

Publizierbarer Endbericht

Gilt für Studien aus der Programmlinie Forschung

A) Projektdaten

Allgemeines zum Projekt	
Kurztitel:	CLUDEX
Langtitel:	Climate Change and urban densification impact exploration - heat exposure reduction through roof scape adaptation – a large scale case study
Zitiervorschlag:	Loibl W., Vuckovics, M., Österreicher, D., Ratheiser, M., Tschannet, S. (2020) CLUDEX - Climate Change and Urban Densification Impact Exploration; ACRP 10 Report. Vienna, 11/2020.
Programm inkl. Jahr:	ACRP 10/2018
Dauer:	32 Monate (verlängert von 24 Monaten)
KoordinatorIn/ ProjekteinreicherIn:	AIT-Austrian Institute of Technology GmbH Center for Energy, Digital Resilient Cities
Kontaktperson Name:	Dr. Wolfgang Loibl
Kontaktperson Adresse:	Giefinggasse 6 1210 Wien
Kontaktperson Telefon:	+43 50550-4587
Kontaktperson E-Mail:	wolfgang.loibl@ait.ac.at
Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):	Univ. f. Bodenkultur, Inst. f. Raumplanung, Umweltplanung und Bodenordnung – Wien, Weatherpark GmbH – Wien.
Schlagwörter:	Urban densification scenarios, urban heat island impact, microclimate simulation, climate adaptation
Projektgesamtkosten:	228.689 €
Fördersumme:	228.689 €
Klimafonds-Nr:	KR17AC0K13790
Erstellt am:	08.02.2021

B) Projektübersicht

1 Kurzfassung

CLUDEX untersucht den Einfluss der urbanen Verdichtung unter verschiedenen klimatischen Bedingungen auf Raumklima und Mikroklima auf Straßen- und Dachflächenebene am Beispiel des 12. Wiener Gemeindebezirks - Meidling.

Zuerst wurde das lokale Verdichtungspotential – das Aufstocken der Gebäude bis zur maximal erlaubten Bauklasse - im 3D-Modell abgebildet und damit das zusätzliche Potential an Wohnfläche abgeschätzt. Weiters wurde der Einfluss der großräumigen Verdichtung sowie exemplarisch von punktueller Verdichtung anhand zweier Hochhauskomplexe auf das Stadtklima und die Wirkung von Anpassungsmaßnahmen modelliert und Hitzeexposition im Straßenraum (anhand der mittleren Strahlungstemperatur getrennt für Tages- und Nachtstunden, sowie die Windverhältnisse analysiert. Für zwei ausgewählte Gebäude wurde die Auswirkung verschiedener Baumaterialien, sowie Fenstergestaltung für die Aufstockung der Gebäude bzw. den Dachausbau untersucht und dazu eine Simulation der Wärmebelastung, sowie des Heiz- und Kühlbedarfs durchgeführt.

Die Ergebnisse der Verdichtungsszenarien sowie der Klimaanpassungsmaßnahmen auf das Mikroklima (Straßengrün, Dach-, und Fassadenbegrünung) wurden mit Stakeholdern der Stadt Wien diskutiert.

Daraus wurden Empfehlungen für Leitlinien für eine klimasensitive Verdichtung der Bebauungsstruktur von Städten entwickelt.

2 Executive Summary

CLUDEX examines the influence of urban densification under different climate conditions on indoor climate and microclimate at street and rooftop level, using the 12th district of Vienna as example.

First, the local densification potential – by increasing the buildings up to the maximum permitted building height - was modelled by generating a 3D model from which the potential for additional floor space was estimated. Furthermore, the influence of large-scale densification as well as exemplary selective densification of two high-rise complexes on the urban climate and the effect of climate-adaptation measures was modelled and the heat exposure (through mean radiant temperature for day- and night hours) as well as wind-characteristics were analysed.

A simulation of the heat load as well as the heating and cooling requirement was carried out for two selected buildings, in which the effects of different construction types on the expansion of the building height were examined.

The results (the densification scenarios, the micro-climatic effects and the effects of adaptation measures - roof and facade greening and construction measures) were discussed with stakeholders from the City of Vienna.

Based on this, recommendations for guidelines for a climate-sensitive densification of the building structure of cities were developed.

3 Hintergrund und Zielsetzung

Ausgangssituation / Motivation des Projekts

Wien hat wie viele Städte mit unterschiedlichen Auswirkungen des Klimawandels zu kämpfen, insbesondere im Zusammenhang mit der Zunahme der städtischen Wärmeexposition. Wachsender Lebensstandard und wachsende Nachfrage nach Wohnraum erfordern spezifische Planungsmaßnahmen innerhalb der Stadt, um zusätzlichen Wohnraum zu schaffen, aber den Flächenverbrauch und die Bodenversiegelung in der Stadt und insbesondere in ihren Außenbezirken zu begrenzen. Wachsende Städte wie Wien sehen sich daher mit den widersprüchlichen Zielen konfrontiert, ausreichend Lebensraum für eine wachsende Bevölkerung zu schaffen und den unverbauten Raum weitgehend zu erhalten. Der Bedarf an zusätzlichem Wohnraum erhöht den Druck auf die Verdichtung aufgrund der wachsenden Einwohnerzahl.

Parallel zur Ausdehnung der Stadt wird jedoch erwartet, dass die innerstädtische Verdichtung das städtische Mikroklima in Bezug auf Wärmeinseleffekte und Durchlüftung beeinflusst. Somit kann nicht nur der Klimawandel das Temperaturregime innerhalb einer Stadt beeinflussen, sondern auch die Änderung der Eigenschaften der Straßenräume das Stadtklima beeinflussen, indem die aktuelle Gebäudehöhe auf die zulässige maximale Höhe der Straßenblöcke erhöht wird.

Während eine Erweiterung der Höhe einzelner Gebäude möglicherweise nur geringe Auswirkungen auf das Mikroklima und die städtischen Klimabedingungen hat, könnte eine allgemeine Erhöhung der Gebäudehöhen in einem größeren Gebiet die mikroklimatischen Eigenschaften vieler Straßenschluchten insgesamt verändern. Um resiliente und nachhaltige Städte zu entwerfen, insbesondere im Rahmen des künftigen Klimawandels, muss bekannt sein, wie Änderungen in diesem System die Windverhältnisse und die daraus resultierende Belüftung im Bezirk sowie das Mikroklima und die Aufenthaltsqualität auf Blockebene beeinflussen.

Dieses Projekt befasst sich daher mit dem Zusammenspiel von Stadtverdichtung und Stadtmikroklima und untersucht die Auswirkungen von Anpassungsmaßnahmen zur Abschwächung dieser negativen Auswirkungen. Hier wird in Meidling, dem 12. Wiener Gemeindebezirk, der Einfluss einer generellen Aufstockung der Gebäude in Abstimmung mit der maximalen Gebäudehöhe laut Bauklasse auf das Mikroklima in dicht urbanisierten Gebieten analysiert.

Darüber hinaus wurden Klimaanpassungsmaßnahmen simuliert, die Ergebnisse mit Stakeholdern der Stadt diskutiert und in städtebauliche Leitlinien eingebunden.

Die Hauptziele des Projekts sind folgende:

- Für die aktuellen Stadtstruktur- und Verdichtungsszenarien werden 3D-Stadtmodelle erstellt.
- Verdichtungsszenarien werden unter Berücksichtigung der Maximalhöhe der ausgewiesenen Bauklassen entwickelt, wobei das zusätzliche Flächenpotential für das zentrale Meidling geschätzt wird.
- großräumige Belüftungseffekte werden durch Windfeldsimulation modelliert.
- Mikroklimasimulationen (thermische Simulationen) analysieren die Auswirkungen der Verdichtung auf das lokale Kleinklima.
- Klimaanpassungsmaßnahmen (im Straßenraum und an Gebäuden) werden untersucht.
- für zwei ausgewählte Gebäude mit unterschiedlicher Aufstockungsformen wird die Veränderung des Raumklimas analysiert.
- Die Ergebnisse werden mit Stakeholdern der Stadt Wien diskutiert. Die Diskussionsergebnisse liefern die Grundlage für Richtlinien für klimasensitive Verdichtung
- Richtlinien für die klimasensitive Verdichtung von Städten werden ausgearbeitet.

4 Projektinhalt und Ergebnisse

WP1: Projektmanagement und Dissemination

In WP1 fand die Administration des Projektes, das Monitoring der verbrauchten Ressourcen, die Qualitätskontrolle der Ergebnisse sowie die Koordinierung der Publikationstätigkeit statt.

Um die Projektziele zu erreichen, wurde das Projekt - in vier operative Arbeitspakete unterteilt:

WP2: 3D Stadtmodell – aktuelle Höhenverteilung und Verdichtungsszenarien

Mit Hilfe eines 3D-Stadtmodells wurden zuerst räumlich explizite Szenarien entwickelt, die auf den Gebäudegrundrissen und der Gebäudehöhe basieren. Das status-quo 3D-Stadtmodell wurde mithilfe von ArcGIS sowie in weiterer Folge mit dem Rhinoceros 3D-Plug-In Grasshopper (GH) erstellt. Dazu wurden Geodaten verwendet, die von der Stadt Wien als Shapefiles bereitgestellt wurden: Gebäudegrundrisse mit Informationen zur Gebäudehöhe. Der Bebauungsplan mit Grundstücksgrenzen als Geometrie sowie der Flächenwidmung und der Bauklassen-Bezeichnung als räumlich verortete Beschriftung. Die Informationen zur maximal zulässigen Gebäudehöhe wurden durch eine räumliche Beziehung der Bauklassen-Bezeichnung – woraus sich die maximale Gebäudehöhe ableiten lässt

- zu den Gebäudegrundrissen mit der ArcGIS-Software in die Geodatenbasis integriert.

Nachdem alle geometrischen Grundlagen vorbereitet wurden, wurde mithilfe des Grasshopper-tools die 3D-Geometrie für den Status quo sowie für das generelle Verdichtungsszenario für den Gesamttraum erstellt. Dies erfolgte durch automatisierte Extrusion der Gebäudegrundrisse, indem die Höheninformationen der Gebäude in 3D-Volumen übertragen werden.

Die Differenz zwischen der aktuellen und der möglichen maximalen Gebäudehöhe ermöglicht die Schätzung der zusätzlichen Anzahl möglicher Stockwerke (mit und ohne Dachbodenerweiterung) für jedes Gebäude. Basierend auf der Größe des Gebäudegrundrisses und der Anzahl der zusätzlichen Stockwerke wurde die zusätzliche potenzielle Bruttogeschossfläche für das gesamte Gebiet geschätzt und zusammengefasst.

Anhand einer angenommenen durchschnittlichen Geschoßhöhe von 4 m für vor ca. 1920 errichtete Gebäude und 3 m für später errichtete Gebäude erlaubt die Schätzung der Anzahl der Stockwerke und der aktuellen Bruttogeschossfläche. Für die neuen Stockwerke wurde eine Geschoßhöhe von 3 m angenommen. Weitere zusätzliche Flächen durch Dachausbau oder Dachterrassengeschoße werden als 50% der Grundfläche des Gebäudes angesehen, wobei angenommen wird, dass die Geschoße dort von der Dachtraufe zurückgesetzt werden – entweder um einen ausreichenden Kniestock auszubilden oder ein Dachterrassengeschoß auszubilden. Basierend auf den Grundrissflächen und der Zahl der möglichen zusätzlichen Stockwerke wurde die zusätzliche potenzielle Bruttogeschossfläche (BGF) für das gesamte Untersuchungsgebiet geschätzt. Die Dachausbauten wurden wegen der Dachschrägen nur mit 50% der Grundfläche der Gebäude angenommen. Basierend auf der zusätzlich möglichen Bruttogeschossfläche wurde die zusätzliche Nettoflächenfläche (NFG) geschätzt, anhand der die zusätzliche Anzahl von Wohnungen mit durchschnittlicher Wohnungsgröße geschätzt werden kann.



Abb. 1: 3D Modell der aktuellen Bebauung im dicht bebauten Teil von Meidling



Abb. 2: 3D Modell einer hypothetischen großräumigen Verdichtung basierend auf den Vorgaben der maximalen Bauhöhe im Bebauungsplan im dicht verbauten Teil von Meidling (mögliche Gebäudeerhöhungen dargestellt in blau).

Abbildung 3 zeigt den „Bebauungsplan“ mit Landnutzungszone (durch Buchstaben gekennzeichnet), Gebäudehöheninformationen (durch die römischen Ziffern 1 bis VI gekennzeichnet) und weiteren Layoutbeschreibungen als Anmerkung. Die Höheninformationen wurden dazu geokodiert und mit den Gebäudegrundrissen verknüpft, um das Potenzial zur Erweiterung der Gebäudehöhe zu ermitteln. Die Angabe „Bauklasse“ definiert minimale und maximale Traufhöhen und kann von der Straßenbreite abhängen, wie der Kasten rechts von Abbildung 3 zeigt.



- Gebäudehöhen der Wiener Bauklassen:
- Bauklasse I : Straßenbreite + 2 m, max. 9 m
 - Bauklasse II: Straßenbreite + 2 max. 12 m
 - Bauklasse III: > 9 m oder Straßenbreite + 3m , max. 16 m
 - Bauklasse IV: >12 m oder Straßenbreite + 3m, wenn Straßenbreite. <15 m > 21 m oder Straßenbreite + 4 m, wenn Straßenbreite >15 m
 - Bauklasse V: >16m & <2-fache Straßenbreite - max. 26 m
 - Bauklasse VI: >26m & < 2-fache Straßenbreite
 - „Hochhaus“: > 35 m

Abb. 3: „Bebauungsplan“ um die südliche Meidlinger Hauptstraße: Flächenwidmung und Bauklassen. (Quelle: Stadt Wien).

Das gesamte Potenzial zur Erweiterung der Grundfläche wurde für Wohngebäude und Gebäude mit gemischter Nutzung quantifiziert, indem die aktuelle Gebäudehöhe, die maximale Gebäudehöhe und die Gebäudegrundfläche aus dem Geodatenatz der Gebäudegrundfläche entnommen wurden. Hypothetische Höherweiterungen wurden nur berücksichtigt, wenn die Grundfläche der (Wohn- und gemischt genutzten) Gebäude 100 m² überschreitet, was ungefähr der Bruttogeschossfläche entspricht, die für den Bau einer zusätzlichen Wohnung erforderlich ist. Unterschiede zwischen der aktuellen und der potenziellen maximalen Höhe werden nur berücksichtigt, wenn die Differenz höher als 1,5 m ist, um als zusätzliche „volle“ Grundfläche zu dienen. Hinterhofgebäude wurden nur dann zur Höherweiterung einbezogen, wenn ihre aktuelle Höhe über 4 m liegt. Andernfalls wurden sie als Werkstattgebäude und Hinterhofschuppen betrachtet, die für die Erweiterung der Wohnfläche nicht realisierbar sind.

Abbildung 4 zeigt die aktuellen Gebäudehöhen und die Höhen nach einer möglichen Verdichtung für ein Gebiet um die Meidling-Hauptstraße. Insbesondere in dieser Hauptstraße können die Gebäudehöhen der Häuser im Westen erhöht werden - angezeigt durch die Farben, die von gelb oder orange (linkes Bild) zu dunkelrot (rechtes Bild, durch die blaue Ellipse markiert) wechseln. In den anderen Straßen zeigt die geänderte Farbe das Verdichtungspotential.



