

Grüne und resiliente Stadt

Steuerungs- und Planungsinstrumente für
eine klimasensible Stadtentwicklung

F. Reinwald, C. Brandenburg,
P. Hinterkörner, B. Hollósi,
C. Huber, A. Kainz, J. Kastner,
F. Kraus, U. Liebl, J. Preiss,
Z. Ring, B. Scharf, T. Tötzer,
J. Züger, M. Žuvela-Aloise,
D. Damyanovic

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

13/2021

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe
unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

Grüne und resiliente Stadt

Steuerungs- und Planungsinstrumente für
eine klimasensible Stadtentwicklung

Assoc. Profin. DIⁱⁿ Dr.ⁱⁿ Doris Damyanovic, DI Dr. Florian Reinwald,
DIⁱⁿ Zita Ring, O.Univ.Profin. DIⁱⁿ Dr.ⁱⁿ Gerda Schneider
Institut für Landschaftsplanung, Universität für Bodenkultur Wien

Ao.Univ.Profin DIⁱⁿ Dr.ⁱⁿ Christiane Brandenburg,
DIⁱⁿ Mag.^a Ursula Liebl, DI Philipp Reisinger
Institut für Landschaftsentwicklung, Erholungs- und Naturschutzplanung,
Universität für Bodenkultur Wien

DIⁱⁿ Dr.ⁱⁿ Tanja Tötzer, DI Johann Züger, DIⁱⁿ Dr.ⁱⁿ Milena Vuckovic
Digital Resilient Cities, Center for Energy, AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Astrid Kainz, MSc, Brigitta Hollosi, MSc, DIⁱⁿ Dr.ⁱⁿ Maja Žuvela-Aloise
Fachabt. Stadtmodellierung, Zentralanstalt für Meteorologie u. Geodynamik

DI Dr. Bernhard Scharf, Florian Kraus, BSc., DI Valentin Baschnegger, DI Bernhard König
Green4Cities GmbH

DI Peter Hinterkörner, DIⁱⁿ Carina Huber, DI Jakob Kastner, DI Heinrich Kugler
Wien 3420 Aspern Development AG

DI Jürgen Preiss
MA 22 – Umweltschutz

Wien, Oktober 2020

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm Haus der Zukunft auf und hat die Intention Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung von allen betroffenen Bereichen wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMK publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und AnwenderInnen eine interessante Lektüre.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	8
2	Abstract	10
3	Ausgangslage	12
3.1.	Aktuelle Herausforderungen in der städtischen Entwicklung	12
3.1.1.	Stadtklima und Klimawandel	12
3.1.2.	Städtisches Wachstum und Verdichtung	16
3.1.3.	Gesundheitsbeeinträchtigende Veränderungen des Alltagslebens	18
3.1.4.	Auswirkungen der komplexen urbanen Dynamiken auf die Stadtentwicklung	18
3.2.	Beitrag von grüner und blauer Infrastruktur zur klimasensiblen und sozial nachhaltigen Stadtentwicklung durch die Bereitstellung von Ökosystemleistungen	19
3.2.1.	Regulierungsleistungen	19
3.2.2.	Kulturelle Leistungen	20
3.2.3.	Erhaltung der biologischen Vielfalt (Biodiversität) durch Bereitstellung von Habitaten	21
3.3.	Steuerung einer klimasensiblen Stadtentwicklung	21
3.3.1.	Nutzen und Nutzbarmachung der Klimamodellierungen für die Stadt- und Landschaftsplanung	21
3.3.2.	Fehlende Instrumente zur Steuerung einer grünen und klimasensiblen räumlichen Entwicklung	22
3.3.3.	Die übergeordneten Ziele des Projekts	24
4	Projekthalt	25
4.1.	Methodischer Zugang – Harmonisierung und Schnittstellenprüfung der einzelnen Instrumente	25
4.2.	Vorstellung der verwendeten Instrumente	26
4.2.1.	Grün- und Freiflächenfaktor (GFF)	26
4.2.2.	GREENPASS	27
4.2.3.	MUKLIMO_3	28
4.2.4.	COSMO-CLM	28
5	Ergebnisse	30
5.1.	Harmonisierung der Instrumente	30
5.1.1.	Verfahren zur Harmonisierung und Schnittstellenprüfung der einzelnen Instrumente	30
5.1.2.	Definition der Schnittstellen in den jeweiligen Klimasimulationsmodellen	37

5.1.3.	Harmonisierung anhand der Begrünungsszenarien und der Case-Study Wien-Innerfavoriten	39
5.1.4.	Ergebnisse der Begrünungsszenarien auf unterschiedlichen Stadtebenen	43
5.1.5.	Ergebnisse UST-Begrünungsszenarien Case-Study Wien-Innerfavoriten.....	47
5.1.6.	Vergleichbarkeit der Modellergebnisse anhand der Case-Study Wien-Innerfavoriten 61	
5.2.	Weiterentwicklung des Grün- und Freiflächenfaktors	64
5.2.1.	Auswahl und Bewertung von ausgewählten UGI-Elementen und Ökosystemleistungen für den Grün- und Freiflächenfaktor	64
5.2.2.	Bewertung der klimatischen Regulierungsleistungen durch GREENPASS.....	65
5.2.3.	ExpertInnen-basierte Bewertung der UGI-Elemente anhand ihres Beitrags zu Ökosystemleistungen (Bewertungskategorien: Biodiversität und Wohlbefinden).....	77
5.2.4.	Berechnung des Grün- und Freiflächenfaktors	78
5.3.	Case-Study „asperm - Die Seestadt Wiens“	82
5.3.1.	Einsatz von GREENPASS im Wettbewerb und nachfolgender Optimierung	88
5.3.2.	Einsatz des GFF im Wettbewerb.....	93
5.3.3.	Erkenntnisse und Erfahrungen	95
5.4.	Anknüpfungspunkte für die Anwendung des GRC-Tool-Sets im Planungsalltag	97
5.4.1.	Diskussion der Einsatzmöglichkeiten mit dem Advisory Board aus den planenden Dienststellen der Stadt Wien	97
5.4.2.	Anknüpfungspunkte für die Anwendung bei unterschiedlichen Planungsprozessen und -instrumenten am Beispiel der Stadt Wien	98
5.4.3.	Übertragungsmöglichkeiten auf andere Städte	101
5.5.	Proof of Concept des Tool-Sets der unterschiedlichen Einzelinstrumente	102
6	Schlussfolgerungen	104
7	Ausblick und Empfehlungen	107
8	Verzeichnisse.....	110

1 Kurzfassung

Der hohe Versiegelungsgrad und die enorme Agglomeration von energiespeichernden Materialien, wie Asphalt und Beton, bei gleichzeitigem Mangel an grünen und blauen Infrastrukturen sind hauptauschlaggebend für die Entstehung städtischer Wärmeinseln. Die Lufttemperatur in Städten hängt darüber hinaus stark von der Gebäudegeometrie, den thermischen Eigenschaften der Bausubstanz, den Strahlungseigenschaften der Oberflächen und der anthropogenen Wärmefreisetzung ab.

Der damit zusammenhängende städtische Wärmeinsel- oder „Urban Heat Island“-Effekt (UHI-Effekt) wird durch die Lufttemperaturdifferenz zwischen der wärmeren Stadt und ihrem kühleren Umland charakterisiert. Durch die starke Erwärmung tagsüber und die eingeschränkte Abkühlung nachts werden die Städte im Vergleich zum Umland deutlich wärmer – diese Differenz kann mehrere Kelvin betragen.

Proof of Concept eines Regelkreises

Aus diesen Herausforderungen leitet sich das zentrale Ziel des Forschungsprojekts „green.resilient.city“ (GRC) ab: ein Proof of Concept eines Regelkreises und Tool-Sets zur Steuerung, Optimierung und Evaluierung einer grünen und klimasensiblen Stadt(teil)planung bestehend aus

- (1) dem Grün- und Freiflächenfaktor (GFF) als städtebaulicher Maßzahl und Instrument zur Steuerung und Planung grüner Infrastruktur,
- (2) dem GREENPASS als räumlich und zeitlich differenziertem Bewertungs- und Optimierungsinstrument basierend auf standardisierten, quantitativen Key-Performance-Indikatoren für die mikroklimatischen Wirkungen grüner Infrastruktur auf Parzellen-, Quartiers- und Stadtteilebene,
- (3) dem MUKLIMO_3-Stadtklimamodell für die mikroklimatische und urbane Wirkung auf Stadtebene
- (4) sowie COSMO-CLM als regionalem Klimasimulationsmodell.

In einem inter- und transdisziplinären, kollaborativen Ansatz entwickelte das Forschungsteam ein neuartiges Tool-Set, das seine Machbarkeit in einem Proof of Concept demonstriert. Die Umsetzbarkeit wurde anhand von Reallaboren sowie durch eine umfangreiche Stakeholdereinbindung geprüft.

