



Zwischenbericht vom 19. Dezember 2025

CoolHeatOutIn

Quantifizierung des Einflusses von temperatur-
reduzierenden Massnahmen im Aussenraum auf
den Kühl- und Heizenergiebedarf im Innenraum

*Der Zwischenbericht beschreibt den aktuellen Projektstand.
Bis zum Projektabschluss können sich die Ergebnisse und Erkenntnisse noch verändern.*



HSLU Hochschule
Luzern

Subventionsgeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.energieforschung.ch

Ko-Finanzierung:

Amstein + Walthert Holding AG
8050 Zürich
<https://amstein-walthert.ch/de/>

Stadt Zürich
Grün Stadt Zürich
Lindenhofstrasse 21
8021 Zürich
<https://www.stadt-zuerich.ch/gsz>

Subventionsempfänger/innen:

Hochschule Luzern – Technik und Architektur
6048 Horw
www.hslu.ch

BÖE Studio
8005 Zürich
<https://boe.studio/de/>

EQUA Solutions AG
6003 Zug
<https://www.equa.se/de/>

Autor/in:

Markus Koschenz, HSLU, markus.koschenz@hslu.ch
Wolfgang Rossbauer, HSLU, wolfgang.rossbauer@hslu.ch
Johannes Heine, BÖE, j.heine@boe.studio
Ella Bachetta, BÖE, e.bacchetta@boe.studio
Sven Moosberger, EQUA, seven.moosberger@equa.ch

BFE-Projektbegleitung:

Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch
Martin Ménard, menard@lowtechlab.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/502873-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren/Autorinnen dieses Berichts verantwortlich.



Zusammenfassung

Die Auswirkung des Klimawandels soll durch Begrünungen, eine auf eine gute Durchströmung und Verschattung ausgerichtete Gebäudesetzung sowie eine optimale Farbwahl minimiert werden. Da die Schweiz eine Sommer- und Winterperiode kennt, müssen die Lösungen so austariert sein, dass sie während der Hitzeperioden den Kühlenergiebedarf senken, ohne den Heizenergiebedarf durch fehlende passive Wärmegewinne signifikant zu erhöhen. Der Einfluss des Aussenraums auf den Kühl- und Heizenergiebedarf wird für Wohnbauten sowie für Büro- und Gewerbebauten in der Stadt, am Stadtrand und auf dem Land untersucht. Dabei werden jeweils drei Freiraumtypen «ohne Begrünung», «minimale Begrünung» und «maximale Begrünung» unterschieden. Der Typ «minimale Begrünung» orientiert sich an bereits üblichen qualitativen und quantitativen Begrünungen. Der Typ «maximale Begrünung» orientiert sich dagegen an progressiven, aber machbaren zukünftigen Begrünungen.

Die ersten Simulationsergebnisse für den Architektur- und Freiraumtyp «Wohnen Stadt», der durch Blockrandverbunde charakterisiert ist, zeigen einen beachtlich positiven Einfluss von Begrünungsmassnahmen im Aussenraum auf den Klimakältebedarf des Referenzgebäudes. Berücksichtigt man die zusätzliche Erwärmung der Luft ausserhalb der betrachteten Quartiergrenze, erhöht sich der Klimakältebedarf durch den Hitzeinseleffekt stark, da die Wirksamkeit der Fensterlüftung reduziert wird. Gleichzeitig verringert sich die Wirkung der Begrünungsmassnahmen. Der Heizwärmebedarf variiert in Abhängigkeit der Begrünungsmassnahmen moderater und profitiert von den höheren Temperaturen in der Stadt im Vergleich zum Umland.

Ergänzend zu den seriellen Berechnungen Aussenraum-Innenraum wird eine vereinfachte Methode entwickelt, die eine direkte Quantifizierung des Einflusses von Massnahmen im Aussenraum in der thermischen Gebäudesimulation ermöglicht. Diese Arbeiten erfolgen im Projektteil II.

Résumé

Wird im Schlussbericht ergänzt.

Summary

Wird im Schlussbericht ergänzt.

Kernbotschaften («Take-Home Messages»)

Wird im Schlussbericht ergänzt.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
Résumé.....	3
Summary	3
Kernbotschaften («Take-Home Messages»).....	3
Inhaltsverzeichnis	4
Abkürzungsverzeichnis	7
1 Einleitung	8
1.1 Kontext und Motivation	8
1.2 Projektziele	8
2 Vorgehen, Methode	10
2.1 Umfassende Aussenraummodellierung (PT 1)	10
2.1.1. Grundlagen Architektur- und Freiraumtypen (AP 1).....	10
2.1.2. Urban Heat Island Effekt (UHI).....	10
2.1.3. Berechnen der Randbedingungen am Referenzgebäude mit QKM (AP 2)	10
2.1.4. Berechnen des Kühl- und Heizenergiebedarfs für das Referenzgebäude mit IDA-ICE (AP 3).....	10
2.1.5. Auswerten der Berechnungsergebnisse und Ausarbeiten von Erkenntnissen (AP 4)	11
2.2 Vereinfachte Aussenraummodellierung (PT II)	12
2.2.1. Vereinfachtes Modell zur Bestimmung der Differenz der Temperatur am Gebäudestandort und im Umland (AP 5)	12
2.2.2. Vereinfachtes Modell zur Berücksichtigung der Umgebungsstrahlung am Gebäudestandort (AP 6).....	12
2.2.3. Integration der vereinfachten Modelle in das thermische Gebäudesimulationsprogramm IDA-ICE (AP 7)	12
2.2.4. Vergleichen zwischen den Resultaten der umfassenden und vereinfachten Aussenraummodellierung (AP 8).....	12
3 Ergebnisse und Diskussion	14
3.1 Gekoppelte Berechnung.....	14
3.1.1. Architektur- und Freiraumtyp «Wohnen Stadt»	14
3.2 Vereinfachte Berechnung	17
4 Architektur- und Freiraumtypen.....	18
4.1 Städtebauliche bzw. architektonische Typen Wohnen.....	18
4.2 Städtebauliche bzw. architektonische Typen Büro und Gewerbe	23
4.3 Freiraumtypen Wohnen	24
4.4 Freiraumtypen Büro und Gewerbe	26
5 Klimatische Bedingungen	28
5.1 Urban Heat Island Effect (UHI).....	28



5.1.1.	Maximale Differenz der Lufttemperatur an der Quartiergrenze und Umlandwetterstation	28
5.1.2.	Tageszeitliche Verteilung des maximalen Temperaturunterschiedes	29
5.2	Wetterdaten für die Quartierklimamodellierung	31
5.3	Kaltluftströme an Hanglagen	31
6	Umfassende Aussenraummodellierung (PT I).....	32
6.1	Aussenraummodellierung mit QKM.....	32
6.2	Bewertungskriterium physiologisch äquivalente Temperatur (PET)	32
6.3	Datenbereitstellung für Gebäudesimulation mit IDA	33
6.4	QKM-Modelle für den Architektur- und Freiraumtypen Wohnen	34
6.4.1.	Stadt.....	34
6.4.2.	Stadtrand	34
6.4.3.	Land	35
6.5	QKM-Modelle für den Architektur- und Freiraumtypen Büro und Gewerbe	37
6.5.1.	Stadt.....	37
6.5.2.	Stadtrand	38
6.5.3.	Land	39
7	Vereinfachte Aussenraummodellierung (PT II)	40
7.1	Aussenraummodellierung vereinfacht	40
8	Gebäudesimulation gekoppelt mit umfassender Aussenraummodellierung (PT I)	41
8.1	Anpassungen IDA-ICE an den Datentransfer	41
8.2	Randbedingungen für die Ermittlung des Heiz-/ und Kühlenergiebedarfs	41
8.2.1.	Fensterlüftung	41
8.2.2.	Mechanische Lüftung.....	42
8.2.3.	Heiz- und Kühlgeräte	43
8.2.4.	Personen, Geräte, Beleuchtung	43
8.2.5.	Sonnenschutz	43
8.3	Gebäudemodelle IDA-ICE Wohnen	44
8.3.1.	Stadt.....	44
8.3.2.	Stadtrand	45
8.3.3.	Land	46
8.4	Gebäudemodelle IDA-ICE Büro und Gewerbe.....	47
8.4.1.	Stadt.....	47
8.4.2.	Stadtrand	48
8.4.3.	Land	49
9	Gebäudesimulation mit vereinfachter Aussenraummodellierung (PT II)	51
9.1	Anpassung IDA-ICE an den Datentransfer	51
9.2	Gebäudemodelle IDA-ICE Wohnen	51



9.2.1.	Stadt.....	51
9.2.2.	Stadtrand	51
9.2.3.	Land	51
9.3	Gebäudemodelle IDA-ICE Büro und Gewerbe.....	51
9.3.1.	Stadt.....	51
9.3.2.	Stadtrand	51
9.3.3.	Land	51
10	Schlussfolgerungen und Ausblick	52
11	Nationale und internationale Zusammenarbeit	53
12	Publikationen und andere Kommunikation	54
13	Literaturverzeichnis	55
14	ANHANG: Referenzbeispiele städtebauliche bzw. architektonische Typen	56
14.1	Referenzbeispiel Typen Wohnen	56
14.2	Referenzbeispiel Typen Büro und Gewerbe	57
15	ANHANG: Materialisierung	58
15.1	Materialisierung Aussenraum	58
15.2	Materialisierung Wand- und Dachaufbauten	59
15.2.1.	Wandaufbauten massiv	59
15.2.2.	Wandaufbauten leicht.....	61
15.2.3.	Dachaufbauten massiv	62
15.2.4.	Dachaufbauten leicht	63
15.2.5.	Innenwände	64
15.2.6.	Zwischendecke	65
15.2.7.	Fenstereigenschaften	66
15.3	Flächenauswertung	68
15.4	Anzahl der Bäume	68



Abkürzungsverzeichnis

BFE	Bundesamt für Energie
PET	Physiological Equivalent Temperature, physiologisch äquivalente Temperatur
PT	Projektteil
QKM	Quartierklimamodellierung. Softwareinstrument zur Berechnung des Aussenraumklimas in einem Quartier
UHI	Urban Heat Island Effekt



1 Einleitung

1.1 Kontext und Motivation

Mit dem Klimawandel erhöht sich die Dauer und die Anzahl der Hitzewellen, was zu steigenden Temperaturen im Aussen- und Innenraum führt. Die thermische Auswirkung soll durch das Begrünen der Bodenflächen, das Pflanzen von Bäumen, eine auf eine gute Durchströmung und Verschattung ausgerichtete Gebäudesetzung sowie eine optimale Farbwahl minimiert werden. Da die Schweiz eine Sommer- und Winterperiode kennt, müssen die Lösungen – vor allem die Dichte der Gebäude, die Schatten spenden und so die Lufttemperatur reduzieren – so austariert sein, dass sie während der Hitzeperioden die Kühlenergie senken, ohne die Heizenergie durch fehlende passive Warmegewinne merklich zu erhöhen. Zurzeit wird die Wirkung von Massnahmen im Aussenraum hauptsächlich bezüglich des Aussenraumkomforts untersucht. Die Auswirkung auf den Innenraum wird nicht berücksichtigt, was zu Fehlentscheiden führen kann. Diese Trennung widerspiegelt sich auch in verfügbaren Softwarelösungen (z.B. Mikroklimamodell ENVI-met), die nicht beide Fragestellungen gleichzeitig beantworten können. Weitere Instrumente (z.B. CitySim) verfügen über einfache Innenraummodelle, vernachlässigen aber wesentliche Effekte im Aussenraum, wie z.B. die lokale Luftströmung. Diese Lücken sollen durch ein serielles Berechnungsverfahren – für den Aussenraum mit QKM (Quartierklimamodellierung) und für den Innenraum mit IDA-ICE – geschlossen werden (Projektziel I). Dabei wird der Einfluss des Aussenraums auf den Innenraum von Wohn-, Büro- und Gewerbebauten sowohl anhand unterschiedlicher städtebaulicher bzw. architektonischer Typen als auch durch unterschiedliche Freiraumtypen untersucht. Zusätzlich wird eine vereinfachte Berechnungsmethode (Projektziel II) entwickelt, die eine Quantifizierung von Massnahmen im Aussenraum direkt in der thermischen Gebäudesimulation ermöglicht.

1.2 Projektziele

Projektziele I: Quantifizieren des Einflusses von temperaturreduzierenden Massnahmen im Aussenraum auf den Kühl- und Heizenergiebedarf eines Wohnbaus und eines Büro-/Gewerbebaus unter Berücksichtigung der Raumtemperaturanforderungen.

Der Innenraum steht durch die einfallende Solarstrahlung und durch die Aussenlufttemperatur mit dem Aussenraum in Kontakt. Je nach der städtebaulichen bzw. architektonischen Ausgestaltung der Nachbargebäude wirken diese beschattend und je nach Farbgebung reflektierend. Die gewählten Freiraumtypen entscheiden über die Reflexion an den Boden- und Bepflanzungsflächen. Die Aussenlufttemperatur interagiert geschwindigkeitsabhängig durch einen Wärmeaustausch mit den Gebäude- und Bodenflächen (sensibel) sowie mit der Bepflanzung (sensibel und latent).

Der Einfluss des Aussenraums auf den Kühl- und Heizenergiebedarf wird für ein Wohnbau sowie für ein Büro- und Gewerbebau (Referenzgebäude) innerhalb eines repräsentativen Perimeters in der Stadt, am Stadtrand und auf dem Land untersucht. Dabei werden jeweils drei Freiraumtypen «ohne Begrünung», «minimale Begrünung» und «maximale Begrünung» unterschieden. Der Typ «minimale Begrünung» orientiert sich an bereits üblichen qualitativen und quantitativen Begrünungen. Der Typ «maximale Begrünung» orientiert sich dagegen an progressiven, aber machbaren zukünftigen Begrünungen.

Die am Standort der Referenzgebäude (Massiv- und Leichtbau, unterschiedliche Fensteranteile, mit/ohne Fensterlüftung) auftretenden Randbedingungen (orientierungsabhängige Solarstrahlung, Lufttemperatur), werden mit Aussenraumsimulationen mit QKM (Jahressimulation) vorberechnet. In den nachfolgenden thermischen Simulationsberechnungen (IDA-ICE) werden die Einflüsse auf den Kühl- und Heizenergiebedarf ermittelt, übersichtlich ausgewertet und bewertet.

Um Konflikte zwischen Lösungen aufzuzeigen, die sich im Innenraum positiv und im Aussenraum negativ auswirken, wird zusätzlich die physiologisch äquivalente Temperatur (PET) in der Umgebung des Referenzgebäudes mitberechnet und in die Auswertungen einbezogen.



Auf Basis der Berechnungen wird aufgezeigt, ob und in welcher Intensität sich welche Massnahmen im Aussenraum auf den Kühl- und Heizenergiebedarf niederschlagen. Ebenso wird untersucht, wie dieses Resultat durch das Gebäude selbst (Massiv- oder Leichtbau, unterschiedliche Fensterflächen, mit/ohne Fensterlüftung) beeinflusst wird.

Projektziel II: Entwickeln einer vereinfachten Methode zur direkten Quantifizierung des Einflusses von Massnahmen im Aussenraum in der thermischen Gebäudesimulation (IDA-ICE).

Mithilfe eines vereinfachten Modells in IDA-ICE soll die Möglichkeit geschaffen werden, dass eine erste Abschätzung der Wirkung von Massnahmen im Aussenraum auf den Kühl- und Heizenergiebedarf ohne eine umfassende mikroklimatische Analyse möglich ist. Mithilfe eines zu entwickelnden Modellansatzes soll die Aussenlufttemperatur der Umlandwetterstation (z. B. von MeteoSchweiz) in der Nähe des betrachteten Gebäudes so modifiziert werden, dass die getroffenen Massnahmen im Aussenraum berücksichtigt werden können. In das Modell wird ebenso ein Berechnungsverfahren integriert, dass die an den Flächen im Aussenraum (Nachbargebäude, Boden, Begrünung) reflektierte Solarstrahlung auf das betrachtete Gebäude berücksichtigt. In die Entwicklung des Modellansatzes fliessen sowohl die Erkenntnisse aus den Simulationsberechnungen gemäss Projektteil I als auch aus der Literatur ein. Die Genauigkeit und die Anwendungsgrenzen des vereinfachten Ansatzes werden durch den Vergleich mit den Resultaten aus dem Projektteil I ermittelt.

Internationale Zusammenarbeit: Mit der Teilnahme am IEA-EBC-Annex «Resilient and Sustainable Cooling in Cities» sollen die Erkenntnisse und Resultate aus dem vorliegenden Projekt eingebracht werden. Da die Working Phase des IEA-Annexes erst im Jahr 2026 beginnt, werden während der Laufzeit des vorliegenden Projektes noch keine Erkenntnisse aus dem IEA-Projekt vorhanden sein. Eine Teilnahme an einem Meeting der IEA ist für 2026 geplant.



2 Vorgehen, Methode

2.1 Umfassende Aussenraummodellierung (PT 1)

Quantifizieren des Einflusses von temperaturreduzierenden Massnahmen im Aussenraum auf den Kühl- und Heizenergiebedarf eines Wohnbaus und eines Büro-/Gewerbebaus unter Berücksichtigung der Raumtemperaturanforderungen.

2.1.1. Grundlagen Architektur- und Freiraumtypen (AP 1)

Ausarbeiten von je drei für die Schweiz repräsentativen städtebaulichen bzw. architektonischen Typen (Stadt, Stadtrand, Land) für Wohn- und Büro-/Gewerbebauten am Standort Mittelland und Südschweiz in Verbindung mit je drei dazu passenden Freiraumkonzepten (ohne Begrünung, minimale Begrünung, maximale Begrünung). Die Auswahl der städtebaulichen bzw. architektonischen Typen berücksichtigt die städtebauliche Setzung, die Geschossigkeit, die räumliche Dichte, die flächenmässige Ausbreitung sowie den Anteil der benötigten Verkehrsflächen. Die auf diese Typen abgestimmten Freiraumtypen berücksichtigen den Zusammenhang zwischen Grünflächen, Bäumen und den benötigten Verkehrswegen.

2.1.2. Urban Heat Island Effekt (UHI)

Das in dieser Untersuchung mit QKM modellierte Quartier weist eine Ausdehnung von 300 x 300 m auf. Je nachdem, wie dieses Quartier in die Stadt, den Stadtrand oder die ländliche Umgebung eingebettet ist, wird die Lufttemperatur an der Quartiergrenze unterschiedlich beeinflusst. Die Luft strömt über die ausserhalb der Quartiergrenzen liegenden Gebäude und Freiraumflächen. Die dadurch entstehende Erwärmung an der Quartiergrenze im Vergleich zur Lufttemperatur an der Umlandwetterstation wird durch den Urban-Heat-Island-Effekt berücksichtigt. Als Grundlage für die Berechnungen werden die Untersuchungen von [1] und deren Anwendung in der Schweiz von [2] genutzt.

2.1.3. Berechnen der Randbedingungen am Referenzgebäude mit QKM (AP 2)

Modellieren der städtebaulichen bzw. architektonischen Typen und Freiraumtypen (AP 1) als 3D-Modell in QKM.

Berechnen der orientierungsabhängigen direkten/diffusen Solarstrahlung, der Lufttemperatur und Luftgeschwindigkeit sowie der Boden- und Himmelstemperatur an der Position des Referenzgebäudes. Die Berechnungen werden jeweils als Jahressimulationen für die Kombinationen aus den städtebaulichen/architektonischen und Freiraumkonzepten (AP 1) unter Berücksichtigung der Farbe der Umgebungsgebäude (hell, mittel, dunkel) mit der Software QKM durchgeführt.

Erstellen von modifizierten Wetterfiles aus den beschriebenen Berechnungen als Basis für die nachfolgenden thermischen Gebäudesimulationen.

Berechnen der Überschreitung der PET > 35°C am Tag (Schwelle zwischen dem Wärmeempfinden «warm» zu «heiss» und «sehr heiss») und PET > 18°C in der Nacht (Schwelle zwischen dem Wärmeempfinden «leicht kühl» zu «neutral») in Kelvin-Stunden als Mittelwert im Umkreis des Referenzgebäudes.

2.1.4. Berechnen des Kühl- und Heizenergiebedarfs für das Referenzgebäude mit IDA-ICE (AP 3)

Modellieren von sechs Referenzgebäuden (3 Wohnbauten, 3 Büro-/Gewerbebauten in Abhängigkeit der städtebaulichen bzw. architektonischen Typen) in IDA-ICE mit jeweils vier Raumzonen und drei Stockwerken (Erdgeschoss, Mittelgeschoss, Dachgeschoss). Die Geometrie der Gebäude wird aus den architektonischen Typen abgeleitet. Die Fensterlüftung für das Wohngebäude basiert im Erdgeschoss auf Kippfenstern, im mittleren und im Dachgeschoss werden die offenbaren Fensterflügel vollständig geöffnet. Die Räume werden nur einseitig belüftet (Single Sided Ventilation, kein Durchzug). In den Büro- und Gewerbebauten werden die Fenster nur gekippt.