Abbildung 4: Gebäudehöhenverteilung heute (linkes Bild) und nach hypothetischer Verdichtung (rechtes Bild) des zentralen Meidling aufgrund der lokalen Gebäudehöhenschwellen - ausgeschnitten. (Quelle: AIT).

Die Ergebnisse zum Verdichtungspotenzial zeigen, dass es möglich ist, die Bruttogeschossfläche des bestehenden Gebäudebestands in einem bereits dicht urbanisierten Stadtteil zu erhöhen: Das maximale Potenzial für eine Erweiterung der Bruttogeschossflächen (BFG) der derzeitigen Wohn- und Mischnutzungsgebäude im Zentrum von Meidling wird auf 16 % der BGF geschätzt. Bei Einbeziehung von Dachausbauten summiert sich das Wachstumspotenzial auf bis zu 25% der BGF der Wohn- und gemischt genutzten Gebäude (derzeitige BGF:

2,8 Mio. m², BGF-Erweiterungspotenzial durch Regelgeschoße: 467.000 m², BGF-Erweiterungspotenzial inklusive Dachgeschoßausbauten: 701.000 m²).

Zusätzlich wurden Verdichtungsszenarien für zwei Standorte im Norden und Süden des Meidlinger Zentralraumes entwickelt, wofür hypothetische Hochhauscluster mit jeweils zwei Gebäuden mit Höhen von 80 m und 100 m angenommen wurden.

Für das großräumige Szenario und die beiden Hochhauscluster wurden in weiterer Folge die Auswirkungen auf das Mikroklima, die durch Beschattung und Windfelder beeinflusst werden, untersucht.

WP3: Aktuelle und zukünftige Klimasimulation für die aktuelle Bebauung und für Verdichtungsszenarien

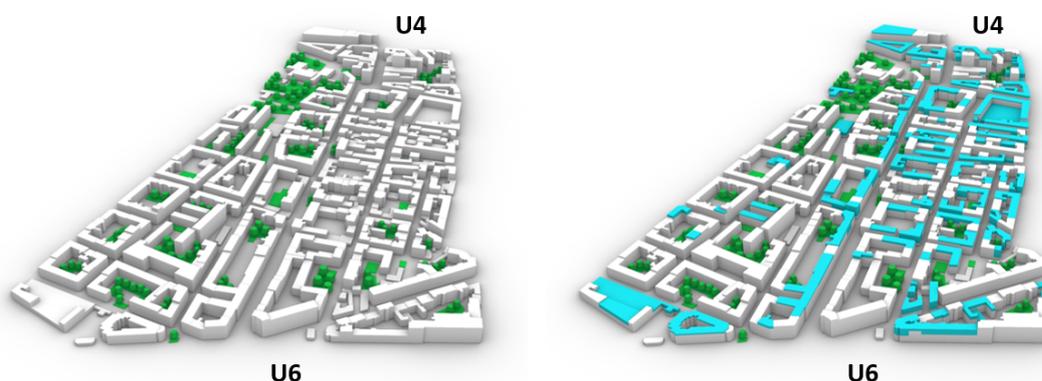
Um mikroklimatische Studien der Ausgangssituation und der Verdichtungsszenarien durchzuführen, konzentrierten wir uns auf das Gebiet beiderseits der Meidlinger Hauptstraße im 12. Bezirk (Meidling), (Abbildungen 4 und 5) und auf zwei hypothetische Hochhaus-Cluster im Norden (an der U-Bahn-Station U4 und der U-Bahn-Station U6 / Bahnhof).

Es wurden verschiedene Szenarien und ihre mikroklimatischen Auswirkungen analysiert: (1) der Basisfall - aktuelles Klima und aktuelle Gebäudestruktur,

(2) Verdichtungsszenarien – generelle großräumige Verdichtung durch Aufstockung der bestehenden Gebäude bis zur maximal zulässigen Gebäudehöhe sowie für 2 lokale hypothetische Hochhauscluster. ;

(3) zukünftige Klimaszenarien unter Berücksichtigung unterschiedlicher Windgeschwindigkeiten durch Verdichtung;

(4) Begrünungsszenarien zur Verbesserung der Kühlung (Dach, Fassade, Straßenbäume).



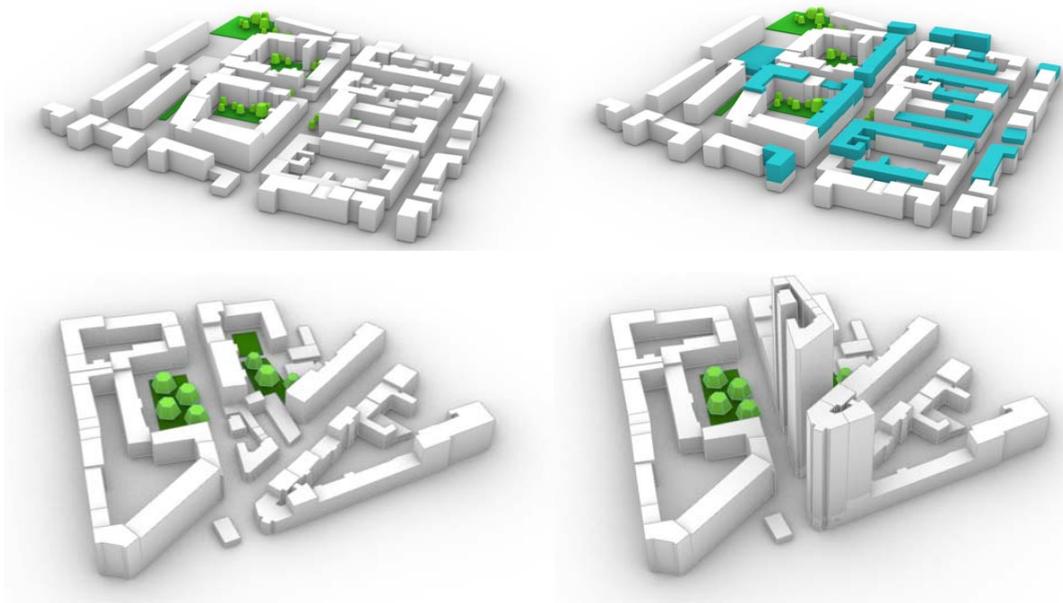


Abb. 5: Status quo - und Verdichtungsszenarien für die Mikroklimasimulationen: Oben: gesamtes Untersuchungsgebiet - zur Simulation großräumiger Verdichtungseffekte; Mitte - Detailgebiet zur Simulation der Auswirkungen von Anpassungsmaßnahmen; Unten – punktuelle Hochhaus-Szenarien

Die Modellierung erfolgte mit Rhino 3D/Grasshopper und den Plug-Ins aus der Familie der Ladybug-Tools (Ladybug, Honeybee, Dragonfly und Butterfly), um die mikroklimatischen Analysen durchzuführen. Die Ladybug-Komponenten ermöglichen die Berechnung komplexer Wechselwirkungen zwischen der gebauten Umwelt und dem Klima. Honeybee verbindet liefert den Konnex mit Simulations-Engines wie EnergyPlus, Radiance, THERM, um Mikroklimasimulationen durchzuführen.

Windfeldsimulationen

Die Basisinformationen zur Modellierung der Windverhältnisse auf Fußgängerebene müssen von einer nahe gelegenen Wetterstation bezogen werden. Die Station „Wien Innere Stadt“, 2.5 km nordöstlich des Untersuchungsgebietes gelegen, wurde als bestgeeigneter Referenzstandort

ausgewählt. Untersuchungen aus einer 30-jährigen Zeitreihe 1989-2018 ergaben die Häufigkeitsverteilung von Windgeschwindigkeit und Windrichtung.

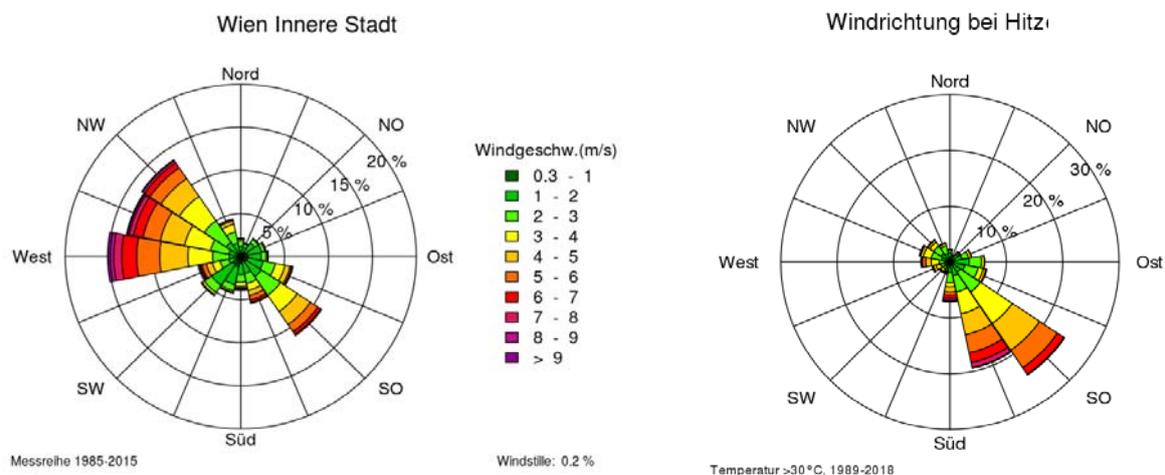


Abbildung 6: Verteilung der mittleren Windgeschwindigkeit (Farbe) und Richtung (Balken) für die Wetterstation Wien Innere Stadt für alle Wettersituationen (links) und für Stunden $> 30^{\circ}\text{C}$.

Abb. 6 (linkes Bild) zeigt die Verteilung der Windgeschwindigkeit und -richtung für das ganze Jahr, während das rechte Bild die Verteilung nur für Stunden mit Lufttemperaturen von mehr als 30°C zeigt. Der Vergleich zeigt, dass die primären Hauptwindrichtungen (W, WNW, NW) an heißen Tagen eine untergeordnete Rolle spielen. Bei hohen Temperaturen dominieren die sekundären Hauptwindrichtungen (SO, SSO). Daher werden die Windkomfortbedingungen zweimal analysiert: einmal für die im Jahresverlauf häufigsten Bedingungen, um die allgemeinen Windkomfortänderungen durch Verdichtung zu bewerten (Szenario „Westwind“), und einmal für heiße Bedingungen, um die Ergebnisse des thermischen Komforts ergänzen zu können („Szenario Hitzewelle“). Für die Simulationen bei Hitzewelle wurde Wind aus Südost mit einem vertikalen Windprofil, das 5 m/s in 10 m Höhe über dem Boden erreicht, vorgegeben. Für die Simulationen des Windkomforts im Szenario „Westwind“ wurden 16 Windrichtungen (N, NNO, NO, ONO, O, ...) mit dem gleichen vertikalen Windprofil simuliert. Beide Szenarien wurden sowohl für den Basisfall ohne Verdichtung und für den verdichteten Fall berechnet.

Abbildung 7 zeigt die Verteilung von unangenehmen Windgeschwindigkeiten in Meidling, die das lokale Mikroklima während des „Westwind“ Szenarios beeinflussen. Die Karte ist eine Kombination der Beiträge aller 16 simulierten Windrichtungen zu den unangenehmen Windverhältnissen in Stunden pro Jahr. Die Windgeschwindigkeit wird als „unangenehm“ definiert, sobald sie 12 km/h überschreitet (das gilt für Nutzungen mit langem Verweilen im Freien, wie z.B. ein Besuch in einem Gastgarten). Bereiche, wo diese Schwelle während mehr als 1.200 Stunden pro Jahr überschritten wird (gelb, orange und rot), haben geringen oder sehr geringen Windkomfort. Diese kritischen Bereiche sind oft Kreuzungen oder lange, gerade Straßen, die in Hauptwindrichtung ausgerichtet sind.



Abbildung 7: Verteilung der unangenehmen Windgeschwindigkeiten (Wind aus SO-Richtung) im gesamten zentralen Meidling (SO-Wind)

Abbildung 8 zeigt die Unterschiede in der Windgeschwindigkeit aufgrund der Verdichtung für Wind aus Südost für das Szenario „Hitzewelle“. Die allgemeine Verdichtung führt zu einer langsameren Belüftung in engen Gassen, die in den südlichen Bereichen des zentralen Teils des Bezirks zu sehen sind. Ein gutes Beispiel ist die Vivenotgasse (siehe rote Ellipse, vgl. mit Abbildung 10)



Abbildung 8: Änderungen der Windgeschwindigkeit in großem Maßstab durch hypothetische Verdichtung im zentralen Meidling (SO-Wind)

In Abbildungen 9 und 10 werden zwei Beispiele für Windfeldveränderungen durch Verdichtung gezeigt. Die linken beiden Karten zeigen die Windverhältnisse für den aktuellen Zustand der Bebauung. Die rechte Karte in Abbildung 8 zeigt für das Szenario „Westwind“ beispielhaft anhand der Kreuzung Ratschkygasse/Meidlinger Hauptstraße, dass die Windgeschwindigkeiten durch die Verdichtung vor allem auf Kreuzungen verstärkt werden. In den benachbarten Straßen nehmen sie ab. Die

rechte Karte in Abbildung 9 ist ein Beispiel für das Szenario „Hitzewelle“ in der südlichen Vivenotgasse am Beginn der Wilhelmstraße. Im verdichteten Fall ist das Gebäude im Bild rechts deutlich höher als im aktuellen Fall. Das führt dazu, dass die Durchlüftung der Vivenotgasse deutlich reduziert wird.

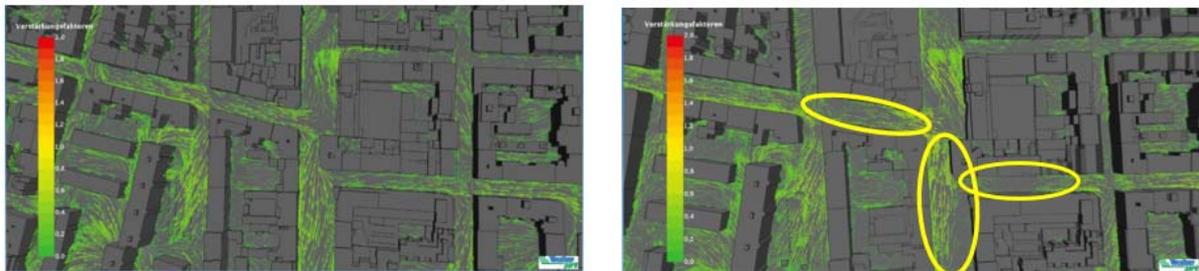


Abbildung 9: Änderungen der Windgeschwindigkeiten und -richtungen (Länge und Richtung der Pfeile) für die Windrichtung West- aktueller Zustand (links) und nach hypothetischer Verdichtung (rechts) im zentralen Meidling. Die gelben Ellipsen markieren Straßen mit Änderungen der Windverhältnisse)

Die folgende Abbildung 10 zeigt die Auswirkungen der Verdichtung, die Umleitung des Windflusses und die Verringerung der Geschwindigkeit für einen SW-Wind entlang der südlichen Grenze des Untersuchungsgebiets.