Harmonisierung der Instrumente

Die verschiedenen Eingabeparameter der einzelnen Instrumente (GFF, GREENPASS, MUKLIMO_3 und COSMO-CLM), welche auf unterschiedlichen planerischen und klimatischen Maßstabsebenen angewendet werden, wurden verglichen, angepasst und koordiniert sowie mit den für eine Stadtentwicklung relevanten planerischen Maßstabsebenen abgestimmt. Damit die unterschiedlichen Klimasimulationsinstrumente in einem Tool-Set zusammengefasst werden können, müssen diese ähnliche Aussagen bei Veränderung der Inputparameter (z. B. durch Begrünungsszenarien) liefern. Darum liegt der Schwerpunkt des Projekts auf der Koordination verschiedener Skalenmodelle durch Analyse von Datenschnittstellen, Harmonisierung von Eingabeparametern und Festlegung derselben Referenzzeiträume, um die mögliche Anwendbarkeit eines mehrskaligen Tool-Sets zu prüfen. Ziel war herauszufinden, ob verschiedene, bisher unabhängig

voneinander verwendete und validierte Klimasimulationsinstrumente zu einem mehrskaligen Tool-Set kombiniert werden können, um zukünftige Planungen als Gesamtinstrument zu unterstützen.

Prüfung der Umsetzbarkeit anhand von Reallaboren und in Zusammenarbeit mit Stadtverwaltungen

Zum Testen und zur Evaluierung der Einsatzmöglichkeiten des Tool-Sets wurde dieses anhand zweier Fallstudien erprobt: des Stadtentwicklungsgebiets „asperm - Die Seestadt Wiens“ sowie eines Stadterneuerungsgebiets mit bestehender Siedlungsstruktur in Innerfavoriten im 10. Wiener Gemeindebezirk. Diese beiden Case-Studies ermöglichen den Einsatz an realen Orten.

Um einen Transfer der Forschung in den Planungsalltag zu unterstützen, wurde neben dem Ansatz der Reallabore eine umfangreiche Stakeholderbeteiligung durchgeführt. Durch die Einbindung der planenden Dienststellen der Stadt Wien wurden zum einen der Einsatz der Instrumente und des Tool-Sets sowie der damit verbundene Nutzen für die Stadt, zum anderen die Möglichkeit der Verankerung in bestehenden Planungsinstrumenten und Gesetzen diskutiert. Ergänzend wurden im Zuge einer Austauschplattform mit weiteren Städten der Bedarf bzw. die Übertragungsmöglichkeiten auf andere Städte diskutiert.

Anwendung des Tool-Sets an Case-Studies

Für die Case-Study der Stadtentwicklung der sogenannten „Seeterrassen“ in „asperm - Die Seestadt Wiens“ wurde ein Verfahren entwickelt, welches die Ausloberin und Jury des internationalen Wettbewerbs bei der Auswahl des SiegerInnenentwurfes unterstützen sollte. Zum Einsatz kamen sowohl die GREENPASS-Pre-Certification als auch der Grün- und Freiflächenfaktor. Den Auslobungsunterlagen wurden entsprechende Handlungsanleitungen und grundlegende Informationen zu klimaresilienter Stadt- sowie Grün- und Freiflächenplanung beigelegt.

Der ausgewählte SiegerInnenentwurf wurde auf Basis der GREENPASS-Ergebnisse im Zuge eines gemeinsamen Workshops von Ausloberin, PlanerInnen und dem GRC-Projektteam analysiert und Optimierungsmaßnahmen beschlossen. Der optimierte Entwurf wurde mithilfe der Tools analysiert und bewertet. Die Ergebnisse zeigten eine signifikante Verbesserung der Klimaresilienz und der Grünraumversorgung. Die mithilfe der GRC-Tools abgesicherten Designgrundsätze wurden in die Richtlinien zur weiteren Entwicklung des Quartiers „Seeterrassen“ übernommen.

Für die Bewertung und Steuerung der Klimawandelanpassung in der Bestandsstadt wurde ein Bereich des 10. Wiener Gemeindebezirks ausgewählt. Hier kam das gesamte GRC-Tool-Set zum Einsatz und die einzelnen Instrumente wurden harmonisiert.

Steuerung einer klimasensiblen Stadtplanung und -entwicklung mit dem GRC-Tool-Set

Mit dem Projekt „green.resilient.city“ wurde das erste mehrskalige Stadtplanungs-Tool-Set für eine grüne und klimasensible Stadt(teil)planung im Rahmen eines Proof of Concept erfolgreich entwickelt und die prinzipielle Umsetzbarkeit nachgewiesen.

2 Abstract

The high degree of sealing and the enormous agglomeration of energy-storing materials such as asphalt and concrete with the simultaneous lack of green and blue infrastructures are the main reasons for the emergence of urban heat islands. The air temperature in cities also depends heavily on the building geometry, the thermal properties of the buildings, the radiation properties of the surfaces and the anthropogenic heat emissions.

The associated urban heat island effect (UHI effect) is characterized by the air temperature difference between the warmer city and its cooler surroundings. Due to the strong warming during the day and the limited cooling at night, the cities become significantly warmer compared to the surrounding area – this difference can be several Kelvin.

Proof of concept of a control loop

The central goal of the research project "green.resilient.city" (GRC) is derived from these challenges: a proof of concept of a control loop and tool sets for the control, optimization and evaluation of green and climate-sensitive urban (district) planning consisting of

- (1) a green and open space factor (GFF) as an urban development tool and instrument for the control and planning of green infrastructure,
- (2) the GREENPASS as a spatially and temporally differentiated evaluation and optimization instrument based on standardized quantitative key performance indicators for the microclimate effects of green infrastructure on parcels and districts level,
- (3) the MUKLIMO_3 urban climate model for the microclimatic and urban impact at the city level and
- (4) COSMO-CLM as a regional climate simulation model.

In an inter- and transdisciplinary, collaborative approach, the research team developed a new type of tool set that demonstrates its feasibility in a proof of concept. The feasibility was checked on the basis of field tests as well as extensive stakeholder involvement.

Harmonization of instruments

The various input parameters of the individual instruments (GFF, GREENPASS, MUKLIMO_3 and COSMO-CLM), which are used on different planning and climatic scale levels, were compared, adapted and coordinated with the planning scale levels relevant for urban development. In order to combine different climate simulation instruments in a tool set, they must provide similar outputs when the input parameters change (e.g. through greening scenarios). That is why the focus of the project is on the coordination of various scale models by analyzing data interfaces, harmonizing input parameters and defining the same reference periods in order to check the possible applicability of a multi-scale tool set. The aim was to find out whether various climate simulation instruments that were previously used and validated independently could be combined into a multi-scale tool set in order to support future planning as an overall instrument.

Examination of the feasibility based on field tests and in cooperation with city administrations

To test and evaluate the possible uses of the tool set, it was tried out based on two Viennese case studies: the urban development area "asperm - Die Seestadt Wiens" and an urban renewal area with

an existing settlement structure in Innerfavoriten in Vienna's 10th district. These two case studies enable use in real locations. In order to support the transfer of research into everyday planning, extensive stakeholder participation was carried out in addition to the field test approach.

By integrating the planning departments of the City of Vienna, on the one hand, the use of the instruments and the tool set as well as the associated benefits for the city and on the other hand, the possibility of anchoring them in existing planning instruments and laws were discussed.

In addition, in the course of an exchange platform with other cities, the need and the transferability to other cities were discussed.

Application of the tool set to case studies

For the case study of the urban development of the "Lakeside Terraces" Quarter ("Seeterrassen") in "asperm - Die Seestadt Wiens", a procedure was developed which was intended to support the project owner and jury of the international competition in selecting the winning design.

Both the GREENPASS pre-certification and the green and open space factor were used. Corresponding instructions for action and basic information on climate-resilient urban, green and open space planning were enclosed with the tender documents.

The selected winning design was analyzed based on the GREENPASS results in the course of a joint workshop between the project owner, planners and the GRC project team, and optimization measures were decided. The optimized design was analyzed and evaluated again using the tools. The results showed a significant improvement in climate resilience and the supply of green spaces. The design principles secured with the help of the GRC tools were adopted in the guidelines for the further development of the "Lakeside Terraces" Quarter.

An area of Vienna's 10th district was selected for the assessment and control of climate change adaptation in the build-up city. Therefore, the entire GRC tool set was used and the individual instruments were harmonized.

Control of climate-sensitive urban planning and development with the GRC tool set

With the project "green.resilient.city", the first multi-scale urban planning tool set for green and climate-sensitive urban (district) planning was successfully developed as part of a proof of concept, and the basic feasibility was demonstrated.

3 Ausgangslage

3.1. Aktuelle Herausforderungen in der städtischen Entwicklung

Momentan lebt mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung in Städten und dieser Anteil wird weiterhin ansteigen (United Nations, 2019). Durch die Bereitstellung von Gebäuden (Wohnraum mit hoher Dichte) und den nötigen Infrastrukturen nimmt der Anteil an versiegelten Flächen zu, zulasten der Grün- und Freiflächen (Yu et al., 2016). Zusätzlich kommt es aufgrund der Wechselwirkung des urbanen Wärmeinsel- oder „Urban Heat Island“-Effekts (UHI-Effekts) mit den durch den Klimawandel verursachten höheren Temperaturen zu einer ständig zunehmenden Anzahl an Hitzetagen (Kromp-Kolb et al., 2014).

3.1.1. Stadtklima und Klimawandel

Die Ver- und Überbauung und die damit verbundene Versiegelung von natürlichen Oberflächen sowie die Zunahme von Prozessenergien sind hauptauschlaggebend für die Entstehung städtischer Wärmeinseln (Kuttler, 2011; Pauleit und Breuste, 2011). Die Lufttemperatur in Städten hängt stark von der Gebäudegeometrie, den thermischen Eigenschaften der Bausubstanz, den Strahlungseigenschaften der Oberflächen und der anthropogenen Wärmefreisetzung ab (Kuttler, 2011).

