

GreenPV – Potential Gebäudehülle

Lösungsansätze zur optimalen Fassadengestaltung mit PV
und Begrünung im Hinblick auf den Klimawandel

EnergieTreff SG
21. Juni 2023

Hochschule Luzern
Technik & Architektur
Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE
Sina Büttner
Wissenschaftliche Mitarbeiterin

T direkt: +41 41 349 37 89
sina.buettner@hslu.ch

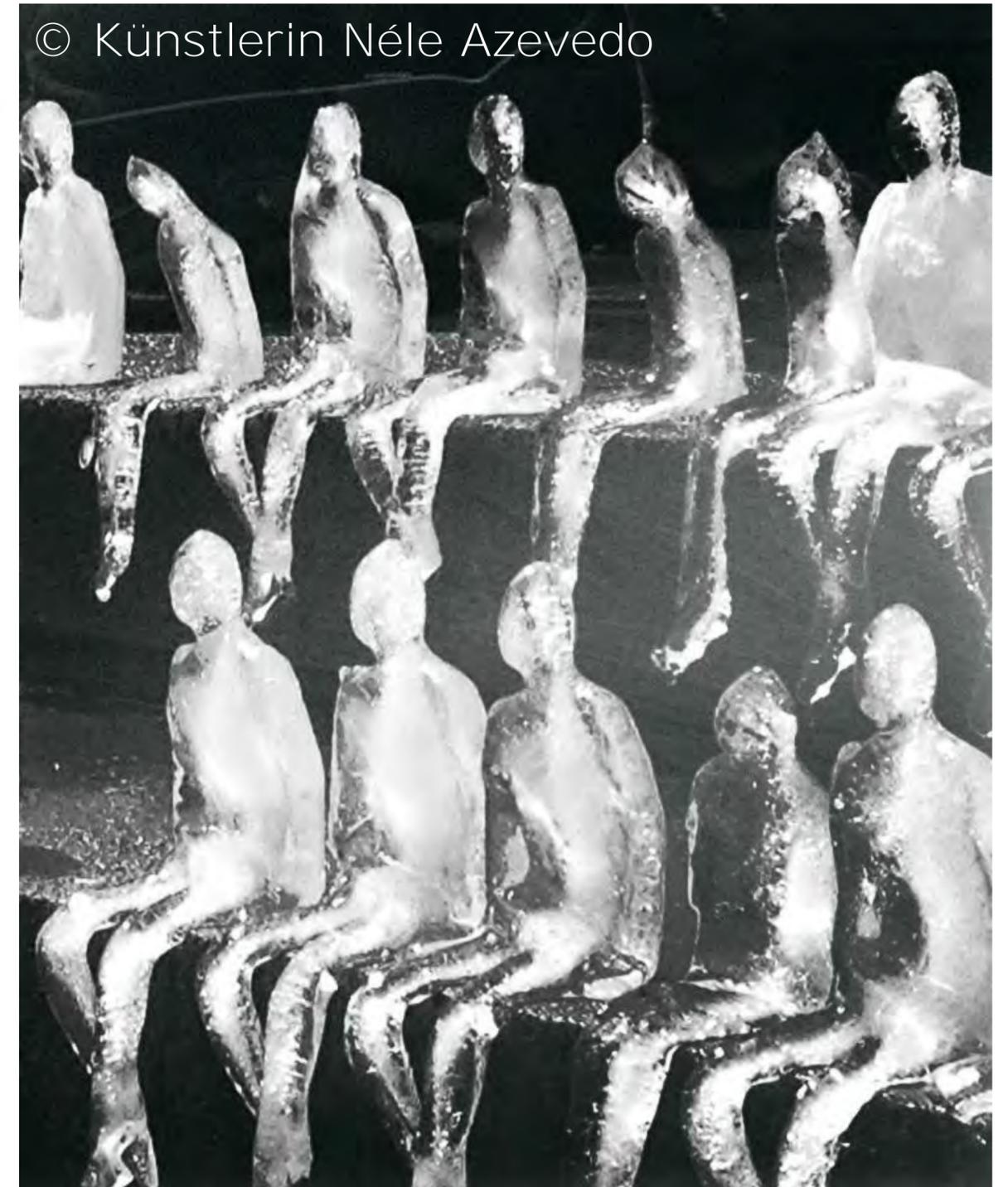
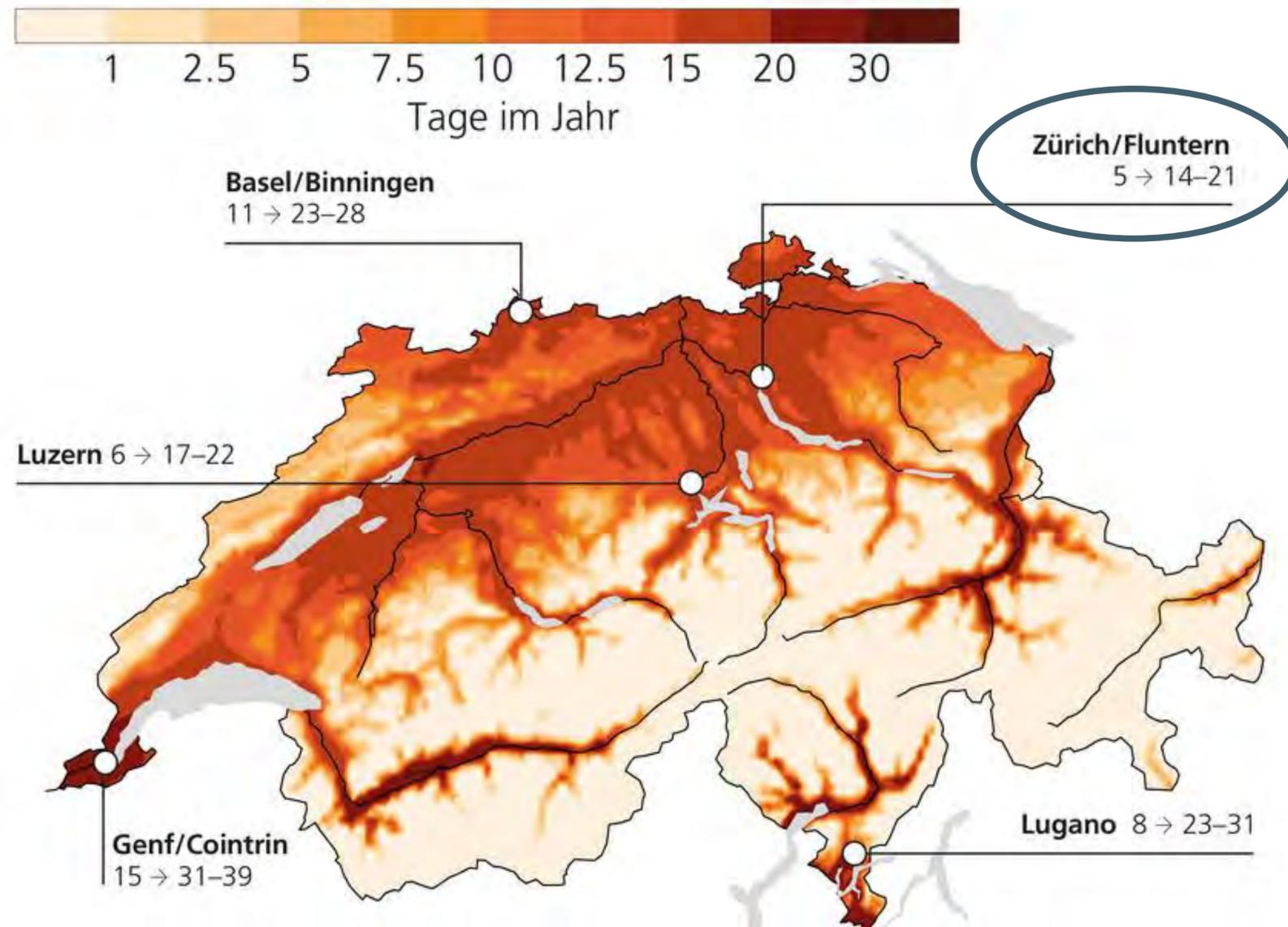
FH Zentralschweiz



Ausgangslage - Das Klima der Zukunft, Folgen und Zusammenhänge

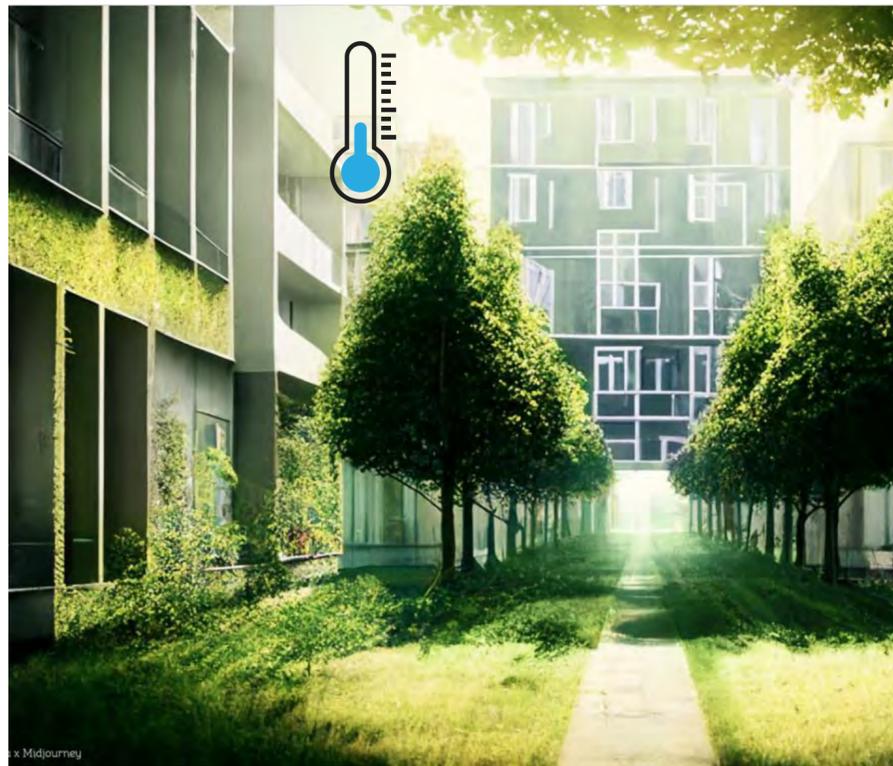
Änderung Anzahl Hitzetage

Ohne Klimaschutz erwartete Änderungen der Anzahl Tage mit Temperaturen über 30 Grad Celsius um 2060 gegenüber 1981-2010 (30-jährige Mittel). Werte zeigen die Norm 1981–2010 und den möglichen Bereich um 2060.