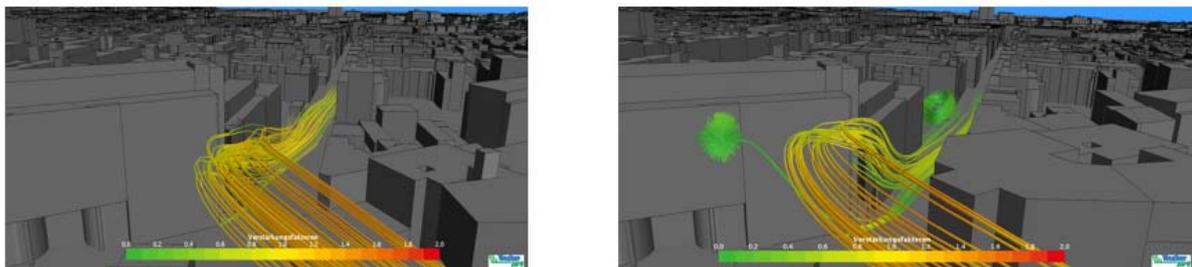


Abbildung 10: Auswirkungen der Verdichtung, Umleitung des Windflusses und Verringerung der Geschwindigkeit (SW-Wind) - Ecke Wilhelmstraße / Eichenstraße

Zusätzlich wurde ein Testfall für die punktuelle Verdichtung simuliert, um den Einfluss einer hypothetischen Hochhausbebauung für die Fälle „Westwind“ und „Hitzewelle“ zu zeigen. Die folgende Abbildung 11 zeigt die lokalen Auswirkungen der beiden hypothetischen Hochhäuser in der Nähe des in Abbildung 10 dargestellten Standorts für das Szenario „Hitzewelle“.

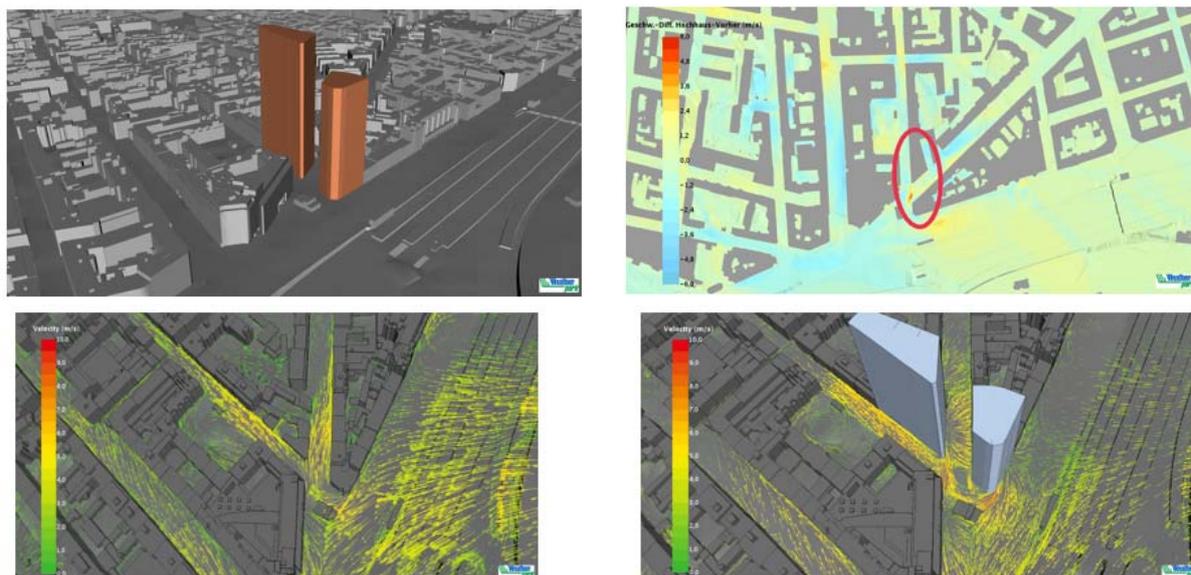


Abbildung 11: Lokale Auswirkungen der Windgeschwindigkeit und Richtungsänderung der beiden hypothetischen Hochhäuser: oben links: Anordnung der Hochhäuser (vgl. Abbildung 10 unten rechts), oben rechts: Änderung der Windgeschwindigkeit (blau ist reduzierte Geschwindigkeit), unten: Wind Vektoren im aktuellen Zustand (links) und mit den Hochhäusern (rechts)

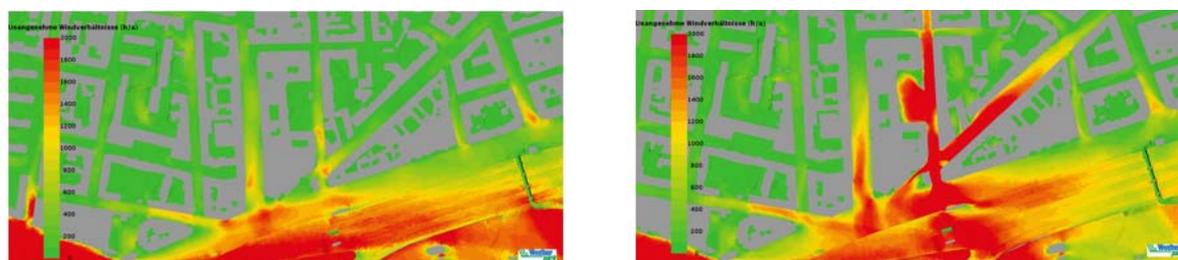


Abbildung 12: Lokale Auswirkungen von Hochhäusern auf den Windkomfort: Stunden mit geringem Windkomfort (Status quo: links, Hochhausszenario: rechts) nehmen deutlich zu.

Für das Szenario „Westwind“ treten gegenteilige Effekte auf die Windverhältnisse auf: Die Windgeschwindigkeiten auf Fußgängerniveau nehmen großflächig und deutlich zu, was sehr geringen Windkomfort zur Folge hat.

Die Ergebnisse der Winduntersuchungen werden wie folgt zusammengefasst:

- Während Hitzewellen kann die Windgeschwindigkeit bei großräumiger Verdichtung um bis zu 50 Prozent abnehmen. In der Folge wird die Belüftung von heißen Straßen geringer. An einigen Stellen, wie z.B. Kreuzungen können die Geschwindigkeiten jedoch um bis zu 25 % zunehmen.
- Der Windkomfort im Szenario „Westwind“ ändern sich kaum durch die Verdichtung.

- Das Hochhauszenario zeigt, dass der Windkomfort und die Belüftung stark von diesen Gebäuden beeinflusst werden, jedoch auf die sehr lokale Nachbarschaft beschränkt ist und stark von der Anordnung der Gebäude abhängt.

Mikroklimasimulationen

Die Simulation wurde für einen bestimmten Zeitraum vom 10. bis 12. August 2019 durchgeführt, um repräsentative Randbedingungen einer Hitzewelle in Wien unter den jüngsten Klimabedingungen darzustellen. Für zukünftige Klimabedingungen verwenden wir die Ergebnisse der regionalen Klimamodellergebnisse von COSMO-CLM unter Bezugnahme auf die Treibhausgasszenarien A1B SRES AR4 (IPCC, 2007) die im Beobachtungszeitraum 2021-2050 etwa dem Szenario RCP 4.5 des AR5 (IPCC, 2014) entsprechen. Das Jahr 2041 wird dazu als das heißeste Jahr aus dem Untersuchungszeitraum ausgewählt. Die folgende Abbildung 13 zeigt die Simulationen verwendeten lokalen Wetterbedingungen.

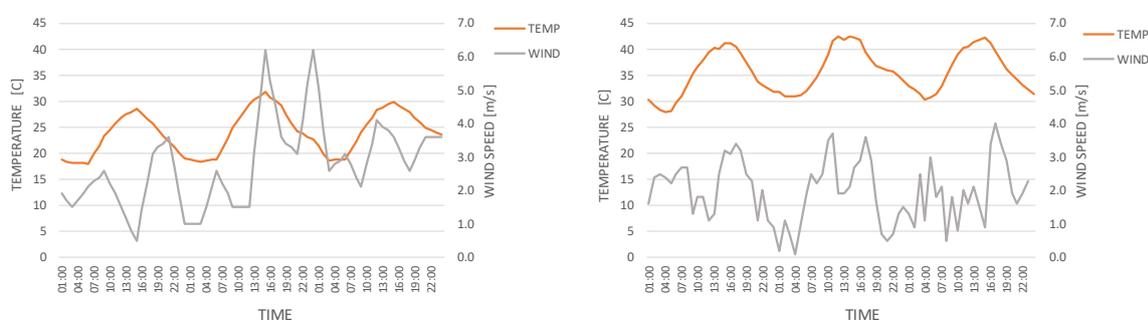


Abbildung 13: Stündliche Verteilung der Lufttemperatur (rote Linie) und der Windgeschwindigkeit (blaue Linie) vom 10. bis 12. August 2019 und für 3 Tage im August 2041: aktuelles Klima (links), zukünftiges Klima (rechts).

Die mittlere Strahlungstemperatur (MRT) wurde als Hauptindikator zur Beurteilung der Wärmeexposition ausgewählt. Die MRT wird mit verschiedenen Werkzeugen berechnet und kann mit Schwarzkugelthermometern überwacht werden. Es ist definiert als die gleichmäßige Temperatur eines imaginären Gehäuses, bei der die Strahlungswärmeübertragung vom menschlichen Körper gleich der Strahlungswärmeübertragung in der tatsächlichen ungleichmäßigen Hülle ist (Vuckovic et al., 2019). Es kann als gewichtete Summe aller lang- und kurzwelligen Strahlungsflüsse (direkte, reflektierte und diffuse Komponenten) angesehen werden, denen ein menschlicher Körper ausgesetzt ist. Im Freien hängt die MRT von der Temperatur des Himmels, des Bodens, der Vegetation und der umgebenden Gebäude ab (vgl. Lindberg et al., 2013). Abbildung 14 zeigt die MRT auf Straßenebene im Probenbereich ohne („Basisfall“, links) und für das Verdichtungsszenario rechts) unter Verwendung des heißesten bis 2016 aufgezeichneten Tages: 10. August 2014.

Abbildung 14 zeigt die MRT auf Straßenebene im Untersuchungsbereich ohne Verdichtung („Basisfall“, links) und für das Verdichtungsszenario (rechts) unter Verwendung des heißesten bis 2016 aufgezeichneten Tages: 10. August 2014.

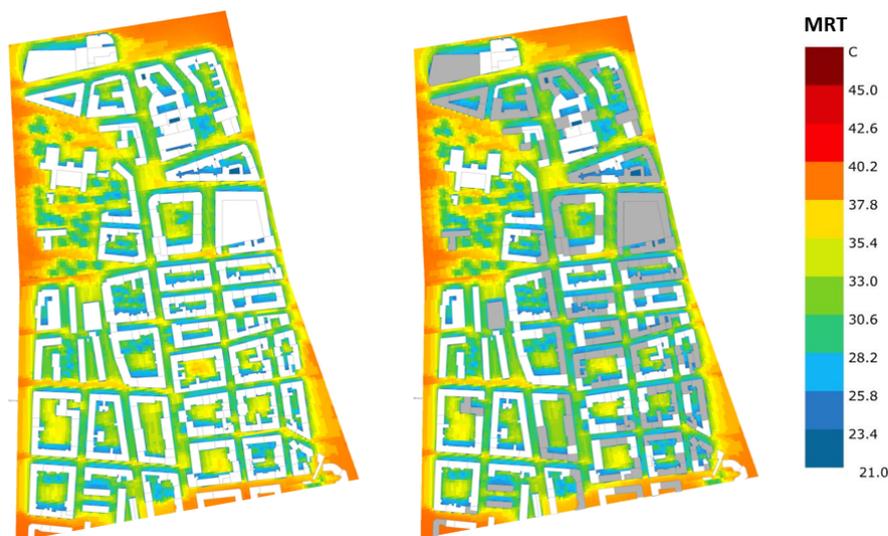


Abbildung 14. MRT-Ergebnisse für die Meidlinger Hauptstraße: (links) Basisfall; (rechts) Verdichtungsszenario (grau dargestellt).

Für den Detailbereich zeigt Abbildung 15 die räumliche Verteilung der MRT-Werte an der Bodenoberfläche für beide Szenarien, gemittelt über einen Zeitraum von 24 Stunden. Aufgrund des Schatteneffekts höherer Gebäude wird der durchschnittliche Austausch von Strahlungsenergie relativ reduziert, da der einfallende Strahlungsfluss durch jetzt „tiefere“ Straßenschluchten behindert wird. Es ist zu beachten, dass in Fällen, in denen auf beiden Seiten des städtischen Canyons Gebäude aufgestockt werden, der Schatten des gegenüberliegenden Gebäudes möglicherweise nur den Teil der Fassadenflächen der unteren Stockwerke erreicht, die den Straßen zugewandt sind. Die oberen Stockwerke sind immer noch einfallender kurzwelliger Strahlung ausgesetzt. Somit wird die gleiche Energiemenge in den oberen Ebenen der erhöhten Baumasse gespeichert.

MRT-Differenzkarten, die für Tag und Nacht berechnet wurden (Abbildung 16), zeigen unterschiedliche Muster, wobei das Abkühlungsregime während des Tages (erreicht durch Abschatten von jetzt höheren Gebäuden) und das Heizregime während der Nachtzeit (aufgrund des reduzierten Himmels) beobachtet wird (Sichtfaktor und reduzierte Nachtkühlung). Die langwellige Strahlung der in den Gebäuden gespeicherten Wärme scheint sich auf Straßenebene aufgrund von mehr Schatten kaum zu ändern, wodurch die unteren Stockwerke vor einfallender kurzwelliger Strahlung während der Sonnenstunden geschützt werden. Nächtliche Wärmestrahlungseffekte der Gebäude in den neu erweiterten oberen Stockwerken, die das Gebäude und die thermische Masse erhöhen, werden auf Straßenniveau nicht beobachtet, da in den Straßenschluchten und Höfen kein Luftstrom nach unten während der Nachtstunden berücksichtigt wird.

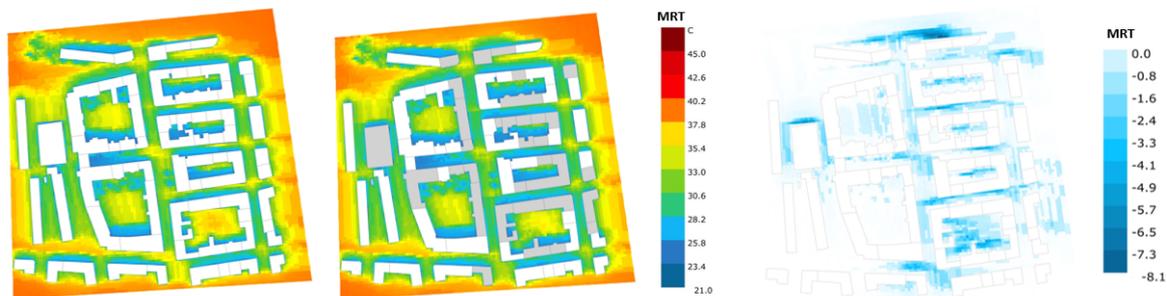


Abbildung 15: 24-Stunden-MRT (auf Straßenebene) für die kleinere Domäne: Basisfall (links); Verdichtungsszenario (Mitte, erhöhte Gebäude grau markiert); 24-Stunden-MRT-Unterschiede (rechts).

