
Wandkonstruktionen				
VA_Kompaktfassade_EPS_h	34.8	21.7	29	27.0
VA_Kompaktfassade_EPS_m	35.0	21.8	29	23.7
VA_Kompaktfassade_EPS_d	35.0	21.9	29	22.4
VA_Kompaktfassade_Steinwolle_h	35.0	21.6	27	28.0
VA_Einschalenbacksteinmauerwerk_Dämmputz_h	35.2	21.5	n. vorhanden	23.5
VA_Einschalenbacksteinmauerwerk_Aerogeldämmputz_h	35.3	21.5	n. vorhanden	23.4
VA_Kompaktfassade_Steinwolle_m	35.7	21.7	27	24.3
VA_Einschalenbacksteinmauerwerk_Dämmputz_m	35.9	21.7	n. vorhanden	18.9
VA_Kompaktfassade_Steinwolle_d	35.9	21.8	27	22.9
VA_Einschalenbacksteinmauerwerk_Dämmputz_d	36.1	21.8	n. vorhanden	17.5
VA_Einschalenbacksteinmauerwerk_Aerogeldämmputz_m	36.1	21.6	n. vorhanden	19.6
VA_Einschalenbacksteinmauerwerk_Aerogeldämmputz_d	36.4	21.7	n. vorhanden	18.1



## Baumaterialien für Städte im Klimawandel

Materialkatalog  
mit Empfehlungen

Caroline Hoffmann, Achim Geissler



Download:  
<https://www.bwo.admin.ch/bwo/de/home/wie-wir-wohnen/umwelt/publikationen-bwo/baumaterialien.html>

Ausblick:

Derzeit läuft ein vom BFE und vom BWO finanziertes Projekt zur Erweiterung

- Dachmaterialien
- Dachbegrünungen
- Grünflächen  
trocken / bewässert,  
mit / ohne Beschattung

# Dank

Ein Projekt im Rahmen des Pilotprogramms Anpassung an den Klimawandel, unterstützt durch das Bundesamt für Wohnungswesen BWO und das Amt für Umwelt und Energie des Kantons Basel-Stadt



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Projektpartner:  
wohnen&mehr, Basel

Projektteam:  
Dr.-Ing. Caroline Hoffmann, Prof. Dr. Achim Geissler (FHNW)  
Miriam Mutti und Andreas Wicki (damals Atmospheric Sciences,  
Meteorology, Climatology and Remote Sensing (mcr), Universität Basel)  
Christian Feigenwinter (mcr), Universität Basel  
Franziska Schwager, AUE Basel Stadt