Fokus der Studie - Lösungsansätze zur optimalen Fassadengestaltung mit PV und Begrünung im Hinblick auf den Klimawandel

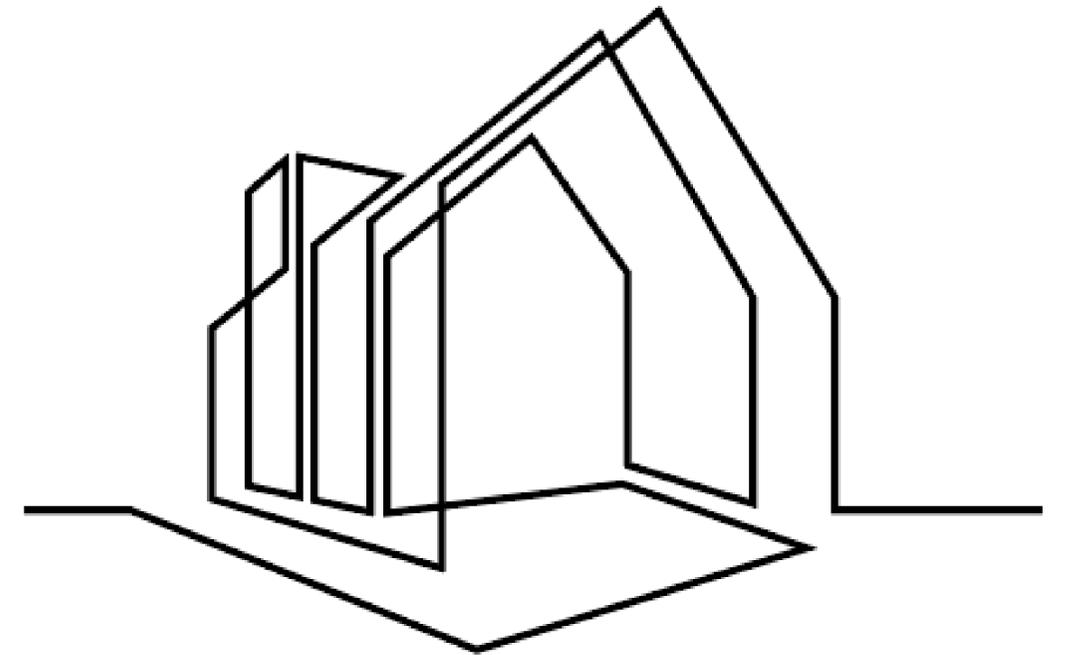
Beide Systeme bieten **Vorteile....**



Begrünungen können dazu beitragen, die Aussenluft abzukühlen (Verdunstungskühlung, Hitzeminderung)



Stromproduktion über PV wird **in Zukunft immer wichtiger...**



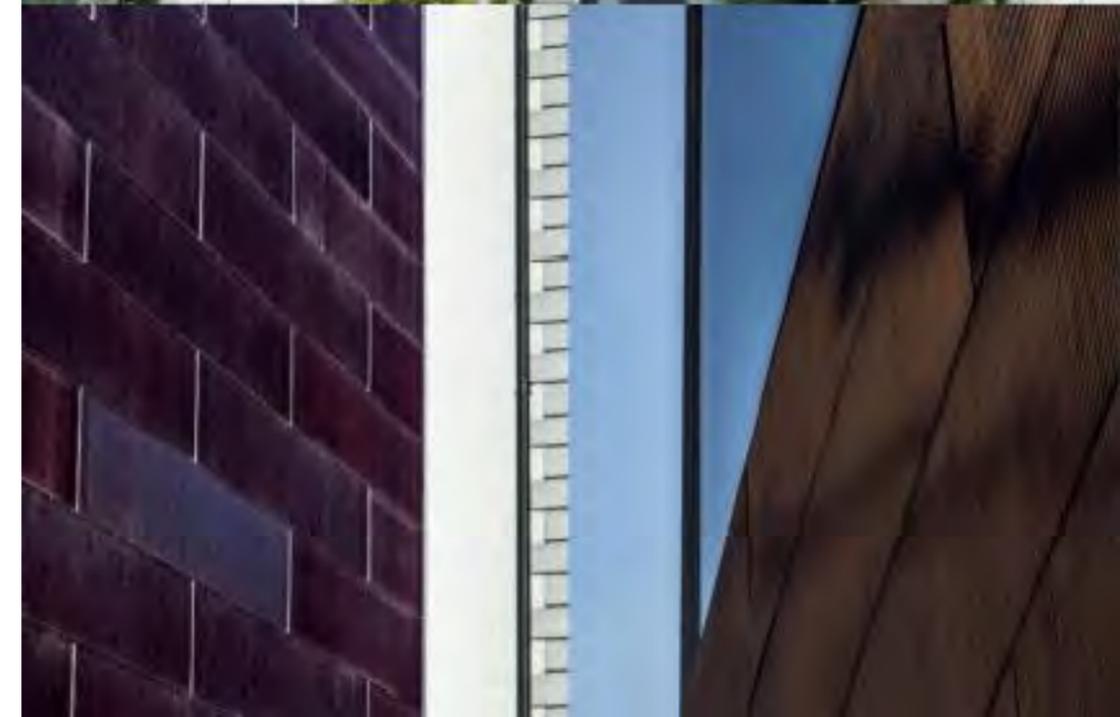
...jedoch gibt es bisher noch keine breite Anwendung von PV und Begrünung an der Fassade.

Ziele des Projekts

- *Hemmnissen / Akzeptanz* des Einsatzes von Begrünung und PV nachgehen.
- Hinweise auf den Einfluss von verschiedenen Fassadensystemen auf den *Wärmeinseleffekt* geben
- Minderung des Wärmeinseleffekts durch Begrünung dem *Potential der Energieerzeugung* gegenüberstellen und Synergien aufzeigen

Forschungsfragen

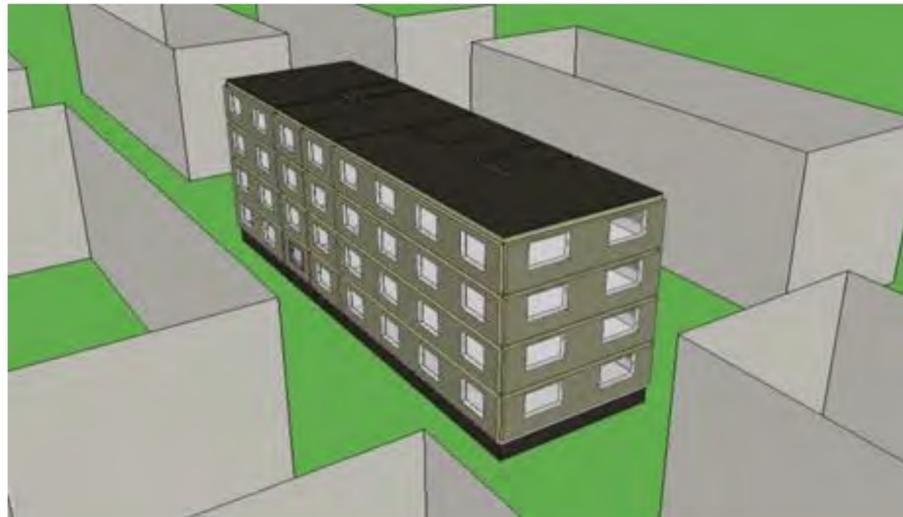
- Welches sind die *entscheidenden Faktoren* bei der gesamtheitlichen Optimierung der Gebäudefassade im Hinblick auf dem Klimawandel?
- Wie kann eine *optimale Fassadengestaltung* mit PV, begrünten, opaken und transparenten Flächen unter Berücksichtigung verschiedener qualitativer und quantitativer Faktoren erfolgen?
- Wie lässt sich der ermittelte Ansatz in das Gebäude integrieren und wie kann dessen *Anwendung im Gebäudepark gefördert* werden?



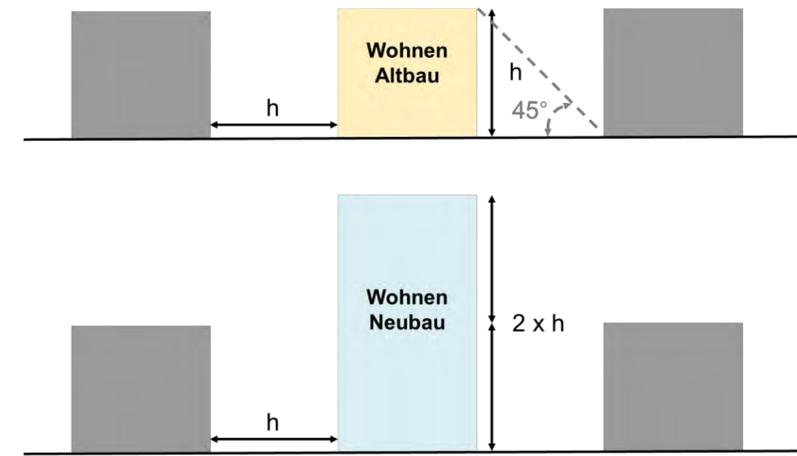
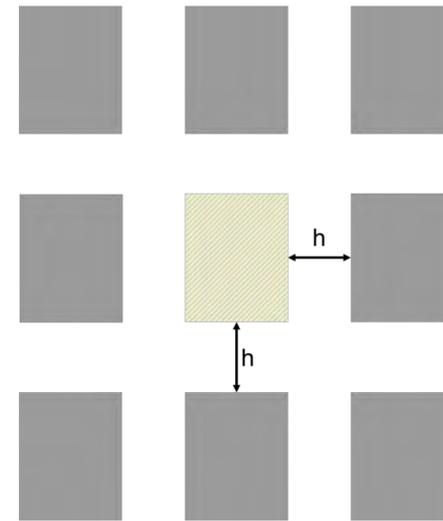
Referenzgebäude und Fassadensysteme