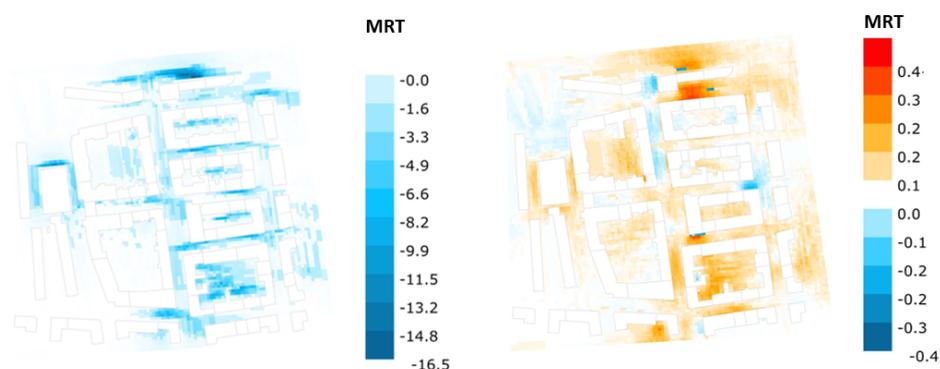


Abbildung 16: 12-Stunden-MRT-Unterschiede (auf Straßenebene) zwischen Basisfall und Verdichtungsszenario: Tag (links) und Nacht (rechts)

Die Auswirkungen von Hochhäusern wurden basierend auf der Geometrie laut Abbildung 5 (unten) untersucht. Die folgende Abbildung 17 zeigt die Wirkung des südlichen Hochhaus-Clusters auf das Mikroklima anhand des 24-Stunden MRT und die MRT-Unterschiede mit und ohne Hochhauscluster auf Straßenniveau.

Hochhäuser führen über einen längeren Zeitraum zu größeren schattigen Bereichen in der Nähe der Gebäude und damit tagsüber zu einer geringeren Wärmebelastung durch Sonneneinstrahlung - der MRT kann auf Straßenniveau um -15° in die Nähe der Gebäude fallen C von bis 38 bis 23° C. In den Nachtstunden führt die lokale Verdichtung in den Straßen zu einem leichten Anstieg der MRT auf Straßenebene um bis zu $0,5^\circ$ C.

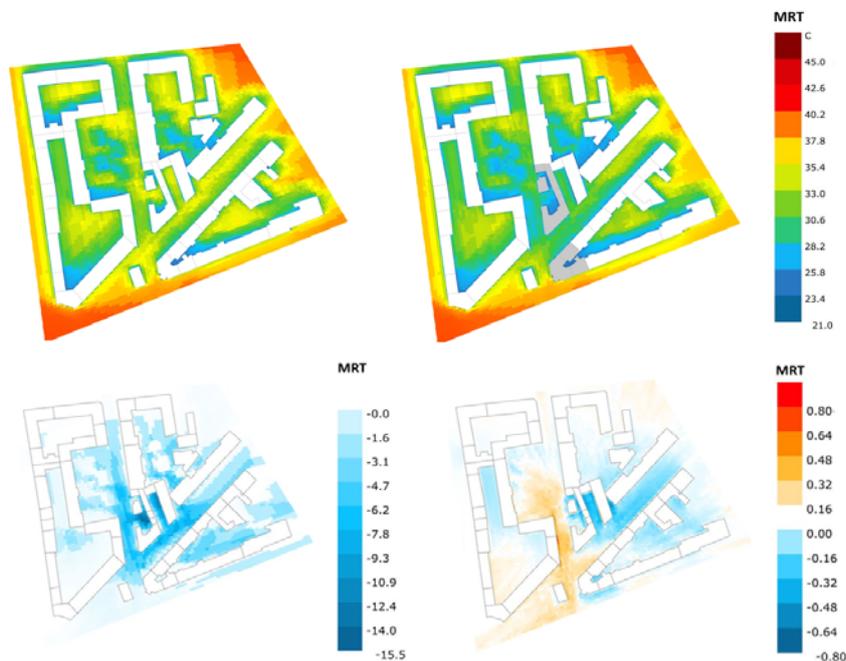


Abbildung 17: 24-Stunden-MRT (auf Straßenebene): Basisfall (oben links); den Hochhauscluster (oben rechts, erhöhte Gebäude grau markiert); MRT-Unterschiede (auf Straßenebene) zwischen Basisfall und Hochhauscluster: Tagesdurchschnitt (unten links) und Nachtdurchschnitt (unten rechts)

Abb. 18 zeigt die Effekte in höheren Luftschichten: In den oberen Luftschichten bis zur Hochhausoberkante ist ein allgemeiner Rückgang des 24-Stunden-MRT, um das Hochhaus zwischen 35 und 100 m durch längere Beschattungsperioden mit größerem Luftvolumen während des Tages zu beobachten. Die Dachbereiche führen zu einer kurzweiligen Reflexion, die die Luftschichten in der Nähe der Dächer (in 20-25 m Höhe) auf eine MRT von 44 ° C erwärmt, während die obigen Luftschichten (in 25 - 100 m Höhe) noch eine MRT von etwa 40 ° C zeigen. In der Im Bereich der Hochhäuser ist der 24-Stunden-MRT etwas niedriger: 35 bis 39 ° C, in den Luftschichten zwischen 50 und 100 m in der Nähe der Gebäudewände mit einer längeren Beschattungsdauer von 32 bis 37 ° C.

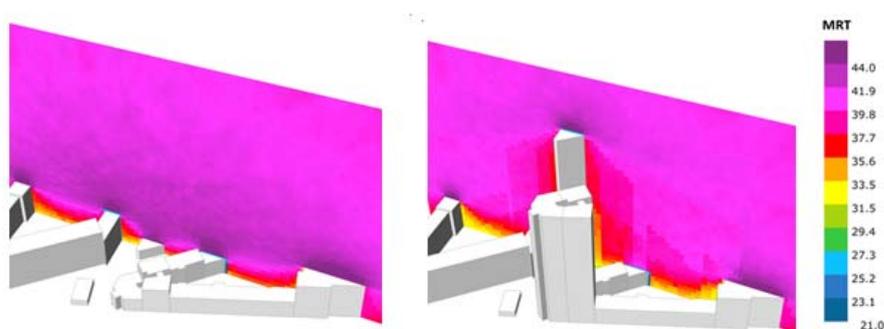


Abbildung 18: 24-Stunden-MRT - Vertikalschnitt durch den Hochhausclusterbereich: Basisfall (links); Verdichtungsszenario (Mitte, erhöhte Gebäude grau markiert); MRT-Differenzkarte (rechts).

Auswirkung künftiger extremer Hitzeereignisse

Für die Folgenabschätzung von extremen Hitzeereignissen unter künftigen Klimabedingungen wurde die Temperaturschwankung der Hitzeepisode aus Abbildung 13 rechts herangezogen. Die MRT-Simulation zeigt einen zusätzlichen Anstieg, die MRT-Unterschiede gegenüber dem beobachteten aktuellen Klimaextremereignis (Abbildung 19 rechts) zeigen eine Bandbreite von 7 bis 12,8 ° C.

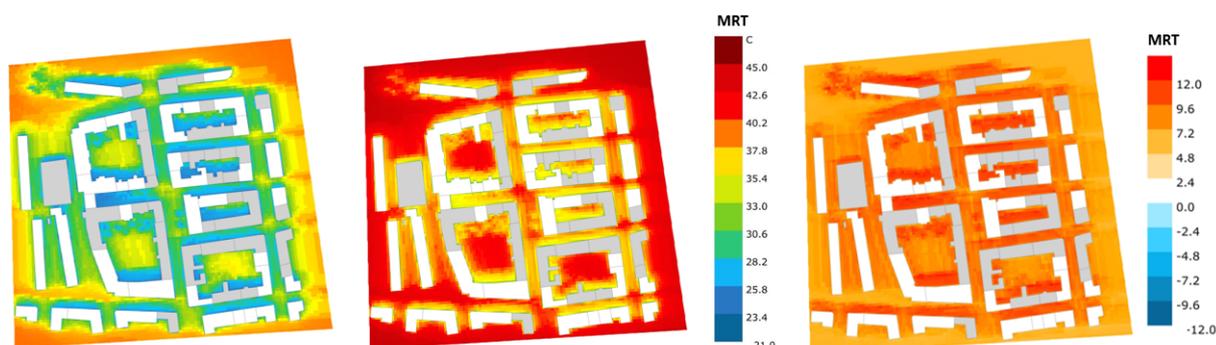


Abbildung 19. MRT für zukünftiges Klimaszenario: (links) aktuelles Klima; (Mitte) zukünftiges Klima; (Rechts) 24-Stunden-Differenzkarte.

Anpassungsmaßnahmen

An Begrünungsszenarien betrachtet wir begrünte Dächer, grüne Fassaden und Straßenbäume, die alle für das Verdichtungsszenario angewendet werden (Abbildung 20).

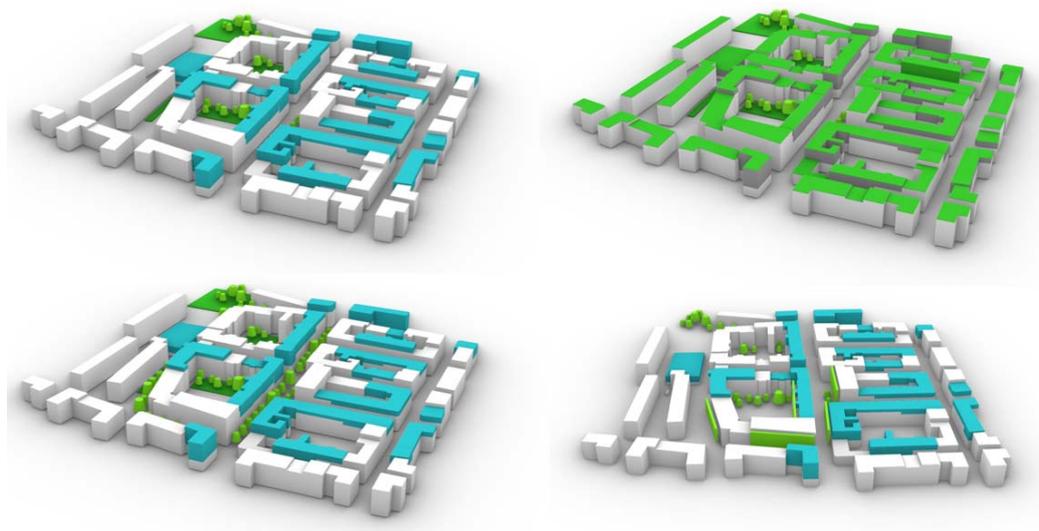


Abbildung 20. 3D-Modelle von Begrünungsszenarien: Verdichtungsszenario ohne Anpassung (oben links); Gründächer (oben rechts); Straßenbäume (unten links); grüne Fassaden (rechts unten).

Wirkung von Straßenbäumen auf die Strahlungstemperatur im Straßenraum:

Abbildungen 21 und 22 zeigen die räumliche MRT und die Differenzkarten aus dem Verdichtungsszenario für den 24-Stunden-Zeitraum. Die positive Wirkung von Bäumen ist offensichtlich und kann zu einem Sinken der MRT um bis zu 7,7 ° C führen (Abbildung 21). Die Straßenbäume können bei entsprechender Höhe und Anordnung vor Gebäuden auch die einfallende Sonnenstrahlung von den Gebäudefassaden abschirmen, was das Aufheizen der Fassaden und den Kühlbedarf der Gebäude reduziert.

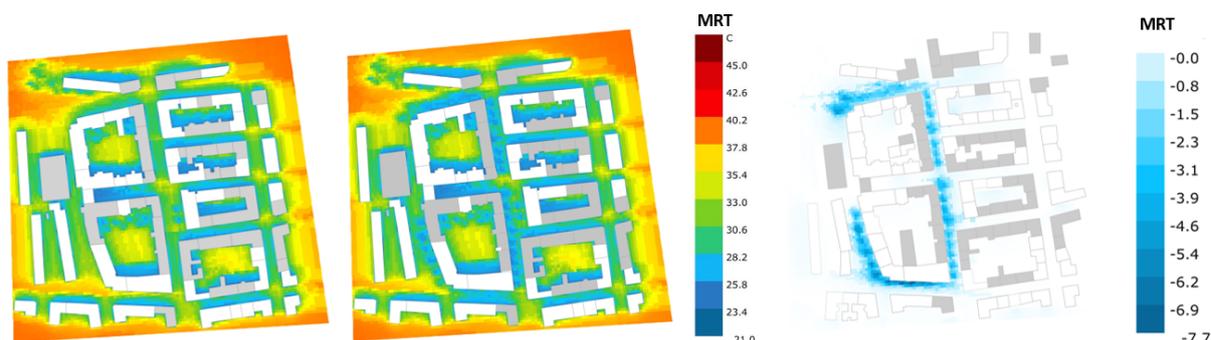


Abbildung 21: 24-Stunden-MRT (auf Straßenebene) für das Verdichtungsszenario ohne (links) und mit Straßenbäumen (Mitte); 24-Stunden-MRT-Unterschiede (rechts) zwischen dem Verdichtungsszenario ohne und mit Klimaanpassungsmaßnahmen: Straßenbäume

Wirkung begrünter Dächer und Fassaden auf die Strahlungstemperatur

Es zeigt sich, dass begrünte Dächer (zumindest, wenn sie in relativ wenigen Baublöcken implementiert werden), eher geringen Einfluss auf die die Strahlungstemperaturen auf Straßenniveau, haben. Sie reduzieren den 24-Stunden-MRT dort um 0,5 ° C (Abbildung 22 links). Sie tragen allerdings dazu bei, die Lufttemperatur in unmittelbarer Nähe der Dächer (im betrachteten Untersuchungsgebiet in 16 bis 20 m Höhe über Straßenniveau) zu senken und den Energieverbrauch für Heizung und Kühlung in den Geschoßen unter den Gründächern (Abbildung 22 links) reduzieren.