Berechnen des Kühl- und Heizenergiebedarfs der Referenzgebäude ohne und mit Einbezug des Freiraums (AP2) unter Berücksichtigung von zwei Bauweisen (Massivbau, Leichtbau), drei unterschiedlichen Fensteranteilen, mit und ohne Fensterlüftung. Im Berechnungsfall ohne Fensterlüftung wird der hygienisch notwendige Volumenstrom durch ein Lüftungsgerät mit WRG eingebracht.

Als Temperaturanforderung wird die «Anforderung an Räume, während diese beheizt, gekühlt oder mechanisch belüftet sind» aus der [3] verwendet.

Als Heiz- und Kühlsystem kommt ein ideales System zum Einsatz, das den Heiz-/Kühlenergiebedarf abbildet. Dies ermöglicht eine spätere Umrechnung des Heiz- und Kühlenergiebedarfs auf einen Primärenergiebedarf/Treibhausgasausstoss in Abhängigkeit des Energiesystems/Energieträgers (nicht Teil des Projektes).

Als Wetterstation werden für das Mittelland die Umlandstation Affoltern und für die Südschweiz die Station Magadino/Cadenazzo gewählt. Als Klimaszenario ist das Medianjahr 2060 mit dem RCP-8.5-Szenario aus dem Projekt «Klimadaten der Zukunft für Bauplanende: Klimawandel und Merkblatt 2028» sinnvoll [4]. Diese Klimaszenarien wurden aus Ausschnitten bestehender Klimadaten, die mit einer Temperaturkorrektur versehen wurden, zusammengestellt. Der Fokus dieser Klimadaten liegt auf der Veränderung der Aussenlufttemperatur. Eine Veränderung der Aussenluftfeuchte, der Luftgeschwindigkeit und des Bewölkungsgrads wurde nicht untersucht. Durch das Zusammenfügen der Ausschnitte der Klimadaten entstehen bei den für die Berechnung des Aussenraumklimas relevanten Werten, für die Aussenluftfeuchte, die Luftgeschwindigkeit und dem Bewölkungsgrad Unstetigkeiten. Aus diesem Grund wird auf gemessene Daten zurückgegriffen. In [5] wird gezeigt, dass das Jahr 2018 am Standort Basel-Binningen dem Medianjahr 2060, RCP-8.5 für diesen Standort entspricht. Deshalb werden in der vorliegenden Studie die Klimadaten 2018 verwendet.

2.1.5. Auswerten der Berechnungsergebnisse und Ausarbeiten von Erkenntnissen (AP 4)

Auswerten des Kühl- und Heizenergiebedarfs (AP3) in Funktion des Standortes, des städtebaulichen/architektonischen Typs, des Freiraumkonzeptes, der Farbe, der Bauweise, des Fensteranteils und der Fensteröffnung für die drei Stockwerke sowie der Kelvin-Stunden mit $PET > 35^{\circ}\text{C}$ (Tag) und $PET > 18^{\circ}\text{C}$ (Nacht).

Aus der Auswertung werden folgende Erkenntnisse gewonnen und verständlich dargestellt:

Pro städtebaulicher/architektonischer Typ (z.B. Wohnen, Stadt)

- Welches Freiraumkonzept in Verbindung mit welcher Gebäudekonfiguration (Bauweise massiv, leicht; Fensteranteil gross/klein, Fensteröffnung ja/nein) des Referenzgebäudes weist den tiefsten/höchsten Kühl- und Heizenergiebedarf auf?
- Welches Freiraumkonzept hat den grössten Einfluss auf den Kühl- und Heizenergiebedarf?
- Welche Veränderung einer Einzelkonfiguration (Bauweise massiv, leicht; Fensteranteil gross/klein, Fensteröffnung ja/nein) hat den grössten Einfluss auf den Kühl- und Heizenergiebedarf?
- Sind Konstellationen möglich, wo der Kühlenergiebedarf reduziert wird und sich gleichzeitig der Heizenergiebedarf markant erhöht?
- Ist eine signifikante Differenz im Kühl- und Heizenergiebedarf zwischen den Varianten mit und ohne Berücksichtigung des Freiraumkonzeptes sichtbar? In welchen Fällen kann auf die Berücksichtigung des Freiraumkonzeptes verzichtet werden?
- Gibt es unter den untersuchten Freiraumkonzepten welche, die zu einem geringen Kühl- und/oder Heizenergiebedarf sowie zu einer geringen Überschreitung der PET-Werte führen?
- Verändern sich die Antworten zwischen den Standorten Mittelland und Südschweiz markant?



Innerhalb der städtebaulichen bzw. architektonischen Typen (z.B. Wohn- oder Büro-/Gewerbebauten)

- Welcher städtebauliche bzw. architektonische Typ (Stadt, Stadtrand, Land) in Kombination mit welchem Freiraumkonzept (ohne, minimale, maximale Begrünung) weist den höchsten/tiefsten Kühl- und Heizenergiebedarf auf?
- Welche Faktoren sind die Hauptverursacher für die Unterschiede?
- Verändern sich die Antworten zwischen den Standorten Mittelland und Südschweiz?

2.2 Vereinfachte Aussenraummodellierung (PT II)

Vereinfachtes, in die thermische Modellierung integriertes Modell zur Quantifizierung des Einflusses von temperaturreduzierenden Massnahmen im Aussenraum auf den Kühl- und Heizenergiebedarf.

2.2.1. Vereinfachtes Modell zur Bestimmung der Differenz der Temperatur am Gebäudestandort und im Umland (AP 5)

Entwickeln eines vereinfachten Modells zur Bestimmung der Lufttemperaturdifferenz am Gebäudestandort im Vergleich zur jeweiligen Umlandwetterstation, unter Berücksichtigung der Massnahmen im Aussenraum. Die mutmasslichen Einflussfaktoren auf die Temperatur sind neben der Gebäude- und Bepflanzungsdichte sowie der Ausdehnung des bebauten Gebietes auch die Unterschiede in der kurzwelligen Emissivität am Standort und dem Umland, die Speichermasse der Gebäude und des Erdreiches, die Beschattungssituation, die Himmelstemperatur sowie die Luftgeschwindigkeit. Als Grundlage für das Modell werden die Resultate aus den Berechnungen des AP2 sowie aus der Literatur verwendet [6] [7] [2]. Die ermittelten Lufttemperaturen werden auch mit Messungen der Stadtstationen verglichen (z.B. Kaserne Zürich).

2.2.2. Vereinfachtes Modell zur Berücksichtigung der Umgebungsstrahlung am Gebäudestandort (AP 6)

Entwickeln eines vereinfachten Modells zur Ergänzung der Solarstrahlungsdaten am Standort des Referenzgebäudes um den reflektierten Anteil der Umgebungsgebäude und Umgebungsflächen (versiegelte und begrünte Flächen) auf die Fassaden. Voraussichtlich müssen die Nachbargebäude mindestens als Beschattungselemente in der thermischen Simulation berücksichtigt werden.

2.2.3. Integration der vereinfachten Modelle in das thermische Gebäudesimulationsprogramm IDA-ICE (AP 7)

Exemplarisch wird das vereinfachte Modell zur Anpassung der Lufttemperatur (AP 5) und das vereinfachte Modell zur Ergänzung der Solarstrahlung (AP 6) in das thermische Gebäudesimulationsprogramm IDA-ICE integriert. Die Integration der Modelle erfolgt entweder über das Neutral Model Format (NMF) oder über eine der Jahressimulation vorangehende Modifikation des Wetterfiles (Solarstrahlungsdaten, Lufttemperatur).

2.2.4. Vergleichen zwischen den Resultaten der umfassenden und vereinfachten Aussenraummodellierung (AP 8)

Durchführen von thermischen Simulationsberechnungen zur Bestimmung des Kühl- und Heizenergiebedarfs mit den vereinfachten Modellen für sechs ausgewählte Grenzfälle aus AP 3 unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus AP 4. Bestimmen der Güte des vereinfachten Modells durch den Vergleich mit den Resultaten aus AP 3 und Formulieren von Einsatzgrenzen.

Aus der Auswertung werden folgende Erkenntnisse gewonnen:

- Mit welchen Grunddaten können die vereinfachten Modelle parametrisiert werden?
- Für welche städtebaulichen bzw. architektonischen Typen in Kombination mit den Freiraumtypen liefert das Modell noch akzeptable Ergebnisse, wo liegen die Einsatzgrenzen? Die Einsatzgrenzen sind erreicht, wenn die nachweisbare Wirkung des Freiraumkonzeptes (AP 4) nicht mehr als solche



erkannt wird (z.B. keine Veränderung im Kühl- und Heizenergiebedarf sichtbar, relativer Fehler > 20%).



3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Gekoppelte Berechnung

3.1.1. Architektur- und Freiraumtyp «Wohnen Stadt»

Die Simulationsergebnisse für den Architektur- und Freiraumtyp «Wohnen Stadt» (Massivbau, Dunkel, Fensteranteil 33%, mit Fensterlüftung) sind in Tabelle 1 bis Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 1: Durchschnittliche Aussenlufttemperaturen an der Gebäudefassade des Referenzgebäudes «Wohnen Stadt» (ohne UHI-Effekt an der Quartiergrenze, Massivbau, Dunkel, Fensteranteil 33%, mit Fensterlüftung)

Freiraumtyp	Erdgeschoss [°C]		Mittelgeschoss [°C]		Dachgeschoss [°C]	
	01.05-30.09	01.10-30.04	01.05-30.09	01.10-30.04	01.05-30.09	01.10-30.04
Ohne Begrünung	21.0	7.7	20.6	7.5	20.3	7.1
Begrünung minimal	20.8	7.6	20.5	7.4	20.2	7.1
Begrünung maximal	20.2	7.5	20.0	7.4	19.8	7.0

Wie Tabelle 1 zeigt, sind die Aussenlufttemperaturen im Erdgeschoss des Referenzgebäudes am höchsten und im Dachgeschoss am niedrigsten. Der Grund dafür ist, dass sich die Bauteile des Aussenraums (Strassenbeläge, Wände und Dächer der Gebäude) durch die einfallende Sonneneinstrahlung erwärmen und einen Teil der Energie an die Luft abgeben. Mit zunehmender Höhe nimmt die Erwärmung der Aussenluft aufgrund des vertikalen Luftaustauschs mit den oberen, kühleren Luftschichten ab. Wie Tabelle 1 ebenfalls zeigt, weist der Begrünungstyp «ohne Begrünung» die höchsten und der Begrünungstyp «Begrünung maximal» die niedrigsten Aussenlufttemperaturen auf. Dies liegt auch daran, dass mit steigendem Begrünungsanteil auch die Verdunstungsleistung zunimmt, wodurch die Luft weniger stark erwärmt wird.

Tabelle 2: Durchschnittliche Aussenlufttemperaturen an der Gebäudefassade des Referenzgebäudes «Wohnen Stadt» (mit UHI-Effekt an der Quartiergrenze, Massivbau, Dunkel, Fensteranteil 33%, mit Fensterlüftung)

Freiraumtyp	Erdgeschoss [°C]		Mittelgeschoss [°C]		Dachgeschoss [°C]	
	01.05-30.09	01.10-30.04	01.05-30.09	01.10-30.04	01.05-30.09	01.10-30.04
Ohne Begrünung	22.1	8.4	21.8	8.2	21.5	7.9
Begrünung minimal	21.9	8.4	21.6	8.2	21.4	7.9
Begrünung maximal	21.3	8.2	21.0	8.1	20.9	7.8

Wie aus dem Vergleich von Tabelle 1 und Tabelle 2 hervorgeht, erhöhen sich die Aussenlufttemperaturen an der Gebäudefassade des Referenzgebäudes durch die Berücksichtigung des UHI-Effekts an der Quartiergrenze (siehe auch Kapitel 5.1) maximal um 1.2 K in der Periode vom 01.05-30.09 und um 0.8 K in der Periode vom 01.10 bis 30.05.



Tabelle 3: Solareintrag in das Referenzgebäude «Wohnen Stadt» (Dunkel, Fensteranteil 33%, mit Fensterlüftung)

Freiraumtyp	Erdgeschoss [kWh/m ²]		Mittelgeschoss [kWh/m ²]		Dachgeschoss [kWh/m ²]	
	01.05-30.09	01.10-30.04	01.05-30.09	01.10-30.04	01.05-30.09	01.10-30.04
Ohne Begrünung	6.5	3.7	8.7	5.5	11.9	8.1
Begrünung minimal	6.4	3.7	8.6	5.5	11.8	8.1
Begrünung maximal	5.7	3.2	8.2	5.3	11.4	7.9

Die solaren Einträge in das Referenzgebäude sind im Erdgeschoss bzw. bei der Begrünungsvariante «Begrünung maximal» am niedrigsten und im Dachgeschoss bzw. bei der Begrünungsvariante «Ohne Begrünung» am höchsten (siehe Tabelle 3). Diese Reduktion wird durch die Verschattung durch die Nachbargebäude und die Bäume hervorgerufen.

Tabelle 4: Klimakälte- und Heizwärmebedarf des Referenzgebäudes «Wohnen Stadt» (ohne UHI-Effekt an der Quartiergrenze, Massivbau, Dunkel, Fensteranteil 33%, mit Fensterlüftung)

Freiraumtyp	Erdgeschoss [kWh/m ²]		Mittelgeschoss [kWh/m ²]		Dachgeschoss [kWh/m ²]	
	Klimakälte- bedarf	Heizwärme- bedarf	Klimakälte- bedarf	Heizwärme- bedarf	Klimakälte- bedarf	Heizwärme- bedarf
Ohne Begrünung	6.8	48.9	0.6	48.5	0.9	73.0
Begrünung minimal	6.4	49.2	0.5	48.9	0.9	73.4
Begrünung maximal	4.2	50.1	0.3	49.9	0.4	74.9

Der Klimakältebedarf variiert sich zwischen 0.3 und 6.8 kWh/m² (siehe Tabelle 4) und ist im Erdgeschoss am höchsten. Das liegt daran, dass die Fenster im Erdgeschoss nur gekippt werden können, wodurch die Nachtauskühlung durch die Fensterlüftung begrenzt ist. Im Gegensatz dazu können im Mittel- und Dachgeschoss 30% der Fensterfläche vollständig geöffnet werden. Der Klimakältebedarf ist im Dachgeschoss leicht höher als im Mittelgeschoss, da die solaren Einträge dort höher sind. Eine Erhöhung des Begrünungsanteils senkt den Klimakältebedarf, da die Bäume für zusätzliche Verschattung und Abkühlung der Aussenluft durch Verdunstung sorgen.

Der Heizwärmebedarf variiert zwischen 48.5 und 74.9 kWh/m² (siehe Tabelle 4). Der Unterschied im Heizwärmebedarf zwischen Erd- und Mittelgeschoss ist gering. Grund dafür ist, dass die Differenzen in den solaren Einträgen durch die unterschiedliche Lufttemperatur an den Gebäudefassaden kompensiert werden. Aufgrund der zusätzlichen Wärmeverluste durch den Estrich weist das Dachgeschoss den höchsten Heizwärmebedarf auf. Die Erhöhung des Begrünungsanteils führt zu einer Steigerung des Heizwärmebedarfs, da die Bäume teilweise während der Heizperiode für zusätzliche Verschattung sorgen.



Tabelle 5: Klimakälte- und Heizwärmebedarf des Referenzgebäudes «Wohnen Stadt» (mit UHI-Effekt an der Quartiergrenze, Massivbau, Dunkel, Fensteranteil 33%, mit Fensterlüftung)

Freiraumtyp	Erdgeschoss [kWh/m ²]		Mittelgeschoss [kWh/m ²]		Dachgeschoss [kWh/m ²]	
	Klimakälte- bedarf	Heizwärme- bedarf	Klimakälte- bedarf	Heizwärme- bedarf	Klimakälte- bedarf	Heizwärme- bedarf
Ohne Begrünung	11.4	45.2	2.4	44.7	3.3	67.5
Begrünung minimal	10.7	45.7	2.1	45.2	2.9	68.0
Begrünung maximal	7.7	46.4	1.3	46.2	1.8	69.3

Der Klimakältebedarf variiert sich zwischen 1.3 und 11.4 kWh/m² (siehe Tabelle 5) und ist im Erdgeschoss am höchsten. Das liegt daran, dass die Fenster im Erdgeschoss nur gekippt werden können, wodurch die Nachtauskühlung durch die Fensterlüftung begrenzt ist. Im Gegensatz dazu können im Mittel- und Dachgeschoss 30% der Fensterfläche vollständig geöffnet werden. Eine Erhöhung des Begrünungsanteils senkt den Klimakältebedarf, da die Bäume für zusätzliche Verschattung und Abkühlung der Aussenluft durch Verdunstung sorgen. Ein Vergleich des Klimakältebedarfs aus Tabelle 5, bei dem der UHI-Effekt an der Quartiergrenze berücksichtigt wird, mit dem aus Tabelle 4 zeigt einen um Faktoren höheren Klimakältebedarf. Die höheren Aussenlufttemperaturen am Referenzgebäude, vor allem während der Nacht, reduzieren die Wirksamkeit der Fensterlüftung erheblich. Davon sind die vollständig geöffneten Fenster im Mittel- und Dachgeschoss stärker betroffen als die gekippten Fenster im Erdgeschoss.

Der Heizwärmebedarf variiert zwischen 44.7 und 69.3 kWh/m² (siehe Tabelle 5). Der Unterschied im Heizwärmebedarf zwischen Erd- und Mittelgeschoss ist gering. Grund dafür ist, dass die Differenzen in den solaren Einträgen durch die unterschiedliche Lufttemperatur an den Gebäudefassaden kompensiert werden. Aufgrund der zusätzlichen Wärmeverluste durch den Estrich weist das Dachgeschoss den höchsten Heizwärmebedarf auf. Die Erhöhung des Begrünungsanteils führt zu einer geringfügigen Steigerung des Heizwärmebedarfs, da die Bäume teilweise während der Heizperiode für zusätzliche Verschattung sorgen. Ein Vergleich des Heizwärmebedarfs aus Tabelle 5, bei dem der UHI-Effekt an der Quartiergrenze berücksichtigt wird, mit dem aus Tabelle 4 zeigt eine Reduktion des Heizwärmebedarfs durch die höheren Lufttemperaturen an den Fassaden des Referenzgebäudes.

Tabelle 6: Anzahl Stunden mit PET > 35 °C am Tag; Lufttemperatur an den Fassaden des Referenzgebäudes T_{Luft} > 20 °C während der Nacht «Wohnen Stadt» (Massivbau, Dunkel, Fensteranteil 33%, mit Fensterlüftung)

Freiraumtyp	Anzahl Stunden mit PET > 35 °C während dem Tag [h]		Anzahl Stunden mit T _{Luft} > 20 °C während der Nacht [h]	
	ohne UHI-Effekt an der Quartiergrenze	mit UHI-Effekt an der Quartiergrenze	ohne UHI-Effekt an der Quartiergrenze	mit UHI-Effekt an der Quartiergrenze
Ohne Begrünung	393	407	381	763
Begrünung minimal	377	390	370	728
Begrünung maximal	140	147	307	596



Ohne Berücksichtigung des UHI-Effekts an der Quartiergrenze variiert die Anzahl Stunden mit einer mittleren PET > 35 °C zwischen 393 Stunden (ohne Begrünung) und 140 Stunden (maximale Begrünung), mit Berücksichtigung des UHI-Effekts an der Quartiergrenze zwischen 407 bzw. 147 Stunden. Der moderate Anstieg ist damit zu begründen, dass die PET hauptsächlich durch die solare Einstrahlung und weniger durch die erhöhte Lufttemperatur beeinflusst wird. Die Zahlen zeigen den starken Einfluss der beschattenden Wirkung durch die Bäume im Aussenraum.

Ohne Berücksichtigung des UHI-Effekts an der Quartiergrenze variiert die Anzahl Stunden mit einer Lufttemperatur < 20 °C während der Nacht zwischen 381 Stunden (ohne Begrünung) und 307 Stunden (maximale Begrünung), mit Berücksichtigung des UHI-Effekts an der Quartiergrenze zwischen 763 bzw. 596 Stunden. Die Verbesserung des Freiraumkonzeptes reduziert demnach die Stunden um 19 bzw. um 22%. Die Stundenanzahl mit Berücksichtigung des UHI-Effektes an der Quartiergrenze fällt um einen Faktor höher aus, weil die höheren Lufttemperaturen in der Nacht die Wirksamkeit der Fensterlüftung stark einschränken.