Wohnen „sanierter Altbau“

4-geschossig

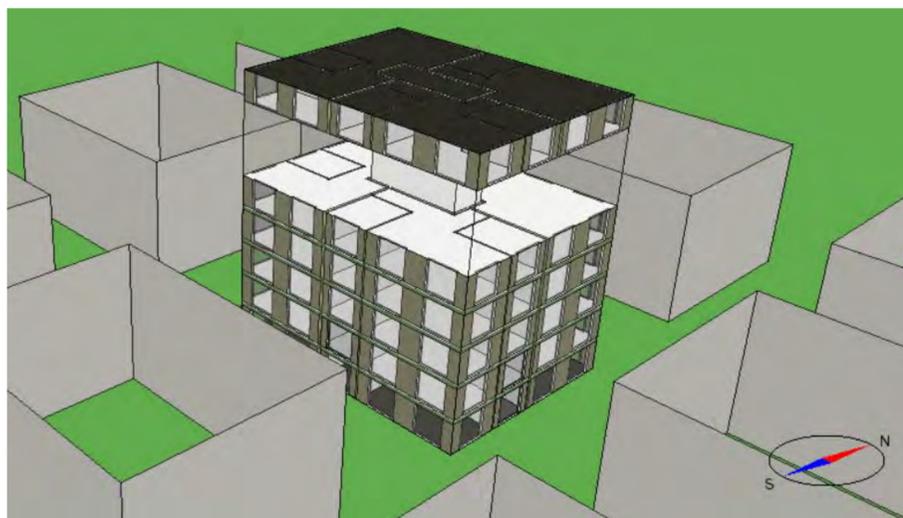


Städtischer Kontext



Wohnen „Neubau“

8-geschossig



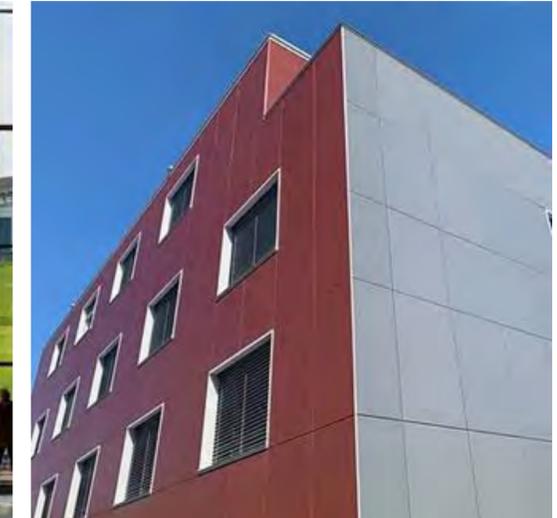
Fassadenbegrünung

bodengebundene & wandgebundene



PV-Fassade

transparentes & opakes Modul



Bewertungskriterien - Was wurde im Rahmen der Analyse betrachtet?

Qualitative Aspekte

- Lärm in Städten
- Luftqualität
- Biodiversität
- Regenwasserrückhalt
- Attraktivität der Aussenräume

→ Literaturrecherche

Quantitative Aspekte

- Thermisches Wohlbefinden
- Betriebsphase: Wärme- und Kältebedarf, Strom (allg. Verbrauch)
- Stromerzeugung (Menge, saisonale Betrachtung, etc.)
- Mikroklima: Temperatur am Gebäude
- Ökobilanz der Systeme (LCA)
- Kostenbetrachtung der Systeme (LCC)

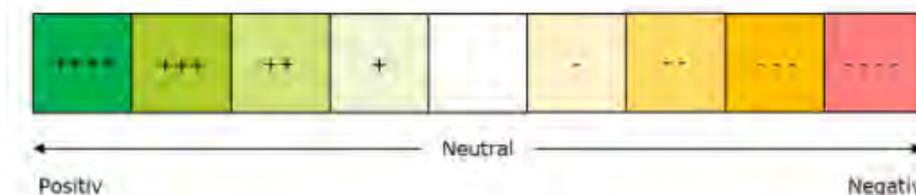
→ Simulationen, Berechnungen & Messungen

Qualitative Aspekte - Vorgehensweise, Darstellung und Erkenntnisse

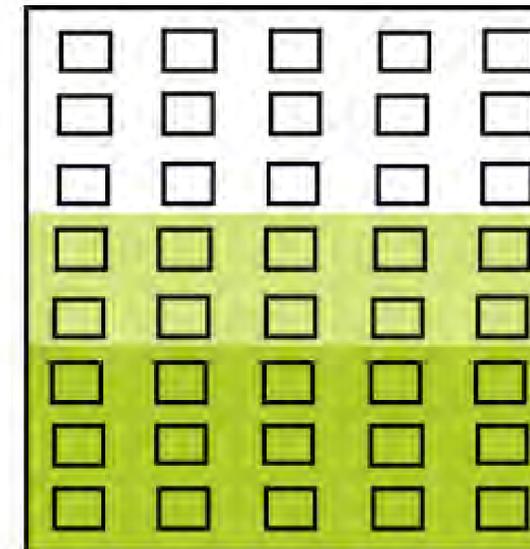
1. Literaturrecherche zu den wichtigsten Grundlagen hinsichtlich

- Lärm in Städten
- Luftqualität
- Biodiversität
- Regenwasserrückhalt
- Attraktivität der Aussenräume

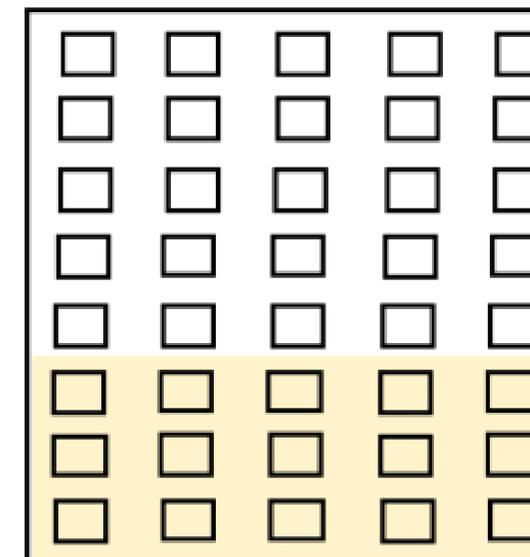
2. Anschliessend Bewertung des Potentials der verschiedenen Fassadensysteme anhand eines 8-geschossigen Referenzgebäudes (Referenz: Faserzementplatte)



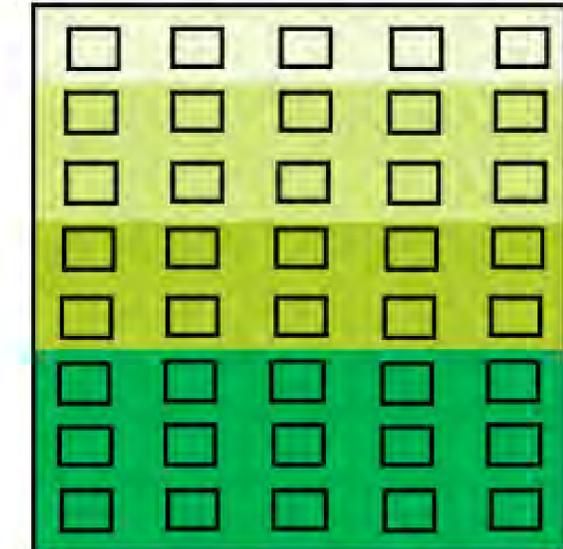
bodengebundene Begrünung
(sommergrün,
Wuchshöhe max. 15 m)



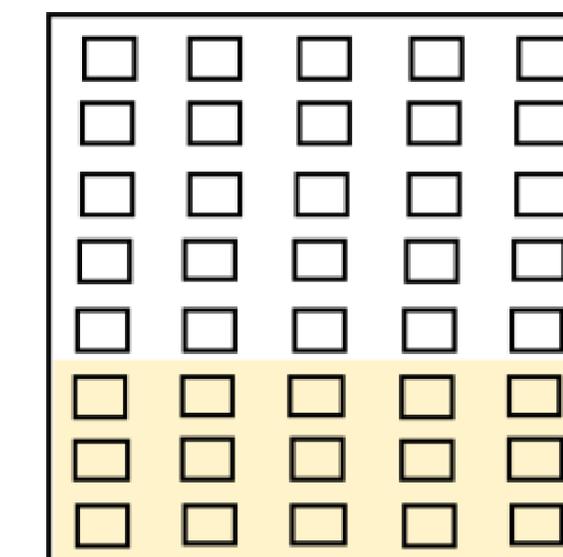
opake PV-Module



wandgebundene Begrünung
(immergrün)



transparente PV-Module





LÄRM IN STÄDTEN

Fokus der Studie

Gebäudefassaden können einen Einfluss auf die Schallausbreitung im Aussenraum haben. In dieser Studie wird der Einfluss der verschiedenen Fassadensysteme in einer engen Strassenschlucht untersucht.

Situation in der Schweiz

Laut dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) sind in der Schweiz ca. 1'000'000 Menschen von lästigem und schädlichem Lärm betroffen, 90 % davon leben in Städten oder Agglomerationen. Hauptursache ist insbesondere Strassenlärm.

Schallabsorption verschiedener Oberflächen

Oberflächen können die eintreffenden Schallwellen absorbieren bzw. dämpfen und/oder reflektieren. Sie leisten somit einen entscheidenden Beitrag zur Schallausbreitung im Aussenraum. Im Allgemeinen kann unterschieden werden zwischen akustisch harten, glatten und akustisch weichen, unebenen/porösen Oberflächen.

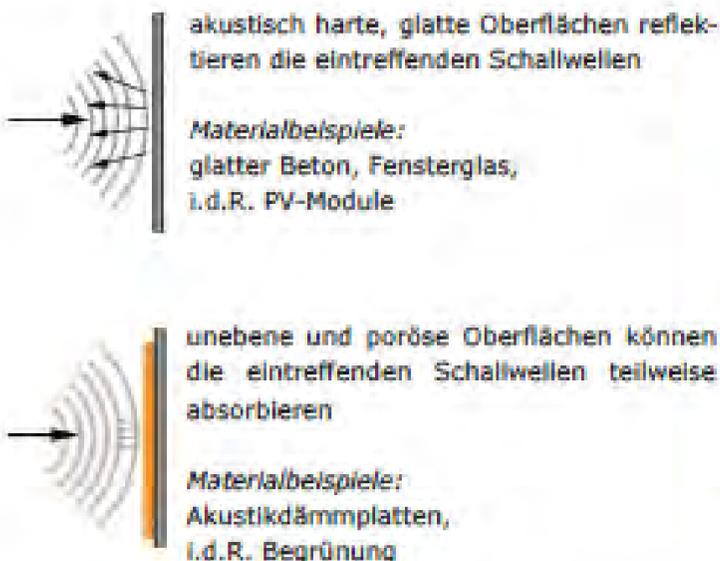


Abb. 1 Wirkungsweise von Schallreflexion und Schallabsorption im Vergleich, inkl. Materialbeispiele

Typische Emissionsquellen und deren Schallpegel^{1,2}

Uhr ticken	20 dB (kaum hörbar)
Gespräch	50 dB (eher leise)
Büro	60 dB (mässig laut)
Strassenverkehr	80 dB (sehr laut)
Bauarbeiten	100 dB (sehr laut bis unerträglich)
Flugverkehr	120 dB (unerträglich)

Schallausbreitung in Strässenräumen

Das Potential zur Schallabsorption ist abhängig von der Nähe zur Emissionsquelle. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Schallausbreitung am Beispiel einer Strasse in einer Häuserschlucht.