Grüne Fassaden können die einfallenden Sonnenstrahlung abschirmen, wodurch die Wärmemenge, welche die Gebäudewände und die Innenräume erreicht, reduziert wird. Grüne Fassaden können auch durch Verdunstungsprozesse zu niedrigeren Strahlungstemperaturen von bis zu 5 ° C MRT in den Straßen beitragen (Abbildung 21 rechts)

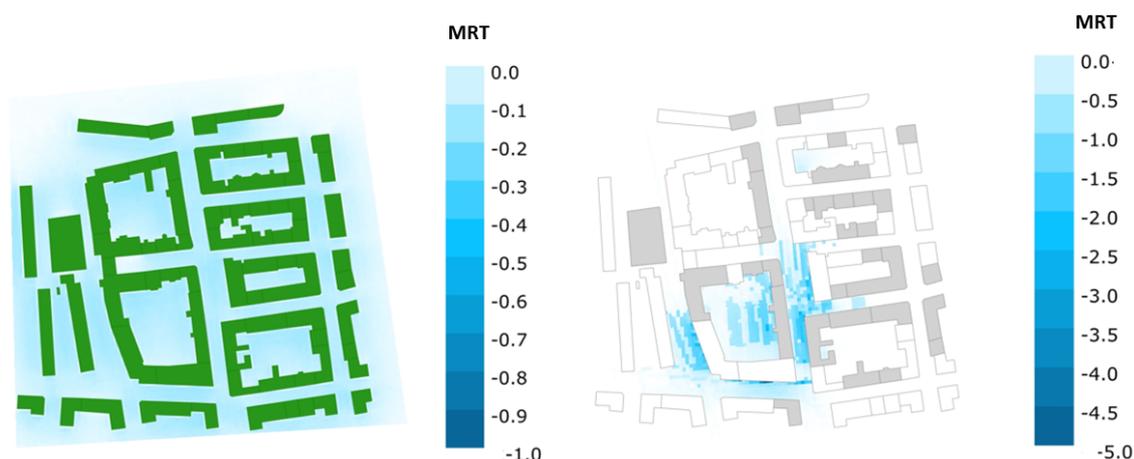


Abbildung 22. 24-Stunden-Differenzkarten der MRT, berechnet aus dem Verdichtungsszenario: (links) Gründächer; (rechts) grüne Fassaden.

Zur Auswirkung von Straßen- und Fassadengrün und dessen Evapotranspiration auf Kühlung des Straßenraumes:

Bei der Beurteilung der Projektergebnisse durch das ACRP Steering Committee wurde als einziger Kritikpunkt erwähnt: "... das Steering Committee hat die Einschränkungen des ENVIMET-Modells erkannt und gebeten, eine Bias-Korrektur aufzunehmen."

Die Autoren sind sich der Einschränkungen von ENVIMET bewusst, da wir bereits in früheren Projekten ENVIMET eingesetzt haben und die Ergebnisse mithilfe von Messungen validiert haben. Ursprünglich war geplant auch in dem Projekt ENVIMET anzuwenden. Doch nach einigen weiteren Tests haben wir schließlich auf das Grasshopper-Tool umgestellt, das zwar ebenfalls Einschränkungen aufweist, jedoch größere Analysebereiche modellieren kann.

Wie bereits erwähnt, verwenden wir hier die mittlere Strahlungstemperatur (MRT) als Bewertungsindikator, da diese einen wesentlich stärkeren Einfluss auf die Hitzeexposition der Bevölkerung hat, als die Lufttemperatur. Die mittlere Strahlungstemperatur kann nicht mit der Umgebungslufttemperatur verglichen werden. Die Kühlwirkungen begrünter Straßen auf die mittlere Strahlungstemperatur hängen hauptsächlich mit der Beschattung der Pflanzen zusammen (und nicht mit der evapotranspirativen Kühlung - siehe Abschnitt unten). Für die Anwendung der MRT ist daher keine Bias-Korrektur sinnvoll.

Die Autoren haben jedoch den Einfluss von Sonnenstrahlung in Kombination mit Verdunstungskühlung auf die Umgebungslufttemperatur durch Literaturrecherche und eine kleine Validierungsaufgabe analysiert. Kühleffekte auf die Lufttemperatur sind weitgehend dokumentiert. Die Auswirkungen unterscheiden sich je nach Vegetationsart (Einfluss auf Beschattung und Verdunstung), Wasserversorgung der Pflanzen, Temperatur und Sonneneinstrahlung (vgl. Dimoudi und Nikolopoulou, 2003; Duncan et al., 2019; Loibl et al., 2019, Vuckovics et al., 2019). Bowler et al. (2010) führten eine Metastudie durch, in der die Ergebnisse verschiedener Studien zu diesem Thema verglichen wurden. Sie dokumentierten die durchschnittliche Tagestemperaturabkühlung (06:00 - 20:00) - basierend auf 16 Studien - mit 0,95 ° C. Die Nachttemperatursenkung (20:00 - 06:00) wurde (basierend auf 7 Studien) gemittelt mit 1,15 ° C ausgewiesen. Kong et al. (2016)

gibt an, dass die Beschattung am meisten zur Kühlwirkung durch Vegetation beiträgt, während die Evapotranspiration tagsüber vergleichsweise wenig zur Kühlung beiträgt. Auch nachts werden nur geringe Veränderungen beobachtet. Tan et al. (2018) führten Messungen an Bäumen über (sonnenexponiert) und innerhalb der Baumkrone (im Schatten) durch und verglichen die Ergebnisse: Der Kühleffekt durch Evapotranspiration betrug 0,26 - 0,72 ° C bei einem Durchschnitt von 0,48 ° C. Der Kühleffekt der Beschattung machte 71% des Kühleffekts der Vegetation und der Verdunstungseffekt 29% aus.

Zur Validierung der Modellen und zur Bewertung der Unsicherheit

Da innerhalb des Projekts keine mittlere Strahlungstemperatur gemessen werden konnte, weil keine speziellen Instrumente und kein Budget für eine Überwachungskampagne vorhanden waren, wurde die Oberflächentemperatur für eine grobe Validierung der Modellergebnisse herangezogen, da diese stark von der direkten Sonneneinstrahlung beeinflusst wird und mit verfügbaren Geräten gemessen werden konnte.

Die Oberflächentemperatur wurde mit einer Infrarotkamera über einen Hitzeperiode im August 2019 an einer Auswahl an Testpunkten im Schatten und in der Sonne gemessen. Die Messergebnisse wurden mit den Ergebnissen des ENVIMET- und des Grasshopper-Modells für dieselben Punkte verglichen. Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Korrelationsanalyse zwischen Messung und Modellergebnissen.

Tabelle 1: Korrelationskoeffizient der gemessenen gegenüber den modellierten Oberflächentemperaturen auf Asphalt (Shyama, A., 2020)

	Surface Temperature (°C)	
	Measured/Envimet	Measured/Ladybug
Asphalt sun	0.7510	0.7270
Asphalt shadow	0.4351	0.5463

Die Ergebnisse des ENVIMET-Modells zeigen eine geringfügig höhere Übereinstimmung mit den Messdaten in der Sonne, während die Ergebnisse von GRASSHOPPER / LADYBUG eine höhere Übereinstimmung mit den Messdaten im Schatten zeigen. Aus diesem Grund und aufgrund der besseren Eisetzbarkeit des Modells für große Analysebereiche wurden in weiterer Folge die GRASSHOPPER Ergebnisse für die Analyse herangezogen.

WP4: Building design improvement, co-generation of knowledge involving stakeholders

Für ausgewählte Gebäude wurden weiter Aufstockungsvarianten analysiert, wo die Auswirkungen von Leichtbau und Massivbau auf den Gesamtenergiebedarf und die Innentemperaturen von Gebäuden bewertet wurden. Für diese Analyse wurden im Projektgebiet zwei typische Gebäude ausgewählt.

Beiden Gebäuden zeigen hohes (wirtschaftliche) Potential für eine Aufstockung. Eines ist das Eckgebäude Meidlinger Hauptstraße 36 und das andere befindet sich in der Häuserzeile in der Meidlinger Hauptstraße 42-44 (siehe Abbildung 23).

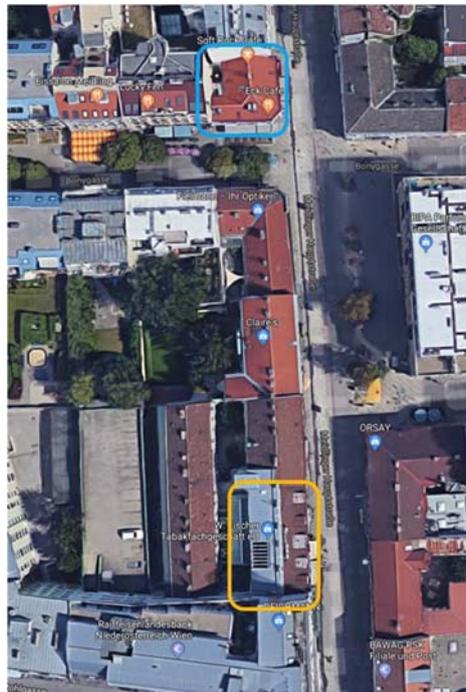


Abbildung 23: Die zwei für eine Detailanalyse ausgewählten Gebäude sind durch ein gelbes und blaues Rechteck gekennzeichnet (Luftbild: maps.google.at; Vansko, 2020; Zwirschitz, 2020)

Für die Analyse wurden beide Gebäude fiktiv auf die maximal zulässige Gebäudehöhe laut der Bauklasse im Bebauungsplan aufgestockt. Konstruktive Aspekte wurden wie auch architektonische und gestalterische Überlegungen nicht berücksichtigt.

Die Gestaltung der Fenster wurde an das bestehende Gebäude angepasst. Beim obersten Geschöß wurde die Fensterfläche verdoppelt (siehe Tabelle 2 unten). Im Fall des Eckgebäudes (Meidlinger Hauptstraße 36) wurden 4 Stockwerke mit Flachdach und 3 Stockwerke mit Dachgeschoss im Fall eines Schrägdachs hinzugefügt. Für das zweite Gebäude (Meidlinger Hauptstraße 42-44) wurde das gleiche Prinzip angewendet, mit einer Ausbaumöglichkeit von 3 zusätzlichen Stockwerken für das Flachdach und 2 Stockwerken und Dachgeschoßausbau für die Satteldachvariante.

In Abbildung 24 sind die theoretischen Erweiterungen der Gebäude mit flachen und schrägen Dächern dargestellt. Die Aufstockungsbereiche werden in Grün dargestellt.

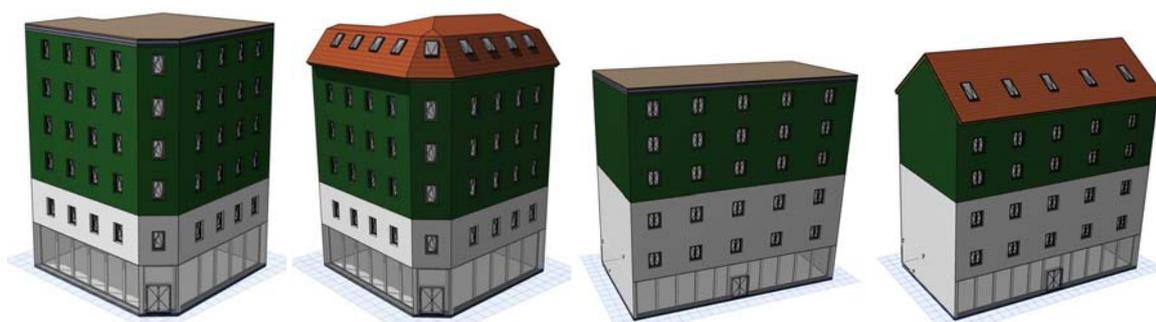


Abbildung 24: Fiktive Aufstockung des Gebäudes Meidlinger Hauptstraße 36 (Gebäude 1) und des Gebäudes Meidlinger Hauptstraße 42-44 (Gebäude 2) mit Flachdach und Satteldach (Vansko (2020) und Zwirschitz (2020))

Bauart (Leichtbau und Massivbau)

Für die Analyse der Wirkung auf das Raumklima wurden unterschiedliche Konstruktionsvarianten getestet (siehe Tabelle 2). Im ersten Fall wurden die Dachtypen sowohl mit einer Flachdachkonstruktion als auch mit einer Schrägdachkonstruktion (A) modelliert. Im zweiten Fall wurde die Fensterfläche im letzten Stock verdoppelt (B). Weiters wurden die Gebäude in einer Leichtbaukonstruktion (C) und einer Massivbaukonstruktion (D) verglichen.

Tabelle 2: Übersicht über die Verdichtung für ausgewählte Gebäude mit unterschiedlichen Bauarten (Vansko, 2020)

A. Roof Type	B. Glazing	C. Light-weight construction	D. Heavy-weight construction
Flat Roof	Equal to existing building	Wall with cellulose insulation and inverted roof	Solid wood wall with intermediate insulation and inverted roof
		Ventilated wall with wooden paneling and inverted roof	Concrete wall with external insulation and inverted roof
	Twice to existing building in top floor	Wall with cellulose insulation and inverted roof	Solid wood wall with intermediate insulation and inverted roof
		Ventilated wall with wooden paneling and inverted roof	Concrete wall with external insulation and inverted roof
Sloping roof	Equal to existing building	Wall with cellulose insulation and ventilated rafter roof	Solid wood wall with intermediate insulation and rafter roof
		Ventilated wall with wooden paneling and ventilated rafter roof	Concrete wall and roof with external insulation
	Twice to existing building in top floor	Wall with cellulose insulation and ventilated rafter roof	Solid wood wall with intermediate insulation and rafter roof
		Ventilated wall with wooden paneling and ventilated rafter roof	Concrete wall and roof with external insulation

Die Qualität der Wand-, Dach- und Fensterelemente basiert auf den Mindestanforderungen der OIB-Richtlinie 6 (OIB; 2019), die die Grundlage für die Wiener Bauordnung hinsichtlich der Energieeffizienz von Gebäuden bildet. Die U-Werte für die verschiedenen Bauarten variieren geringfügig je nach tatsächlichem Aufbau der Wand oder des Daches (siehe Tabelle 3). Die Gesamtkonstruktion erfüllt somit die Anforderungen der Bauordnung, übertrifft diese jedoch nicht.

Tabelle 3: U-Werte unterschiedlicher Konstruktionen (Vansko, 2020)

Construction type wall	U-Value [W/m ² K]	Construction type roof	U-Value [W/m ² K]
Wall with cellulose insulation	0,190	Inverted roof	0,196
Ventilated wall with wooden paneling	0,162	Ventilated rafter roof	0,104
Solid wood wall with intermediate insulation	0,194	Rafter roof	0,115
Concrete wall with external insulation	0,152	Roof with external insulation	0,129

Für die Beurteilung der Raumtemperatur in Innenräumen wurde ein Worst-Case-Szenario ausgewählt. Für die Analyse wird ein Raum in der obersten Etage mit dem potenziell höchsten Solarzugang an einem der heißesten Tage des Jahres mit einer Tagestemperatur von über 30°C simuliert. Für ein realistisches Szenario wurde der Raum mit natürlicher Nachtlüftung mit offenen Fenstern zwischen 23 Uhr und 8 Uhr morgens modelliert.