Würdigung der Ergebnisse

Die Berechnungen zeigen, dass sich temperaturreduzierende Massnahmen im Aussenraum, in Kombination mit Fensterlüftung, auf den Kühlenergiebedarf positiv auswirken. Zwischen dem Freiraumtyp «ohne Begrünung» und «maximale Begrünung» liegt ein Reduktionspotential von 38% im Erdgeschoss und 56% im Dachgeschoss ohne Berücksichtigung des UHI-Effektes an der Quartiergrenze und von 32% im Erdgeschoss und 45% im Dachgeschoss mit Berücksichtigung des UHI-Effektes. Gleichzeitig reduzieren sich die Stunden mit einer PET > 35°C im Aussenraum um mehr als 60% (ohne und mit UHI-Effekt). Der Heizenergiebedarf erhöht sich in der Grössenordnung von 2-3% (ohne und mit UHI-Effekt).

3.2 Vereinfachte Berechnung

Wird im Projektteil II ausgearbeitet.



4 Architektur- und Freiraumtypen

4.1 Städtebauliche bzw. architektonische Typen Wohnen

Die städtebaulichen bzw. architektonischen Typen werden in Wohnen in der Stadt, am Stadtrand und auf dem Land aufgeteilt. Die nachfolgende Darstellung zeigt die gewählten Typen:



Abbildung 1: Ausgewählte Typen Wohnen mit Referenzgebäuden (orange)

Auswahlkriterien

Die gewählten Typen wurden auf der Basis von real existierenden Stadtquartieren bzw. Siedlungsstrukturen erarbeitet (siehe Kapitel 14.1). Die Typen bilden nicht den jeweils lokalen Spezialfall ab, sondern eine bereinigte und verallgemeinerbare Disposition. Die Typen sind das Destillat eines jahrzehnte- bis jahrhundertelangen baulichen und «evolutionären» Entwicklungsprozesses.

Erhebung

Die Typen kommen in der ganzen Schweiz häufig vor und decken damit – in Bezug auf das Wohnen – einen Grossteil der gebauten Umwelt ab. In überschlagsmässigen Flächenerhebungen wurden dafür drei Städte analysiert. Die Flächeneinteilung in die Kategorien Altstadt, Blockrand, Zeilenbauten, Punktbauten und andere erfolgte in einer einheitlich groben Körnung. Betrachtet werden nur die urbanisierten Bereiche. Die unbebauten Bereiche (Wälder, Flüsse, Landwirtschaft etc.) wurden subtrahiert.

Beispiel Stadtgebiet Zürich

Auf dem Zürcher Stadtgebiet bedecken Blockrandbebauungen ca. 15% und Zeilenbebauungen ca. 40% der urbanisierten Fläche. Punktbauungen tragen ca. 25% (vor allem im Übergang zu den ländlicheren Nachbargemeinden) und andere Bauformen zu 20% an die urbanisierte Fläche bei. Hiervon werden die Typen Büro und Gewerbe in Kapitel 3.2 behandelt.

Nicht berücksichtigt werden:

- Altstadt: Die dicht bebaute Altstadt kommt in Zürich nur auf 1% des urbanisierten Stadtgebietes vor. Die möglichen Massnahmen im Aussenraum werden als zu gering eingeschätzt; Bautiefen und Grundrissformationen sind situativ und daher kaum verallgemeinerbar.
- Hochhäuser: In Zürich gibt es zum einen nur wenige Hochhäuser bzw. Hochhaussiedlungen. Andererseits sind die Grundrissdimensionen und -formen jeweils zu speziell und daher kaum verallgemeinerbar.



- Heterogene Gebiete: Es gibt Gebiete mit Gebäuden, die freie Grundrissformen aufweisen bzw. sich als Mischformen zeigen. Auch hier ist es kaum möglich, eine typologisch verallgemeinerbare Disposition zu finden.

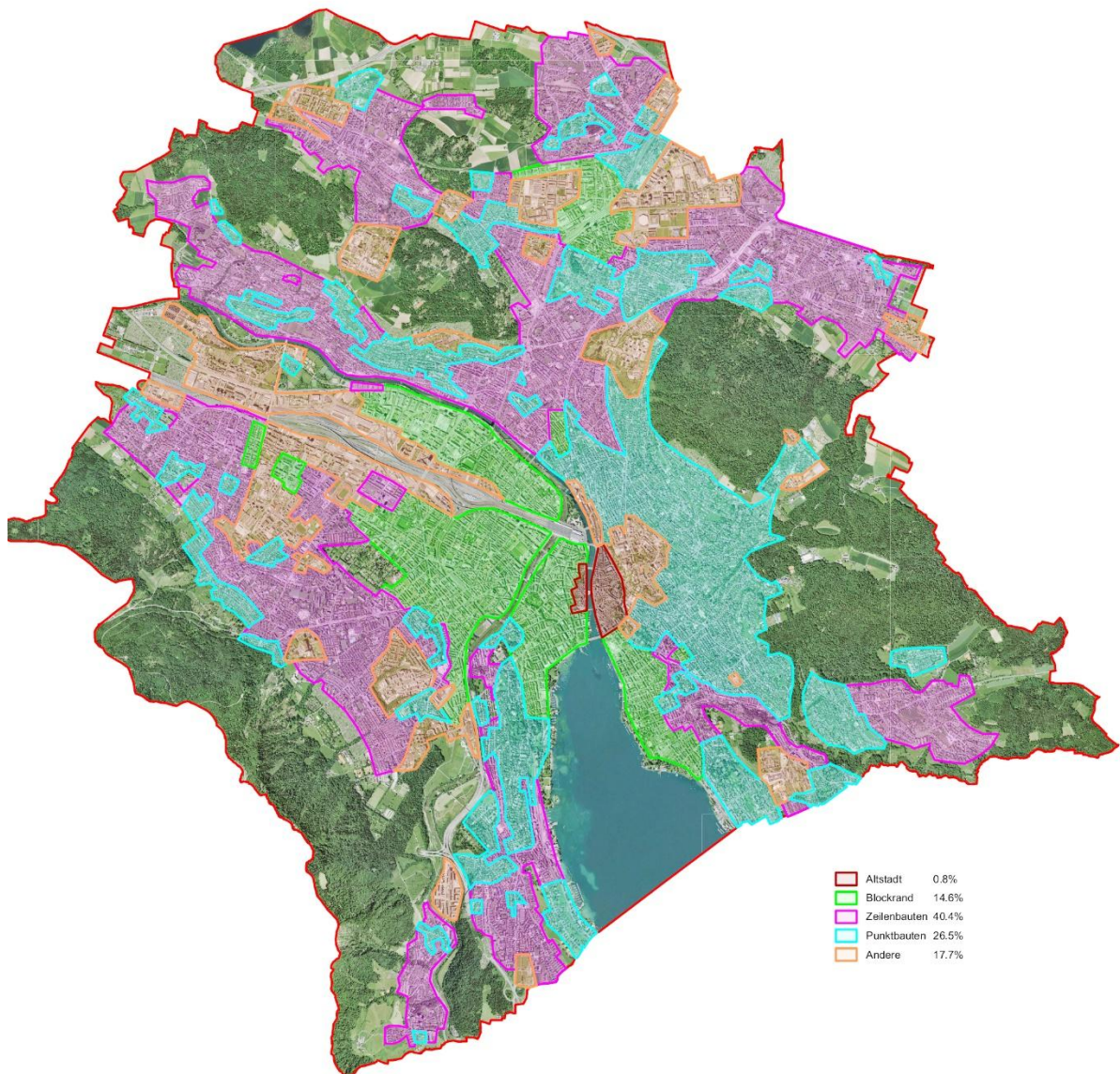


Abbildung 2: Flächenvergleich auf dem Stadtgebiet Zürichs (ca. 90 km²): Anteil in % am urbanisierten/bebauten (ca. 50 km²) Gebiet: Altstadt, Blockrand, Zeilenbauten, Punktbauten, Andere



Beispiel Stadtgebiet Genf

Auf dem Genfer Stadtgebiet bedecken Blockrandbebauungen ca. 13% und Zeilenbebauungen ca. 20% der urbanisierten Fläche. Punktbauungen tragen ca. 29% und andere Bauformen zu 38% an die urbanisierte Fläche bei. Hiervon werden die Typen Büro und Gewerbe in Kapitel 3.2 behandelt.

Nicht berücksichtigt werden:

- Altstadt: Die dicht bebaute Altstadt kommt in Genf nur auf 0.5% des urbanisierten Stadtgebietes vor. Die möglichen Massnahmen im Aussenraum werden als zu gering eingeschätzt; Bautiefen und Grundrissformationen sind situativ und daher kaum verallgemeinerbar.
- Hochhäuser: In Genf gibt es zum einen nur wenige Hochhäuser. Die typologische Einordnung – wie das bekannte «Le Lignon» – ist kaum möglich. Etliche Hochhäuser lassen sich den Typen Punkthaus oder als Scheibenhochhaus dem Typ Zeile zuordnen. In beiden Fällen treten unterschiedliche Höhen, Dicken und Abstände auf.
- Heterogene Gebiete: Es gibt Gebiete, in denen sich Gebäude mit freien Grundrissformen bzw. Mischformen befinden. Es ist kaum möglich, eine typologisch verallgemeinerbare Disposition zu finden.

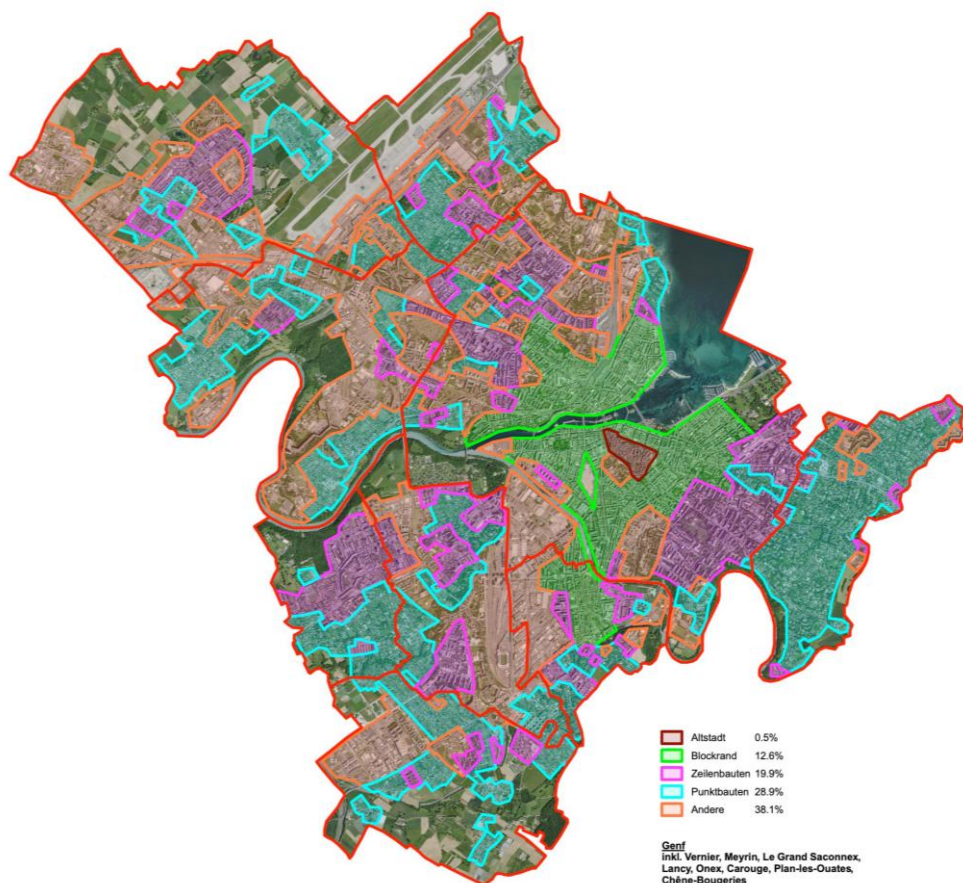


Abbildung 3: Flächenvergleich auf dem Stadtgebiet Genfs (ca. 16 km²): Anteil in % am urbanisierten/bebauten Gebiet: Altstadt, Blockrand, Zeilenbauten, Punktbauten, Andere



Beispiel Stadtgebiet Lugano

Die Grenzen des Stadtgebietes Luganos umfassen zahlreiche kleinstrukturierte Dörfer. Entsprechend ist ein grosser Teil des Stadtgebietes strukturell dem ländlichen Raum zuordenbar. Mit 82% an der bebauten Fläche dominieren daher Punktbauten, die primär als Einfamilien- bzw. Doppelhäuser und sekundär als (dickere) Mehrfamilienhäuser vorkommen. Blockrandbebauungen sind mit einem Anteil von ca. 0.5%, Zeilenbebauungen mit ca. 1.5% und andere Bebauungsformen mit 13.5% zu finden. Hier-von werden die Typen Büro und Gewerbe in Kapitel 3.2 behandelt.

Nicht berücksichtigt werden:

- Altstadt: Die dicht bebaute Altstadt kommt in Lugano auf 2% des urbanisierten Stadtgebietes vor. Die möglichen Massnahmen im Aussenraum werden als zu gering eingeschätzt; Bautiefen und Grundrissformationen sind situativ und daher kaum verallgemeinerbar.
- Hochhäuser: In Lugano gibt es wenige Hochhäuser, die sich dem Typ Punkthaus (grössere Höhe, Dicke) zuordnenden lassen.
- Heterogene Gebiete: Es gibt Gebiete, in denen sich Gebäude mit freien Grundrissformen bzw. Mischformen befinden. Es ist kaum möglich, eine typologisch verallgemeinerbare Disposition zu finden.

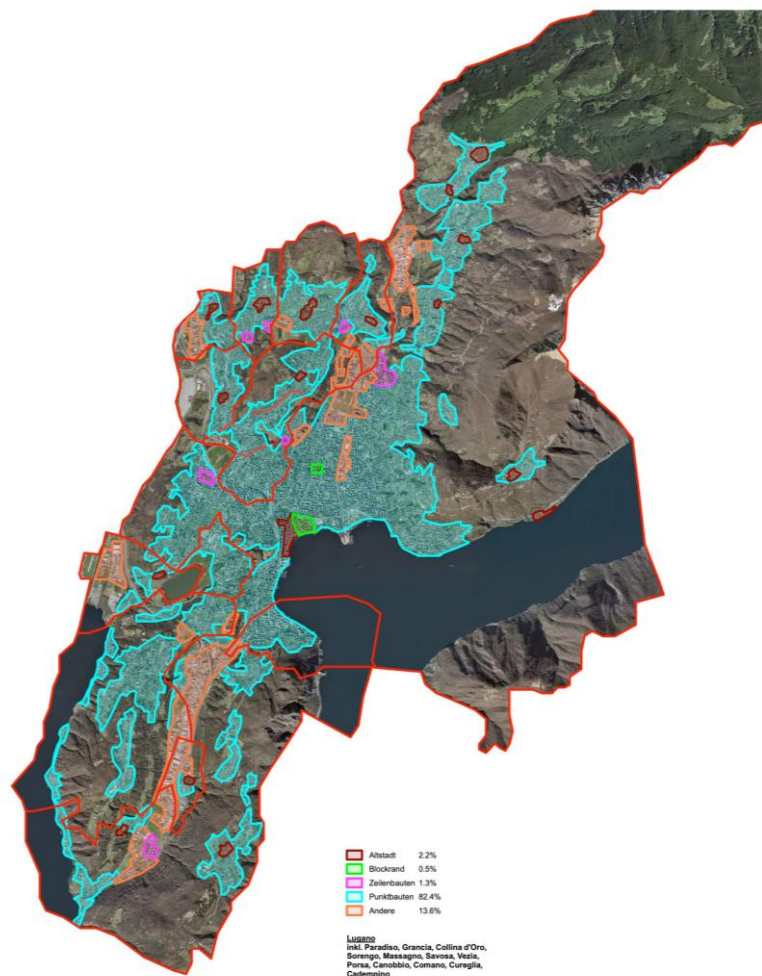


Abbildung 4: Flächenvergleich auf dem Stadtgebiet Luganos (ca. 76 km²): Anteil in % am urbanisierten/bebauten Gebiet: Altstadt, Blockrand, Zeilenbauten, Punktbauten, Andere



Tabelle 7: Typologische Eigenschaften Wohnen

Stadt	Stadtrand	Land
• Blockrand • Gebäudedicke: ca. 11-13m • Gebäudehöhe: 5-6 Geschosse • Vorkommen: Insbesondere historische Stadterweiterungen im 19. Jahrhundert; bzw. «Neustädte»	• Zeile • Gebäudedicke: ca. 10-13m • Gebäudehöhe: 3-4 Geschosse • Vorkommen: In Agglomerationen und Stadterweiterungen der Nachkriegszeit bis heute	• Punkthaus • Gebäudedicke: ca. 7-14m • Gebäudehöhe: 1-3 Geschosse • Vorkommen: Als Einfamilienhaus oder Doppelhaus und teils Mehrfamilienhaus seit Mitte/Ende des 20. Jahrhunderts.



4.2 Städtebauliche bzw. architektonische Typen Büro und Gewerbe

Die städtebaulichen bzw. architektonischen Typen werden in Büro und Gewerbe in der Stadt, am Stadtrand und auf dem Land aufgeteilt.

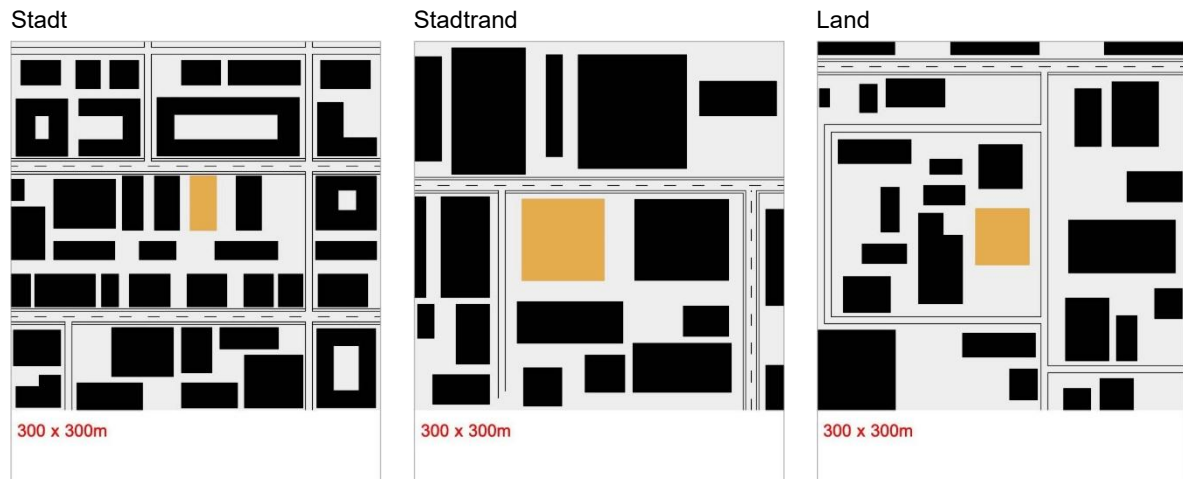


Abbildung 5: Ausgewählte Typen Büro und Gewerbe mit Referenzgebäuden (orange)

Auswahlkriterien

Die gewählten Typen wurden auf der Basis von real existierenden Stadtquartieren bzw. Siedlungsstrukturen erarbeitet (siehe Kapitel 14.2). Die Typen bilden nicht den jeweils lokalen Spezialfall ab, sondern eine bereinigte und verallgemeinerbare Disposition.

Die Büro- bzw. Gewerbegebiete haben sich in den letzten Jahrzehnten in verschiedenen Lagen in der ganzen Schweiz entwickelt.

Die gewählten Typen decken die Bandbreite zwischen dicht/undicht, eigenbeschattet/offen und grossvolumig/kleinvolumig sowie einen unter- bzw. oberirdischen Umgang mit dem MIV ab. Zur Evaluation wurden schweizweit ca. 35 Gewerbegebiete untersucht; jene Gebiete mit dem geringsten Anteil an «Spezialfall» wurden aufgenommen.

Die Nutzung Büro und Gewerbe wurde in dieser Studie entsprechend auch der Bebauungsstruktur «Büro und Gewerbe» zugeordnet. Es finden sich aus historischer Entwicklung heraus etliche Büro- und Gewerbenutzungen in den unter 8.1.1. dargestellten Typen des Wohnens, insbesondere im Blockrand. Um eine Unterscheidbarkeit zu erzeugen, wurde der Blockrand aber nicht nochmals aufgenommen.