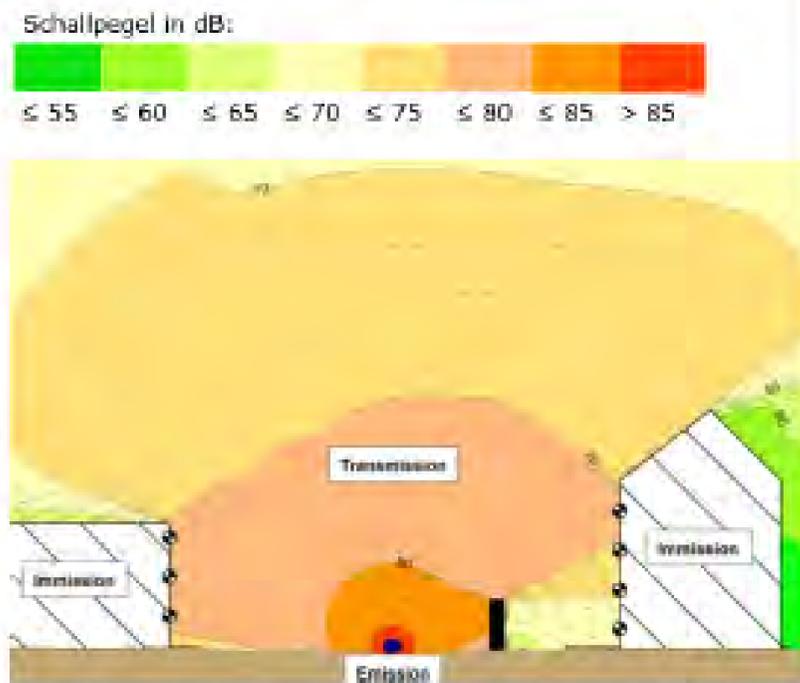
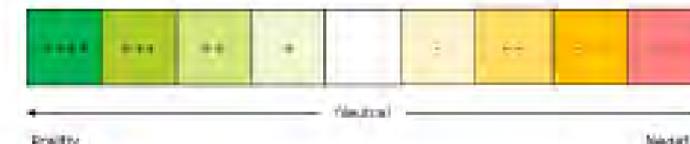


Abb. 2 Schallausbreitung am Beispiel einer Strasse in einer Häuserchlucht (Pegelklassen in 5 dB-Stufen), © Berliner Leitfadens - Lärmschutz in der verbindlichen Bauleitplanung 2017

Bewertung der Fassadensysteme

Die nachfolgende Grafik zeigt den Einfluss der verschiedenen Fassadensysteme auf den Aspekt «Lärm in Städten», dargestellt am Beispiel einer engen Strassenschlucht.



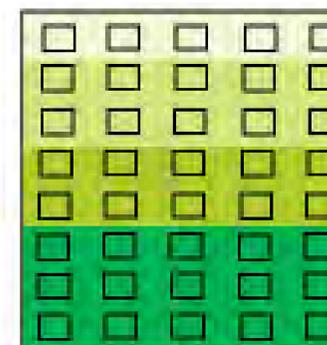
bodengebundene Begrünung

(sommergrün,
Wuchshöhe max. 15 m)

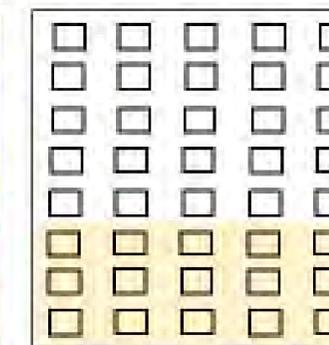


wandgebundene Begrünung

(immergrün)



opake PV-Module



transparente PV-Module

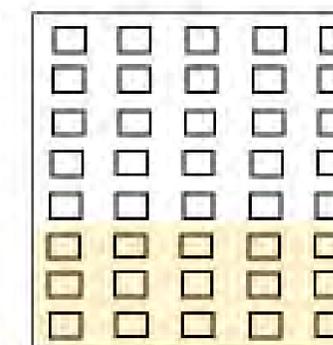


Abb. 3 Einfluss von begrünten und PV-Fassaden auf den Aspekt Lärm in Städten.

Zusammenfassung

- Fassadenbegrünungen können einen positiven Beitrag zur Reduktion von Lärm in Städten leisten.
- PV-Module haben eine akustisch harte, glatte Oberfläche, weshalb Schallwellen zu einem grossen Teil reflektiert werden.
- Die Nähe zur Emissionsquelle ist entscheidend: Die positive Wirkung von Begrünungen ist grösser unmittelbar an der Emissionsquelle (i.d.R. in den unteren Geschossen), während der negative Reflektionseffekt von PV-Modulen kleiner ist in höherer Entfernung vom Lärm (i.d.R. in den oberen Geschossen).
- Pflanzenarten, welche für bodengebundene Systeme eingesetzt werden, sind i.d.R. sommergrün, weshalb der positive Effekt in den Wintermonaten geringer ist.
- Werden für Fassadenbegrünung immergrüne Pflanzenarten gewählt (i.d.R. bei wandgebundenen Systemen), so besteht der positive Effekt ganzjährig.

Qualitative Aspekte - Vorgehensweise, Darstellung und Erkenntnisse

Qualitative Aspekte <i>Bewertung im Vergleich zur Referenzfassade (Faserzementplatte hinterlüftet)</i>	Fassadenbegrünung		PV-Fassade	
	bodengebunden <i>(sommergrün, Wuchshöhe ca. 15 m)</i>	wandgebunden <i>(immergrün, modulares System)</i>	opak	transparent
Lärm in Städten - Potenzial in einer engen Strassenschlucht mit starkem Strassenverkehr (~ 80 dB, sehr laut)				
EG	+++	++++	-	-
1.OG	+++	++++	-	-
2.OG	+++	++++	-	-
3.OG	++	+++	neutral	neutral
4.OG	++	+++	neutral	neutral
≥ 5.OG	neutral	++	neutral	neutral
Luftqualität - Potenzial in einer engen Strassenschlucht mit starkem Strassenverkehr				
EG	+++	++++	neutral	neutral
1.OG	++	+++	neutral	neutral
2.OG	+	+	neutral	neutral
3.OG	+	+	neutral	neutral
4.OG	neutral	neutral	neutral	neutral
≥ 5.OG	neutral	neutral	neutral	neutral
Biodiversität - Potenzial zur Förderung von neuen Lebensräumen und der Artenvielfalt, Gefahr durch Spiegelungen etc.				
EG	+++	++++	-	-
1.OG	+++	++++	-	-
2.OG	+++	++++	-	-
3.OG	+++	++++	-	-
4.OG	+++	++++	-	-
≥ 5.OG	neutral	++++	-	-

- Bei den betrachteten qualitativen Aspekten können insbesondere Begrünungen einen positiven Beitrag leisten
- Der Einfluss der Systeme auf die untersuchten Aspekte ist weniger von der Orientierung, sondern insbesondere von dem umgebenden Kontext sowie der Geschossigkeit (Nähe zum Menschen oder zu Emissionsquellen, etc.) abhängig.

Quantitative Aspekte - Vorgehensweise, Darstellung und Erkenntnisse

1. Simulationen

- Thermisches Wohlbefinden
- Betriebsphase: Wärme- und Kältebedarf, Strom (allg. Verbrauch)
- Stromerzeugung (Menge, saisonale Betrachtung, etc.)

2. Berechnungen

- Ökobilanz der Systeme (LCA)
- Kostenbetrachtung der Systeme (LCC)

3. Messungen

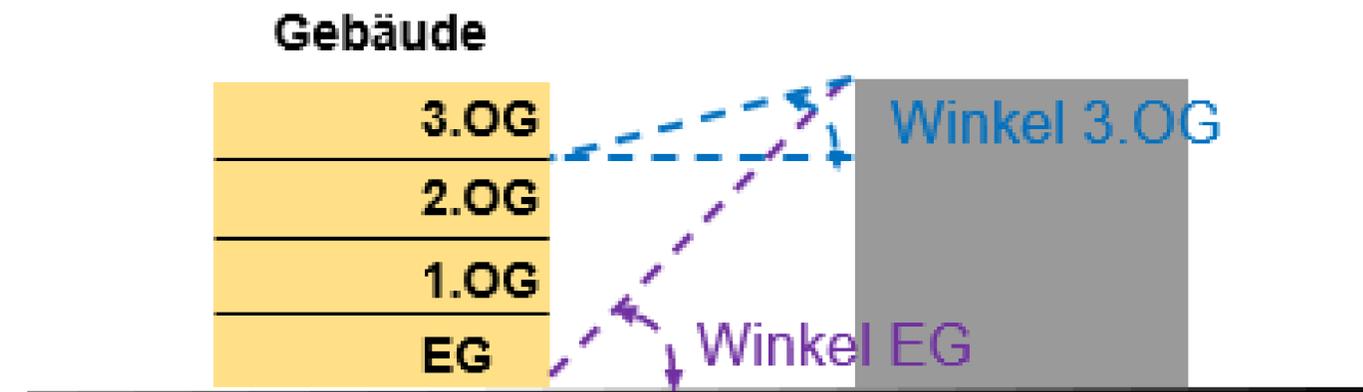
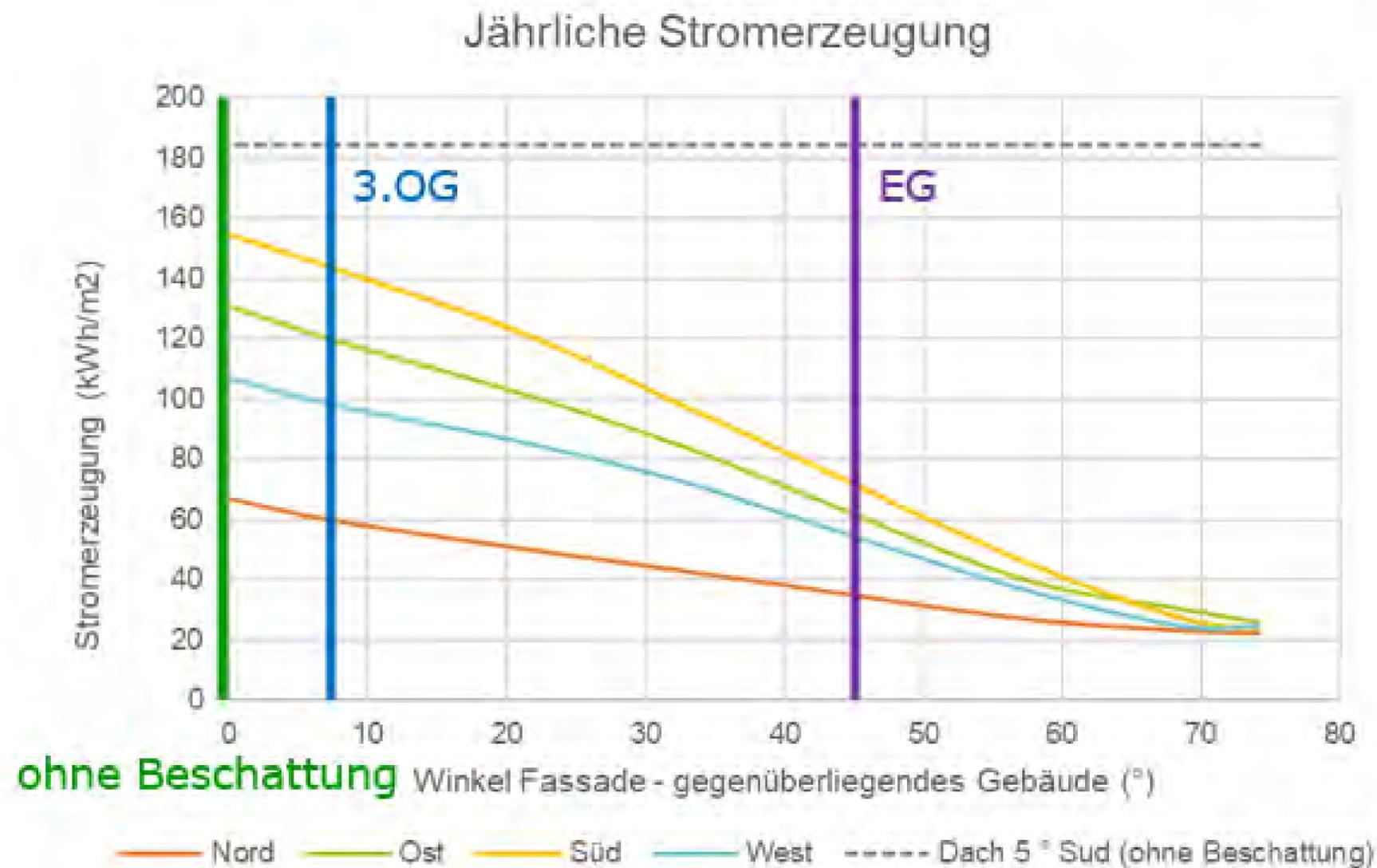
„Mikroklima: Temperatur am Gebäude