Der urbane Wärmeinseleffekt

Der städtische Wärmeinseleffekt wird durch die Lufttemperaturdifferenz zwischen der wärmeren Stadt und ihrem kühleren Umland charakterisiert und erreicht sein Maximum bei wolkenfreien und windschwachen Wetterbedingungen.

Durch die starke Erwärmung tagsüber und die eingeschränkte Abkühlung nachts werden die Städte im Vergleich zum Umland deutlich wärmer (Landsberg, 1982; Oke, 1982). Am deutlichsten spürbar ist dieser Effekt während der Nacht, und die Differenz kann mehrere Kelvin betragen (siehe Abbildung 1) (Stewart und Oke, 2012).

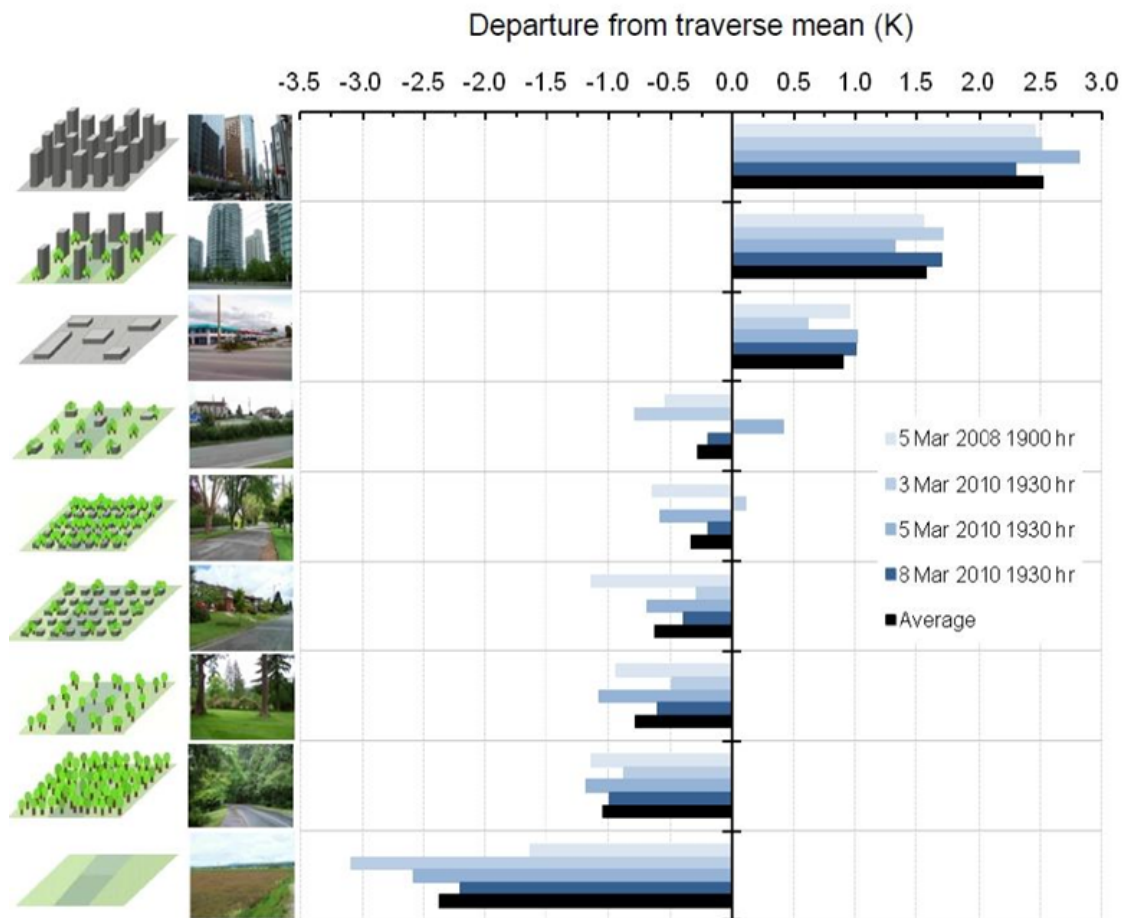


Abbildung 1: Beispiel für den urbanen Wärmeinseleffekt: zwischen Innenstadt und offenem ländlichen Raum beträgt der Temperaturunterschied bis zu 6 K (Stewart und Oke, 2012, S. 1888)

Der urbane Wärmeinseleffekt in Wien

Abbildung 2 zeigt den UHI-Effekt zwischen Stadt und Umland anhand eines abendlichen Thermalbildes der Stadt Wien. Der Unterschied zwischen Wien-Innerer Stadt und Seibersdorf betrug in der Nacht eines Sommertages im Jahr 2012 mehr als 4 °C (siehe Abbildung 3).

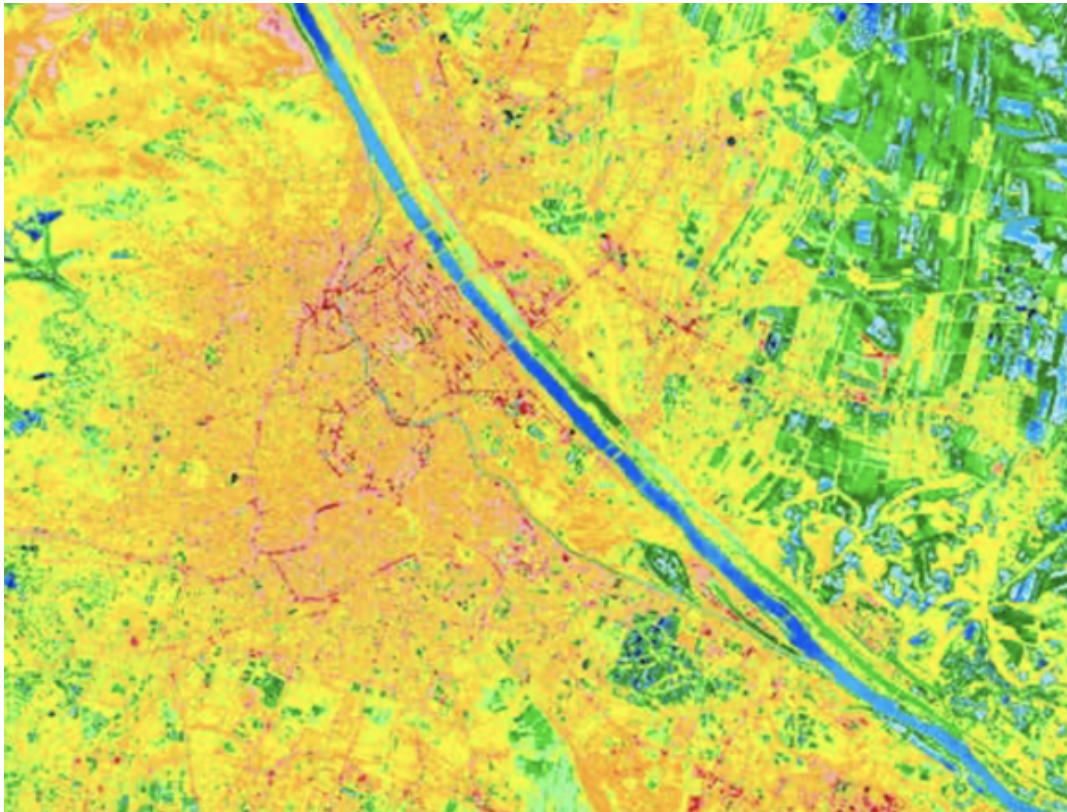


Abbildung 2: Abendliches Thermalbild Stadt Wien (MA 22, 2015, S. 8)

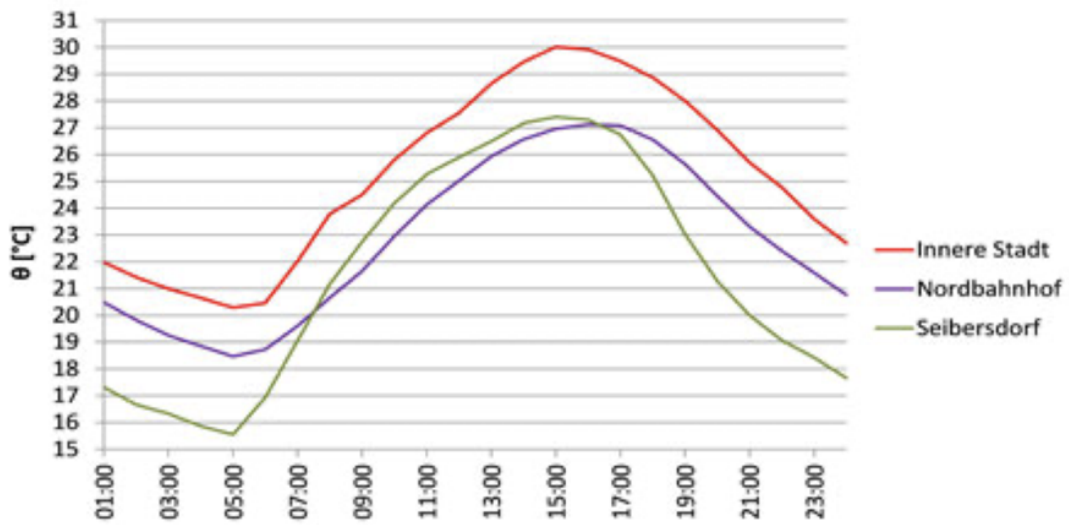


Abbildung 3: Stündliche Temperaturverteilung an Referenztag im Sommer 2012 für Wien-Innere Stadt und Nordbahnhof sowie Seibersdorf als ländlicher Vergleich (MA 22, 2015, S. 8)

Klimawandel und Veränderungen

Weltweit ist ein kontinuierlicher Anstieg der CO₂-Emissionen festzustellen. Die folgende Abbildung 4 zeigt, dass in den vergangenen 1 Mio. Jahren die atmosphärische CO₂-Konzentration je nach Warm- oder Eiszeit zwischen 172 und 300 ppm gelegen ist. Diese Informationen liefern Eisbohrkerne, die atmosphärische Proben aus früheren Zeiten enthalten. Neuere, direkte Messungen machen den Anstieg seit der industriellen Revolution deutlich (NASA – Global Climate Change, o. J.).