Tabelle 8: Typologische Eigenschaften Büro und Gewerbe

Stadt	Stadtrand	Land
• Heterogene Bauvolumina • Dichte und höhere Bebauung mit hoher Eigenbeschattung • Parkierung hauptsächlich unterirdisch, ÖV-integriert • Nutzungen hauptsächlich stilles Gewerbe/Büro	• Grosse Bauvolumina • Mittelhohe und mitteldichte Bebauung mit reduzierter Eigenbeschattung • Durchwegung und Parkierung (teilweise) oberirdisch, verkehrslastig • Nutzungen gemischt still und produzierend	• Kleine Bauvolumina • Wenig dichte und niedrigere Bebauung mit geringer Eigenbeschattung • Durchwegung und Parkierung hauptsächlich oberirdisch, verkehrslastig • Nutzungen hauptsächlich produzierendes Gewerbe, Flächenbedarf für Schleppkurven, Aussenaufstellung



4.3 Freiraumtypen Wohnen

Nachfolgend sind die Freiraumtypen dargestellt. Sie unterscheiden sich in keine Begrünung, minimale Begrünung und maximale Begrünung. Die minimale Begrünung orientiert sich an bekannten und bereits üblichen qualitativen und quantitativen Begrünungen, die maximale Begrünung orientiert sich an progressiven, aber machbaren zukünftigen Begrünungen.

Auswahlkriterien

Die gewählten Typen wurden angelehnt an real existierenden Freiräumen in Stadtquartieren mit Blockrandbebauung und deren Begrünungen in Höfen, Vorzonen und Strassenräumen, Vorstadt-Quartieren mit Durchgrünung in privaten und öffentlichen Freiräumen, sowie ländlichen Bebauungsstrukturen mit Begrünungen in vor allem privaten Freiräumen und angrenzender Kulturlandschaft definiert. Die Freiraum-Typen wurden ausgehend von der realen Situation in eine allgemeingültige Typologie überführt. Sie schliessen zum Trend gegenläufige Gestaltungen aus, wie beispielsweise Schotter-Gärten. Stattdessen fokussieren sie sich auf wirksame Grünflächen, die das lokale Klima markant bis nicht beeinflussen. Sie kommen in der ganzen Schweiz häufig vor und decken damit – in Bezug auf das Wohnen – einen Grossteil der gebauten Umwelt ab.

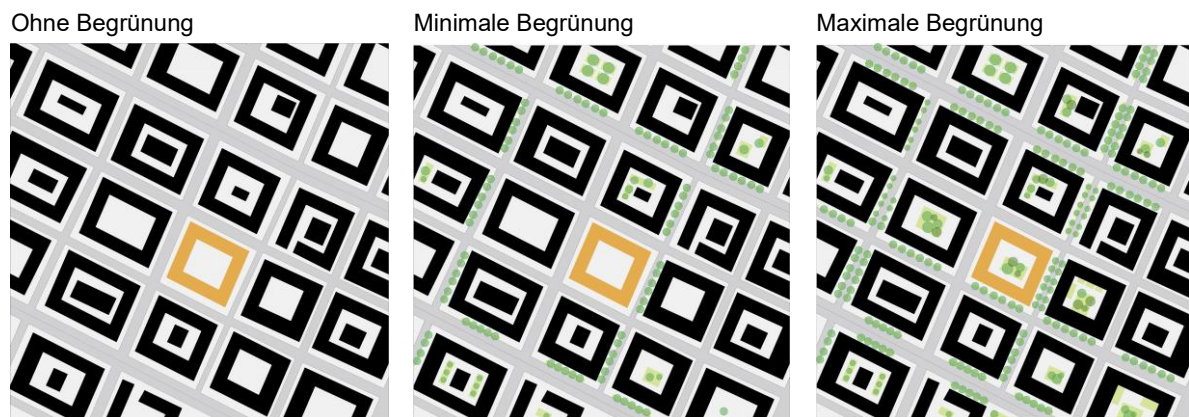


Abbildung 6: Ausgewählte Freiraumtypen Wohnen Stadt mit Referenzgebäuden (orange)

Die begrünten Freiräume in der Stadt beschränken sich meist auf die Typen Strassenbegrünung mit Bäumen und Rabatten darunter, kleinen Vorzonen vor den Gebäuden und privaten Freiräumen im Innern von Blockrandstrukturen. Grössere zusammenhängende Grünflächen sind meist in fussläufig erreichbarer Entfernung innerhalb eines Quartiers verfügbar.



Abbildung 7: Ausgewählte Freiraumtypen Wohnen Stadtrand mit Referenzgebäuden (orange)



Der Stadtrand befindet sich gewöhnlich in einer quantitativ grösseren Veränderung von Freiräumen, da die Bauprojekte grossmassstäblicher sind. Mit der Verdichtung von z.B. der Gartenstadt werden Freiräume minim kleiner jedoch anteilmässig grüner gestaltet. Neue Tiefgaragen reduzieren die Anzahl Hartflächen im Freiraum für Parkierung. Es können quantitativ grössere zusammenhängende Grünflächen gestaltet werden, die einen höheren Einfluss auf das lokale Klima nehmen können.

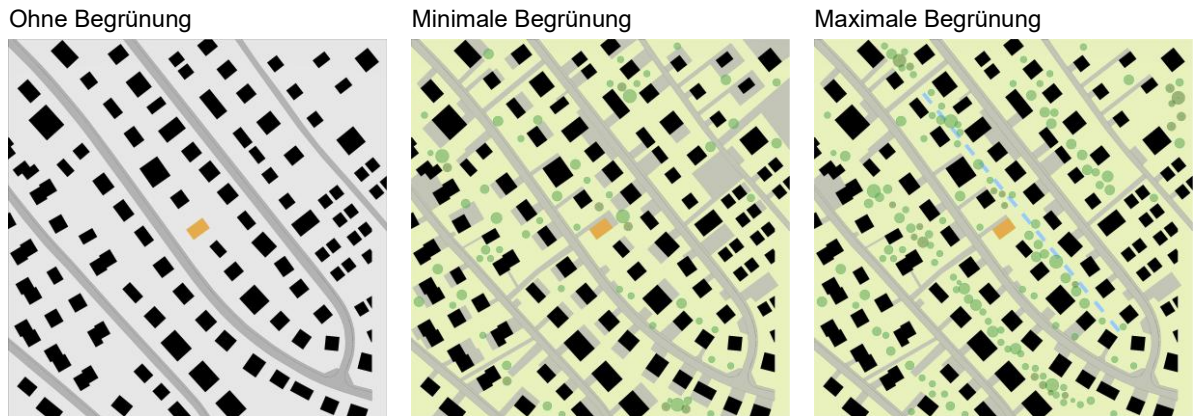


Abbildung 8: Ausgewählte Freiraumtypen Wohnen Land mit Referenzgebäuden (orange)

Das Wohnen auf dem Land ist geprägt von einem höheren Anteil Grünraum im Verhältnis zum bebauten Raum. Hinzu kommt ein Kontext, der meist aus Kulturlandschaft besteht, welche ebenfalls saisonal begrünt und mit offenen Böden gestaltet ist. Verbesserungen vom Grünflächenanteil sind meist minim und beschränken sich auf nicht mehr benötigte Verkehrsflächen.

Tabelle 9: Typologische Eigenschaften Freiraum Wohnen

Stadt	Stadtrand	Land
• Geringer Anteil Begrünung • Überwiegend Verkehrsflächen • Situative Begrünung von Restflächen • Teilweise begrünte Strassenräume	• Gleichmässiger Anteil Begrünung • Verkehrsflächen mit begleitendem Grün und teilweise Bäumen • Grössere zusammenhängende Grünflächen	• Überwiegender Anteil Begrünung • Verkehrsflächen mit begleitendem Grün und teilweise Bäumen • Viele klein parzellierte aber zusammenhängende Grünflächen



4.4 Freiraumtypen Büro und Gewerbe

Nachfolgend sind die Freiraumtypen dargestellt.

Auswahlkriterien

Die gewählten Typen wurden angelehnt an real existierenden Freiräumen in Büro- bzw. Gewerbegebieten definiert, innerhalb von Blockrandbebauung und deren Begrünungen in Höfen, Vorzonen und Strassenräumen, Stadtrand-Quartieren mit situativer Begrünung auf unbebauten Parzellen und deren Strassenräumen, sowie ländlichen Bebauungsstrukturen mit Begrünungen in vor allem situativ verfügbaren Freiräumen und angrenzender Kulturlandschaft definiert. Die Freiraum-Typen wurden ausgehend von der realen Situation in eine allgemeingültige Typologie überführt. Die Freiraum-Typen in Büro- bzw. Gewerbegebieten decken die Bandbreite von situativ gering begrünt bis grossflächig unbebaut und begrünt ab. Sie sind massgeblich abhängig von Bedürfnissen bezgl. Verkehrs- und Logistikflächen. Sie kommen in der ganzen Schweiz häufig vor und decken damit – in Bezug auf das Gewerbe – einen Grossteil der gebauten Umwelt ab.



Abbildung 9: Ausgewählte Freiraumtypen Büro und Gewerbe Stadt mit Referenzgebäuden (orange)

In der Stadt sind Gewerbegebiete dicht genutzt durch Gebäude und oberirdische Verkehrs- und Lagerflächen. Das Potential für Grünflächen ist gering und unter Konkurrenzdruck. Potentiale bestehen bei Wegfall von Parkierungen und in der Begrünung von Strassenräumen.



Abbildung 10: Ausgewählte Freiraumtypen Büro und Gewerbe Stadtrand mit Referenzgebäuden (orange)



Am Stadtrand ist die bauliche Dichte geringer und Freiraumfläche grösser, jedoch stark durch Verkehr und Lager genutzt. Mit dem Wegfall von Parkierungen können hier grössere Potentiale für Grünflächen vorhanden sein. Auch hier können Strassenräume begrünt werden.

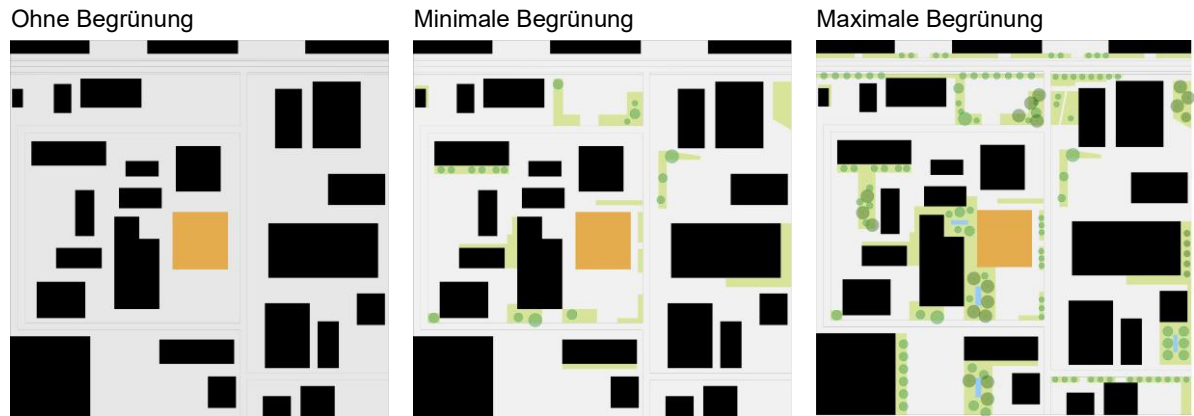


Abbildung 11: Ausgewählte Freiraumtypen Büro und Gewerbe Land mit Referenzgebäuden (orange)

Auf dem Land nimmt die bauliche Dichte weiter ab und das Potential für Grünflächen ist bereits heute vorhanden. Mit der Entsiegelung von Hartflächen ist auch hier eine Vergrösserung von Grünflächen möglich. Strassenräume können ebenfalls begrünt werden. Aufgrund geringer Versiegelung unterirdisch sind wirksame Retentionsmassnahmen denkbar.

Tabelle 10: Typologische Eigenschaften Freiraum Büro und Gewerbe

Stadt	Stadtrand	Land
• Wenig Raum für Begrünung • Hoher Anteil beweglicher und ruhender Verkehr • Geringer Anteil Lagerflächen im Freiraum	• Teilweise Raum für Begrünung • Hoher Anteil beweglicher und ruhender Verkehr • Teilweise Anteil Lagerflächen im Freiraum	• Raum für Begrünung • Hoher Anteil beweglicher und ruhender Verkehr • Anteil Lagerflächen im Freiraum



5 Klimatische Bedingungen

5.1 Urban Heat Island Effect (UHI)

Das in dieser Untersuchung mit QKM modellierte Quartier weist eine Ausdehnung von 300 x 300 m auf. Je nachdem, wie dieses Quartier in die Stadt, den Strand oder die ländliche Umgebung eingebettet ist, wird die Lufttemperatur an der Quartiergrenze unterschiedlich beeinflusst. Die Luft strömt über die ausserhalb der Quartiergrenzen liegenden Gebäude und Freiräume. Dadurch entsteht eine Erwärmung der Luft bis an die Quartiergrenze, die in der Simulationsberechnung berücksichtigt werden muss.

5.1.1. Maximale Differenz der Lufttemperatur an der Quartiergrenze und Umlandwetterstation

Die tägliche, maximale Differenz zwischen der Lufttemperatur am Auswertestandort – meist in einer Stadt (Urban) und einer Umlandwetterstation (Rural) – kann gemäss [1] wie folgt berechnet werden:

$$\Delta T_{UHI_max} = (2 - \varphi_{sky} - f_{veg}) \cdot \sqrt[4]{\frac{\dot{q} \cdot (T_{Rural_max} - T_{Rural_min})^3}{\rho \cdot c_p \cdot w}} \quad (1)$$

ΔT_{UHI_max}	Differenz der Lufttemperatur am Standort zur Lufttemperatur an der Umlandwetterstation	[K]
φ_{sky}	Himmelssichtfaktor am Standort	[-]
f_{veg}	Vegetationsanteil innerhalb eines Radius von 500 m um den Standort	[-]
$\dot{q}$	Eintreffende kurzwellige Strahlung an der Umlandwetterstation, gemittelt über 24h	[W/m ²]
ρ	Mittlere Luftdichte an der Umlandwetterstation, gemittelt über 24h	[kg/m ³]
c_p	Mittlere spezifische Wärmekapazität an der Umlandwetterstation, gemittelt über 24h	[J/(kg·K)]
T_{Rural_max}	Maximale Lufttemperatur an der Umlandwetterstation im Zeitraum von 24h	[°C]
T_{Rural_min}	Minimale Lufttemperatur an der Umlandwetterstation im Zeitraum von 24h	[°C]
w	Windgeschwindigkeit auf 10 m über Terrain an der Umlandwetterstation, gemittelt über 24h	[m/s]

In [1] werden für die Quantifizierung der maximalen Differenz der Temperatur zwischen dem Auswertestandort (meist Stadt) und dem Umland relevante physikalische Grössen gewählt. Die Temperatur im Umland ist abhängig von den Wetterbedingungen. Die nächtliche Abkühlung ist bestimmt vom Wind und dem Bewölkungsgrad, bei einer maximalen Auskühlung bei klarem Himmel und wenig Wind. Zusätzlich kann erwartet werden, dass ΔT_{UHI_max} von der solaren Einstrahlung am Tag abhängig ist. Die Temperaturdifferenz $T_{Rural_max} - T_{Rural_min}$ beschreibt das Kühlpotential während der Nacht ausserhalb der Stadt. Eine hohe Temperaturdifferenz weist auf tiefere Nachttemperaturen hin. Unterscheidet sich die Situation in der Stadt massgeblich von der Umlandstation, kann das Abkühlpotential in der Stadt nicht genutzt werden, was zu einem hohen ΔT_{UHI_max} führt. Eine hohe Windgeschwindigkeit w gleicht die Temperatur zwischen Umland und Stadt aus und reduziert ΔT_{UHI_max} . Für die Ermittlung einer Gleichung zur Beschreibung der Abhängigkeit zwischen den relevanten physikalischen Grössen wird auf das Verfahren der Dimensionsanalyse zurückgegriffen. In einem weiteren Schritt untersucht [1] wie die Morphologie der Stadt auf ΔT_{UHI_max} wirkt und identifiziert einen Betrachtungsradius von 500 m um den Auswertestandort, den an diesem Standort vorhanden Sichtfaktor zum Himmel φ_{sky} und den Vegetationsanteil f_{veg} innerhalb des Betrachtungsradius als die relevanten Einflussfaktoren. Betrachtet man die Gleichung (1) wird ersichtlich, dass ein hoher Sichtfaktor zum Himmel und ein hoher Vegetationsanteil das Potential für eine Hitzeinsel reduziert. Bei einem Sichtfaktor und einem Vegetationsanteil von 1 entspricht die Situation am Auswertestandort derjenigen an der Umlandstation, womit $\Delta T_{UHI_max} = 0$ wird.

Der mit QKM untersuchte Perimeter weist eine Ausdehnung von 300 m x 300 m auf und deckt damit nicht einen Radius von $R = 500$ m um das Referenzgebäude ab. Aus diesem Grund wird derjenige Anteil der Temperaturerhöhung ΔT_{UHI_max} , der ausserhalb der Quartiergrenze liegt, unter Zuhilfenahme der



Gleichung (1) ermittelt. Abbildung 12 zeigt das betrachtete Gesamtgebiet mit einem Radius von $R = 500$ m und das mit QKM abgebildete Teilgebiet mit einem äquivalenten Radius von $r = 169$ m. Ebenso ist die über die Aussenfläche strömende Luft für eine spezifische Windrichtung dargestellt.

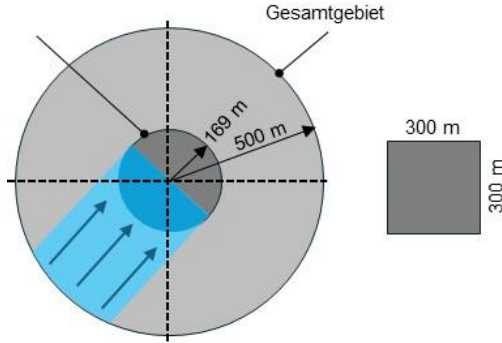


Abbildung 12: Zu berücksichtigendes Gesamtgebiet für die Quantifizierung des Hitzeinseleffektes sowie das in der QKM-Simulation abgedeckte Gebiet. Darstellung des Anteils der überströmten Fläche ausserhalb und innerhalb der Quartiergrenze für eine spezifische Windrichtung.

Im gewählten Modellansatz wird davon ausgegangen, dass sich die Luft proportional zur überströmten Fläche erwärmt. Der Anteil der überströmten Fläche ausserhalb der Quartiergrenze errechnet sich mit

$$f_{a_{out}} = 1 - \frac{\pi r^2}{2 \int_{-r}^r \sqrt{(R^2 - x^2)} dx} = 1 - \frac{\pi \cdot 169^2}{2 \int_{-169}^{169} \sqrt{(500^2 - x^2)} dx} = 0.73 \quad (2).$$

Definiert man

$$\Delta T_{pot} = \sqrt[4]{\frac{\dot{q} \cdot (T_{Rural_max} - T_{Rural_min})^3}{\rho \cdot c_p \cdot w}} \quad (3)$$

und setzt (2) und (3) in (1) ein erhält man

$$\Delta T_{UHI_max} = (1 - \varphi_{sky}) \cdot \Delta T_{pot} + (1 - f_{veg}) \cdot f_{a_{out}} \cdot \Delta T_{pot} + (1 - f_{veg}) \cdot (1 - f_{a_{out}}) \cdot \Delta T_{pot} \quad (4)$$

Der Standort mit dem Sichtfaktor φ_{sky} befindet sich beim Referenzgebäude und deshalb innerhalb der Quartiergrenze von QKM. Der Term $(1 - f_{veg}) \cdot f_{a_{out}}$ beschreibt denjenigen Anteil der gesamten Temperaturerhöhung, welcher ausserhalb der Quartiergrenze stattfindet. Der Anteil $(1 - f_{veg}) \cdot (1 - f_{a_{out}})$ denjenigen innerhalb der Quartiergrenze.

An der Quartiergrenze muss deshalb in der QKM-Simulation eine Temperaturdifferenz zur Umlandstation von

$$\Delta T_{UHI_max_bou} = (1 - f_{veg}) \cdot f_{a_{out}} \cdot \Delta T_{pot} \quad (5)$$

berücksichtigt werden.

5.1.2. Tageszeitliche Verteilung des maximalen Temperaturunterschiedes

Die tageszeitliche Verteilung des maximalen Temperaturunterschiedes wird gemäss [7] definiert.