Messinfrastruktur der HSLU am Campus in Horw



Quantitative Aspekte – Simulationsergebnisse, Stromerzeugungspotential PV

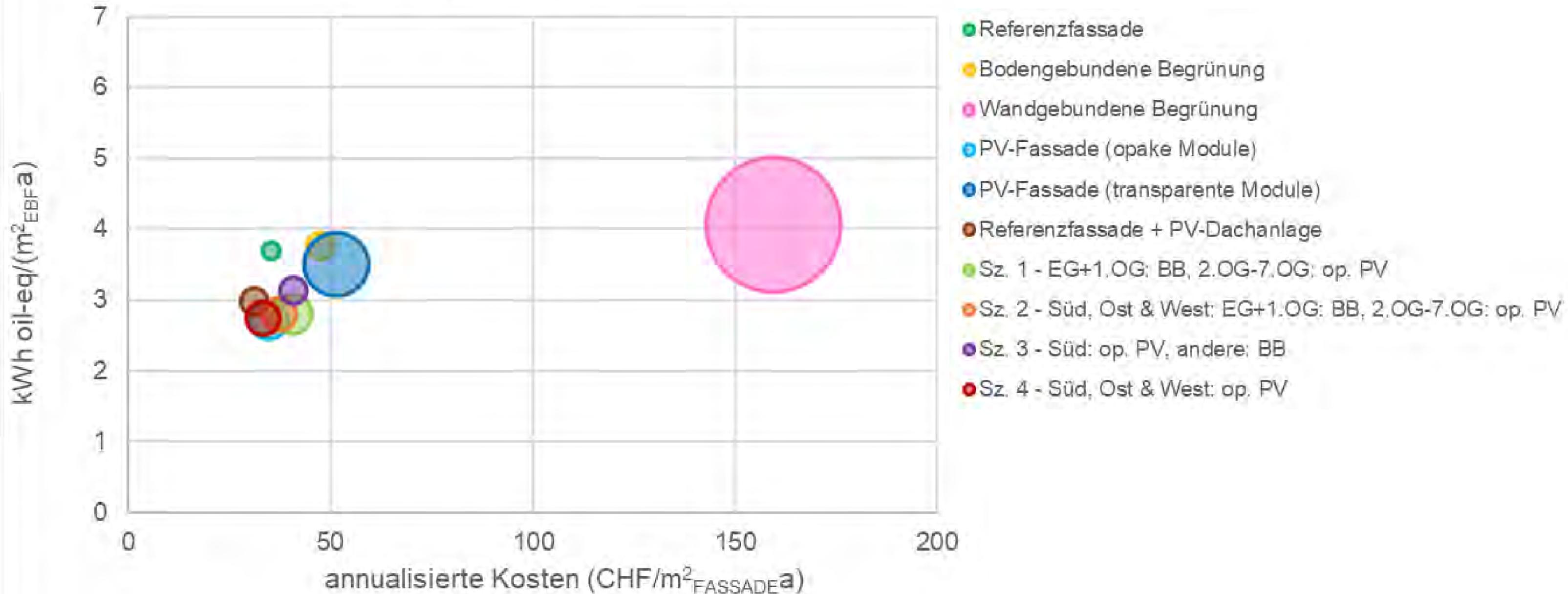
PV – Stromerzeugung (opakes Modul, Wirkungsgrad 20%)



→ Die Effizienz der PV-Module ist stark anhängig von der Orientierung und Verschattung durch Gebäude, Topografie, etc.

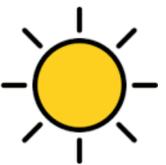
Quantitative Aspekte – Erkenntnisse aus den Berechnungen

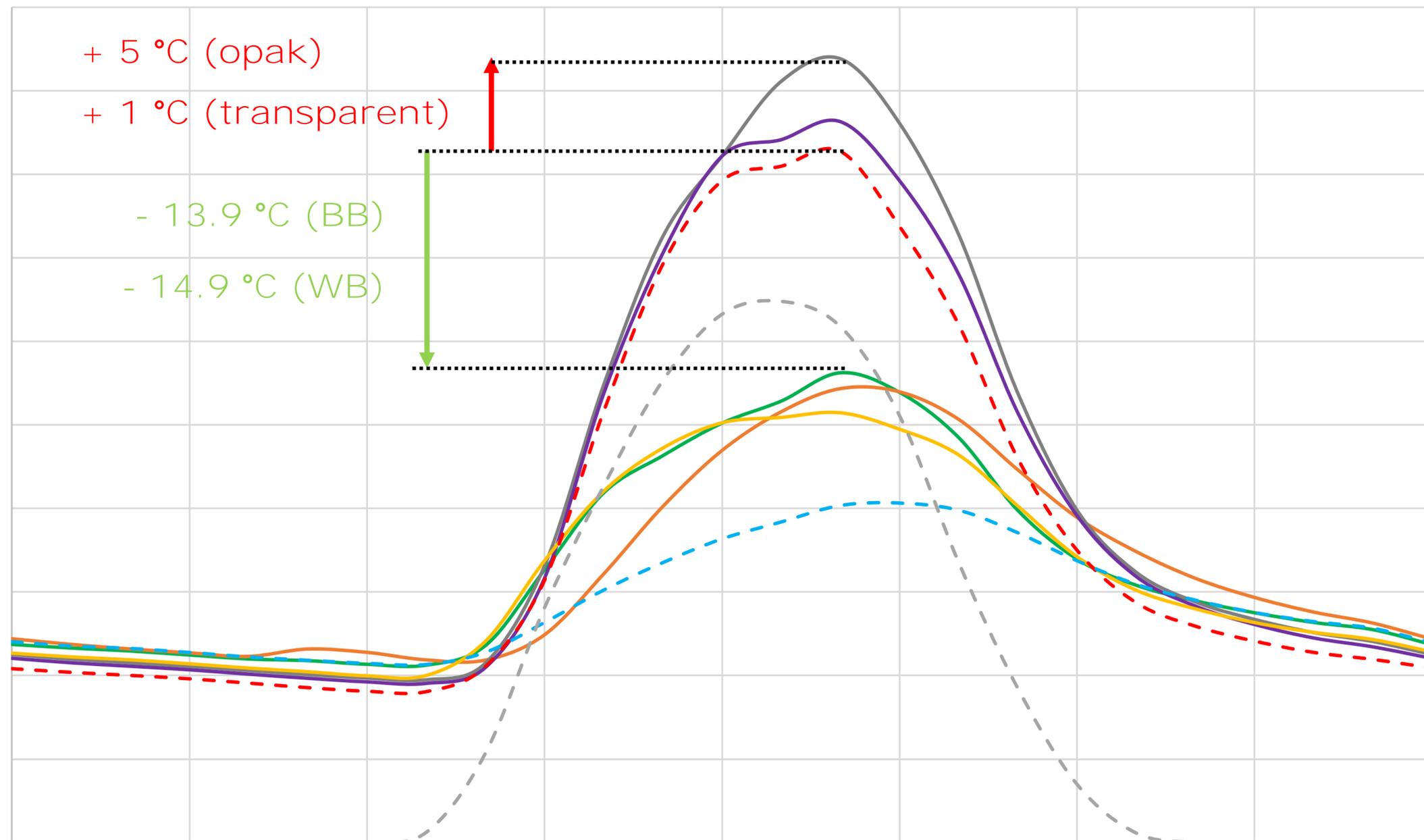
THGE vs LCC



Quantitative Aspekte – Messergebnisse, Mikroklima an der Fassade

Oberflächentemperatur an der Aussenseite der Fassade (Süd, unverschattet)