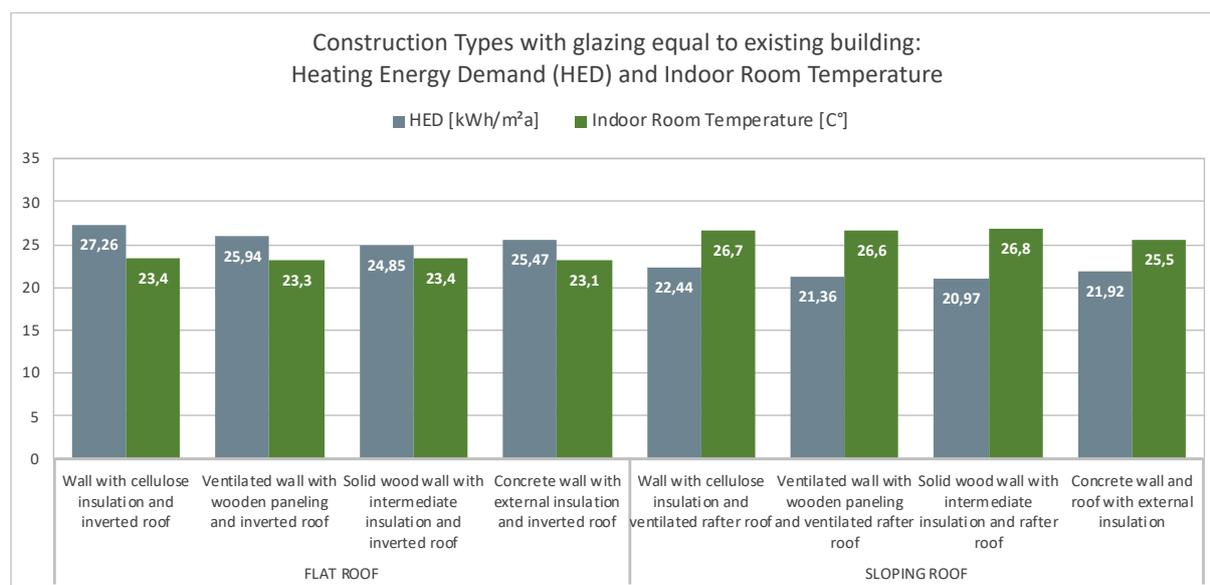


Abbildung 25: Bauartvarianten mit Fensterflächen analog zum bestehenden Gebäude: Heizenergiebedarf und Raumtemperatur für Gebäude 2 (Vansko, 2020)

Die Ergebnisse zeigen, dass der Heizenergiebedarf zwischen den verschiedenen Varianten nur geringfügig variiert. Die Massivbaukonstruktion wirkt sich leicht positiv auf den Heizenergiebedarf und die Raumtemperatur im Innenraum aus. Bei den Varianten mit geneigtem Dach sind die Temperaturen aufgrund der Dachneigung und der anschließend erhöhten Sonneneinstrahlung in der Regel 2-3°C höher (Abbildung 25).

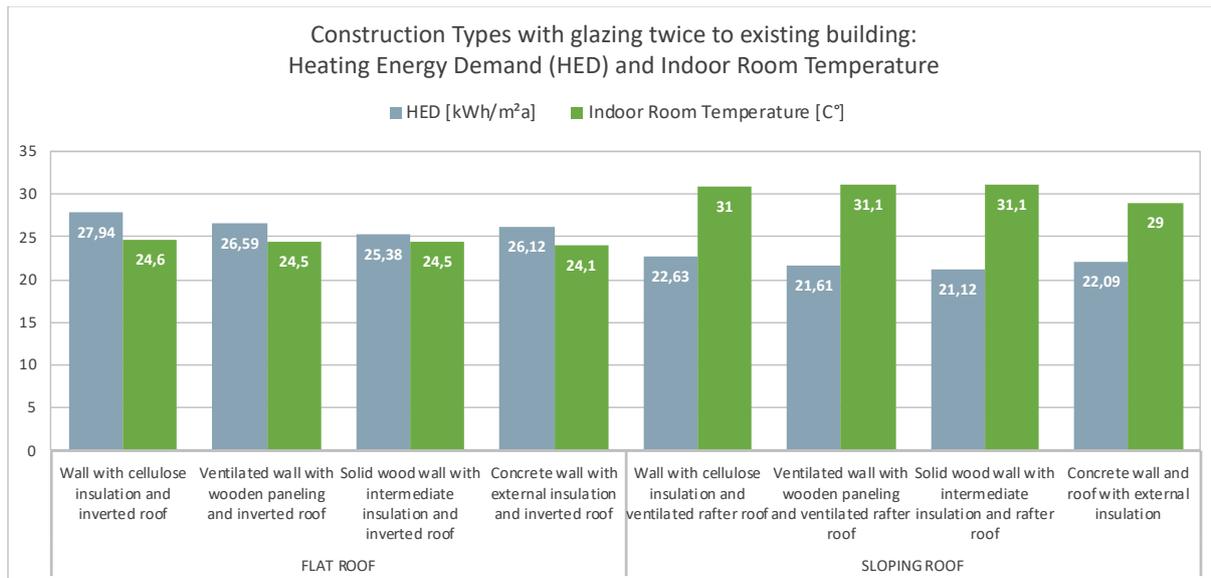


Abbildung 26: Bauartvarianten mit zweimaliger Verglasung des bestehenden Gebäudes: Heizenergiebedarf und Raumtemperatur für Gebäude 2 (Vansko, 2020)

Die gleichen Varianten wurden auch mit einer vergrößerten Glasfläche analysiert. Abbildung 26 zeigt die Ergebnisse mit der doppelten Fensterfläche in den obersten Stockwerken im Vergleich zum bestehenden Gebäude. Während sich der Heizenergiebedarf kaum ändert, ist die Raumtemperatur vor allem in der Variante mit Schrägdach (und erhöhtem Fensteranteil) deutlich höher. Dies zeigt, dass die transparenten Elemente einen weitaus größeren Einfluss auf die Raumtemperatur in Innenräumen haben können als verschiedene Bauarten, wenn die U-Werte bereits allgemein über den in der Bauverordnung angegebenen Werten liegen.

Begrünung des Daches und der Fassade

Für die Begrünung von Dach und Fassade wurden die gleichen Beispiele. In einem ersten Schritt wurden Unterschiede hinsichtlich des Ausmaßes der Begrünung des Daches vorgenommen (siehe Tabelle 4 auf der folgenden Seite). Zuerst wurden die Dachtypen sowohl mit einer Flachdachkonstruktion als auch mit einer Satteldachkonstruktion (A) modelliert. Zweitens wurde die Konstruktion des Daches geändert (B). Für das Flachdach wurden fünf verschiedene Varianten modelliert, von einem traditionellen Dach ohne Begrünung bis zu einem ausgedehnten Gründach und drei Optionen für mit unterschiedlichen Vegetationsoptionen zwischen 10 und 90 cm Aufbau. Die U-Werte nehmen mit der Dicke des Substrats ab, da diese Schicht wie eine zusätzliche Dämmung wirkt. Für das schräge Dach wurde zwischen keiner Begrünung und einer geringfügigen ausgedehnten Begrünung mit 15cm unterschieden, da schräge Dächer nur in geringen Höhen begrünt werden können, da die Substrat- und Vegetationsschichten mit dickeren Bauhöhen abrutschen könnten. Anschließend wurden zwei Optionen modelliert. Eine ohne Begrünung und eine mit einer umfassenden Begrünung. Da zwei verschiedene Dachtypen verglichen wurden, unterscheiden sich die U-Werte, da das herkömmliche Dach belüftet wird und somit einen etwas besseren U-Wert aufweist (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Übersicht über die Verdichtung ausgewählter Gebäude mit unterschiedlichen Gründacharten (Zwirschitz, 2020)

A. Roof Type	B. Greening of the roof	U-Value [W/m ² K]
Flat Roof	No greening (no additional substrate layer)	0,186
	Extensive greening (10cm)	0,181
	Intensive greening (20cm)	0,179
	Intensive greening (45cm)	0,174
	Intensive greening (90cm)	0,159
Sloping roof	No greening (no additional substrate layer)	0,111
	Extensive greening (15cm)	0,161

Für die Begrünungsvarianten wurden der Heizenergiebedarf sowie die Raumtemperatur analysiert. Entsprechend der Bewertung für die Bauarten wurde für die Berechnung der Raumtemperatur ein Raum ausgewählt, der möglicherweise am stärksten von Überhitzung betroffen ist. Der heißeste Tag innerhalb eines Jahres wurde als Referenz ausgewählt, wobei die Tagestemperatur 30°C übersteigt. Als realistisches Szenario, wurde der Raum mit einer natürlichen Nachtlüftung mit offenen Fenstern zwischen 23 Uhr und 8 Uhr morgens modelliert.

Bei Modellierung ohne Nachtlüftung überschreiten die Temperaturen die Komfortgrenzen deutlich über 30°C. Daher musste ein Szenario mit Lüftung in Betracht gezogen werden, um die Wirkungen angemessen vergleichen zu können.

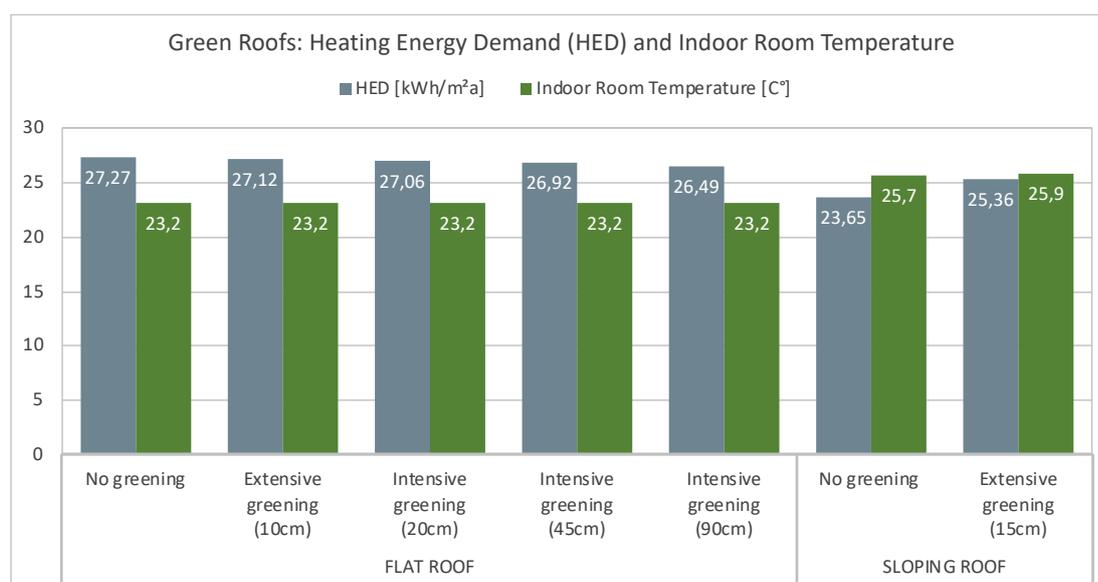


Abbildung 27: Gründachvarianten: Heizenergiebedarf und Raumtemperatur für Gebäude 2 (Zwirschitz, 2020)

Die Ergebnisse zeigen, dass zwischen den verschiedenen Begrünungen in Bezug auf den Heizenergiebedarf als auch Raumtemperaturen nur ein vernachlässigbarer Unterschied besteht. Es zeigt sich, dass, wenn die Gesamtkonstruktion bereits gut gedämmt ist, ein Gründach einen geringen Einfluss auf Heizenergiebedarf und Raumtemperatur in Innenräumen hat (Abb. 27).

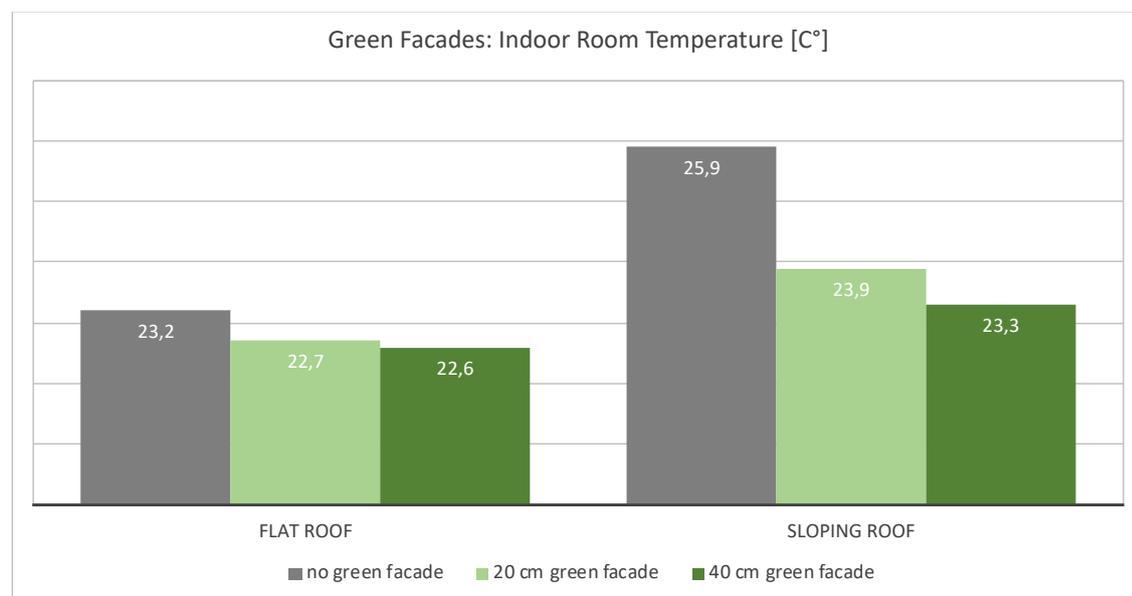


Abbildung 28: Grüne Fassadenvarianten: Raumtemperatur in Innenräumen für Gebäude 2 (Zwirschitz, 2020)

Die grünen Fassaden wurden mit einer Außenkonstruktion modelliert, die entweder 20 cm oder 40 cm über die eigentliche Fassade hinausragt. Die Begrünung wurde daher mit einem Verschattungseffekt modelliert, der die Sonneneinstrahlung auf die Fenster beeinflusst. Bei der Flachdachvariante beträgt die Verringerung der maximalen Innentemperatur zwischen der nicht begrünenden Fassade und einer Grünfläche mit einem Überhang von 20cm 0,5°C. Bei einer 40cm dicken Grünfläche beträgt die maximale Temperaturreduzierung 0,6°C. Bei der Variante mit Schrägdach wirkt die teilweise Beschattung der Fenster mit der Fassadenbegrünung etwas stärker. Bei einer Begrünung der Fassade von 20 cm wird die Temperatur um 2°C gesenkt, und bei einer freitragenden Begrünung von 40 cm beträgt die Differenz 2,6 °C (Abb. 28).

WP5: Co-generation of knowledge involving stakeholders:

WP5, Teil 1 - Workshops zur Erarbeitung von Richtlinien für klimasensitive Stadtverdichtung

In den Workshops wurden die Ergebnisse der Verdichtungsszenarien und der Mikroklimasimulationen präsentiert und mit VertreterInnen der Stadt diskutiert. Das ursprüngliche Konzept, auch Bauträger und weitere lokale Entscheidungsträger in diese Workshops einzubeziehen, wurde von den Planungsbehörden mehr oder weniger abgelehnt. In der Einladungsphase zum

ersten großen Stakeholder-Workshop reagierten mehrere VertreterInnen der Stadtverwaltung sofort ablehnend.