In Abbildung 13 links ist der gemessene stündliche Temperaturunterschied zwischen Stadt und Umland für vier Städte dargestellt, in Abbildung 13 rechts der normalisierte Temperaturunterschied in Funktion



der normalisierten Zeit [7]. Es ist ersichtlich, dass sich der Temperaturunterschied kurz vor Sonnenuntergang erhöht, während der Nacht am höchsten ist und nach Sonnenaufgang wieder abfällt (weitere Informationen zum Thema Hitzeinseleffekt sind in [2], [6] und [7] zu finden). Der in Abbildung 13 rechts dargestellte normalisierte Temperaturunterschied wird nach der folgenden Gleichung berechnet:

$$\Delta T_{UHI_normalisiert} = \frac{\Delta T_{UHI}(\tau) - \Delta T_{UHI_min}}{\Delta T_{UHI_max}} \quad (6)$$

τ	Uhrzeit	[h]
$\Delta T_{UHI}(\tau)$	Stündlicher Lufttemperaturunterschied zwischen Umland (Rural) und Stadt (Urban)	[K]
ΔT_{UHI_min}	Minimaler Lufttemperaturunterschied zwischen Umland (Rural) und Stadt (Urban) über 24h	[K]
ΔT_{UHI_max}	Maximaler Lufttemperaturunterschied zwischen Umland (Rural) und Stadt (Urban) über 24h	[K]

Die normalisierte Uhrzeit in Abbildung 13 wird wie folgt berechnet:

$$\tau_{normalisiert} = \frac{\tau - SA}{SU - SA}, SA < \tau < SU \quad (7)$$

$$\tau_{normalisiert} = \frac{\tau - SU}{24 - SU + SA}, SU < \tau < 24 \quad (8)$$

$$\tau_{normalisiert} = \frac{\tau + 24 - SU}{24 - SU + SA}, 0 < \tau < SA \quad (9)$$

SU	Uhrzeit des Sonnenuntergangs	[h]
SA	Uhrzeit des Sonnenaufgangs	[h]

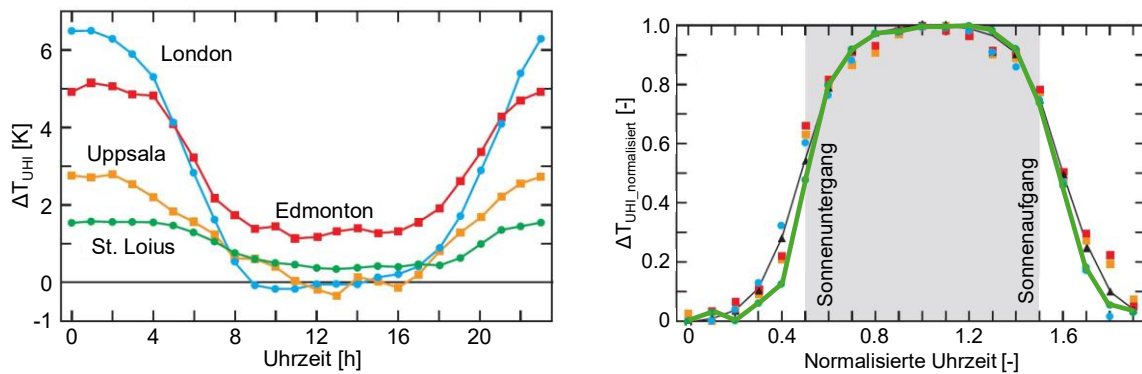


Abbildung 13: Tageszeitliche Veränderung der Temperaturdifferenz zwischen der Umlandstation und der Stadtstation ΔT_{UHI} für vier Städte (links). Normalisierte Uhrzeit $\Delta T_{UHI_normalisiert}$ (rechts) [7]

Die stündliche Verteilung des maximalen Lufttemperaturunterschieds zwischen der Stadt und der Umlandstation in den Simulationsberechnungen basiert auf der grünen Kurve (siehe Abbildung 13 rechts) und lehnt sich an die Werte der Stadt St. Louis an (Bevölkerungszahl kleiner als 500'000).



5.2 Wetterdaten für die Quartierklimamodellierung

Für die Simulation werden folgende Wetterdaten verwendet:

- Zürich-Affoltern 2018 (MeteoSchweiz Wetterstation)
- Zürich-Affoltern 2018 UHI «Wohnen Stadt – Ohne Begrünung», gemäss Kapiteln 5.1 und 6.4.1
- Zürich-Affoltern 2018 UHI «Wohnen Stadt – Begrünung minimal» gemäss Kapiteln 5.1 und 6.4.1
- Zürich-Affoltern 2018 UHI «Wohnen Stadt – Begrünung maximal» gemäss Kapiteln 5.1 und 6.4.1

In Abbildung 14 ist der gemessene stündliche Verlauf der Aussenlufttemperatur an der Wetterstation Zürich-Affoltern dem gemäss Kapitel 5.1 berechneten Verlauf der Aussenlufttemperatur an der Quartiergrenze für den Architektur- und Freiraumtyp «Wohnen Stadt – ohne Begrünung» gegenübergestellt. Die Abbildung zeigt, dass sich die Aussenlufttemperaturen am Tag angleichen, während sie in der Nacht unterschiedlich sind. Ein Vergleich der berechneten Werte an der Quartiergrenze mit den Werten der Messstation Kaserne zeigt einen ähnlichen Temperaturverlauf.

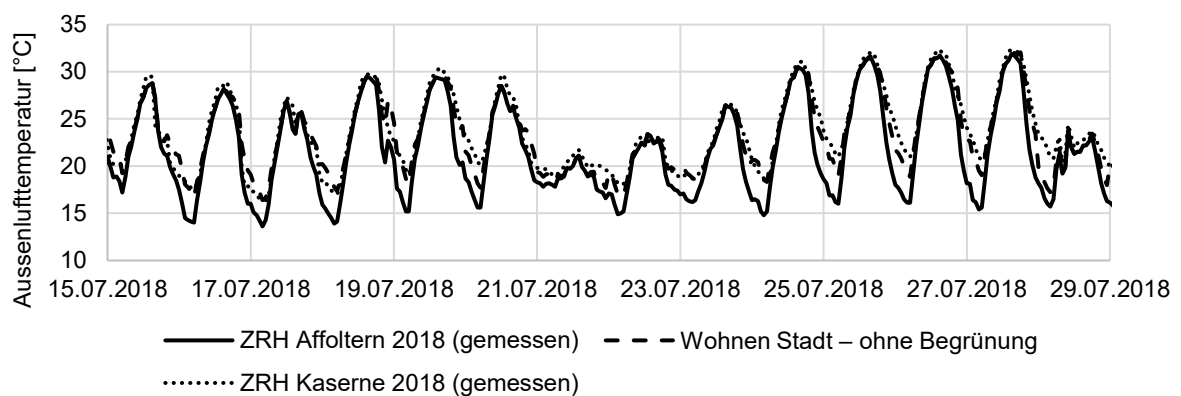


Abbildung 14: Gegenüberstellung der an der Umlandwetterstation Zürich-Affoltern gemessenen und der an der Quartiergrenze berechneten Aussenlufttemperaturen für das Architektur- und Freiraumkonzept «Wohnen Stadt – Ohne Begrünung» (Vegetationsanteil: 0.0).

5.3 Kaltluftströme an Hanglagen

Kaltluftströme an Hanglagen sind stark von der Topografie im Umkreis des Betrachtungsperimeters abhängig und können nicht auf repräsentative Typen zurückgeführt werden. Deshalb werden keine thermischen Kaltluftströme durch die Auf- oder Abströmung an Hanglagen berücksichtigt.



6 Umfassende Aussenraummodellierung (PT I)

6.1 Aussenraummodellierung mit QKM

Mithilfe der Aussenklimamodellierung mittels QKM können unter anderem die zeitlichen Verläufe der lokalen Werte der physiologisch äquivalenten Temperatur (PET), der Lufttemperatur, der Oberflächentemperatur, der Luftgeschwindigkeit und der Solareinträge an den Oberflächen bestimmt werden. Dabei werden verschiedene Arten von Wärmeflüssen im simulierten Quartier berücksichtigt (siehe Abbildung 15): kurzwellige Sonneneinstrahlung (direkte, diffuse und reflektierte Strahlung einschliesslich der ersten und zweiten Reflexion), langwelliger Strahlungsaustausch und Wärmeleitung in den Festkörpern. Ebenso werden die erzwungene und die natürliche Strömung, die Verdunstung und der Wasseraustausch in den Festkörpern berücksichtigt. QKM berücksichtigt ebenso die Verschattung durch die Umgebungsgebäude und Bäume sowie deren Strömungswiderstand für die Luft.

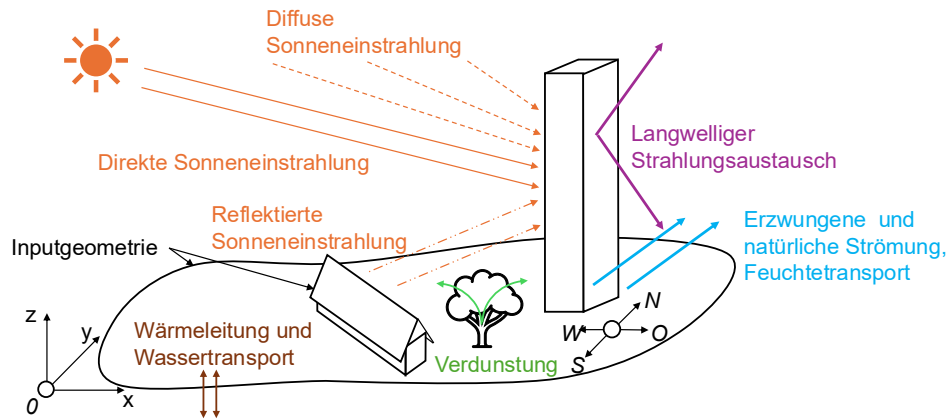


Abbildung 15: In QKM berücksichtigte physikalische Vorgänge

6.2 Bewertungskriterium physiologisch äquivalente Temperatur (PET)

PET (Physiological Equivalent Temperature) ist definiert als die physiologisch äquivalente Temperatur an einem bestimmten Ort im Aussenraum. Sie entspricht der Lufttemperatur, bei der in einer Innenraumumgebung (Luftgeschwindigkeit 0.1 m/s, keine Solarstrahlung) der Wärmehaushalt des menschlichen Körpers mit derselben Kern- und Hauttemperatur aufrechterhalten wird, wie unter den zu bewertenden Bedingungen im Aussenraum. Das Berechnungsmodell setzt eine männliche Person mit einem Gewicht von 75 kg, einer Bekleidung von 0.9 clo, einer Wärmeabgabe von 80 W, einer Körpergrösse von 1.75 m und einem Alter von 35 Jahren voraus.



Der PET ermöglicht die Bewertung des Wärmeempfindens und des physiologischen Stresslevels der Person im Aussenraum. [8] hat die nachfolgenden Schwellwerte ermittelt:

Tabelle 11: Schwellwerte der PET bei für unterschiedliche Wärmeempfinden und physiologische Stresslevel [8]

PET	Wärmeempfinden	Physiologisches Stresslevel
$< 4^{\circ}\text{C}$	Sehr kalt	Extrem
$4^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 8^{\circ}\text{C}$	Kalt	Stark
$8^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 13^{\circ}\text{C}$	Kühl	Mässig
$13^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 18^{\circ}\text{C}$	Leicht kühl	Leicht
$18^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 23^{\circ}\text{C}$	Neutral	Keines
$23^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 29^{\circ}\text{C}$	Leicht warm	Leicht
$29^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 35^{\circ}\text{C}$	Warm	Mässig
$35^{\circ}\text{C} \leq \text{PET} < 41^{\circ}\text{C}$	Heiss	Stark
$> 41^{\circ}\text{C}$	Sehr heiss	Extrem

6.3 Datenbereitstellung für Gebäudesimulation mit IDA

Die Simulationsergebnisse der Aussenklimamodellierung mittels QKM werden als Randbedingungen in IDA-ICE übertragen. Pro Gebäudefassade und Geschoss werden die flächengemittelten stündlichen Werte der Solareinstrahlung (direkt, diffus und reflektiert) der Lufttemperatur, der Luftfeuchte, der Luftgeschwindigkeit und der Temperaturen der oberen und unteren Hemisphären aus den QKM-Berechnung extrahiert (siehe Abbildung 16). Die Lufttemperatur, die Luftfeuchte und die Luftgeschwindigkeit an der jeweiligen Fassade entspricht derjenigen, des nächstgelegenen Luftknotens im QKM-Modell.

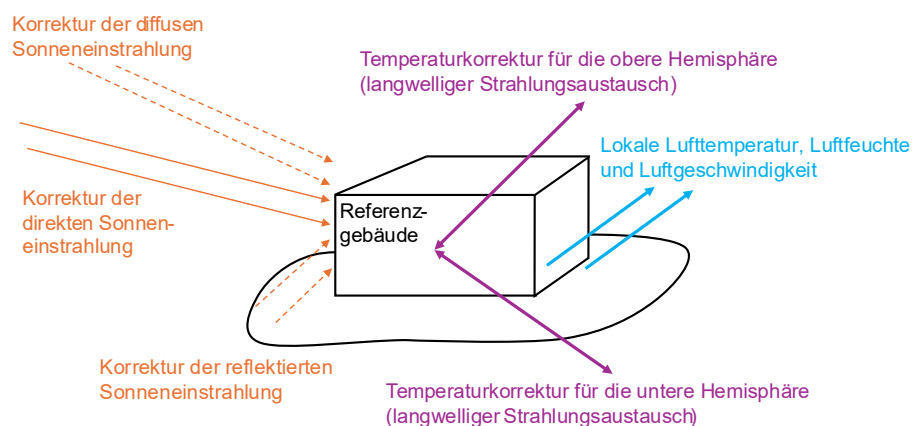


Abbildung 16: In QKM am Standort des Referenzgebäudes ermittelten Korrekturwerte der in IDA-ICE berücksichtigten physikalischen Grössen



6.4 QKM-Modelle für den Architektur- und Freiraumtypen Wohnen

In Abbildung 17 bis Abbildung 21 sind die QKM-Simulationsmodelle mit den Gebäuden und den Freiraumgestaltungen gemäss Kapitel 4 dargestellt.

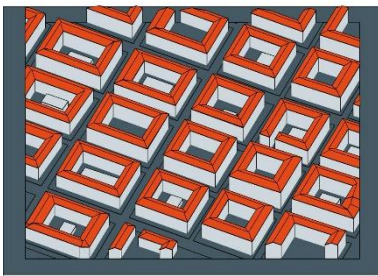
6.4.1. Stadt

Der Freiraumtyp «ohne Begrünung» weist weder eine Dachbegrünung noch eine Photovoltaikanlage auf. Grünflächen sind im Quartier nicht vorhanden.

Beim Freiraumtyp «minimale Begrünung» beträgt der Photovoltaikanteil 7% der Steildachfläche, eine Dachbegrünung ist nicht vorhanden. Der Vegetationsanteil beträgt 4.5%, hervorgerufen durch die vorhandenen Bäume und Grasflächen.

Der Freiraumtyp «maximale Begrünung» weist einen Photovoltaikanteil von 53% der Steildachfläche auf, eine Dachbegrünung ist nicht vorhanden. Der Vegetationsanteil beträgt 7%.

Ohne Begrünung



Minimale Begrünung



Maximale Begrünung



Abbildung 17: «Wohnen Stadt» – QKM-Simulationsmodelle

Der Auswerteperimeter sowie das Referenzgebäude sind in Abbildung 18 dargestellt.

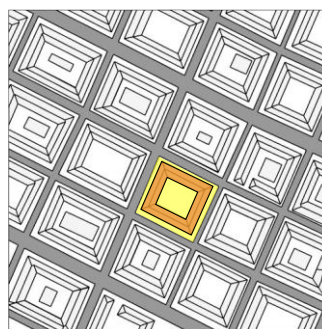


Abbildung 18: «Wohnen Stadt» – Auswerteperimeter (gelb) und Referenzgebäude (orange)

6.4.2. Stadtrand

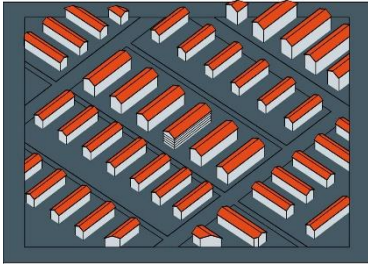
Der Freiraumtyp «ohne Begrünung» weist weder eine Dachbegrünung noch eine Photovoltaikanlage auf. Grünflächen sind im Quartier nicht vorhanden.

Beim Freiraumtyp «minimale Begrünung» beträgt der Photovoltaikanteil 7% der Steildachfläche, eine Dachbegrünung ist nicht vorhanden. Der Vegetationsanteil beträgt 32%, hervorgerufen durch die vorhandenen Bäume und Grasflächen.

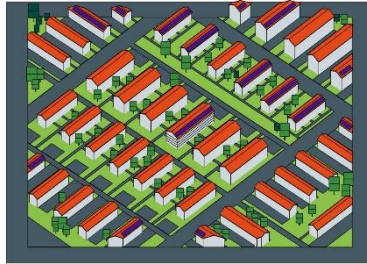


Der Freiraumtyp «maximale Begrünung» weist einen Photovoltaikanteil von 52% der Steildachfläche auf, eine Dachbegrünung ist nicht vorhanden. Der Vegetationsanteil beträgt 43%.

Ohne Begrünung



Minimale Begrünung



Maximale Begrünung

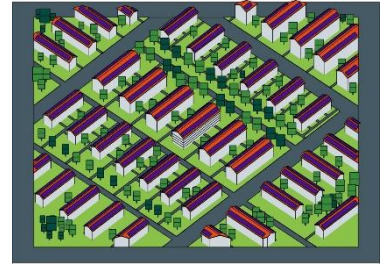


Abbildung 19: «Wohnen Stadtrand» – QKM-Simulationsmodelle

Der Auswerteperimeter sowie das Referenzgebäude sind in Abbildung 20 dargestellt.

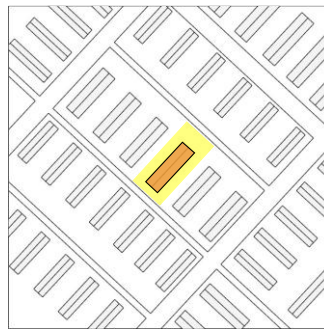


Abbildung 20: «Wohnen Stadtrand» – Auswerteperimeter (gelb) und Referenzgebäude (orange)

6.4.3. Land

Der Freiraumtyp «ohne Begrünung» weist weder eine Dachbegrünung noch eine Photovoltaikanlage auf. Grünflächen sind im Quartier nicht vorhanden.

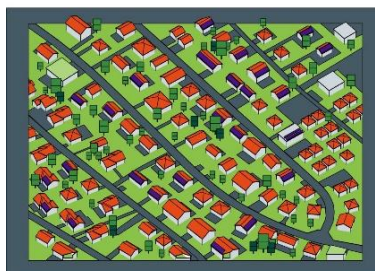
Beim Freiraumtyp «minimale Begrünung» beträgt der Photovoltaikanteil 7% der Dachfläche, die Dachbegrünung beträgt 47% der Fläche der Flachdächer. Der Vegetationsanteil beträgt 46%, hervorgerufen durch die vorhandenen Bäume und Grasflächen.

Der Freiraumtyp «maximale Begrünung» weist einen Photovoltaikanteil von 26% der Dachfläche auf, die Dachbegrünung beträgt 82% der Fläche der Flachdächer. Der Vegetationsanteil beträgt 52%.

Ohne Begrünung



Minimale Begrünung



Maximale Begrünung

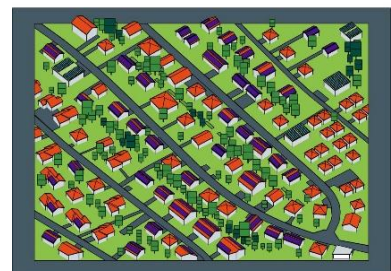


Abbildung 21: «Wohnen Land» – QKM-Simulationsmodelle



Der Auswerteperimeter sowie das Referenzgebäude sind in Abbildung 22 dargestellt.



Abbildung 22: «Wohnen Land» – Auswerteperimeter (gelb) und Referenzgebäude (orange)



6.5 QKM-Modelle für den Architektur- und Freiraumtypen Büro und Gewerbe

In Abbildung 23 bis Abbildung 27 sind die QKM-Simulationsmodelle mit den Gebäuden und den Freiraumgestaltungen gemäss Kapitel 4 dargestellt.

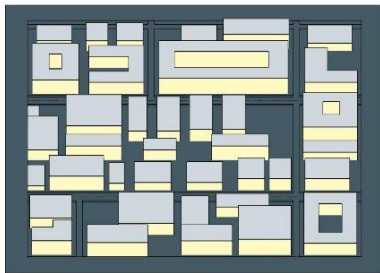
6.5.1. Stadt

Der Freiraumtyp «ohne Begrünung» weist weder eine Dachbegrünung noch eine Photovoltaikanlage auf. Grünflächen sind im Quartier nicht vorhanden.

Beim Freiraumtyp «minimale Begrünung» beträgt der Photovoltaikanteil 5% der Dachfläche, die Dachbegrünung beträgt 49% der Fläche der Flachdächer. Der Vegetationsanteil beträgt 23%, hervorgerufen durch die vorhandenen Bäume, Dachbegrünungen und Grasflächen.

Der Freiraumtyp «maximale Begrünung» weist einen Photovoltaikanteil von 44% der Dachfläche auf, die Dachbegrünung beträgt 75% der Fläche der Flachdächer. Der Vegetationsanteil beträgt 10% und ist im Vergleich zum Freiraumtyp «maximale Begrünung» kleiner, da die Photovoltaik ein Teil der Dachbegrünung abdeckt.