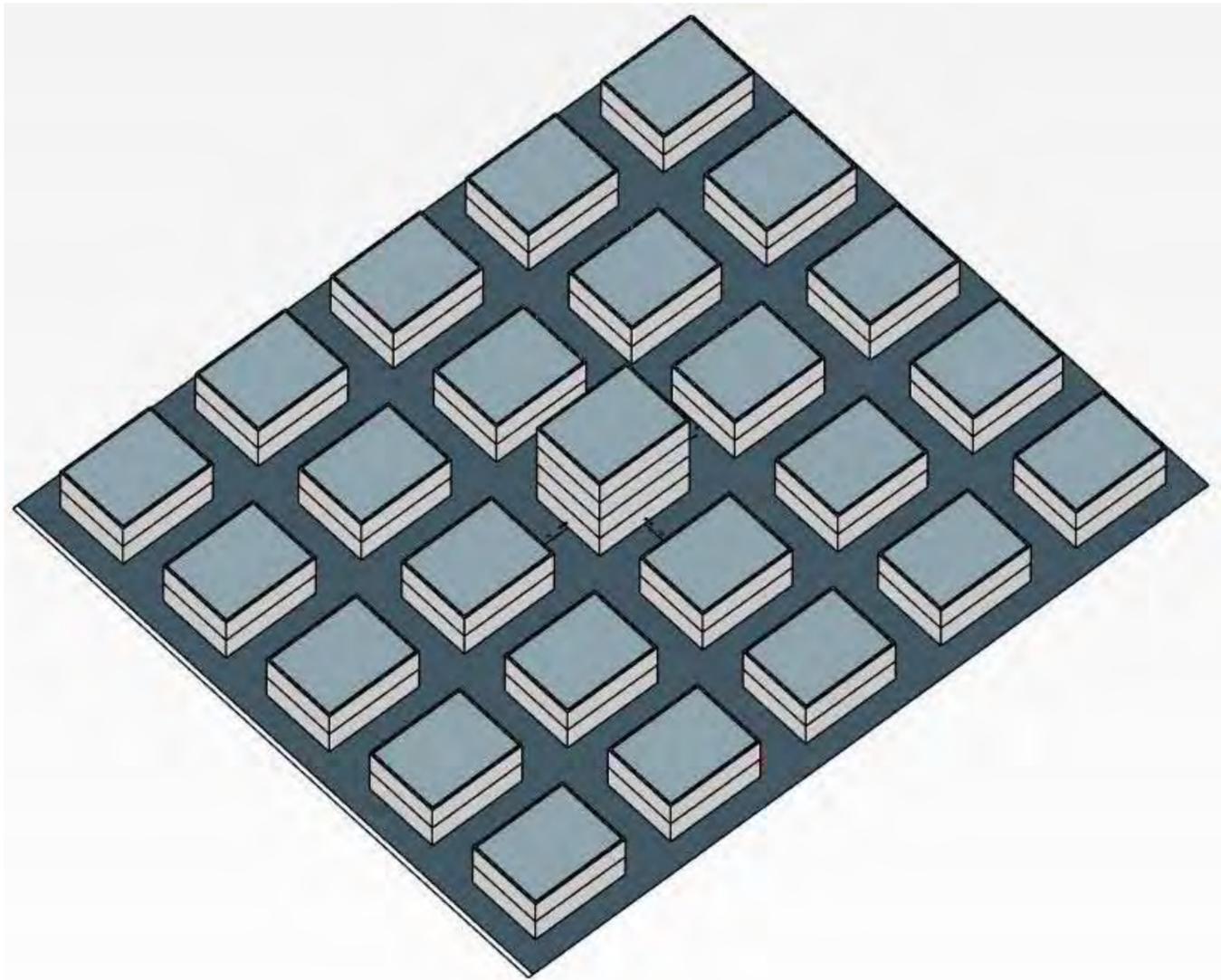
milder, sonniger Tag 



- Referenzfassade
- wandgebundene B.
- bodengebundene B.
- nasser Schwamm
- PV, opake Module
- PV, transparente Module
- Lufttemperatur
- Globalstrahlung

Quantitative Aspekte - erweiterte Betrachtung, Quartierklimamodellierung (QKM)

Was bedeutet das für die Umgebung?



Annahmen:

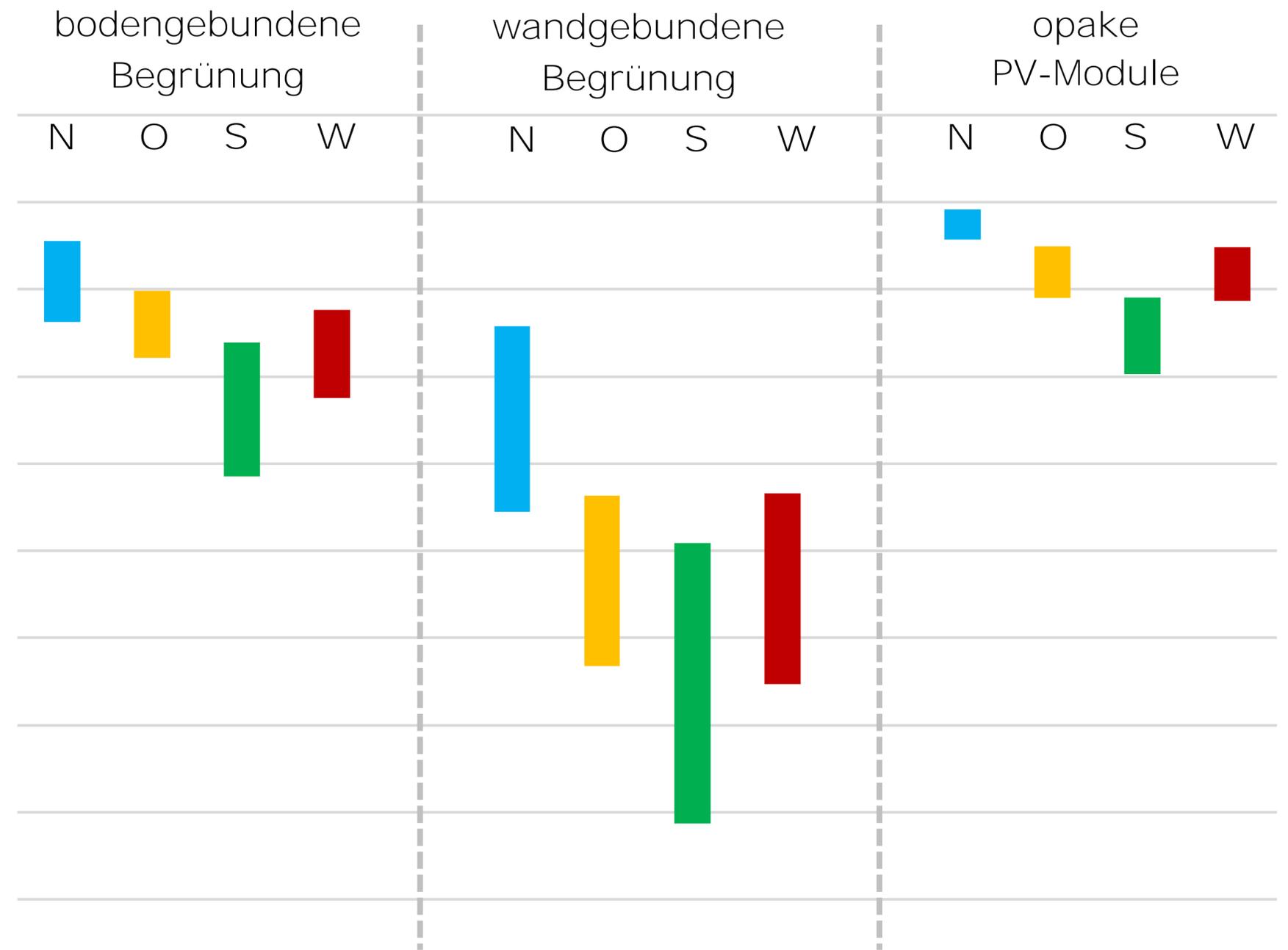
- Städtischer Kontext, jedoch wurden die umgebenden Gebäude mit einer geringeren Höhe angenommen, um eine direkte Sonneneinstrahlung auf die Fassade zu simulieren
- Sonniger Sommertag: max. Lufttemperatur von ca. 35 °C / mind. Lufttemperatur ca. 18 °C (Nacht)

Quantitative Aspekte – erweiterte Betrachtung, Quartierklimamodellierung (QKM)

PET = Physiologisch äquivalente Temperatur

Die PET beschreibt das thermische Empfinden einer «Standardperson», welche eine mittlere thermische Empfindlichkeit repräsentiert. Für das thermische Empfinden sind vor allem Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und die direkte Sonneneinstrahlung relevant. (Quelle: Kanton Zürich)

Dargestellt sind die mittleren Werte in den verschiedenen Orientierungen ohne Verschattung der Fassade im Vergleich zu einer hinterlüfteten Fassade (Faserzementplatte, Albedo: 0.45). Annahme Wind: 1 m/s, Werte zeigen eine « günstige » und « ungünstige » Windrichtung.