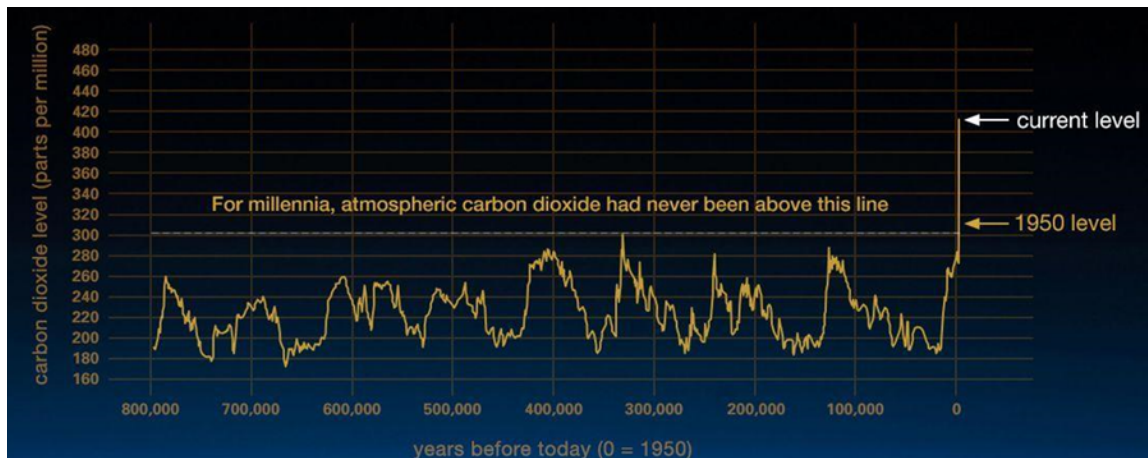


Abbildung 4: Schwankungen in der CO₂-Konzentration (je nach Warmzeiten und Eiszeiten) und der rapide Anstieg nach 1950 (NASA – Global Climate Change, o. J., o. S.)

Diese weltweite Entwicklung resultiert aus den Kohlenstoffdioxid-Emissionen einzelner Länder, und auch Österreich trägt mit rund 7,7 t CO₂ pro Kopf dazu bei (United Nations Statistics Division, o. J.). Im Jahr 2018 betrug die Treibhausgas-Emissionen Österreichs 79 Mio. Tonnen Kohlenstoffdioxid-Äquivalent (CO₂-Äquivalent). Sie sind damit im Vergleich zu 2017 zurückgegangen, lagen jedoch noch immer um 0,7 % über dem Wert von 1990 – in Österreich konnte somit gegenüber 1990 keine Emissionsreduktion realisiert werden (Anderl et al., 2020).

Parallel zum Anstieg der Treibhausgas-Emissionen ist eine kontinuierliche Temperaturzunahme in Österreich festzustellen (siehe Abbildung 5).

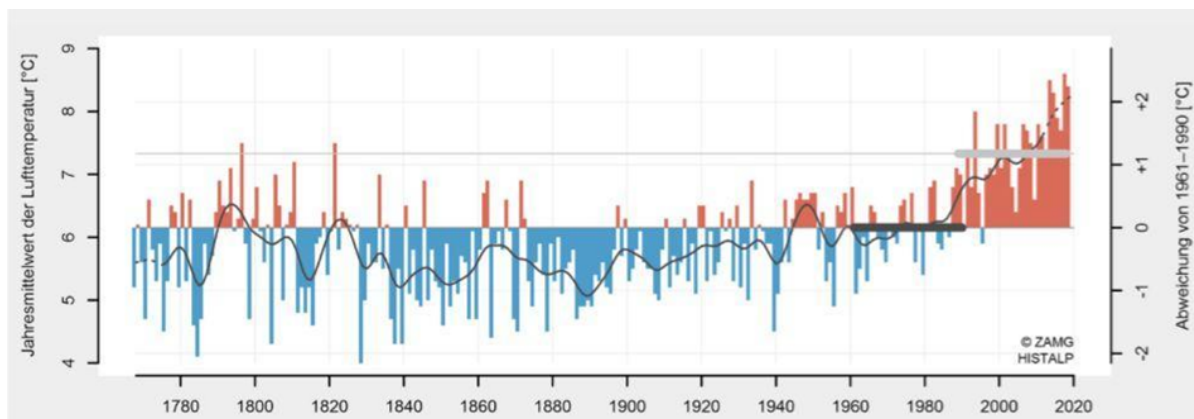


Abbildung 5: Zeitreihen der Jahreswerte für Lufttemperatur für Österreich ab Messbeginn bis 2019. Der Mittelwert im Referenzzeitraum 1961–1990 sowie der Mittelwert der letzten 30 Jahre sind jeweils mit dunkel- bzw. hellgrauen Balken gekennzeichnet (Höfler et al., 2020, S. 5)

Bereits heute liegt die mittlere globale Temperatur um rund 1 °C über dem vorindustriellen Niveau und die Jahre 2014–2018 waren die wärmsten der bisherigen Messgeschichte. In Österreich war der Temperaturanstieg in der Vergangenheit mehr als doppelt so hoch, wie im globalen Mittel und das Jahr 2018 war das bisher wärmste Jahr in der 251-jährigen Messgeschichte (Anderl et al., 2019). Klimamodelle sagen voraus, dass sich Österreich bzw. der Alpenraum auch in Zukunft stärker als das globale Mittel erwärmen wird (APCC, 2014). Der Anstieg der Temperatur bedingt eine Zunahme von Trockenheit und Hitzeperioden im Sommerhalbjahr, unter denen Vegetation, Tierwelt und Menschen leiden. Ferner wird es häufiger zu extremen Wetterereignissen kommen (Anderl et al., 2019). Das Jahr 2019, so wie die Jahre zuvor, zählte zu einem Jahr mit rekordverdächtigen Hitzeperioden. In Wien wurden 2019 – wie bereits im Jahr zuvor – an der Messstation „Innere Stadt“ 41 Tropennächte (die Lufttemperatur sinkt nicht unter 20 °C) verzeichnet. Die Zahl der Hitzetoten für ganz Österreich wurde mit 198 beziffert (AGES, 2020). Hitzemortalität zählt zu den gravierendsten Naturkatastrophen (Stangl et al., 2020).

3.1.2. Städtisches Wachstum und Verdichtung

Lebten 1950 weltweit noch rund 30 % der Weltbevölkerung in Städten, sollen es 2030 bereits rund 60 % sein (United Nations, 2019).

Dieses Phänomen trifft auch auf Österreich zu. Die kleinräumige Bevölkerungsprognose im Auftrag der ÖROK (2019) zeigt, dass vor allem die größeren Städte und deren Umland stark wachsen werden. Hauptverantwortlich dafür ist eine starke Außenzuwanderung (siehe Abbildung 6).

Bevölkerungsveränderung 1.1.2018 bis 1.1.2040: Gesamtbevölkerung nach Prognoseregionen

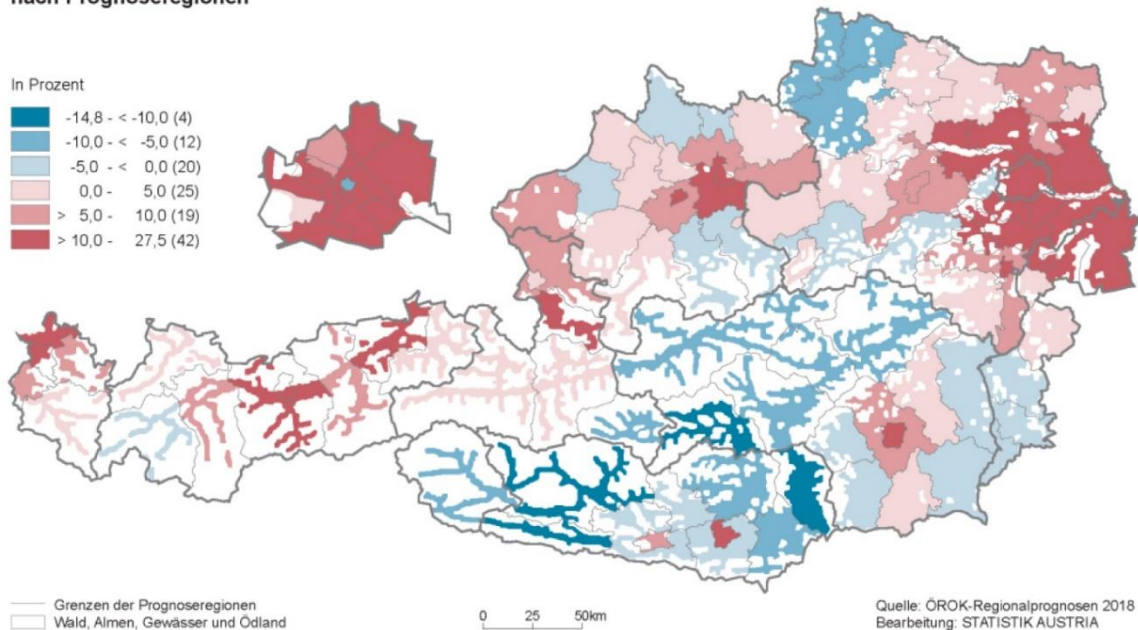


Abbildung 6: Bevölkerungsveränderung 2018 bis 2040 (ÖROK, 2019, S. 15)

In Wien ist seit der letzten Volkszählung im Jahr 2001 die Bevölkerung von 1,55 Mio. auf aktuell 1,9 Mio. gestiegen. In den kommenden drei Jahrzehnten soll die Bevölkerung um weitere 15 % (rund 289.000 BewohnerInnen) wachsen (MA 23, 2018). Damit geht auch eine massive Wohnbautätigkeit einher. Alleine im Jahr 2020 wurden 20.000 Wohneinheiten in Wien fertiggestellt.