Ohne Begrünung



Minimale Begrünung



Maximale Begrünung

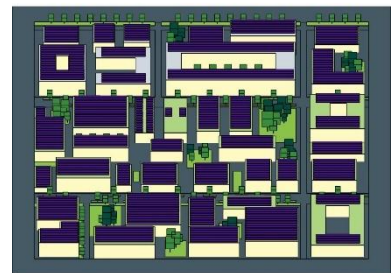


Abbildung 23: «Büro und Gewerbe Stadt» – QKM-Simulationsmodelle

Der Auswerteperimeter sowie das Referenzgebäude sind in Abbildung 24 dargestellt.



Abbildung 24: « Büro und Gewerbe Stadt» – Auswerteperimeter (gelb) und Referenzgebäude (orange)



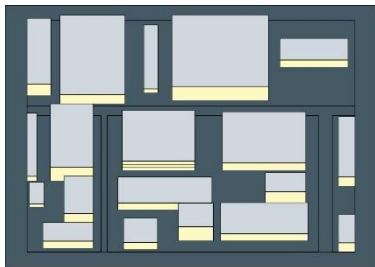
6.5.2. Stadtrand

Der Freiraumtyp «ohne Begrünung» weist weder eine Dachbegrünung noch eine Photovoltaikanlage auf. Grünflächen sind im Quartier nicht vorhanden.

Beim Freiraumtyp «minimale Begrünung» beträgt der Photovoltaikanteil 6% der Dachfläche, die Dachbegrünung beträgt 49% der Fläche der Flachdächer. Der Vegetationsanteil beträgt 27%, hervorgerufen durch die vorhandenen Bäume, Dachbegrünungen und Grasflächen.

Der Freiraumtyp «maximale Begrünung» weist einen Photovoltaikanteil von 58% der Dachfläche auf, die Dachbegrünung beträgt 79% der Fläche der Flachdächer. Der Vegetationsanteil beträgt 9% und ist im Vergleich zum Freiraumtyp «maximale Begrünung» kleiner, da die Photovoltaik ein Teil der Dachbegrünung abdeckt.

Ohne Begrünung



Minimale Begrünung



Maximale Begrünung

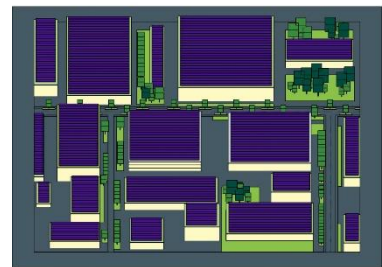


Abbildung 25: «Büro und Gewerbe Stadt» – QKM-Simulationsmodelle

Der Auswerteperimeter sowie das Referenzgebäude sind in Abbildung 26 dargestellt.



Abbildung 26: « Büro und Gewerbe Stadtrand» – Auswerteperimeter (gelb) und Referenzgebäude (orange)



6.5.3. Land

Der Freiraumtyp «ohne Begrünung» weist weder eine Dachbegrünung noch eine Photovoltaikanlage auf. Grünflächen sind im Quartier nicht vorhanden.

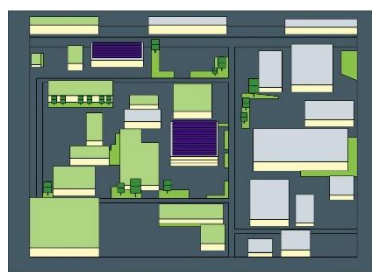
Beim Freiraumtyp «minimale Begrünung» beträgt der Photovoltaikanteil 6% der Dachfläche, die Dachbegrünung beträgt 52% der Fläche der Flachdächer. Der Vegetationsanteil beträgt 20%, hervorgerufen durch die vorhandenen Bäume, Dachbegrünungen und Grasflächen.

Der Freiraumtyp «maximale Begrünung» weist einen Photovoltaikanteil von 57% der Dachfläche auf, die Dachbegrünung beträgt 80% der Fläche der Flachdächer. Der Vegetationsanteil beträgt 10% und ist im Vergleich zum Freiraumtyp «maximale Begrünung» kleiner, da die Photovoltaik der Teil der Dachbegrünung abdeckt.

Ohne Begrünung



Minimale Begrünung



Maximale Begrünung

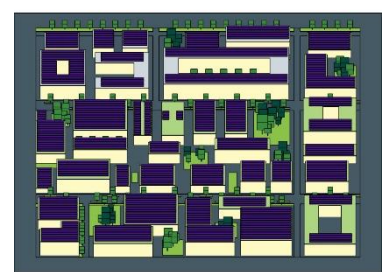


Abbildung 27: «Büro und Gewerbe Land» – QKM-Simulationsmodelle

Der Auswerteperimeter sowie das Referenzgebäude sind in Abbildung 28 dargestellt.



Abbildung 28: «Büro und Gewerbe Stadt» – Auswerteperimeter (gelb) und Referenzgebäude (orange)



7 Vereinfachte Aussenraummodellierung (PT II)

7.1 Aussenraummodellierung vereinfacht

Wir im Projektteil II ausgearbeitet.



8 Gebäudesimulation gekoppelt mit umfassender Aussenraummodellierung (PT I)

8.1 Anpassungen IDA-ICE an den Datentransfer

Standardmässig verwendet IDA-ICE für die Berechnung der Wärmeflüsse in den Innenraum eine Wetterdatei einer Messstation. Diese enthält Werte für den zeitlichen Verlauf der Aussentemperatur, der Windrichtung, der Windgeschwindigkeit, der Luftfeuchtigkeit sowie der direkten und diffusen Sonneneinstrahlung. In den Wetterdaten sind jedoch die temperaturreduzierenden Massnahmen im Aussenraum und die Verschattung durch die Nachbargebäude nicht berücksichtigt. Deren Einfluss auf die physikalischen Grössen am Referenzgebäude wird aus den QKM-Simulationen entnommen (siehe Abbildung 29) und als Randbedingungen an IDA-ICE übertragen.

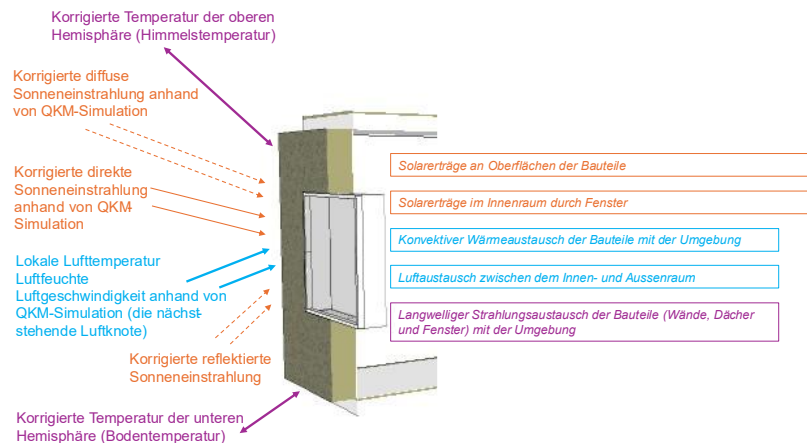


Abbildung 29: Verknüpfung der Daten von QKM auf die Elemente von IDA-ICE

8.2 Randbedingungen für die Ermittlung des Heiz- und Kühlenergiebedarfs

8.2.1. Fensterlüftung

In dem Gebäudesimulationsmodell wird nur die einseitige Fensterlüftung infolge der Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen berücksichtigt. Der Aussenluftvolumenstrom wird anhand der nachfolgenden Gleichung gemäss [9] berechnet:

$$\dot{V}_E = c_d \cdot H \cdot B \cdot \frac{1}{3} \cdot \sqrt{g \cdot H \cdot \frac{T_i - T_a}{T_a}} \quad (10)$$

$\dot{V}_E$	Aussenluftvolumenstrom durch Rechtecköffnung	[m³/s]
c_d	Durchflussfaktor (0.6)	[-]
H	Höhe der Öffnung	[m]
B	Breite der Öffnung	[m]
g	Erdbeschleunigung (9.8)	[m/s²]
T_i	Raumlufttemperatur	[K]
T_a	Aussenlufttemperatur	[K]



Bei der Fensterlüftung wird ein Teil der Fenster geöffnet. Der Anteil der geöffneten Fensterfläche ist im Erdgeschoss, im Mittelgeschoss und im Dachgeschoss gleich. Die genauen Anteile der geöffneten Fenster variieren je nach Architekturtyp und sind im Kapitel 8.2.2 und 0 beschrieben.

Die Fenstersteuerung erfolgt anhand der mittleren volumetrischen CO₂-Konzentration im Raum. Der obere Grenzwert liegt bei 1'000 ppm (öffnen), der untere bei 600 ppm (schliessen). Somit werden die Anforderungen gemäss [3], Tabelle 4 «Emissionen einer Person und Grenzwerte im Aufenthaltsbereich», eingehalten.

Zwischen dem 01. Mai und 30. September werden die Fenster im Erdgeschoss nur gekippt (Kippwinkel: 5°), während sie im Mittel- und Dachgeschoss vollständig geöffnet werden. Zusätzlich zur oben beschriebenen Fenstersteuerung werden die Fenster anhand der Lufttemperatur im Raum geöffnet, sofern die Aussenlufttemperatur tiefer als die Raumtemperatur ist. Die Fenster werden bei 22°C geschlossen und bei 23°C geöffnet um die Anforderungen gemäss [3], Figur 4 «Zulässiger Bereich der empfundenen Temperatur in Wohn- und Büroräumen, während diese beheizt, gekühlt oder mechanisch belüftet sind, je nach gleitendem Mittelwert der Aussentemperatur», erfüllt werden.

Der Aussenluftvolumenstrom durch Kippflügel bei einem Kippwinkel von 5° wird gemäss [9] wie folgt berechnet:

$$\dot{V}_K = 0.09 \cdot \dot{V}_E \quad (11)$$

$\dot{V}_K$ Aussenluftvolumenstrom durch Kippflügel [m³/s]

$\dot{V}_E$ Aussenluftvolumenstrom durch Rechtecköffnung [m³/s]

8.2.2. Mechanische Lüftung

Die mechanische Lüftung wird durch eine Anlage mit Wärmerückgewinnung ohne Heiz- und Kühlregister gewährleistet. Der Temperaturänderungsgrad der Wärmerückgewinnung von 0.73 wird für alle Architekturtypen und Bauweisen vorausgesetzt. Dies entspricht dem Standardwert gemäss [10] (Tabelle 12).

Tabelle 12: Temperaturänderungsgrad der Wärmerückgewinnung in Abhängigkeit vom Architekturtyp

	Architekturtyp «Wohnen»			Architekturtyp «Büro und Gewerbe»		
	Stadt	Stadttrand	Land	Stadt	Stadttrand	Land
Leichtbau	0.73					
Massivbau						

Der Aussenluftvolumenstrom hängt von der Belegung ab und wird pro Architekturtyp bestimmt (Tabelle 13).

Tabelle 13: Aussenluftvolumenstrom in Abhängigkeit vom Architekturtyp

	Architekturtyp «Wohnen»			Architekturtyp «Büro und Gewerbe»		
	Stadt	Stadttrand	Land	Stadt	Stadttrand	Land
Raumnutzung gemäss [10]	Wohnen MFH		Wohnen EFH	Grossraumbüro		Einzel-, Gruppenbüro
Nettogeschossfläche pro Person [m ²]	35		50	10		14
Aussenluftvolumenstrom [m ³ /(m ² ·h)]	0.8		0.6	2.9		2.1



8.2.3. Heiz- und Kühlgeräte

In den Gebäudesimulationen werden ideale Heiz- und Kühlgeräte verwendet. Sie stellen zu jedem Zeitpunkt die geforderte Raumtemperatur sicher. Die Steuerung der Geräte erfolgt gemäss [3], Figur 4 «Zulässiger Bereich der empfundenen Temperatur in Wohn- und Büroräumen, während diese beheizt, gekühlt oder mechanisch belüftet sind, je nach gleitendem Mittelwert der Aussentemperatur».

8.2.4. Personen, Geräte, Beleuchtung

Die internen Lasten werden durch die im Gebäude anwesenden Personen und Geräte sowie die im Gebäude installierte Beleuchtung erzeugt. Für die Gebäudesimulationen werden die Wärmelasten und ihr zeitlicher Verlauf anhand der Standardwerte gemäss [10] definiert.

Tabelle 14: Angaben zu den internen Wärmelasten

Angaben zu internen Wärmelasten		Architekturtyp «Wohnen»			Architekturtyp «Büro und Gewerbe»		
		Stadt	Stadttrand	Land	Stadt	Stadttrand	Land
Raumnutzung gemäss [10]		Wohnen MFH		Wohnen EFH	Grossraumbüro		Einzel-, Gruppenbüro
Personen	Nettogeschossfläche pro Person [m²]	35		50	10		14
	Vollaststunden pro Jahr [h]	4'090			1'500		
	Aktivitätsgrad [met]	1.2					
	Jahresgleichzeitigkeit [-]	0.8					
	Wärmedämmwert der Bekleidung [clo]	1.0 (Winter) 0.5 (Sommer)					
Geräte	Elektrische Leistung der Geräte (maximaler Stundenwert) [W/m²]	10			15		11
	Vollaststunden [h]	2'160		1'780	2'910		
Beleuchtung	Elektrische Leistung der Beleuchtung (maximaler Stundenwert) [W/m²]	3			7.6		9.7
	Vollaststunden [h]	846			1'931		1'383

8.2.5. Sonnenschutz

Als Sonnenschutz werden Lammellenstoren für alle Architekturtypen eingesetzt. Der g-Wert-Abminderungsfaktor basiert auf den Anforderungen gemäss [10].

Tabelle 15: g-Wert-Abminderungsfaktor in Abhängigkeit vom Architekturtyp

	Architekturtyp «Wohnen»			Architekturtyp «Büro und Gewerbe»		
	Stadt	Stadttrand	Land	Stadt	Stadttrand	Land
Leichtbau	0.28 Neubau, 0.31 Altbau					
Massivbau						



Die Sonnenschutzsteuerung erfolgt gemäss [11], «Tabelle 9: Berechnung des Lamellen-Anstellwinkels für die drei Funktionstypen der Sonnenschutzsteuerung», Lamellen gehen in Arbeitsposition 45° und werden mehr geschlossen, wenn Direktstrahlung eindringen würde ($X = 2$). Der Sonnenschutz ist geschlossen, wenn die Sonnenstrahlung an der Fassade grösser als 200 W/m^2 ist (gemäss [3], «Anhang C.1: Sommerlicher Wärmeschutz»).

8.3 Gebäudemodelle IDA-ICE Wohnen

8.3.1. Stadt

Die Gebäudemodelle für den städtebaulichen bzw. architektonischen Typ «Wohnen Stadt» sind in Abbildung 30 dargestellt. Die Gebäudemodelle stellen eine Vereinfachung des Architekturkonzepts dar, bei der die Fenster zusammengefasst wurden. Die Aufteilung der Fassade in Fenster und Wohnungen, die sich am Fensteranteil orientiert, ist in Abbildung 31, Abbildung 32 und Abbildung 33 dargestellt.

Fensteranteil 26%

Fensteranteil 33%

Fensteranteil 50%



Abbildung 30: «Wohnen Stadt» – IDA-ICE-Simulationsmodelle

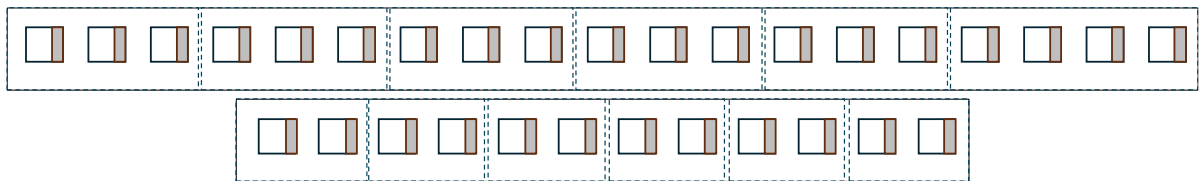


Abbildung 31: «Wohnen Stadt», Fensteranteil 26% – Aufteilung der Fassade in Fenster und Wohnungen (grau: öffentlicher Fensterteil, punktierte Linien: Wohnungen, oben: Fassade zur Verkehrsstrasse, unten: Fassade zum Innenhof)

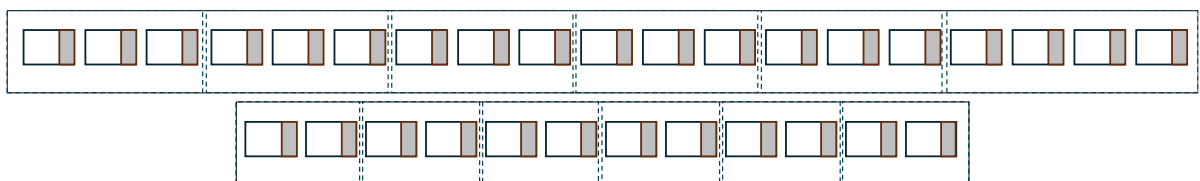


Abbildung 32: «Wohnen Stadt», Fensteranteil 33% – Aufteilung der Fassade in Fenster und Wohnungen (grau: öffentlicher Fensterteil, punktierte Linien: Wohnungen, oben: Fassade zur Verkehrsstrasse, unten: Fassade zum Innenhof)

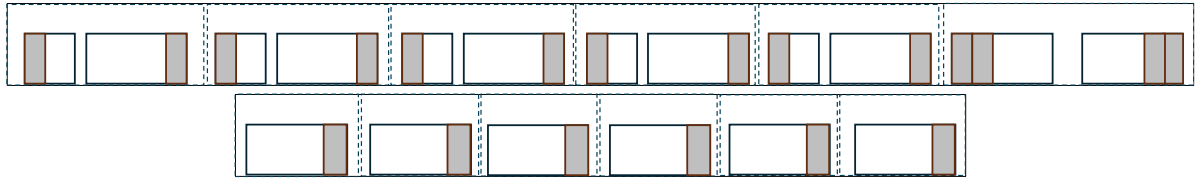


Abbildung 33: «Wohnen Stadt», Fensteranteil 50% – Aufteilung der Fassade in Fenster und Wohnungen (grau: öffentlicher Fensterteil, gestrichelte Linien: Wohnungen, oben: Fassade zur Verkehrsstrasse, unten: Fassade zum Innenhof)

8.3.2. Stadtrand

Die Gebäudemodelle für den städtebaulichen bzw. architektonischen Typ «Wohnen Stadtrand» sind in Abbildung 34 dargestellt. Die Gebäudemodelle stellen eine Vereinfachung des Architekturkonzepts dar, bei der die Fenster zusammengefasst wurden. Die Aufteilung der Fassade in Fenster und Wohnungen, die sich am Fensteranteil orientiert, ist in Abbildung 35, Abbildung 36 und Abbildung 37 dargestellt.