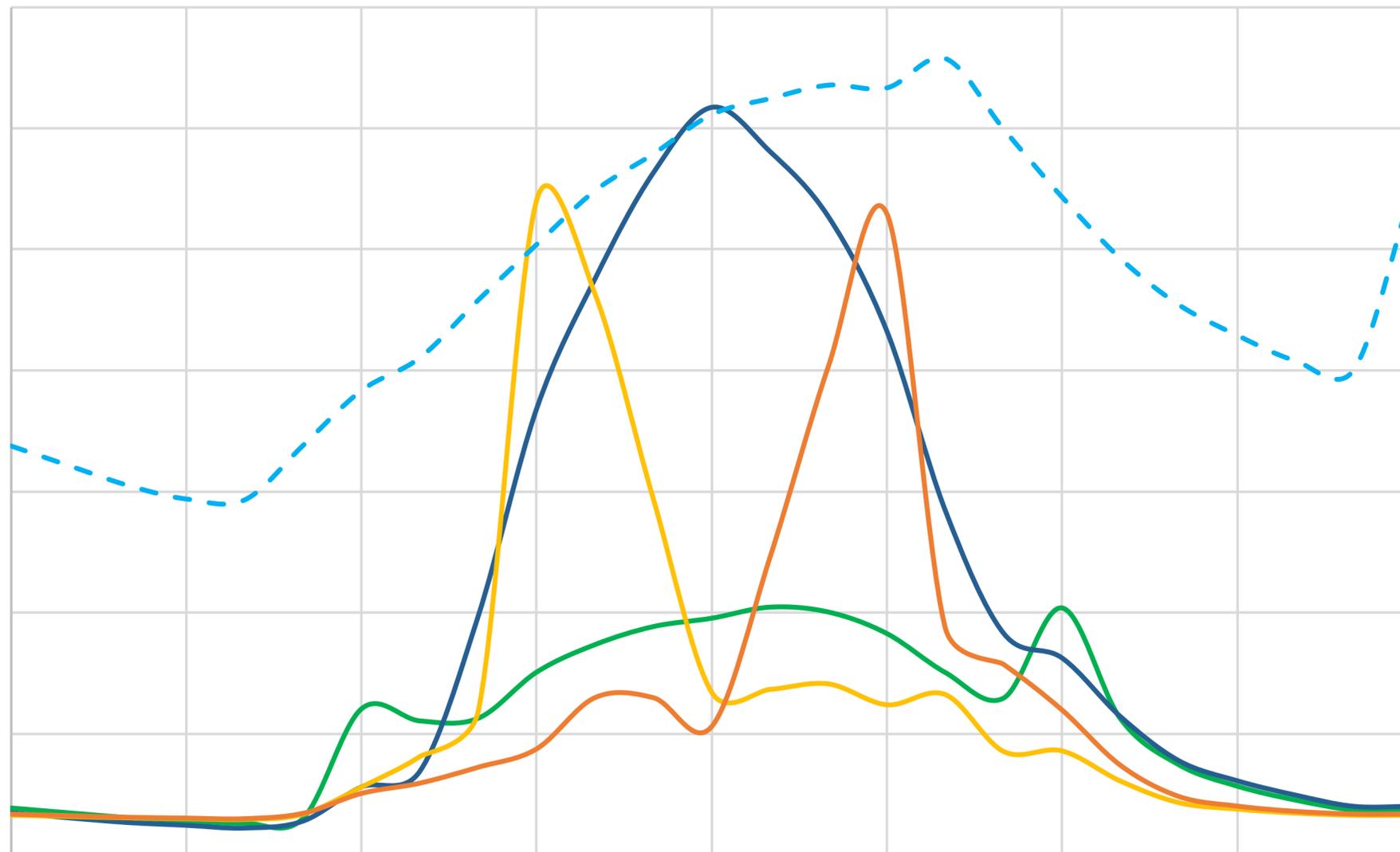


Quantitative Aspekte – erweiterte Betrachtung, Einfluss auf die Umgebung (QKM)

Tagesverlauf des PET-Unterschieds einer wandbegrünter Begrünung im Vergleich zur hinterlüfteten Fassade in einem Abstand von 1 m zur Fassade in Abhängigkeit von der Orientierung (Annahme Wind: N→S von 1 m/s).

→ Der kühlende Effekt tritt insbesondere bei direkter Sonnenstrahlung auf und kann in den versch. Orientierungen zu bestimmten Tageszeiten höher oder geringer sein

→ an der Süd- und Westfassaden hier am effektivsten (höchste Lufttemperaturen zu diesen Tageszeiten)



Nord

Süd

Ost

West

Lufttemperatur

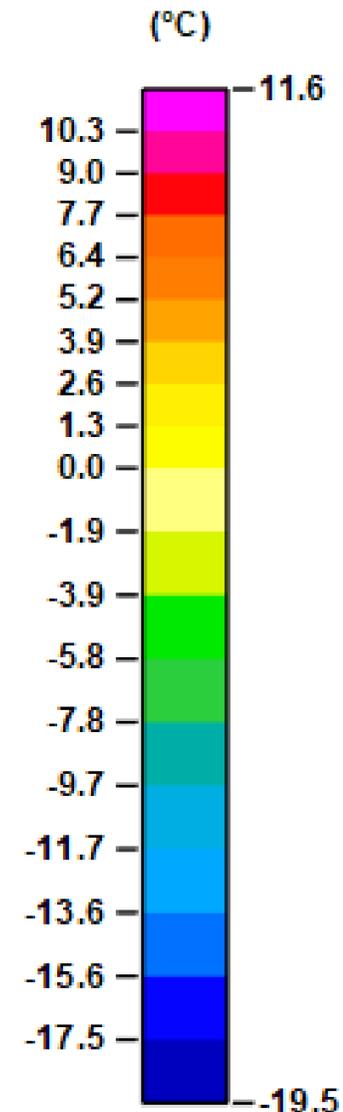
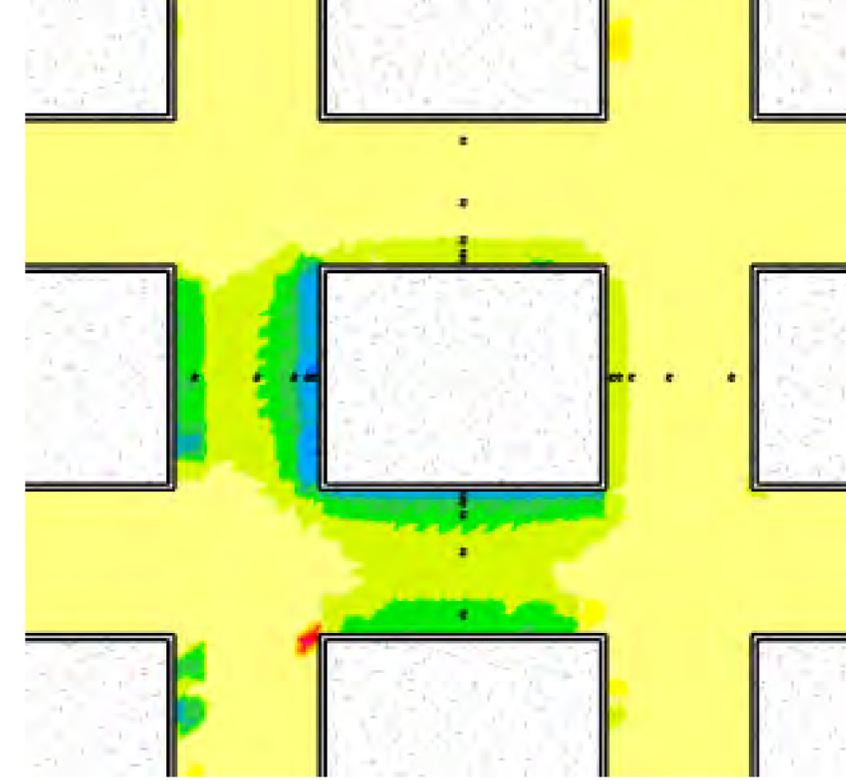
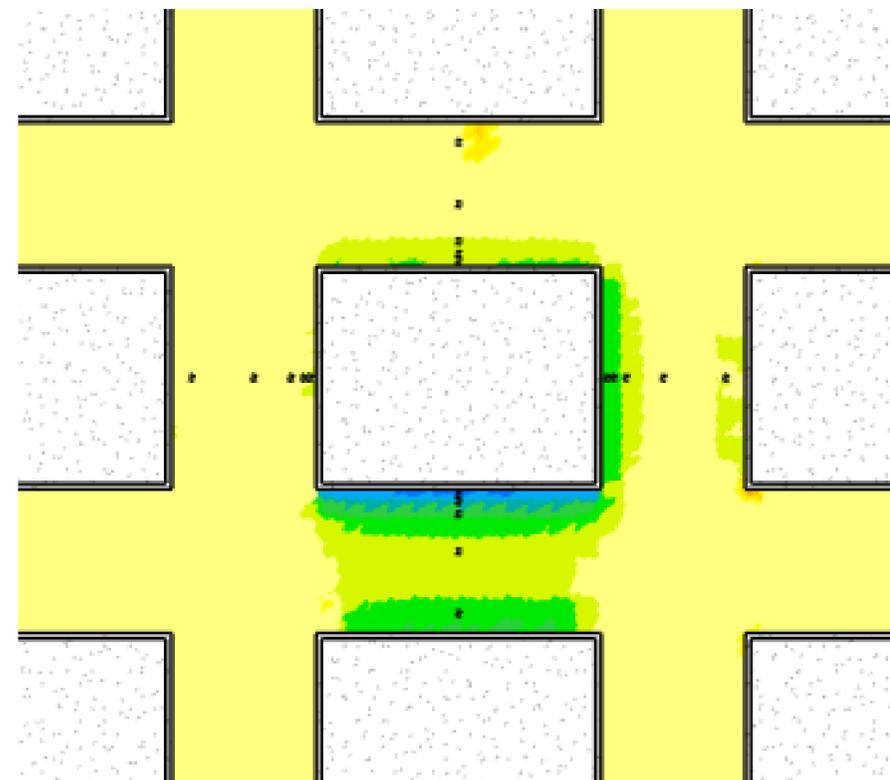
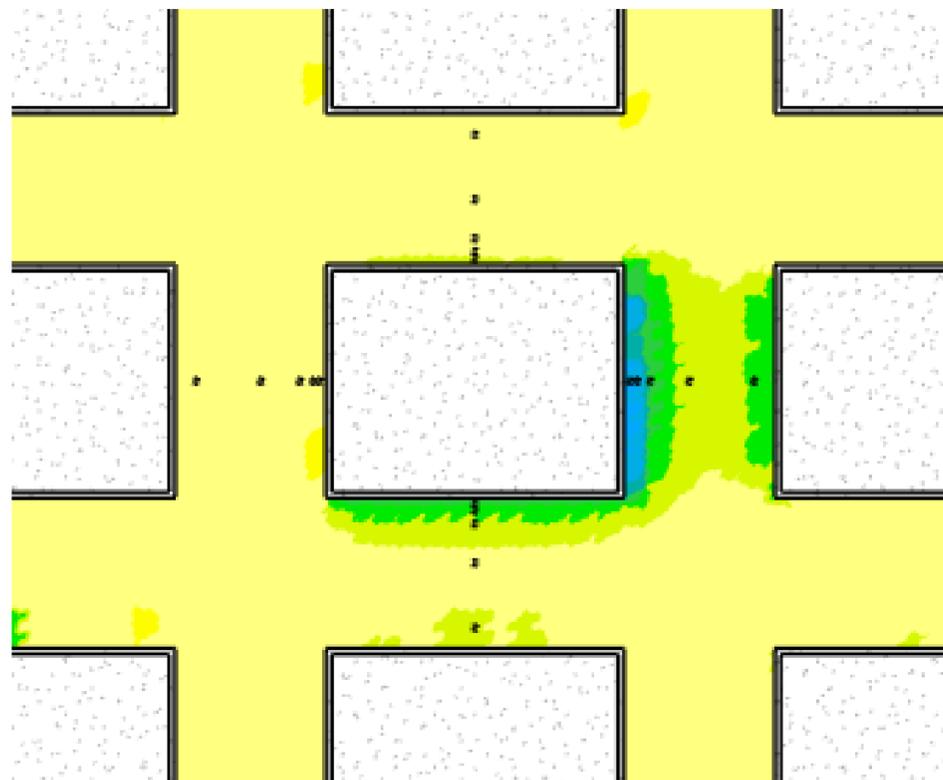
Quantitative Aspekte – erweiterte Betrachtung, Einfluss auf die Umgebung (QKM)

Unterschied in der PET-Temperatur zwischen der **wandgebundenen Begrünung** und der hinterlüfteten Fassade zu **verschiedenen Zeiten**. Annahmen: direkte Sonneneinstrahlung auf die Fassade (ohne Verschattung), kein Wind.