Hinzu kommen Veränderungen in den Haushaltsgrößen, die für einen ständig steigenden Wohnraumbedarf sorgen. Die Anzahl der Einpersonenhaushalte hat sich österreichweit seit 1985 von 768.000 auf 1.480.000 nahezu verdoppelt (Statistik Austria, 2020). Die durchschnittliche Haushaltsgröße beträgt in Wien nur mehr 2,04 Personen (im Vergleich dazu liegt der Durchschnitt in Österreich bei 2,67; im Burgenland, als das Bundesland mit den größten Haushalten, bei 3,03).

Obwohl – zumindest in Wien – nach einer langen Phase des Wachstums der durchschnittlichen Wohnfläche pro Person eine leicht rückläufige Entwicklung zu beobachten ist, ist durch die Abnahme der Haushaltsgrößen bei gleichzeitigem Bevölkerungswachstum eine starke Nachfrage nach neuen Wohnungen gegeben.

Stadtwachstum und urbane Verdichtung

Das starke Stadtwachstum führt auch zu Veränderungen der Bebauungsformen und -dichten. Wie die Stadt Wien und die sie umgebende Region zeigen, ist die Form des Wachstums vielfältig.

Eine zunehmende Bebauung ist sowohl in den klassischen Stadterweiterungsgebieten beobachtbar als auch im Bestand durch Nachverdichtungen. Eine Untersuchung mehrerer Studien zu Bebauungsformen und deren städtebaulichen Merkmalen (Damyanovic et al., 2016) zeigt einen kontinuierlichen Anstieg der durchschnittlichen Geschoßflächenzahl sowie der Bebauungsdichte seit der Zwischenkriegszeit. Von 1980 bis 2000 konnte ein besonders hoher Anstieg verzeichnet werden. Um hohe Bebauungsdichten zu erreichen, werden die Grundflächen der Gebäude größer und die Geschoßanzahl höher. Somit vergrößert sich der Anteil der Baumasse in der Stadt. Durch die Wärmespeicherungsfähigkeit der Baumaterialien wird der UHI-Effekt verstärkt. Eine hohe urbane Dichte kann Effizienz bedeuten, darf aber nicht zulasten der Quantität, Qualität und Nutzbarkeit von notwendigen Freiräumen führen. Durch gezielten Einsatz von grüner Infrastruktur, in Kombination mit einer klimafreundlichen Bebauungstypologie und städtebaulichen Anordnung der Baukörper, kann dem negativen Effekt der urbanen Wärmeinseln durch die urbane Dichte entgegengewirkt, allerdings nicht der Verlust von Freiflächen kompensiert werden.

Verlust von Grünräumen und Biodiversität

Die Entwicklung von Freiräumen pro BewohnerIn zeigt ein konträres Bild zur Entwicklung der Geschoßflächenzahl und Bebauungsdichte. Diese verringerten sich von 1980 bis 2015 um zirka ein Drittel. 2015 waren nur noch 8,7 m² durchschnittliche Freifläche je BewohnerIn verfügbar. Hierbei handelt es sich um alle Arten von Freiflächen, also nicht zwangsläufig begrünte Freiflächen (Damyanovic et al., 2016). Der steigende Flächenverbrauch und die Versiegelung führen nicht nur zu einem Verlust von Grünräumen, sondern auch zu einem Verlust der Ökosystemleistungen, die damit verbunden sind. Die zunehmende Bodenversiegelung zählt neben dem Klimawandel, der Ausbreitung invasiver Arten sowie dem Düngemittel- und Pestizideinsatz zu den wesentlichen Gefährdungen der Biodiversität (BMLFUW, 2014). Gemäß dem Übereinkommen über die biologische Vielfalt wird unter „biologischer Vielfalt“ die Variabilität aller lebenden Organismen und der von ihnen gebildeten ökologischen Komplexe verstanden. Dies umfasst die (genetische) Vielfalt innerhalb der Arten, die Artenvielfalt und die Vielfalt an Ökosystemen (Convention on Biological Diversity, 2006). Die Biodiversität bildet die Grundlage für das Funktionieren der Ökosysteme und der anhaltende Verlust hat auch Konsequenzen für Ökosystemleistungen (Grunewald und Bastian, 2013). In der „Biodiversitätsstrategie der EU für das Jahr 2020“ sieht die Europäische Kommission (2011) den Biodiversitätsverlust als untrennbar mit dem Klimawandel verbunden und beide als die kritischste

globale Umweltbedrohung. Der Verlust von Grünräumen hat nicht nur negative ökologische Auswirkungen, sondern beeinflusst auch das Wohlbefinden der Menschen.

3.1.3. Gesundheitsbeeinträchtigende Veränderungen des Alltagslebens

Der Trend zu einem zunehmend bewegungsarmen Lebensstil führt zu einem häufigeren Auftreten zahlreicher Krankheiten wie Diabetes, Bluthochdruck, Depressionen etc. (Bauer und Martens, 2010). Viele Menschen fühlen sich auch zusehends mit den Anforderungen des Alltags überfordert. Neben arbeitsbedingtem Stress können familiäre bzw. private Belastungen (z. B. Kinderbetreuung, Pflege von Angehörigen) zu Burn-out oder anderen psychischen Erkrankungen führen. StadtbewohnerInnen sind diesbezüglich besonders gefährdet – weltweit weisen sie ein ca. 40 % höheres Risiko für Depressionen und Angsterkrankungen auf als BewohnerInnen am Land (Peen et al., 2010, zit. in Rapp et al., 2015). Das Leben in der Großstadt verläuft meistens anonym als jenes in ländlichen Gebieten. Die „Megatrends“ Singularisierung, Urbanisierung und Medialisierung erhöhen laut Spitzer (2019) die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Einsamkeit, von der v. a. psychisch Kranke, Ältere und Jugendliche zunehmend betroffen sind und die als Gefährdung für die psychische und körperliche Gesundheit angesehen wird. Die Stadtplanung ist somit gefordert, gesundheitsbeeinträchtigende Trends im Alltagsleben der StadtbewohnerInnen zu berücksichtigen und diesen durch die Schaffung von Grünräumen bzw. die Bereitstellung von grüner und blauer Infrastruktur, deren Ökosystemleistungen zum Wohlbefinden des Menschen beitragen, entgegenzuwirken.

3.1.4. Auswirkungen der komplexen urbanen Dynamiken auf die Stadtentwicklung

Aufgrund des stetigen Bevölkerungswachstums und der durch den UHI-Effekt erhöhten Empfindlichkeit gegenüber dem Klimawandel sind Städte in zweifacher Hinsicht betroffen. Da der Zuzug in die Städte am größten ist, wo auch die Hitzebelastung aufgrund des UHI-Effekts hoch ist, steigt die generelle Vulnerabilität der Menschen (Lemonsu et al., 2015). Das Stadtwachstum erfordert ein Umdenken in der Stadtplanung. Nachhaltige Zugänge, die die Ressourcen effizient verwalten und die Stadtqualität erhalten und erhöhen, werden benötigt (Haaland und Konijnendijk van den Bosch, 2015). Die Stadt und vor allem die Planungsabteilungen werden mit einer Komplexität und einer Verflechtung von klimatischen, ökologischen und sozialen Aspekten konfrontiert. Unter diesen Umständen ist es notwendig, die Grün- und Freiflächen nicht nur zu erhalten, sondern auch zu vergrößern, um den Anteil von urbaner grüner Infrastruktur (UGI) in der Stadt zu erhöhen. UGI hat durch die Erbringung von Ökosystemleistungen – neben klimatischen, ökologischen und ökonomischen Vorteilen – das Potenzial, das Wohlbefinden der Menschheit zu erhöhen und somit die Lebensqualität zu steigern (Artmann et al., 2019; Sturiale und Scuderi, 2019; Yu et al., 2016). Durch die Nutzung der Multifunktionalität (mehrere Vorteile auf ein und derselben Fläche) der UGI ist dieser ganzheitliche Ansatz, angesichts des dynamischen Zusammenspiels ökologischer und sozialer Systeme innerhalb immer dichter werdender Städte, vielversprechend, um die Herausforderungen effektiv bewältigen zu können (Hansen et al., 2019; Hansen und Pauleit, 2014).