Ein hochrangiger Vertreter der Planungsverwaltung erläuterte: „Das Projekt ist das erste, das die Wechselwirkung zwischen Verdichtung und Klimawandel untersucht.“ Er befürchtete negative Konsequenzen in dieser Phase der Untersuchung, da Ergebnisse wie „mehr Schatten ist ein positives Ergebnis der Verdichtung“ Druck der Bau-Lobby auf die Gemeindeverwaltung auslösen würde, mehr Verdichtung zuzulassen. Einige BehördenvertreterInnen befürchteten auch, dass ein öffentliches Publikum die vorgestellten Verdichtungsszenarien nicht als wissenschaftliche Experimente betrachten würden, sondern als einen ersten Schritt zur Umsetzung, was negative öffentliche Reaktionen hervorrufen würde, aus Angst vor einer Verringerung der Lebensqualität. Mehrere VertreterInnen der Stadtplanung meinten, dass weitere Projekte für zusätzliche Untersuchungen notwendig sind, um weitere Dimensionen im Zusammenhang mit dem Klimawandel einzubeziehen. Die Erweiterung der Gebäudehöhe ist nur eine Dimension der Stadtentwicklung, die nicht belastbar genug ist, um endgültige Richtlinien für die Verdichtung unter künftigen Klimabedingungen öffentlich zu machen, die eine Vielzahl von Änderungen in der Landnutzung und in der Höhenzone bewirken könnten.

Daher haben wir unsere Strategie zur Einbeziehung von Stakeholdern geändert. Die beteiligten Stakeholder waren schließlich nur Mitglieder der Wiener Stadtverwaltung, zuständig für Umwelt- und Klimaschutz, Stadtplanung und Stadtentwicklung sowie Stadt- und Gebäudeplanung. In den Workshops wurden nach der Ergebnispräsentation, Schlussfolgerungen und mögliche Planungsrichtlinien diskutiert. Da sich diese Schlussfolgerungen nicht auf alle Aspekte der Stadtentwicklung und des Klimawandels beziehen, werden sie nun als „Empfehlungen für Leitlinien zur Stadtverdichtung unter sich ändernden Klimabedingungen“ bezeichnet.

WP5, Teil 2 - Empfehlungen für Leitlinien zur städtischen Verdichtung unter sich ändernden Klimabedingungen

Basierend auf den Mikroklimasimulationen und den Diskussionen mit den Stakeholdern während der Workshops wurden Empfehlungen abgeleitet, die in den Schlussfolgerungen dargestellt sind.

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Wirkung großräumiger Verdichtung

- Eine großräumige Verdichtung führt tagsüber zu einer Zunahme der schattigen Bereiche und einer verbesserten lokalen Kühlung der Straßen und Innenhöfe, da die mittlere Strahlungstemperatur zwischen 3 und 10 ° C sinkt, insbesondere in Straßen, die nach West-Ost ausgerichtet sind.
- Während der Nachtstunden führt die großflächige Verdichtung auf den Straßen zu einem leichten Anstieg der mittleren Strahlungstemperatur um bis zu 0,5 ° C.
- Eine Verringerung der Windgeschwindigkeit um 50% (ungefähr 6 bis 3 m / s) führt zu einer Erhöhung der mittleren Strahlungstemperatur von 1 bis 3 ° C während des Tages und einer Erhöhung von 0,1 bis 0,3 ° C bei Nacht

Wirkung Punktueller Verdichtung

- Hochhäuser führen zu größeren Flächen im Nahbereich, die über einen längeren Zeitraum beschattet sind und somit tagsüber weniger durch Sonneneinstrahlung erwärmt werden - die mittlere Strahlungstemperatur sinkt um bis zu -15 ° C auf 25 bis 30 ° C.
- In den Nachtstunden bewirkt die lokale Verdichtung auf den Straßen eine leichte Erhöhung der mittleren Strahlungstemperatur um bis zu 0,5 ° C.
- Empfehlungen für eine großflächige Verdichtung beziehen sich auf Hitzeeinwirkung und Belüftung: mäßige Höhenzunahme, Beschattung von nach Süden und Westen ausgerichteten Fassaden durch Fassadenbegrünung und Bäume, Beschattung von Dachweiterungen und richtige Ausrichtung von Gebäuden und Straßen, um die Bestrahlungsstärke und die Unterstützung der Belüftung durch zu verringern unter Berücksichtigung der Hauptwindrichtungen.
- Die vertikale Verdichtung sollte mit spezifischen Anforderungen in Bezug auf externe Beschattungs- und Lüftungsmaßnahmen (z. B. Querlüftung und Nachtlüftung) verknüpft werden.
- In Bezug auf die individuelle Verdichtung durch Hochhäuser muss die Gestaltung und Ausrichtung des Gebäudes in Bezug auf die Hauptwindrichtungen und in Bezug auf die Reflexionen der Glasfassaden durch obligatorische individuelle Mikroklima- und Windkomfortbewertungen bewertet werden.
- In Bezug auf städtisches Grün muss der Schwerpunkt der Bepflanzung auf den Straßen liegen, um die Verdunstung und Luftfeuchtigkeit zu erhöhen und die Hitzeexposition durch Beschattung zu verringern. An den nördlichen und östlichen Straßenseiten sind Bäume zu pflanzen, die während der Stunden mit

der höchsten Sonneneinstrahlung der Sonne ausgesetzt sind. Die Bodenversiegelung muss so weit wie möglich reduziert werden - insbesondere in privaten Höfen und großen öffentlichen Räumen, um die Verdunstung von feuchten Böden zu ermöglichen.

Empfehlungen zu Aufstockung und Dachgeschoßausbau

Auswirkungen schwerer oder leichter Dacherweiterungen auf den Energiebedarf und den Innenkomfort im Gebäude sind:

- Hohe Wärmespeicherkapazitäten können fehlende Beschattungsmaßnahmen für große Verglasungsflächen und fehlende Belüftungsmaßnahmen nicht ausgleichen.
- Bei Fensterbereichen, die nicht durch externe Beschattungssysteme beschattet werden, wirkt sich die Größe des Fensters stärker aus als die thermische Masse.
- Die Nachtlüftung ist bei leichten und schweren Konstruktionen von großer Bedeutung, um die Innentemperaturen innerhalb der Komfortgrenzen zu halten.
- Auswirkungen von Gründächern und grünen Fassaden auf den Energiebedarf und den Innenraumkomfort im Gebäude
- Nachtlüftung ist sehr wichtig, um die Innentemperaturen innerhalb der Komfortgrenzen zu halten.

Wirkung von Klimaanpassungsmaßnahmen

- Straßenbegrünung trägt zu einer deutlichen Reduzierung der Strahlungstemperatur bei
- Tagsüber wird die Strahlungstemperatur in den Schattenzonen um bis zu 15 ° C reduziert
- Nachts sinkt die Strahlungstemperatur nur geringfügig um einige 1/10 ° C.
- Grüne Fassaden wirken sich aufgrund ihrer Schattierungseigenschaften hauptsächlich auf die Innentemperaturen aus, da eine teilweise Beschattung der Fenster (z. B. durch bodenbasierte Fassadenbegrünung) den größten Effekt auf die Reduzierung der Innentemperatur hat, da sie wie ein externes Beschattungssystem wirkt: Wirkung bis -5°C
- Tagsüber wird die Strahlungstemperatur in den Schattenzonen um bis zu 15 ° C reduziert
- Nachts sinkt die Strahlungstemperatur nur geringfügig um einige 1/10 ° C.
- Gründächer bewirken auf der Straße (tagsüber und nachts) eine leichte Reduzierung der Strahlungstemperatur um einige 1/10 ° C. Gründächer auf Dachebene reduzieren die Strahlungstemperatur um 0,5 ° C (ohne schattige Bäume).

- Die Auswirkung von Gründächern auf den Heizbedarf und die Innentemperaturen hängt hauptsächlich mit der Höhe der Substratschicht (und damit den hinzugefügten Isolierschichten auf dem Gebäude) zusammen.
- Fehlende Beschattungsmaßnahmen bei großen Fenstern (hohe Sonnenwärmelasten) und fehlende Lüftungsmaßnahmen können nicht allein durch hohe interne Speicherkapazitäten ausgeglichen werden.
- Wenn nicht (durch externe Beschattungsvorrichtungen) beschattet wird, hat das Verhältnis von Fensterfläche zu Wandfläche eine größere Auswirkung als die Speichermasse.

Empfehlungen zu Klimaanpassungsmaßnahmen:

- Auf Gebäudeebene sollte die Begrünung in Verbindung mit der Nutzung erneuerbarer Energiesysteme in Betracht gezogen werden, da eine Erhöhung des Innenkomforts im Sommer hauptsächlich durch Beschattung in heißen Perioden erreicht wird.
- Die Begrünung sollte hauptsächlich auf Straßenebene durchgeführt werden, da der Verdunstungs- und Beschattungseffekt die Strahlungstemperatur und auch die wahrgenommene Temperatur auf Straßenebene senken kann.
- Die Begrünung auf Straßenebene sollte sowohl auf dem Grundstücksbereich (Innenhofbereiche) als auch auf öffentlichen Bereichen (privater und öffentlicher Sektor) obligatorisch sein.
- Fassadenbegrünung kann auch in engen Gassen durchgeführt werden, da sie sich positiv auf die Gebäude auswirkt. Insbesondere Süd- und Westfassaden sind weniger dem Sonnenlicht ausgesetzt, die Wände und Innenräume erwärmen sich weniger und das Grün sorgt durch Evapotranspiration für weitere Kühlung.
- Eine teilweise Beschattung der Fenster (z. B. durch technische Einrichtungen und durch Begrünung der Fassade) hat den größten Effekt bei der Verringerung der Innentemperaturen.
- Die Begrünung der Dächer (zumindest jene von den Dächern der Häuser in wenigen Baublöcken) hat wenig Einfluss auf das Mikroklima auf Straßenebene. (Intensive) Gründächer wirken in erster Linie als Wärmedämmung für die Gebäude (je besser die Dämmung des darunter liegenden Daches ist, desto größer ist die Wirkung des Gründachs auf den Energiebedarf und die Innenraumtemperaturen des Gebäudes).
- Bewässerte Rasenflächen (auf einer dickeren Substratschicht) haben durch Evapotranspiration eine kühlende Wirkung auf den Terrassenbereich und den Boden darunter haben. Größere Sträucher oder Bäume (in Behältern mit geeigneter Substratschicht und Bewässerung) können darüber hinaus Schatten spenden.

C) Projektdetails

6 Methodik

Das Projekt untersucht darum Abhängigkeiten zwischen Stadtverdichtung und Stadtklima unter aktuellen Klima- und globalen Erwärmungsbedingungen mittels Mikroklimasimulationen sowie eines Stadtverdichtungsszenarios für Meidling, den bereits noch dicht bebauten 12. Bezirk Wien, Österreich.

Übersicht der eingesetzten Methoden:

- 3D-Stadtmodellierung und Entwicklung von Verdichtungsszenarien. Mit Grasshopper und ARCGis.
- Mikroklimasimulationen für Testgebiete in Meidling, zunächst mit SOLVEIG sowie ENVIMET und schließlich mit Grasshopper- und Ladybug-Tools für den zentralen Bereich von Meidling und weitere kleine Untersuchungsgebiete durchgeführt.
- Windfeldsimulationen sind mit STAR-CCM+ unter Verwendung von 3D-Modellen für den größeren zentralen Bereich von Meidling, für die Hauptwindrichtungen und die häufige Windgeschwindigkeiten durchgeführt worden.
- Modellierung des thermischen Komforts (in Innenräumen) unter Anwendung von EnergyPlus für 2 Beispielgebäude, wobei verschiedene Konstruktionsformen für Gebäudeerweiterungen sowie Fassaden- und Dachbegrünung.
- Moderation von Workshops zur Einbeziehung von Interessengruppen zur Erörterung der Auswirkungen der städtischen Verdichtung, der Wirkung auf das Mikroklima und der Anwendung von Klimaanpassungsmaßnahmen
- Ausarbeitung von Leitlinien für die klimasensitive Verdichtung von Städten

Beschreibung der eingesetzten Methoden im Detail:

1) Entwicklung von Verdichtungsszenarien

Räumlich explizite Szenarien wurden zuerst mit Hilfe von 3D-Stadtmodellen mithilfe des *Rhino3D-Plug-Ins Grasshopper*, die auf den Gebäudegrundrissen und der ausgewiesenen Gebäudehöhen basiert, durchgeführt. Dazu wurden die Geodaten verwendet, die von der Stadt Wien als Shapefiles bereitgestellt wurden: Gebäudegrundrisse. Die 3D-Modellierung erfolgte durch die automatisierte Extrusion von Gebäudegrundrissen, indem die Höheninformationen der Gebäude in 3D-Volumina übertragen wurden.

In einem weiteren Schritt wurde ein allgemeines Verdichtungsszenario für das zentrale Meidling entwickelt, das auf den Maxima der Gebäudehöhen der jeweiligen zulässigen Bauklasse basiert - der oberen Schwelle der Höhenbandbreite. Die Informationen zur maximalen Gebäudehöhe wurde durch einen „spatial join“ der

Höhenklassenanmerkung des „Bebauungsplans“ - der Höhenzone - zu den Gebäudegrundrissen mittels *ArcGIS*-Software in die Basisgeodaten integriert.

Die Differenz zwischen der aktuellen und einer möglichen maximalen Gebäudehöhe erlaubt die Schätzung der zusätzlichen Anzahl möglicher Stockwerke (mit und ohne Dachausbau) für jedes Gebäude. Basierend auf der Größe des Gebäudegrundrisses und der Anzahl der zusätzlichen Stockwerke wurde die zusätzliche potenzielle Bruttogeschoßfläche für das gesamte Gebiet geschätzt. Basierend auf der potenziellen Bruttogeschoßflächenerweiterung wurde die potenzielle zusätzliche Nettogeschoßfläche berechnet, sodass die zusätzliche Anzahl von Wohnungen mit durchschnittlicher Wohnungsgröße geschätzt werden konnte.

Später wurden weitere Szenarien für die lokale Verdichtung entwickelt, indem zwei fiktiven Hochcluster mit je zwei Gebäuden mit Gebäudehöhen von 80 m und 100 m konzipiert wurden.

Für alle Szenarien wurden die Auswirkungen des Mikroklimas, die durch Schattierungen und Windfelder beeinflusst werden, untersucht (siehe unten).

2) Windfeldsimulationen

Um Windfeldsimulationen für die Hauptwindrichtungen und -geschwindigkeiten durchzuführen, wurden die Frequenzen der Windrichtungen und Windgeschwindigkeitsklassen basierend auf den Überwachungsergebnissen für einen 30-jährigen Klimazeitraum (1989-2018) und für die Teilmenge der Hitzetage (> 30 ° C Tmax) während dieser Zeit untersucht.

Anschließend wurden Windströmungssimulationen mit einem CFD-Modell (Computational Fluid Dynamics) unter Verwendung der Software „*STAR-CCM+*“ durchgeführt, um vollständige 3D-Strömungsfelder zu berechnen.

„*STAR-CCM+*“ ermöglicht die Windfeldsimulation für das zentrale Meidling. Die Windfelder wurden mit den 3D-Modellen unter Berücksichtigung des aktuellen Gebäudehöhenzustands und des Verdichtungsszenarios unter Anwendung der Hauptwindrichtungen und Windgeschwindigkeiten modelliert, die während der Hitzewellen beobachtet wurden. Zusätzlich wurden lokale Windfelder für die zwei fiktiven Hochhauscluster modelliert.