9:00 Uhr

12:00 Uhr

15:00 Uhr



ca. 12 m Abstand zw. den Gebäuden

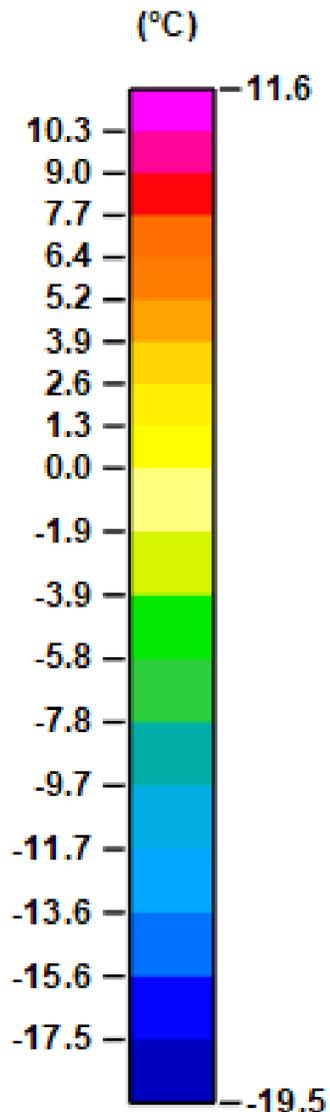
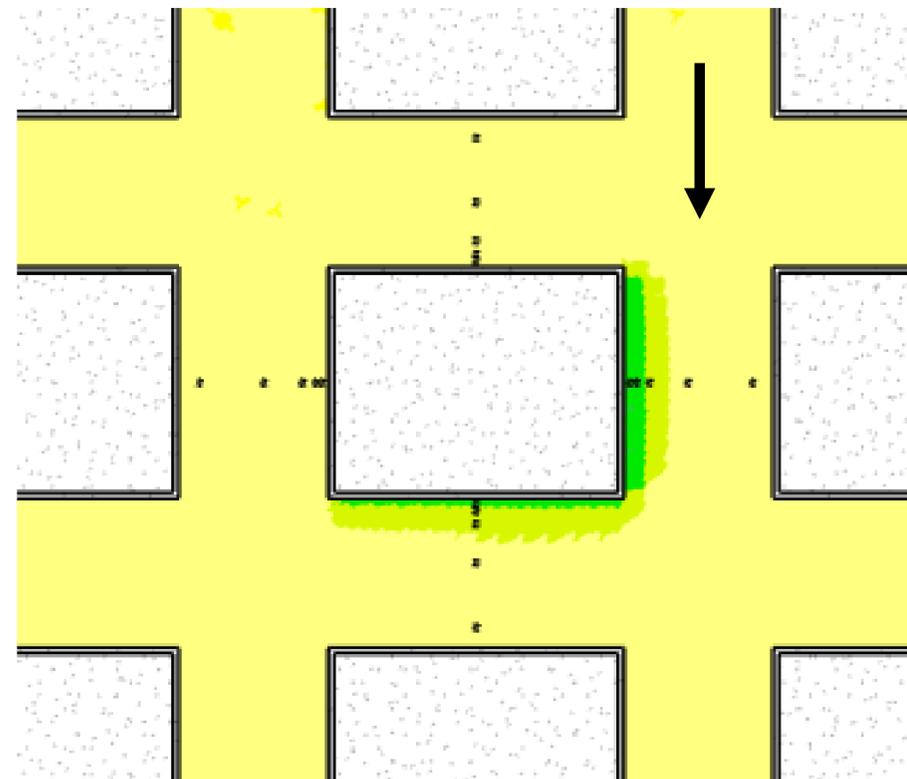
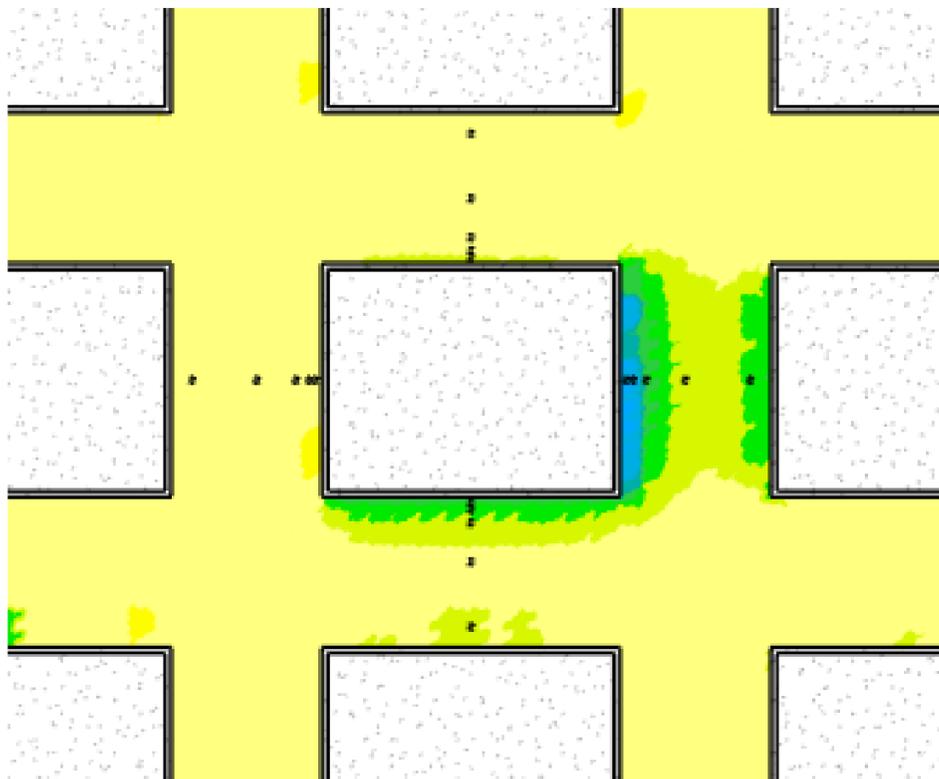
→ Der kühlende Effekt ist direkt an der Fassade am grössten und nimmt mit zunehmender Entfernung ab

Quantitative Aspekte – erweiterte Betrachtung, Einfluss auf die Umgebung (QKM)

Unterschied in der PET-Temperatur zwischen der **wandgebundenen Begrünung** und der hinterlüfteten Fassade um 9:00 Uhr. Annahmen: direkte Sonneneinstrahlung auf die Fassade (ohne Verschattung), **mit und ohne Wind** (N→S, 1m/s).

9:00 Uhr, ohne Wind

9:00 Uhr mit schwachem Wind



→ Wind kann die Wirkung von Fassadenbegrünungen beeinflussen / mindern.

Quantitative Aspekte – Vorgehensweise, Darstellung und Erkenntnisse

Quantitative Aspekte <i>Bewertung im Vergleich zur Referenzfassade (Faserzementplatte hinterlüftet)</i>	Fassadenbegrünung				PV-Fassade			
	bodengebunden		wandgebunden		opake Module		transparente Module	
	verschattet	nicht verschattet	verschattet	nicht verschattet	verschattet	nicht verschattet	verschattet	nicht verschattet
	Energiebedarf Betrieb (Heiz- und Kühlbedarf) – maximales Potenzial an der Ost- > Süd- > West- > Nordfassade.							
Nord	+	+	++	++	neutral	neutral	neutral	neutral
Ost	+	++	++	+++	neutral	neutral	neutral	neutral
Süd	+	++	++	+++	neutral	neutral	neutral	neutral
West	+	+	++	++	neutral	neutral	neutral	neutral
	Stromerzeugung ganzjährig – Stromerzeugungspotenzial (maximales Potenzial auf dem Dach > an der Süd- > Ost- > West- > Nordfassade).							
Nord	neutral	neutral	neutral	neutral	+	+	-	-
Ost	neutral	neutral	neutral	neutral	+	++	-	++
Süd	neutral	neutral	neutral	neutral	+	+++	-	+++
West	neutral	neutral	neutral	neutral	+	++	-	++
	Stromerzeugung Winter – Stromerzeugungspotenzial (maximales Potenzial an der Südfassade > auf dem Dach > an der Ost- > West- > Nordfassade).							
Nord	neutral	neutral	neutral	neutral	+	+	-	-
Ost	neutral	neutral	neutral	neutral	+	+++	-	+++
Süd	neutral	neutral	neutral	neutral	+	++++	-	++++
West	neutral	neutral	neutral	neutral	+	+++	-	+++
	Mikroklima (sommerliche Temperatur an der Fassade) – maximales Potenzial an der Ost- > Süd- > West- > Nordfassade.							
Nord	+	+	++	++	neutral	neutral	neutral	neutral
Ost	+	+++	++	++++	neutral	--	neutral	--
Süd	+	+++	++	++++	neutral	--	neutral	--

Bei den quantitativen Aspekten ist insbesondere die Orientierung und eine mögliche Verschattung der Fassade durch Gebäude, Topografie oder andere Elemente entscheidend.

→ grafische Darstellung der quantitativen Ergebnisse analog der qualitativen Aspekte

Das Wichtigste in Kürze

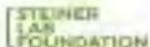
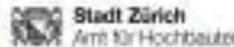
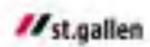
- PV ist an Flächen mit hohem Stromerzeugungspotential vorzuziehen, d.h. an Süd-, Ost- und Westflächen ohne Verschattung
- Begrünungen sind grundsätzlich vorzuziehen in Bereichen, die nahe am Menschen sind und somit einen Mehrwert für die Aufenthaltsqualität leisten.
- Der Entscheid hängt dabei von vielen Faktoren ab:
 - Bedürfnisse am Ort (Lärm, Klima, Biodiversität, Luftqualität, **Energie...**)
 - Gewichtung zw. den relevanten (qualitativen / quantitativen) Aspekten
 - Orientierung, Beschattung, geschossweise u. jahreszeitliche Analyse (energetische und qualitative Optimierung)
 - Systemgrenze der Betrachtung (sozioökonomische Abwägung)

GreenPV

Potential Gebäudehülle -
Lösungsansätze zur optimalen Fassadengestaltung
mit PV und Begrünung im Hinblick auf den Klimawandel

HSLU Hochschule
Luzern

Mit Unterstützung von

Herzlichen Dank!

Hochschule Luzern
Technik & Architektur
Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE
Sina Büttner
Wissenschaftliche Mitarbeiterin

T direkt +41 41 349 37 89
sina.buettner@hslu.ch