3.2. Beitrag von grüner und blauer Infrastruktur zur klimasensiblen und sozial nachhaltigen Stadtentwicklung durch die Bereitstellung von Ökosystemleistungen

Urbane grüne Infrastruktur trägt mit ihren vielfältigen Ökosystemleistungen zu einer höheren Lebensqualität in der Stadt bei. Unter dem Begriff „Ökosystemleistungen“ (Ecosystem Services, ÖSL) werden im Allgemeinen alle Leistungen zusammengefasst, die Ökosysteme für den Menschen erbringen. Nach dem Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005) werden die ÖSL in die folgenden Kategorien eingeteilt: (1) Versorgungsleistungen, (2) Regulierungsleistungen, (3) kulturelle Leistungen und (4) unterstützende Leistungen. Für den städtischen Bereich von Bedeutung sind v. a. die Regulierungsleistungen (z. B. Klimaregulierung, Luftfilterung, Lärmreduktion, Regenwasserdrainage sowie Wasserangebot), die kulturellen Leistungen (z. B. Erholung, ästhetisches Empfinden, soziale Funktionen, kulturelle Identität) sowie die Biodiversität, die zwar keine Leistung von Ökosystemen im engeren Sinn darstellt, jedoch durch deren Bereitstellung von Habitaten als unterstützende Leistung für die anderen ÖSL betrachtet werden kann.

Zur Erfassung und Bewertung urbaner Ökosystemleistungen steht eine Vielfalt an methodischen Ansätzen zur Verfügung. Ziel ist es, Instrumente und Maßnahmen zu schaffen, um die UGI und ihre Ökosystemleistungen in privaten oder öffentlichen Entscheidungen zu berücksichtigen und sie in Wert zu setzen (Naturkapital Deutschland – TEEB DE, 2016). Scholte et al. (2015) differenzieren in Anlehnung an MEA (2005) drei Bereiche von Werten im Zusammenhang mit ÖSL: ökologische, ökonomische und soziokulturelle Werte. Ökologische Werte beschreiben, wie die Leistung zur Gesundheit des Ökosystems beiträgt (z. B. anhand von Indikatoren wie Resilienz oder Diversität). Ökonomische und soziokulturelle Werte zeigen, welche Wichtigkeit die ÖSL für Menschen – als Individuum oder als Gesellschaft – besitzt, wobei Letztere nicht in Geldgrößen ausgedrückt werden (de Groot et al., 2010; Oteros-Rozas et al., 2013 – zit. in Scholte et al., 2015). Bei der ökologischen Bewertung, die insbesondere das Angebot („supply“-Seite), d. h. das Ausmaß und die Verfügbarkeit an Ökosystemleistungen (z. B. durch Baumkronen beschattete Fläche, die die Lufttemperatur möglicherweise reduzieren kann), und weniger die Nachfrage („demand“-Seite) durch die Bevölkerung im Fokus hat, werden quantitative bio-physikalische und sozial-ökologische Indikatoren zur Bewertung eingesetzt. Die meist quantitativen Größen werden durch Messungen oder Modellierungen ermittelt (Naturkapital Deutschland – TEEB DE, 2016). Soziokulturelle Werte sind Werte, die Menschen der Umwelt beimessen. Sie beeinflussen deren Haltung gegenüber den Ökosystemen und ihren Leistungen. Diese emotionalen Ansichten über Natur lassen sich – v. a. im Zusammenhang mit kulturellen Ökosystemleistungen – meist nicht quantifizieren oder monetär erfassen (Gómez-Baggethun et al., 2014).

Im Folgenden werden die für dieses Projekt relevanten Ökosystemleistungen beschrieben.

3.2.1. Regulierungsleistungen

Temperaturregulierung: Begrünungsmaßnahmen können durch Beschattung und Evapotranspiration (Verdunstung durch Boden und Pflanzen) zur Verringerung der städtischen Lufttemperatur beitragen; Oberflächengewässer erzielen diese Wirkung durch Verdunstung von Wasser. Zusätzlich erfolgt eine Erhöhung der Luftfeuchtigkeit (Pfoser et al., 2013).

Regenwassermanagement: Ziel einer wassersensiblen Stadtentwicklung ist es, neben der Verringerung und Verzögerung von Regenwasserabflüssen die Oberflächen der Stadt (z. B. durch Begrünungsmaßnahmen) stärker als bisher für die Aufnahme und Speicherung von Niederschlagsmengen (u. a. zur Nutzung für die Pflanzenversorgung und Kühlung in Hitze- und Trockenperioden) zu etablieren (Stichwort „Schwammstadt“) (BBSR, 2015).

Kohlenstoffspeicherung: Unversiegelte Böden stellen bedeutende Kohlenstoffspeicher dar (v. a. der Humus des Oberbodens) (Naturkapital Deutschland – TEEB DE, 2016). Pflanzen binden mittels Photosynthese Kohlenstoff (C) aus CO₂ und bilden Sauerstoff (O₂). Aufgrund der längeren Lebensdauer von Gehölzen im Verhältnis zu krautiger Vegetation ist der Kohlenstoff allerdings nur in Ersteren über mehrere Jahre hindurch gebunden (Davies et al., 2011, zit. in Hop und Hiemstra, 2013). Gründächer und -fassaden können darüber hinaus den Energieverbrauch von Gebäuden und somit auch deren CO₂-Ausstoß senken, da sie durch ihre isolierende Wirkung Heiz- und Kühlenergie einsparen (Pfoser et al., 2013).

3.2.2. Kulturelle Leistungen

Zahlreiche Studien (WHO Regional Office for Europe, 2016; Rittel et al., 2014; Sandifer et al., 2015) weisen bereits darauf hin, dass Grünräume – insbesondere im Wohnumfeld – den Gesundheitszustand und das Wohlbefinden der Menschen positiv beeinflussen. Unter den kulturellen ÖSL von UGI stellt die Erholung die am häufigsten untersuchte Leistung dar, die wesentlich zur Gesundheit der StadtbewohnerInnen beiträgt. Der gesundheitliche Nutzen von Grünräumen wird in Studien v. a. darauf zurückgeführt, dass diese die Möglichkeit bieten, physisch aktiv zu sein, sich von Stress und Aufmerksamkeitsermüdung zu erholen sowie Sozialkontakte zu erleichtern (Lee et al., 2015) und damit das körperliche, geistige sowie soziale Wohlbefinden steigern. Nach Schmidt et al. (2016) ist die Erholung aufgrund des direkten Einflusses auf die physische und geistige Gesundheit von StadtbewohnerInnen eine der am höchsten bewerteten ÖSL von UGI (Tzoulas et al., 2007; Bertram und Rehdanz, 2015 – zit. in Schmidt et al., 2016).

Durch das Vorhandensein zugänglicher und nutzbarer aktivitätsfördernder Einrichtungen (wie z. B. Parkanlagen) kann physische Aktivität (Spiel, Sport, Gärtnern) sowohl im Alltag als auch in der Freizeit gefördert werden. Die Gestaltung der Wohnumgebung hat einen hohen Einfluss auf ihre tatsächliche Nutzung und damit auf den Grad der physischen Aktivität der StadtbewohnerInnen, sowie das dadurch geförderte physische Wohlbefinden (Abraham et al., 2009). Der Aufenthalt in Grünräumen sowie auch nur die Betrachtung von grüner Infrastruktur steigern das psychische Wohlbefinden und haben eine stressreduzierende, entspannende, ausgleichende und beruhigende Wirkung (Rittel et al., 2014; Hunter et al., 2019). Urbane (Grün-)Räume, die von mehreren BewohnerInnen einer Wohnanlage genutzt (z. B. gemeinsames Gärtnern) oder sogar von ihnen mitgestaltet werden können, bieten Möglichkeiten zur Begegnung (auch zwischen unterschiedlichen Kulturen und Generationen) und damit zur sozialen Interaktion und Integration, wodurch der Zusammenhalt gestärkt, ein Zugehörigkeitsgefühl geschaffen, nachbarschaftliches Vertrauen verbessert und somit das soziale Wohlbefinden erhöht werden kann – vorausgesetzt, diese Räume weisen ein gewisses Maß an Sicherheit und Attraktivität auf (Naturkapital Deutschland – TEEB DE, 2016; WHO Regional Office for Europe, 2017; Abraham et al., 2009). Während Grünräume außerhalb von Städten kaum von MigrantInnen aufgesucht werden, sind in urbanen Parks viele ethnische Gruppen vertreten, die dort mit Familien und Freunden ihre Freizeit verbringen, wodurch diese Orte der Inklusion darstellen

(Peters et al., 2009). Ein gesteigertes soziales Wohlbefinden hat wiederum positive Auswirkungen auf die psychische als auch physische Gesundheit.

3.2.3. Erhaltung der biologischen Vielfalt (Biodiversität) durch Bereitstellung von Habitaten

Städte mit einem hohen Grünanteil können im Vergleich zum (v. a. intensiv landwirtschaftlich genutzten) ländlichen Umfeld eine erstaunlich hohe Artenvielfalt aufweisen (u. a. durch große Vielfalt an Lebensräumen aufgrund unterschiedlicher Nutzungsarten, individuelle Gestaltung privater Gärten, geringeren Pestizideinsatz), jedoch ist die Populationsgröße vieler Arten dort sehr klein (Kühn et al., 2004; Kowarik, 1992; Wittig, 2002 – zit. in Naturkapital Deutschland – TEEB DE, 2016; Werner und Zahner, 2009). Ergebnisse einzelner Studien (z. B. Fuller et al., 2007, zit. in Naturkapital Deutschland – TEEB DE, 2016) deuten darauf hin, dass mit zunehmender biologischer Vielfalt auch Ökosystemleistungen verstärkt werden können (z. B. positive psychologische Wirkungen bei BesucherInnen von Parks mit hohem Artenreichtum). Eine strukturelle Komplexität der Grünräume (Heterogenität der Vegetation) fördert sowohl die Biodiversität als auch das Wohlbefinden der BewohnerInnen (Gloor et al., 2010).