Fensteranteil 25%

Fensteranteil 33%

Fensteranteil 50%

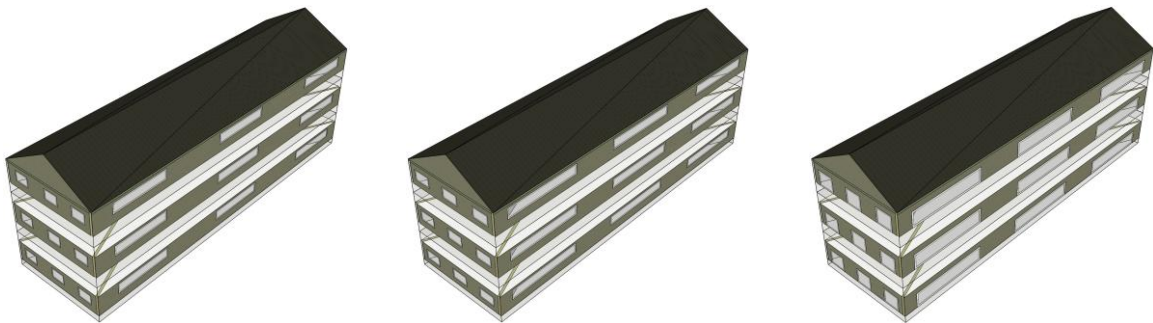


Abbildung 34: «Wohnen Stadtrand» – IDA-ICE-Simulationsmodelle

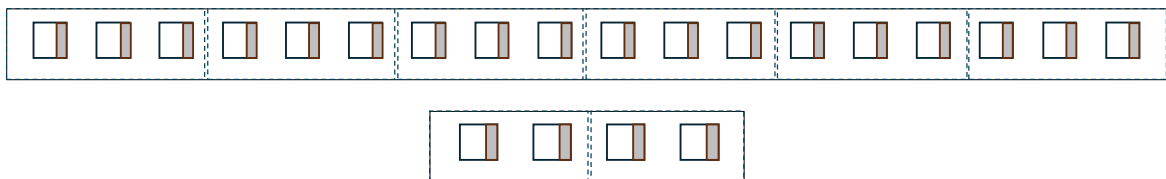


Abbildung 35: «Wohnen Stadtrand», Fensteranteil 25% – Aufteilung der Fassade in Fenster und Wohnungen (grau: öffentlicher Fensterteil, gestrichelte Linien: Wohnungen)

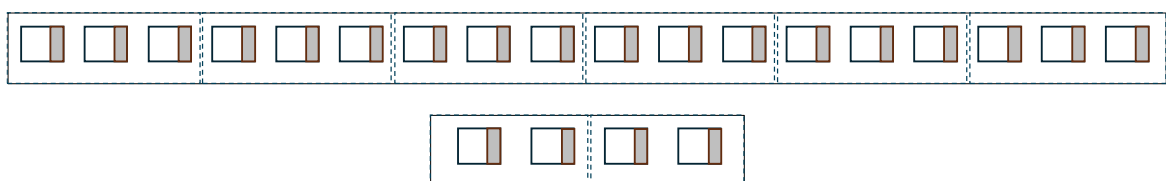


Abbildung 36: «Wohnen Stadtrand», Fensteranteil 33% – Aufteilung der Fassade in Fenster und Wohnungen (grau: öffentlicher Fensterteil, gestrichelte Linien: Wohnungen)

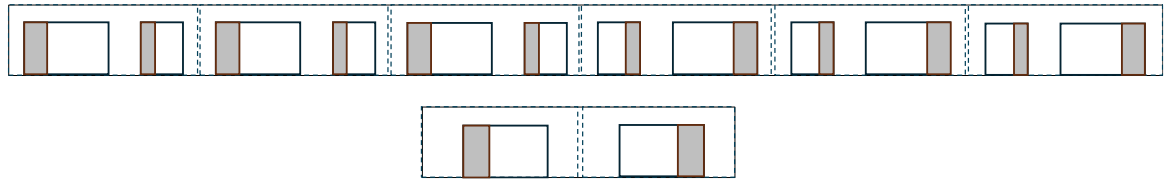
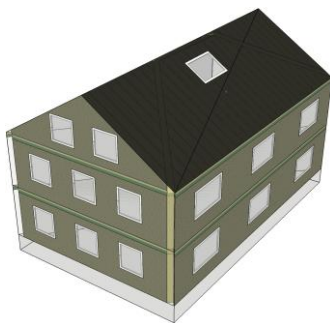


Abbildung 37: «Wohnen Stadtrand», Fensteranteil 50% – Aufteilung der Fassade in Fenster und Wohnungen (grau: öffentlicher Fensteranteil, gestrichelte Linien: Wohnungen)

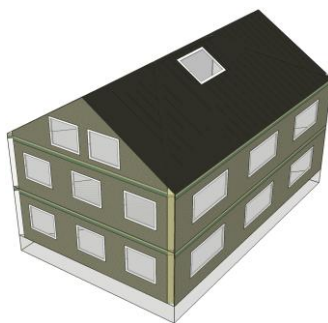
8.3.3. Land

Die Gebäudemodelle für den städtebaulichen bzw. architektonischen Typ «Wohnen Land» sind in Abbildung 38 dargestellt. Die Gebäudemodelle stellen eine Vereinfachung des Architekturkonzepts dar, bei der die Fenster zusammengefasst wurden. Die Aufteilung der Fassade in Fenster, die sich am Fensteranteil orientiert, ist in Abbildung 39 dargestellt.

Fensteranteil 24%



Fensteranteil 33%



Fensteranteil 50%

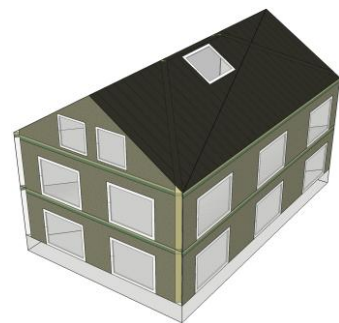
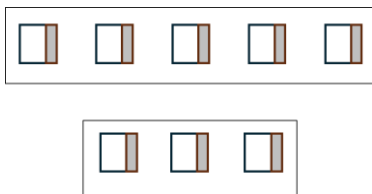
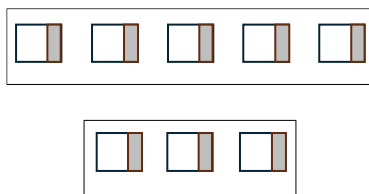


Abbildung 38: «Wohnen Land» – IDA-ICE-Simulationsmodelle

Fensteranteil 24%



Fensteranteil 33%



Fensteranteil 50%

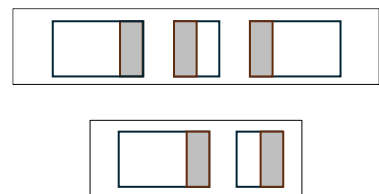


Abbildung 39: «Wohnen Land» – Aufteilung der Fassade in Fenster und Wohnungen (grau: öffentlicher Fensteranteil, gestrichelte Linien: Wohnungen)



8.4 Gebäudemodelle IDA-ICE Büro und Gewerbe

8.4.1. Stadt

Die Gebäudemodelle für den städtebaulichen bzw. architektonischen Typ «Büro und Gewerbe Stadt» sind in Abbildung 40 dargestellt. Die Gebäudemodelle stellen eine Vereinfachung des Architekturkonzepts dar, bei der die Fenster zusammengefasst wurden. Die Aufteilung der Fassade in Fenster und Wohnungen, die sich am Fensteranteil orientiert, ist in Abbildung 41, Abbildung 42 und Abbildung 43 dargestellt.

Fensteranteil 26%

Fensteranteil 33%

Fensteranteil 50%

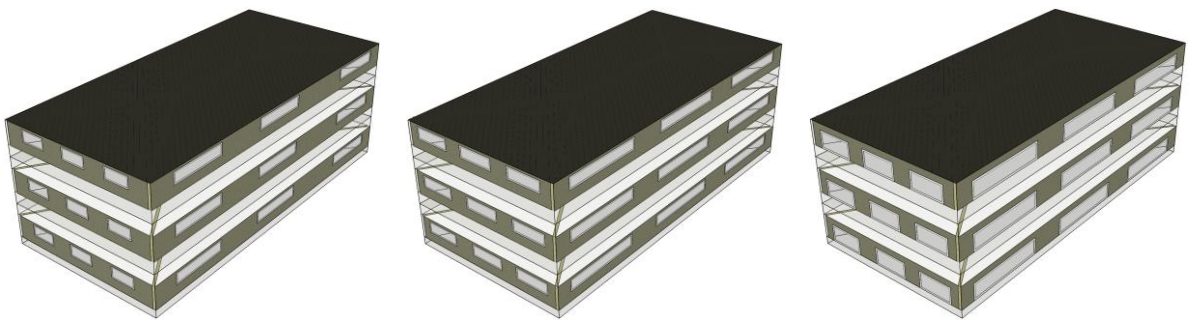


Abbildung 40: «Büro und Gewerbe Stadt» – IDA-ICE-Simulationsmodelle

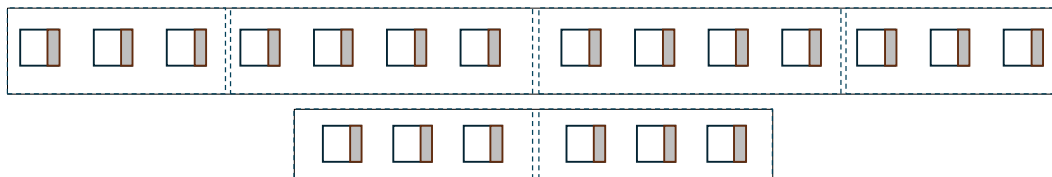


Abbildung 41: «Büro und Gewerbe Stadt», Fensteranteil 26% – Aufteilung der Fassade in Fenster und Büro (grau: öffentlicher Fensterteil, punktierte Linien: Büros)

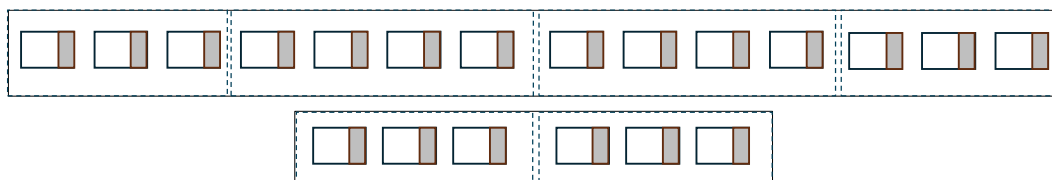


Abbildung 42: «Büro und Gewerbe Stadt», Fensteranteil 33% – Aufteilung der Fassade in Fenster und Büro (grau: öffentlicher Fensterteil, punktierte Linien: Büros)

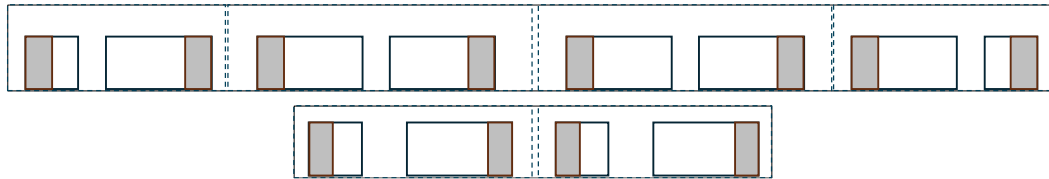


Abbildung 43: «Büro und Gewerbe Stadt», Fensteranteil 50% – Aufteilung der Fassade in Fenster und Büro (grau: öffentlicher Fensteranteil, gestrichelte Linien: Büros)

8.4.2. Stadtrand

Die Gebäudemodelle für den städtebaulichen bzw. architektonischen Typ «Büro und Gewerbe Stadtrand» sind in Abbildung 44 dargestellt. Die Gebäudemodelle stellen eine Vereinfachung des Architekturkonzepts dar, bei der die Fenster zusammengefasst wurden. Die Aufteilung der Fassade in Fenster und Wohnungen, die sich am Fensteranteil orientiert, ist in Abbildung 45, Abbildung 46 und Abbildung 47 dargestellt.

Fensteranteil 25%

Fensteranteil 33%

Fensteranteil 50%

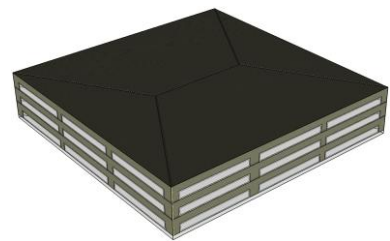
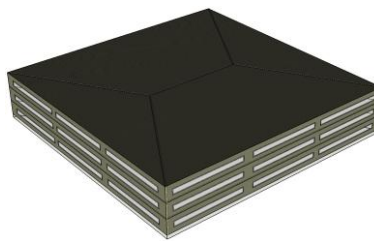
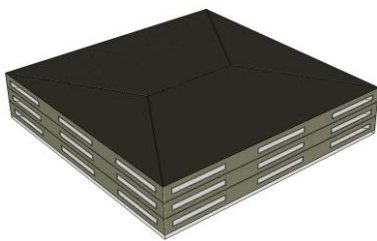


Abbildung 44: «Büro und Gewerbe Stadtrand» – IDA-ICE-Simulationsmodelle

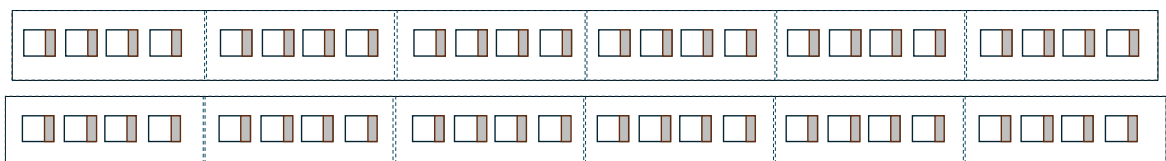


Abbildung 45: «Büro und Gewerbe Stadtrand», Fensteranteil 25% – Aufteilung der Fassade in Fenster und Büro (grau: öffentlicher Fensteranteil, gestrichelte Linien: Büros)

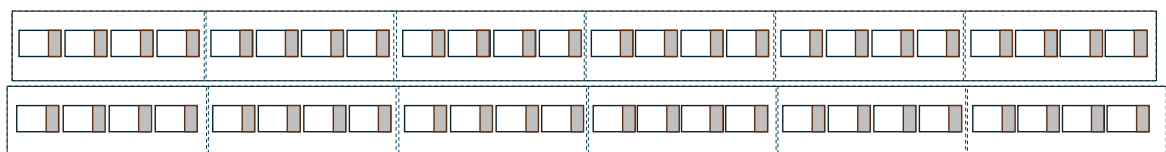


Abbildung 46: «Büro und Gewerbe Stadtrand», Fensteranteil 33% – Aufteilung der Fassade in Fenster und Büro (grau: öffentlicher Fensteranteil, gestrichelte Linien: Büros)

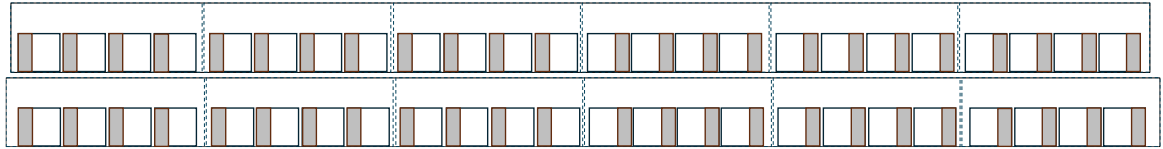


Abbildung 47: «Büro und Gewerbe Stadtrand», Fensteranteil 50% – Aufteilung der Fassade in Fenster und Büro (grau: öffentlicher Fensterteil, gepunktete Linien: Büros)

8.4.3. Land

Die Gebäudemodelle für den städtebaulichen bzw. architektonischen Typ «Büro und Gewerbe Land» sind in Abbildung 48 dargestellt. Die Gebäudemodelle stellen eine Vereinfachung des Architekturkonzepts dar, bei der die Fenster zusammengefasst wurden. Die Aufteilung der Fassade in Fenster und Wohnungen, die sich am Fensteranteil orientiert, ist in Abbildung 49, Abbildung 50 und Abbildung 51 dargestellt.

Fensteranteil 25%

Fensteranteil 33%

Fensteranteil 50%

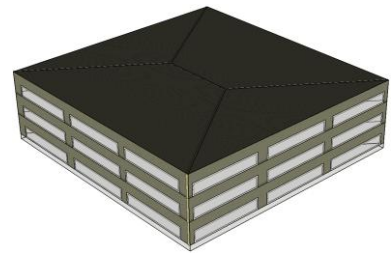
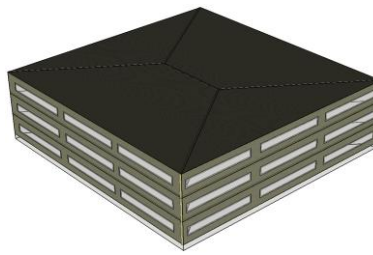
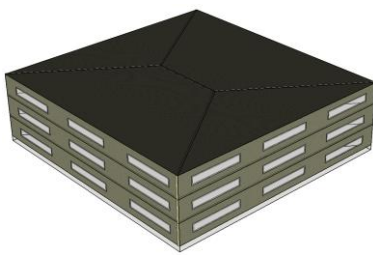


Abbildung 48: «Büro und Gewerbe Land» – IDA-ICE-Simulationsmodelle

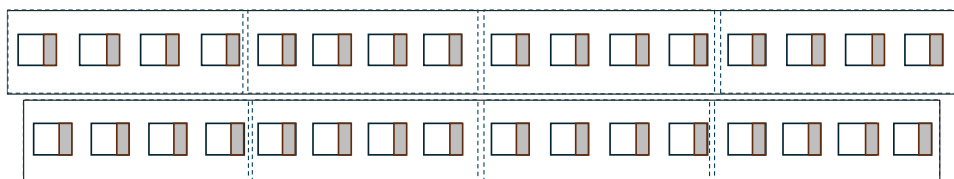


Abbildung 49: «Büro und Gewerbe Land», Fensteranteil 25% – Aufteilung der Fassade in Fenster und Büro (grau: öffentlicher Fensterteil, gepunktete Linien: Büros)

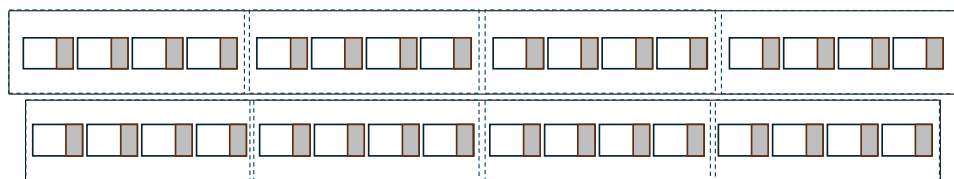


Abbildung 50: «Büro und Gewerbe Land», Fensteranteil 33% – Aufteilung der Fassade in Fenster und Büro (grau: öffentlicher Fensterteil, gepunktete Linien: Büros)

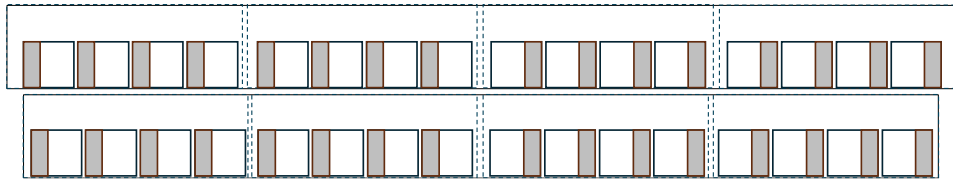


Abbildung 51: «Büro und Gewerbe Land», Fensteranteil 50% – Aufteilung der Fassade in Fenster und Büro (grau: öffentlicher Fensteranteil, punktierte Linien: Büros)



9 Gebäudesimulation mit vereinfachter Aussenraummodellierung (PT II)

Inhalt wird im Projektteil II ausgearbeitet.

9.1 Anpassung IDA-ICE an den Datentransfer

Text

9.2 Gebäudemodelle IDA-ICE Wohnen

9.2.1. Stadt

9.2.2. Stadtrand

9.2.3. Land

9.3 Gebäudemodelle IDA-ICE Büro und Gewerbe

9.3.1. Stadt

9.3.2. Stadtrand

9.3.3. Land



10 Schlussfolgerungen und Ausblick

Das Projekt verläuft inhaltlich nach Plan. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen ein differenziertes Bild der Einflüsse des Aussenraums auf den Innenraum.

Die Ausarbeitung und das Austesten der Schnittstelle mit den Modellen in QKM und dem Referenzgebäude in IDA-ICE haben mehr Zeit in Anspruch genommen als geplant. Deshalb werden die umfassenden Ergebnisse von AP1 nicht Ende Dezember 2025, sondern Ende Februar 2026 vorliegen. Diese Situation hat keinen Einfluss auf den Endtermin des Projekts, da bereits jetzt aus den durchgeführten Arbeiten Erkenntnisse für den Projektteil II vorliegen, speziell zum Thema Hitzeinsel (siehe Kapitel 5.1).

Die Besprechung der Zwischenergebnisse mit der Begleitgruppe soll wie geplant Ende Januar 2026 stattfinden.

In einem nächsten Schritt werden Simulationsberechnungen für komplementäre Fälle durchgeführt, um den Einfluss auf die Ergebnisse zu ermitteln.

- Wohnen Stadt; Leichtbau; Fensteranteil 50%
- Wohnen Land; Massivbau; Fensteranteil 33%
- Büro und Gewerbe, Stadt; Massivbau; Fensteranteil 33%



11 Nationale und internationale Zusammenarbeit

Die Annahmen und Ergebnisse aus dem vorliegenden Projekt sollen im Sinne des Wissenstransfers in den IEA-Annex «Resilient and Sustainable Cooling in Cities» einfließen. Der IEA-Annex 97 hat im Jahr 2025 mit der Preparation Phase begonnen. Die Working Phase umfasst den Zeitraum von Ende 2025 bis Ende 2028, der Projektabschluss wird für Ende 2029 erwartet. Damit ein gemeinsamer Wissenstransfer zwischen dem vorliegenden Projekt und dem IEA-Annex erfolgen kann, müssen belastbare Gesamtergebnisse vorliegen und die Working Phase muss begonnen haben. Aus diesem Grund ist die Teilnahme an einem IEA-Workshop im Frühjahr 2026 geplant.



12 Publikationen und andere Kommunikation

Es wurden noch keine Publikationen erstellt.