3) Mikroklimasimulationen

Mikroklimasimulationen wurden zunächst mit *SOLVEIG*, weiters mit *ENVIMET* und schließlich mit *Rhino3D/Grasshopper* und den Plug-Ins aus der *Ladybug*-Familie durchgeführt. (<https://www.grasshopper3d.com/>). Die Plugin-Komponenten „*Ladybug*“ übernehmen die physikalischen Prinzipien und Funktionen der zugrunde liegenden Simulation-Engines wie *EnergyPlus*. Die *Ladybug*-Komponente „*Honeybee*“ ermöglicht die Simulation mikroklimatischer Effekte in städtischen Umgebungen unter verschiedenen Klimabedingungen, um städtische Wärmeinselphänomene und damit verbundene Anpassungsmaßnahmen zu untersuchen, indem die kleinräumigen Wechselwirkungen zwischen einzelnen

Gebäuden, Oberflächen und Pflanzen modelliert werden. Die *Ladybug*-Komponenten ermöglichen die Berechnung komplexer Wechselwirkungen zwischen der gebauten sowie gewachsenen Umwelt (Gebäude, Bäume) und dem lokalen Klima.

Die Simulationen wurden zuerst für den Meidling-Zentralbereich entlang der Meidlinger Hauptstraße durchgeführt. Detaillierte Simulationen unter Berücksichtigung des zukünftigen Klimas und Anwendung von Anpassungsmaßnahmen wurden für ein Detailgebiet im Zentrum der Meidlinger Hauptstraße und für zwei fiktive Hochhauskomplexe nördlich und südlich der Meidlinger Hauptstraße durchgeführt.

4) Folgenabschätzung zum Klimawandel und zur Anpassung

Für das aktuelle Klima wurden Messdaten vom August 2019 herangezogen, für das zukünftige Klima wurden die Temperaturverläufe in einer extremen Hitzeperiode aus regionalen Klimasimulationen für den Wiener Raum für das Jahr 2041 herangezogen - das extremste Jahr zwischen 2021 und 2050.

Verschiedene Szenarien und ihre thermischen Auswirkungen wurden analysiert; Details finden sich in den Ergebnisbeschreibungen.

5) Gebäudesimulationen

Verdichtungsmaßnahmen können auch den Gesamtenergiebedarf von Gebäuden (Heiz- und Kühlenergiebedarf) sowie die Komforttemperaturen im Innenraum beeinflussen. Um die Auswirkungen verschiedener Verdichtungsmaßnahmen beurteilen zu können, wurden zwei beispielhafte Gebäude innerhalb des Projektgebiets in Meidling für eine detaillierte Analyse ausgewählt. Die Verdichtung wird mit leichten und schweren Konstruktionen simuliert.

Für beide Gebäude wurden dann die Auswirkungen der jeweiligen Konstruktionsart (leichte und schwere Konstruktion) und der Begrünung von Dach und Fassade analysiert. Die Gebäude wurden in *AutoCAD* modelliert, die Energieanalyse wird mit *ArchiPhysik* durchgeführt. Die Simulation wurde in zwei Masterarbeiten im Rahmen des Projekts zusammengestellt, wie in Vansko (2020) und Zwirschitz (2020) dokumentiert.

6) Stakeholder-Workshops

Es waren Workshops unter Einbeziehung vieler Interessengruppen im Umfeld der Stadt Wien geplant, in denen Verdichtungsszenarien und damit verbundene Ergebnisse der Mikroklimasimulation vorgestellt sowie die Auswirkungen der städtischen Verdichtung und die Anwendung von Maßnahmen zur Klimaanpassung erörtert wurden. Aufgrund der Corona-Ereignisse konnte nur ein größerer Workshop mit rund 20 Mitgliedern der Wiener Stadtplanungsabteilung stattfinden. Nach dem ersten Corona-Lockdown wurde im Juni 2020 ein weiterer Workshop mit einer kleinen Anzahl von ExpertInnen der Wiener Stadtplanung durchgeführt. Nach

den im Herbst wieder steigenden Infektionszahlen hat im September 2020 ein abschließender online-Workshop für die Wiener Planungsdirektion stattgefunden.

7) Entwicklung von Empfehlungen zu Klimaanpassungsrichtlinien für die städtische Verdichtung

Zu und in den Workshops wurden Empfehlungen für Richtlinien für eine klimasensitive Verdichtung von Städten ausgearbeitet. Sie wurden vorbereitet, um in den Workshops diskutiert zu werden.

Zuerst wurden die Auswirkungen vertikaler Verdichtungsmaßnahmen zusammengefasst und dann Empfehlungen für Richtlinien abgeleitet - Details dazu finden sich im Ergebniskapitel.

7 Arbeits- und Zeitplan

Revision des Zeitplans:

WP		dura- tion	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11
1	Coordination, Project management and dissemination	32											
2	3D City model – current state and future height extension scenarios	12											
3	WP3: Current and future climate simulation, considering building height extension and adaptation	14											
4	WP4: Building design improvement, co-generation of knowledge involving stakeholders	4											
5	WP5: Elaboration of guidelines for climate sensitive urban densification	7											

Aufgrund der Corona-bedingten Einschränkungen konnte der geplante „große“ Workshop mit vielen Stakeholdern aus unterschiedlichen Bereichen und damit auch die Entwicklung von Leitlinien nicht innerhalb der geplanten Projektdauer realisiert werden. Dennoch wurde ein größerer Workshop mit rund 20 ExperInnen vom Planungsabteilungen der Stadt Wien durchgeführt.

Vor allem die Corona-Ereignisse erforderten Verlängerung des Projekts. Zunächst wurde um Projektverlängerung bis Ende Juni angesucht, wo ein kleiner Workshop mit MitarbeiterInnen weiterer Magistratsabteilungen durchgeführt wurde. Angesichts der dann zunehmenden Vorbehalte gegen Kontakte mit mehreren fremden Personen, konnten keine weiteren Workshops mehr vereinbart werden. Als Projektende wurde nun Oktober 2020 vereinbart und im Oktober ein letzter online-Workshop durchgeführt. (Details dazu weiter oben!)

Wir nutzten die Projektverlängerung nicht nur für die Neu-Organisation von Workshops, sondern auch für eine Ausweitung von Simulationen (WP3). Die Leitlinien wurden in der Workshop-Phase verfasst. Nach dem letzten online-Workshop wurden noch schriftliche Reaktionen in die Leitlinien eingearbeitet. WP1 musste bis zum neuen Projektende Oktober 2020 verlängert werden. WP2 (Verdichtungsszenarien) wurde in der geplanten Zeit durchgeführt, aber am Ende wurde das Arbeitspaket um einen Punkt erweitert - die pünktliche Verdichtung durch Hochhauskomplexe. WP3 (Windfeld- und Mikroklimasimulationen) wurden zeitgerecht durchgeführt, Die Aufgabe wurde erweitert, indem die Mikroklimabedingungen zusätzlich für zwei hypothetische Hochhausbaustellen simuliert wurden. WP4 (Konstruktionsalternativen und Wirkung) wurde wie geplant durchgeführt. Für die Gebäudeplanung und thermischen Simulationen konnte der Aufwand durch die Beiträge von zwei Masterstudenten geringgehalten werden. WP5 (Einbeziehung von Stakeholdern und Richtlinien) wurde verlängert, um zusätzliche Stakeholder-Reaktionen von Experten aufzunehmen und in den Richtlinien zu berücksichtigen.

8 Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

Konferenzbeiträge und Artikel in wissenschaftlichen Journalen;

- Loibl, W., Etminan, G., Österreicher, D., Ratheiser, M., Tschannett, S., Vuckovic, M. (2020) Cludex - Climate change and urban densification - Heat exposure and ventilation, Poster and proceedings, Klimatag 2020, Montanuniversität Leoben, Leoben. 28-30 April 2020, submitted, accepted – verschoben und schließlich als online-Minikonferenz für die ACRP-Projektevaluierung durchgeführt.
- Vuckovic; M., Tötzer, T., Stollnberger; R., Loibl, W. (2020) Urban transformation and heat island: Potential of urban design alternatives to mitigate the effects of urban overheating in Austrian cities. Journal of Urban Environment V1(2020). pp 3-14 <https://www.euraass.com/jue/Volume1/Issue1/Volume1Issue1-JUE-2020-0002.html>
- Vuckovic, M., Loibl, W., Tötzer T., Stollnberger, R. (2019) Potential of Urban Densification to Mitigate the Effects of Heat Island in Vienna, Austria. *Environments* 2019, 6(7), 82; <https://doi.org/10.3390/environments6070082/> Published 10 July 2019
- Loibl, W. Etminan, G., Österreicher, D., Ratheiser, M., Stollnberger, R., Tschannett, S., Tötzer, T., Vuckovic, M., Walal, K. (2019) Urban densification and urban climate change – assessing interaction through densification scenarios and climate simulations. REAL CORP 2019 Karlsruhe, 2-4 April 2019, Karlsruhe Institute of Technology, Germany. Reviewed paper, Conference Proceedings: <https://conference.corp.at/index.php?id=38&L=0>
- Loibl, W. Etminan, G., Österreicher, D., Puhr, G., Ratheiser, M., Tschannett, S., Vuckovic, M., Walal, K. (2019) Cludex - Climate change and urban densification - Heat exposure and ventilation – 1st results, Poster und Klimatag proceedings 2019, Universität für Bodenkultur, Wien. 28-30 April 2020.

In Vorbereitung:

Wolfgang Loibl, Milena Vuckovic, Ghazal Etminan, Matthias Ratheiser, and Doris Österreicher; (2020); *Effects of Densification on Urban Microclimate – A Case Study for the City of Vienna*; In preparation, to be submitted to the Journal *Atmosphere* (ISSN 2073-4433) within the Special Issue *Urban Design Guidelines for Climate Change*.

Workshops:

März 2020 – mit rund 20 Mitarbeitern der MA21A und MA21B

Juni 2020 – mit rund 6 MitarbeiterInnen der MA21 und der MA22

September 2020 – online-Workshop für die Planungsdirektion der Stadt Wien – der übergeordneten Dienststelle für Stadtentwicklung

9. Referenzen:

ARCGIS (2020) <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-online/overview>

ArchiPhysik (2020) Available online <https://archiphysik.at/>

AUTOCAD (2020) <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview?support=ADVANCED>

Bowler, D., Buyung-Ali, L., Knight, T.M., Pullin, A.S., (2019) Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence, in: *Landscape and Urban Planning*, Volume 97, Issue 3, 2010, pp 147-155, <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>.

Dimoudi, A., Nikolopoulou, M. (2003). Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and Building* 35(1), pp. 69-79. DOI: 10.1016/S0378-7788(02)00081-6.

Duncan, J.M.A., Boruff, B., Saunders, A., Sun, Q., Hurley, J., Amati, M. (2019). Turning down the heat: an enhanced understanding of the relationship between urban vegetation and surface temperature at the city scale. *Science of The Total Environment* 656, pp. 118-128. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.223.

EnergyPlus (2020): Available online <https://energyplus.net/>

ENVIMET <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-online/overview>

Grasshopper (2020) <https://www.grasshopper3d.com/>

IPCC (2007) AR4 Climate Change 2007: The Physical Science Basis. <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/>

IPCC (2014) AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>

Kong, F., et al. (2016) Retrieval of three-dimensional tree canopy and shade using terrestrial laser scanning (TLS) data to analyze the cooling effect of vegetation. *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 217, 2016, pp. pp 22-34, <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.11.005>.

Ladybug Tools (2010). Available online: www.ladybug.tools/

Loibl, W., Etminan, G., Österreicher, D., Ratheiser, M., Stollnberger, R., Tschannett, S., Tötzer, T., Vuckovic, M., Walal, K. (2019). Urban Densification and Urban Climate Change Interaction through Densification Scenarios and Climate Simulations. In *Proceedings of the REAL CORP 2019*, Karlsruhe, Germany, 4 April 2019.

OIB (2019) Österr. Inst. für Bautechnik; OIB Richtlinien <https://www.oib.or.at/oib-richtlinien/richtlinien/2019>

Reiter, S. (2010) Assessing wind comfort in urban planning. *Environment and Planning B: Planning and Design* 37, pp. 857-873. DOI:doi.org/10.1068/b35154.

Rhino 3D (2020). Available online: www.rhino3d.com

Shyama, A. (2020) Comparative application of two microclimate simulation tools to analyse the interaction between climate and urban structure and adaption concepts for microclimate improvement. Masterthesis in preparation. Univ. Wien, Institut für Geographie und Regionalforschung

STAR-CCM+ (2020) <https://www.plm.automation.siemens.com/global/de/products/simcenter/STAR-CCM.html>

SOLWEIG (2029) <https://umep-docs.readthedocs.io/en/latest/OtherManuals/SOLWEIG.html>

Tan, Z., Lau, K.K.L., Ng, E. (2017). Planning strategies for roadside tree planting and outdoor comfort enhancement in subtropical high-density urban areas. *Building and Environment* 120, pp. 93 DOI: 10.1016/j.buildenv.2017.05.017.

Thesim3D (2020): <http://www.thesim.at>

Vansco, D. (2020); „Auswirkung der Gebäudebegrünung auf den Innenraumkomfort im urbanen Wohnbau am Beispiel eines dicht bebauten Wiener Stadtviertels“; Masterarbeit, Universität für Bodenkultur Wien, Juni 2020.

Vuckovic, M., Loibl, W., Tötzer, T., Stollnberger, R. (2019). Potential of Urban Densification to Mitigate the Effects of Heat Island in Vienna, Austria. *Environments* 6(7), pp. 82. DOI: 10.3390/environments6070082.

Lindberg, F., Holmer, B., Thorsson, S., Rayner, D. (2013) Characteristics of the mean radiant temperature in high latitude cities-implications for sensitive climate planning applications. *Int. J. of Biometeorology* 58(5)

DOI: 10.1007/s00484-013-0638-y

Zwirschitz, S. (2020) „Energetische Analyse von Nachverdichtungsvarianten im urbanen Wohnbau am Beispiel eines dicht bebauten Wiener Stadtviertels“; Masterarbeit, Universität für Bodenkultur Wien, Juni 2020.

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte sowie die barrierefreie Gestaltung der Projektbeschreibung, übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.

Die Fördernehmerin/der Fördernehmer erklärt mit Übermittlung der Projektbeschreibung ausdrücklich über die Rechte am bereitgestellten Bildmaterial frei zu verfügen und dem Klima- und Energiefonds das unentgeltliche, nicht exklusive, zeitlich und örtlich unbeschränkte sowie unwiderrufliche Recht einräumen zu können, das Bildmaterial auf jede bekannte und zukünftig bekanntwerdende Verwertungsart zu nutzen. Für den Fall einer Inanspruchnahme des Klima- und Energiefonds durch Dritte, die die Rechteinhaberschaft am Bildmaterial behaupten, verpflichtet sich die Fördernehmerin/der Fördernehmer den Klima- und Energiefonds vollumfänglich schad- und klaglos zu halten.