3.3. Steuerung einer klimasensiblen Stadtentwicklung

Die vorangegangenen Kapitel zeigen, dass die Notwendigkeit für neue Herangehensweisen, um den Folgen des Klimawandels entgegenzuwirken und die Lebensqualität in Städten hoch zu halten, gegeben ist. Der Einbezug von UGI und den damit verbundenen und bereitgestellten ÖSL ist eine bekannte Strategie zur Minderung der negativen Auswirkungen des Klimawandels (Sturiale und Scuderi, 2019). Städtische Ökosysteme sind für die BewohnerInnen in Bezug auf Klima, Ökologie und soziale Aspekte von besonderer Bedeutung und tragen wesentlich zur Lebensqualität in der Stadt bei (Gupta et al., 2012; Kabisch und Haase, 2014; Vierikko et al., 2016). Orientierung und Baukörper-Volumina spielen in diesem Kontext die wesentlichste Rolle, da diese den Energie- und Lufthaushalt grundlegend definieren.

3.3.1. Nutzen und Nutzbarmachung der Klimamodellierungen für die Stadt- und Landschaftsplanung

Das Ausmaß des Kühleffekts von Pflanzen hängt neben der umgebenden Baustruktur auch mit der Größe und dem Aufbau des Grünraumes zusammen. Die wesentlichen Faktoren sind: solare Strahlungsintensität, Windfeld und Pflanzenart. Der Vorteil der Implementierung von UGI in der Stadt liegt bei der Bedienung unterschiedlicher Maßstabsebenen. Auf mikroklimatischer Ebene wirkt UGI hauptsächlich durch Beschattung, Evapotranspiration und Beeinflussung des Luftstroms (Wang, 2016). Kühleffekte können vor allem durch den Einsatz von Bäumen, Flächenbegrünung bzw. -entsiegelung und Gebäudebegrünung (Dach, Fassade) erreicht werden. Der lokale Einsatz von UGI (z.B. Fassadenbegrünung, Begrünung der Erdgeschoßzone auf der Parzelle) hat für BewohnerInnen und PassantInnen einen positiven Einfluss.

Fassadenbegrünungen tragen zur Verbesserung des städtischen Wohlbefindens bei und sind ein vielversprechender Ansatz, um den Grünflächenanteil platzsparend zu erhöhen (Pitha et al., o. J.;

Stangl et al., 2019). Bei dem Forschungsprojekt „GrünStadtKlima“ konnten Abkühlungen von 20 °C der mittleren Strahlungstemperatur nahe der Fassade gemessen werden (Österreichischer Verband für Bauwerksbegrünung o. J.). Begrünte Dächer wirken puffernd – die Sonnenenergie wird im Vergleich zu Bitumen, Blech- oder Kiesdächern stark vermindert an den Baukörper weitergegeben (Pitha et al., o. J.). Dächer haben einen großen Anteil an urbanen Oberflächen (bis zu 50 %) und können das lokale Klima wesentlich beeinflussen. Es ist jedoch zu sagen, dass die Gebäudehöhe und das Windfeld sowie die Topographie ausschlaggebend dafür sind, ob die Verbesserung des Mikroklimas in Erdgeschoßnähe für den Menschen zu spüren ist. Werden viele Dächer begrünt, geht die Wirkung über das unmittelbare Umfeld hinaus und wirkt sich positiv auf das urbane und regionale Klima (gesamtes Stadtgebiet und darüber hinaus) aus (Stangl et al., 2019). Grundsätzlich gilt, je größer die zusammenhängenden Grünflächen, desto besser ist der Effekt auf das Stadtklima (Sutter-Schurr, 2008; Žuvela-Aloise et al., 2016).

Um sich die Wirkung auf den unterschiedlichen klimatischen Ebenen (Mikroklima, urbanes, regionales Klima) zunutze machen zu können, müssen diese mit den planerischen Maßstabebenen (Parzelle/Objekt und Quartiersebene/Stadtteil, Bezirks- und Stadtebene sowie Großraum Wien) verknüpft werden. Die aufgezeigte Komplexität der Wirkungen von UGIs in Abhängigkeit ihres urbanen Umfelds erfordert digitale Simulationsmodelle und Bewertungsverfahren. Für Planungsprojekte auf Objekt-, Quartiers- und Stadtebene sind räumlich und zeitlich aufgelöste Daten und Bewertungen erforderlich, um klimasensibles Design abzusichern und zu steuern. Auf der übergeordneten Ebene muss die Wirkung von Stadterneuerungen und Stadtentwicklung über mesoskalige und regionale Modelle überprüft werden. Dafür benötigt es einen strategischen Zugang und ein Instrumentarium zur Koordination der unterschiedlichen Ebenen und zur Steuerung der UGI. Wie das folgende Kapitel (3.3.2) aufzeigt, ist ein solch umfassendes Tool-Set momentan noch nicht vorhanden.

3.3.2. Fehlende Instrumente zur Steuerung einer grünen und klimasensiblen räumlichen Entwicklung

Die Stadt Wien besitzt ein breites Repertoire an unterschiedlichen Planungsinstrumenten auf verschiedenen Planungsebenen, die eine Sicherung der Grün- und Freiraumversorgung unterstützen. Explizit landschaftsplanerische oder grünraumorientierte Instrumente fehlen – mit Ausnahme der Gesetze und Instrumente des Naturschutzes sowie rechtlich nicht bindender Fachkonzepte oder Strategien. Im Folgenden wird ein Überblick über Strategien, Verfahren und Vorgaben zur Sicherung und Entwicklung der Grün- und Freiräume auf Parzellenebene in Wien gegeben.

Die rechtlichen Rahmenbedingungen, in erster Linie die Wiener Bauordnung, aber auch Regelungen der Wohnbauförderung, die Spielplatzverordnung, die Stellplatzverordnung, das Nachbarschaftsrecht sowie das Wiener Baumschutzgesetz beeinflussen die bauliche Ausnutzbarkeit der Parzellen sowie die Gestaltungs- und Handlungsmöglichkeiten und damit die Versorgung mit und die Qualität der Grün- und Freiräume.

Die Bauordnung (BO) für Wien (2018) enthält Regelungen bezüglich der baulichen Ausnutzbarkeit einer Parzelle, des Anteils von unversiegelten Flächen und der Anforderungen an die Grün- und Freiräume auf der Parzelle. Die Flächenwidmungs- und Bebauungspläne sind in Wien die wichtigste und einzige rechtsverbindliche Grundlage für die Gestaltung der Baukörper und die Ausnutzbarkeit einer Parzelle und damit auch für die Grün- und Freiraumversorgung. Für das Erreichen einer

Baubewilligung ist seit der Bauordnungsnovelle im Jahr 2014 ein Gestaltungskonzept ab Bauklasse II (früher erst ab Bauklasse III) für alle gärtnerisch auszugestaltenden Flächen (G) notwendig. Dieser Plan ist aber nicht Teil des Baukonsenses und für die Umsetzung dieser Gestaltungskonzepte ist die Bestätigung einer Ziviltechnikerin bzw. eines Ziviltechnikers erforderlich.

Ein Ansatz, die Grün- und Freiflächenversorgung auf Parzellenebene zu steuern, sind Maßzahlen. Entweder erfolgt dies über städtebauliche Kennzahlen, wie die Geschoßflächenzahl oder den Bebauungsgrad (BO für Wien, 2018), oder über Maßzahlen für die Freiraumversorgung in Form von Quadratmetern pro BewohnerIn oder Wohneinheit. Auch die Stadt Wien setzt auf diese Maßzahlen – vor allem im strategischen Planungsinstrument, dem Stadtentwicklungsplan STEP 2025 (MA 18, 2014). Im Fachkonzept Grün- und Freiraum, als Teil des STEP 2025 (MA 18, 2015), werden differenzierte Bedarfszahlen (Richtwerte) für die Versorgung mit Freiräumen genannt (siehe Abbildung 7). Diese beziehen sich ausschließlich auf öffentlich bereitzustellende Grün- und Freiräume.

GRÜN- UND FREIRÄUME	EINZUGSBEREICH (m)	GRÖSSE (ha)	m ² /EW		
Nachbarschaft	250	< 1	3,5		
Wohngebiet	500	1–3	4,0	8,0	13,0
Stadtteil	1.000	3–10	4,0		
	1.500	10–50			
Region	6.000	> 50	5,0		
+ Sportflächen			3,5		
+ Grünflächen pro Arbeitsplatz (Einzugsbereich 250 m)			2,0		

Abbildung 7: Grün- und Freiraumkennwerte für Wien (MA 18, 2015, S. 84)

Der lokale Grünplan wurde als Instrument mit dem Fachkonzept Grün- und Freiraum eingeführt und versteht sich als Darstellungswerkzeug. Er ist als Instrument zwischen der ordnungsplanerischen und der objektplanerischen Ebene angesiedelt, da die vorhandenen quantitativen Mindestanforderungen mit qualitativen Merkmalen ergänzt werden sollen, unter Berücksichtigung der bereits bestehenden Nutzungsmöglichkeiten des Umfelds. Sie werden als Grundlage für das Widmungsverfahren, als Beitrag zur Strategischen Umweltprüfung (SUP) im Zuge kooperativer Verfahren oder für städtebauliche Verträge verwendet. Private und teil-öffentliche Flächen werden im lokalen Grünplan nicht berücksichtigt (MA 18, 2015).