13 Literaturverzeichnis

- [1] N. E. Theeuwes, G.-J. Steeneveld, R. J. Ronda und A. A. M. Holtslag, «A diagnostic equation for the daily maximum urban heat island effect for cities in northwest Europe,» *International Journal of Climatology*, Bd. 37, pp. 443-454, 2016.
- [2] R. Gehrig, N. König und S. Scherrer, «Städtische Wärmeinseln in der Schweiz - Klimatologische Studie mit Messdaten in fünf Städten,» MeteoSchweiz, Zürich, 2018.
- [3] «SIA 180:2014 Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden,» Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2014.
- [4] K. Wehrli, F. Sidler, S. Gubler, S. Kotlarski, G. Settembrini, M. Koschenz und G. Zweifel, «Klimaszenarien fürs zukünftige Innenraumklima (SIA 2028) – Schlussbericht der Projekte «Klimaangepasstes Bauen – Grundlagen für die Zukunft» und A.15 «Aktuelle Klimadaten für Bauplanende»,» MeteoSchweiz, SIA und Hochschule Luzern, Zürich, 2022.
- [5] M. Koschenz, S. Domingo-Irigoyen, M. Niffeler, M. Ragettli und B. Flückiger, «ResCool: Klimaanpassung von Neu-, Um- und bestehenden Wohnbauten - effiziente Kühlkonzepte,» Hochschule Luzern, IGE, Horw, 2021.
- [6] V. Dorer und J. Allegrini, «Urban Climate and Energy Demand in Buildings,» Empa, Dübendorf, 2012.
- [7] T. R. Oke, G. Mills, A. Christen und J. A. Voogt, *Urban Climate*, Cambridge University Press, 2017.
- [8] A. Matzarakis und H. Mayer, «Atmospherical Conditions and Human Thermal Comfort in Urban Areas,» *11 th Seminar on Environmental Protection „Environment and Health“*, pp. 155-166, 2000.
- [9] «SIA Merkblatt 2023:2008 Lüftung in Wohnbauten,» Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2008.
- [10] «SIA Merkblatt 2024:2021 Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik,» Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2021.
- [11] «SIA 387/4:2017 Elektrizität in Gebäuden - Beleuchtung: Berechnung und Anforderungen,» Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2017.



14 ANHANG: Referenzbeispiele städtebauliche bzw. architektonische Typen

14.1 Referenzbeispiel Typen Wohnen



Referenz: Zürich Kreis 4, Anwandstrasse
47° 22' 37.35" N 8° 31' 19.06" E
300 x 300m



Referenz: Zürich Kreis 4, Kalkbreitestrasse
47° 22' 20.5" N 8° 30' 45.2" E
300 x 300m

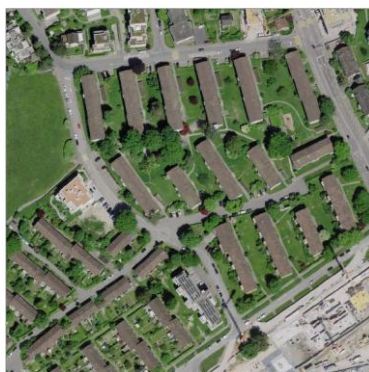


Referenz: Zürich Kreis 5, Josefstrasse
47° 23' 07.12" N 8° 31' 44.95" E
300 x 300m

Abbildung 52: Referenzbeispiele von Typen Wohnen Blockrand



Referenz: Zürich Affoltern, Bergacker
47° 28' 58.83" N 8° 30' 29.98" E
300 x 300m

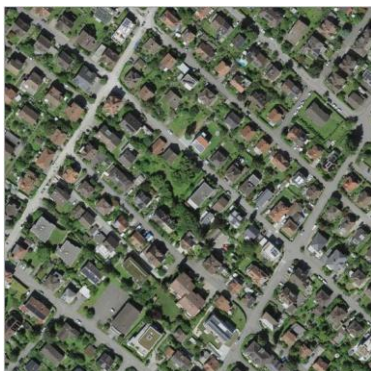


Referenz: Zürich Seebach, Buchwiesen
47° 25' 37.98" N 8° 32' 36.03" E
300 x 300m



Referenz: Zürich Oerlikon, Wallisellenstrasse
47° 24' 39.08" N 8° 33' 41.56" E
300 x 300m

Abbildung 53: Referenzbeispiele von Typen Wohnen Zeile



Referenz: Wetztingen, Austrasse
47° 28' 04.0" N 8° 18' 56.3" E
300 x 300m



Referenz: Dietikon, Kindhausen
47° 23' 41.49" N 8° 22' 41.83" E
300 x 300m



Referenz: Opfikon, Rietgrabenstrasse
47° 25' 30.97" N 8° 34' 46.73" E
300 x 300m

Abbildung 54: Referenzbeispiele von Typen Wohnen Punkthaus



14.2 Referenzbeispiel Typen Büro und Gewerbe



Referenz: Lausanne, Rue de Genève
46° 31' 17.39" N 6° 37' 38.42" E
300 x 300m



Referenz: Winterthur, ehem. Sulzer-Areal
47° 29' 51.25" N 8° 43' 08.54" E
300 x 300m



Referenz: Zürich Kreis 5, Förlibuckstrasse
47° 23' 31.51" N 8° 30' 43.05" E
300 x 300m

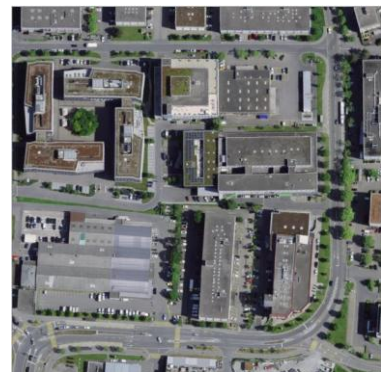
Abbildung 55: Referenzbeispiele von Typen Büro und Gewerbe Stadt



Referenz: Schlieren, Rütistrasse
47° 24' 03.03" N 8° 27' 05.80" E
300 x 300m



Referenz: Dietikon, Moosmatt / Silbern
47° 25' 07.95" N 8° 23' 44.60" E
300 x 300m



Referenz: Cham, Städtler-Allmend
47° 11' 15.92" N 8° 28' 33.42" E
300 x 300m

Abbildung 56: Referenzbeispiele von Typen Büro und Gewerbe Stadtrand



Referenz: Gränichen, Industriestrasse
47° 16' 58.04" N 8° 45' 30.70" E
300 x 300m



Referenz: Gossau ZH, Industriestrasse
47° 18' 15.57" N 8° 44' 58.09" E
300 x 300m



Referenz: Mönchaltorf, Esslingerstrasse
47° 18' 10.74" N 8° 43' 12.89" E
300 x 300m

Abbildung 57: Referenzbeispiele von Typen Büro und Gewerbe Land



15 ANHANG: Materialisierung

15.1 Materialisierung Aussenraum

Tabelle 16: Asphaltierte Strasse

Material (von aussen nach innen)	Dicke	Dichte	Wärmeleit- fähigkeit	Wärme- speicher- fähigkeit	Wasser- gehalt Startwert (Maxi- malwert)	Albedo	Emis- sivität	Blatt- flächen- index
	[m]	[kg/m³]	[W/(m·K)]	[J/(kg·K)]	[kg/m³]	[-]	[-]	[-]
Asphalt	0.12	2'200	1.12	1'213	20.0	0.18	0.82	0.0
Kies	0.40	1'800	0.7 trocken 2.8 nass	710	67.5 (135.0)			
Erde	4.5	1'700	0.7 trocken 2.8 nass	1'420	100.0 (200.0)			

Tabelle 17: Grasfläche

Material (von aussen nach innen)	Dicke	Dichte	Wärmeleit- fähigkeit	Wärme- speicher- fähigkeit	Wasser- gehalt Startwert (Maxi- malwert)	Albedo	Emis- sivität	Blatt- flächen- index
	[m]	[kg/m³]	[W/(m·K)]	[J/(kg·K)]	[kg/m³]	[-]	[-]	[-]
Erde	5.00	1'700	0.7 trocken 2.8 nass	1'420	100.0 (200.0)	0.25	0.9	1.5

Tabelle 18: Bepflanzte Retentionsfläche

Material (von aussen nach innen)	Dicke	Dichte	Wärmeleit- fähigkeit	Wärme- speicher- fähigkeit	Wasser- gehalt Startwert (Maxi- malwert)	Albedo	Emis- sivität	Blatt- flächen- index
	[m]	[kg/m³]	[W/(m·K)]	[J/(kg·K)]	[kg/m³]	[-]	[-]	[-]
Erde	4.48	1'700	0.7 trocken 2.8 nass	1'420	100.0 (200.0)	0.25	0.9	2.0



15.2 Materialisierung Wand- und Dachaufbauten

15.2.1. Wandaufbauten massiv

Tabelle 19: Wandaufbau «Wohnen Stadt» massiv, U-Wert: 1.0 W/(m²·K)

Material (von aussen nach innen)	Dicke	Dichte	Wärmeleit- fähigkeit	Wärme- speicher- fähigkeit	Albedo	Emissivität
	[m]	[kg/m ³]	[W/(m·K)]	[J/(kg·K)]	[-]	[-]
Aussenputz	0.02	1'800	0.86	1'000	Hell: 0.75 Mittel: 0.45 Dunkel: 0.26	Hell: 0.85 Mittel: 0.90 Dunkel: 0.95
Mauerwerk	0.45	1'500	0.58	840		
Innenputz	0.015	1'400	0.7	1'000		

Tabelle 20: Wandaufbau «Wohnen Stadtrand» massiv, U-Wert: 1.2 W/(m²·K)

Material (von aussen nach innen)	Dicke	Dichte	Wärmeleit- fähigkeit	Wärme- speicher- fähigkeit	Albedo	Emissivität
	[m]	[kg/m ³]	[W/(m·K)]	[J/(kg·K)]	[-]	[-]
Aussenputz	0.02	1'800	0.86	1'000	Hell: 0.75 Mittel: 0.45 Dunkel: 0.26	Hell: 0.85 Mittel: 0.90 Dunkel: 0.95
Mauerwerk	0.35	1'500	0.58	840		
Innenputz	0.015	1'400	0.7	1'000		

Tabelle 21: Wandaufbau «Wohnen Land» massiv, U-Wert: 1.4 W/(m²·K)

Material (von aussen nach innen)	Dicke	Dichte	Wärmeleit- fähigkeit	Wärme- speicher- fähigkeit	Albedo	Emissivität
	[m]	[kg/m ³]	[W/(m·K)]	[J/(kg·K)]	[-]	[-]
Aussenputz	0.02	1'800	0.86	1'000	Hell: 0.75 Mittel: 0.45 Dunkel: 0.26	Hell: 0.85 Mittel: 0.90 Dunkel: 0.95
Mauerwerk	0.3	1'500	0.58	840		
Innenputz	0.015	1'400	0.7	1'000		



Tabelle 22: Wandaufbau «Büro und Gewerbe Stadt» massiv, U-Wert: 0.18 W/(m²·K)

Material (von aussen nach innen)	Dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Wärmeleit- fähigkeit [W/(m·K)]	Wärme- speicher- fähigkeit [J/(kg·K)]	Albedo [-]	Emissivität [-]
Aussenputz	0.02	1'800	0.86	1'000	Hell: 0.75 Mittel: 0.45 Dunkel: 0.26	Hell: 0.85 Mittel: 0.90 Dunkel: 0.95
Backstein	0.115	750	0.17	1'000		
Polystyrol expan- diert (EPS)	0.12	18	0.03	1'450		
Tragende Wand (Backstein (90%) mit Betonstützen dazwischen (10%))	0.24	915	0.4	1'000		

Tabelle 23: Wandaufbau «Büro und Gewerbe Stadtrand» und «Büro und Gewerbe Land» massiv, U-Wert: 0.21 W/(m²·K)

Material (von aussen nach innen)	Dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Wärmeleit- fähigkeit [W/(m·K)]	Wärme- speicher- fähigkeit [J/(kg·K)]	Albedo [-]	Emissivität [-]
Faserzementplatte	0.03	2'000	0.48	1'100	Hell: 0.75 Mittel: 0.45 Dunkel: 0.26	Hell: 0.85 Mittel: 0.90 Dunkel: 0.95
Polystyrol expan- diert (EPS)	0.12	18	0.03	1'450		
Tragende Wand (Backstein (90%) mit Betonstützen dazwischen (10%))	0.24	915	0.4	1'000		



15.2.2. Wandaufbauten leicht

Tabelle 24: Wandaufbau «Wohnen Stadt», «Wohnen Stadtrand», «Wohnen Land» leicht, U-Wert: 0.13 W/(m²·K)

Material (von aussen nach innen)	Dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Wärme- leitfähig- keit [W/(m·K)]	Wärme- speicher- fähigkeit [J/(kg·K)]	Albedo [-]	Emissivität [-]
Faserzementplatte	0.02	2'000	0.48	1'100	Hell: 0.75 Mittel: 0.45 Dunkel: 0.26	Hell: 0.85 Mittel: 0.90 Dunkel: 0.95
Lattung mit Hinterlüftung, Luft zirkulierend	0.04	1.23	-	1'008		
Konterlattung (10%) und int. Überdämmung (90%)	0.06	87	0.031	1'430		
Holzstützen (10%) mit int. Dämmung (90%)	0.16	87	0.031	1'430		
Gipskartonplatte	0.03	900	0.25	1'000		

Tabelle 25: Wandaufbau «Büro und Gewerbe Stadt», «Büro und Gewerbe Stadtrand», «Büro und Gewerbe Land» leicht, U-Wert: 0.18 W/(m²·K)

Material (von aussen nach innen)	Dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Wärme- leitfähig- keit [W/(m·K)]	Wärme- speicher- fähigkeit [J/(kg·K)]	Albedo [-]	Emissivität [-]
Faserzementplatte	0.02	2'000	0.48	1'100	Hell: 0.75 Mittel: 0.45 Dunkel: 0.26	Hell: 0.85 Mittel: 0.90 Dunkel: 0.95
Lattung mit Hinterlüftung, Luft zirkulierend	0.04	1.23	-	1'008		
Holzstützen (10%) mit int. Dämmung (90%)	0.16	87	0.031	1'430		
Gipskartonplatte	0.03	900	0.25	1'000		



15.2.3. Dachaufbauten massiv

Tabelle 26: Dachaufbau «Wohnen Stadt», «Wohnen Stadtrand» und «Wohnen Land» massiv, U-Wert: 0.16 W/(m²·K)

Material (von aussen nach innen)	Dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Wärmeleitfähigkeit [W/(m·K)]	Wärmespeicherkapazität [J/(kg·K)]	Albedo [-]	Emissivität [-]
Dachziegel	0.02	2'000	-	1'000	Hell: 0.55 Mittel: 0.3 Dunkel: 0.26	Hell: 0.90 Mittel: 0.90 Dunkel: 0.95
Lattung/Konterlattung Hinterlüftung, Luft zirkulierend	0.09 (3x0.03)	1.23	-	1'008		
Swiss PUR Premium	0.12	30	0.02	1'400		
Holzwerkstoffplatte	0.03	600	0.13	1'700		

Tabelle 27: Dachaufbau «Büro und Gewerbe Stadt», «Büro und Gewerbe Stadtrand» und «Büro und Gewerbe Land» massiv, U-Wert: 0.15 W/(m²·K)

Material (von aussen nach innen)	Dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Wärmeleitfähigkeit [W/(m·K)]	Wärmespeicherkapazität [J/(kg·K)]	Albedo [-]	Emissivität [-]
Substrat mit Kies	0.1	1'800	0.7	710	0.29	0.9
Swiss PUR Premium	0.12	30	0.02	1'400		
Beton	0.22	1'800	1.0	1'000		



15.2.4. Dachaufbauten leicht

Tabelle 28: Wandaufbau «Wohnen Stadt», «Wohnen Stadtrand», «Wohnen Land» leicht, U-Wert: 0.13 W/(m²·K)

Material (von aussen nach innen)	Dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Wärme- leitfähig- keit [W/(m·K)]	Wärme- speicher- fähigkeit [J/(kg·K)]	Albedo [-]	Emissivität [-]
Dachziegel	0.02	2'000	-	1'000	Hell: 0.55 Mittel: 0.3 Dunkel: 0.26	Hell: 0.90 Mittel: 0.90 Dunkel: 0.95
Lattung mit Hinterlüftung, Luft zirkulierend	0.04	1.23	-	1'008		
Konterlattung (10%) und int. Überdämmung (90%)	0.06	87	0.031	1'430		
Holzstützen (10%) mit int. Dämmung (90%)	0.16	87	0.031	1'430		
Gipskartonplatte	0.03	900	0.25	1'000		

Tabelle 29: Dachaufbau «Büro und Gewerbe Stadt», «Büro und Gewerbe Stadtrand» und «Büro und Gewerbe Land» leicht, U-Wert: 0.13 W/(m²·K)

Material (von aussen nach innen)	Dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Wärmeleit- fähigkeit [W/(m·K)]	Wärme- speicher- fähigkeit [J/(kg·K)]	Albedo [-]	Emissivität [-]
Substrat mit Kies	0.1	1'800	0.7	710	0.29	0.9
Swiss PUR Premium	0.12	30	0.02	1'400		
Brettstapeldecke	0.18	500	0.13	1'700		



15.2.5. Innenwände

Tabelle 30: Aufbau der Innenwände tragend, U-Wert: 2.1 W/(m²·K)

Material (von aussen nach innen)	Dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Wärmeleit- fähigkeit [W/(m·K)]	Wärme- speicher- fähigkeit [J/(kg·K)]	Albedo [-]	Emissivität [-]
Innenputz	0.01	1'400	0.7	1'000		0.9
Mauerwerk	0.28	1'500	1.5	840		
Innenputz	0.01	1'400	0.7	1'000		

Tabelle 31: Aufbau der Innenwände, U-Wert: 0.43 W/(m²·K)

Material (von aussen nach innen)	Dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Wärmeleit- fähigkeit [W/(m·K)]	Wärme- speicher- fähigkeit [J/(kg·K)]	Albedo [-]	Emissivität [-]
Gipskartonplatte	0.026	900	0.25	1'000		0.9
Luftspalte	0.062	1.2	0.17	1'006		
Dämmung	0.04	20	0.036	750		
Luftspalte	0.062	1.2	0.17	1'006		
Gipskartonplatte	0.026	900	0.25	1'000		



15.2.6. Zwischendecke

Tabelle 32: Aufbau der Zwischendecken massiv, U-Wert: 0.9 W/(m²·K)

Material (von aussen nach innen)	Dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Wärmeleit- fähigkeit [W/(m·K)]	Wärme- speicher- fähigkeit [J/(kg·K)]	Albedo [-]	Emissivität [-]
Parkett	0.01	780	0.17	1'700		0.9
Unterlagsboden Zement	0.07	1'800	1.0	1'000		
Trittschalldämmung EPS	0.02	30	0.033	1'450		
Beton armiert mit 2% Stahl	0.15	2'400	2.5	1'000		
Innenputz	0.01	1'400	0.7	1'000		



15.2.7. Fenstereigenschaften

Tabelle 33: Verglasung und Sonnenschutz «Wohnen Stadt», «Wohnen Stadtrand», «Wohnen Land», massiv

Verglasung und Sonnenschutz	Beschreibung/Kennwert
Typ der Verglasung	Dreifachverglasung
Gesamtenergiedurchlassgrad g-Wert Verglasung	0.64
Wärmedurchgangskoeffizient Glas	1.1 W/(m ² /K)
Wärmedurchgangskoeffizient Rahmen	1.3 W/(m ² /K)
Ψ-Glasrand	0.032 W/(m·K)
Glasanteil	76.6 %
Wärmedurchgangskoeffizient Fenster total	1.3 W/(m ² /K)

Tabelle 34: Verglasung und Sonnenschutz «Wohnen Stadt», «Wohnen Stadtrand», «Wohnen Land», leicht

Verglasung und Sonnenschutz	Beschreibung/Kennwert
Typ der Verglasung	Dreifachverglasung
Gesamtenergiedurchlassgrad g-Wert Verglasung	0.62
Wärmedurchgangskoeffizient Glas	0.7 W/(m ² /K)
Wärmedurchgangskoeffizient Rahmen	1.3 W/(m ² /K)
Ψ-Glasrand	0.028 W/(m·K)
Glasanteil	76.6 %
Wärmedurchgangskoeffizient Fenster total	0.95 W/(m ² /K)



Tabelle 35: Verglasung und Sonnenschutz «Büro und Gewerbe Stadt», «Büro und Gewerbe Stadtrand», «Büro und Gewerbe Land»

Verglasung und Sonnenschutz	Beschreibung/Kennwert
Typ der Verglasung	Dreifachverglasung
Gesamtenergiedurchlassgrad g-Wert Verglasung	0.53
Wärmedurchgangskoeffizient Glas	0.6 W/(m ² /K)
Wärmedurchgangskoeffizient Rahmen	1.3 W/(m ² /K)
Ψ-Glasrand	0.029 W/(m·K)
Glasanteil	76.6 %
Wärmedurchgangskoeffizient Fenster total	0.87 W/(m ² /K)



15.3 Flächenauswertung

Auswertungen folgen im Schlussbericht.

15.4 Anzahl der Bäume

Auswertungen folgen im Schlussbericht.