Die Stadt Wien hat eine Vielzahl an Planungsinstrumenten und rechtlich nicht bindenden Fachkonzepten und Strategien, aber es wird deutlich, dass es noch kein adäquates Instrument zur Steuerung des Grün- und Freiraumangebots auf Parzellenebene gibt. Zwar gibt es bereits Konzepte, die Kennwerte für öffentliche und teil-öffentliche Freiräume definieren, doch fehlt es an expliziten und rechtlich verbindlichen Instrumenten zur Sicherung der Grün- und Freiraumversorgung auf privater Parzellenebene. Wie bereits erläutert, beinhaltet die Stadtentwicklung mehrere Planungs- und Umsetzungsebenen. Deutlich wird, dass die Stadt Wien neben den quantitativen Kennwerten keine Steuerungsmöglichkeiten besitzt. Demzufolge gibt es auch noch kein ganzheitliches Instrumentarium, welches die einzelnen Planungs- und klimatischen Maßstäbe bedienen und steuern sowie über mehrere Ebenen eingreifen kann. Um das (Stadt-)Klima wirksam zu verbessern und die Auswirkungen zu evaluieren, sind Steuerungsinstrumente auf allen Maßstabsebenen erforderlich.

3.3.3. Die übergeordneten Ziele des Projekts

Im Zuge dieses Projekts wird ein Vorschlag für ein Tool-Set als mehrskaliges Instrumentarium (siehe Abbildung 8) für die Steuerung, Optimierung und Bewertung des Mikro-, urbanen und regionalen Klimas mit Bezug zu den verschiedenen Ebenen der Stadtplanung präsentiert. Es ist ein erstmaliger Versuch, eine Synergie der In- und Outputs unterschiedlicher klimatischer Simulationsinstrumente herzustellen und diese für die Stadtplanung nutzbar zu machen.

Aus den oben beschriebenen Rahmenbedingungen und Herausforderungen leiten sich folgende Ziele ab:

1. Proof of Concept eines Regelkreises und Tool-Sets zur Steuerung, Optimierung und Evaluierung einer grünen und klimasensiblen Stadt(teil)planung
2. Sichtbarmachung, Bewertung und Abstimmung der klimatischen Wirkung und kulturellen Ökosystemleistungen
3. Entwicklung eines Verfahrens zur Harmonisierung der Instrumente und Modelle – Klimamodellierung und ihr Nutzen für die grüne und klimasensible Stadtplanung
4. Testen und Evaluieren des Tool-Sets anhand von Case-Studies

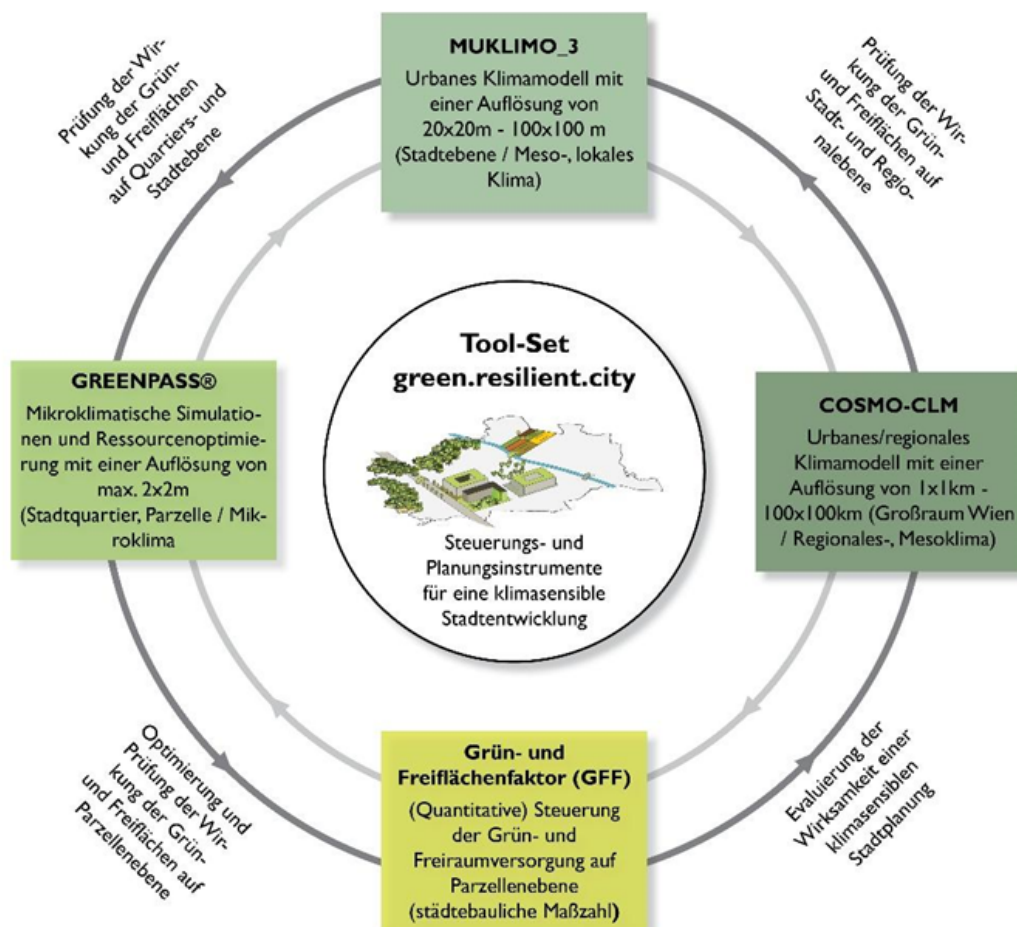


Abbildung 8: Vorschlag für ein mehrskaliges Optimierungs-, Steuerungs- und Evaluierungsinstrument auf unterschiedlichen klimatischen und planerischen Ebenen (ILAP/GRC-Projektkonsortium)

4 Projektinhalt

4.1. Methodischer Zugang – Harmonisierung und Schnittstellenprüfung der einzelnen Instrumente

Wolfram et al. (2016) betonen, dass die Forschung die räumlich-institutionelle Komplexität urbaner Transformationsprozesse erfassen und zu multi-systemischen Ansätzen übergehen sollte, um die Wirkungskomponenten als befähigenden Hebel für einen städtischen Wandel nutzbar zu machen und den Herausforderungen der nachhaltigen städtischen Entwicklung gerecht zu werden. In einem inter- und transdisziplinären, kollaborativen Ansatz entwickelte das Forschungsteam ein neuartiges Tool-Set, das seine Machbarkeit in einem Proof of Concept demonstriert. Die verschiedenen Eingabeparameter der einzelnen Instrumente (GFF, GREENPASS, MUKLIMO_3 und COSMO-CLM), welche auf unterschiedlichen planerischen und klimatischen Maßstabsebenen angewendet werden, wurden verglichen, angepasst und koordiniert sowie mit den für eine Stadtentwicklung relevanten planerischen Maßstabsebenen abgestimmt (siehe Kapitel 5.1). Damit die unterschiedlichen Klimasimulationsinstrumente in einem Tool-Set zusammengefasst werden können, müssen diese ähnliche Aussagen bei Veränderung der Inputparameter (durch Begrünungsszenarien) liefern. Darum liegt der Schwerpunkt des Projekts auf der Koordination verschiedener Skalenmodelle durch Analyse von Datenschnittstellen, Harmonisierung von Eingabeparametern und Festlegung derselben Referenzzeiträume, um die mögliche Anwendbarkeit eines mehrskaligen Tool-Sets zu prüfen. Ziel war herauszufinden, ob verschiedene, bisher unabhängig voneinander verwendete und validierte Klimasimulationsinstrumente zu einem mehrskaligen Tool-Set kombiniert werden können, um zukünftige Planungen als Gesamtinstrument zu unterstützen. Es wird bewertet, ob die Kombination der einzelnen Simulationsmodelle mit dem Grün- und Freiflächenfaktor von Wien (GFF) wie im Tool-Set vorgeschlagen funktionieren und nützliche Ergebnisse zur Unterstützung einer grünen und klimasensiblen Landschafts- und Stadtplanung liefern kann.

Da die Methodenfindung zur Harmonisierung der einzelnen Instrumente zentraler Bestandteil des Proof of Concept war, erfolgt eine detaillierte Beschreibung der angewendeten Methoden im Ergebnis-Kapitel (5).

Prüfung der Umsetzbarkeit anhand von Reallaboren

Das Forschungsprojekt hält sich an den Ansatz der Reallabore, die es möglich machen, neue Technologien an räumlich und zeitlich begrenzten realen Orten zu testen, ohne dass diese im rechtlichen Rahmen verankert sein müssen (BMW, 2019). Der konkrete Ort hat in städtischen Transformationsprozessen an Bedeutung gewonnen, da er neben realen Einblicken in den spezifischen Ort die Räumlichkeit und die mehrskalige Einbettung systemischer (Re-)Konfigurationen ermöglicht. Ziel ist jedoch, die Erprobung mit einem regulatorischen Lernprozess zu koppeln, um letztendlich die Implementierung in den Planungsalltag zu schaffen (Wolfram et al., 2016; BMW, 2019). „Reallabore ermöglichen eine Politik, die stärker datengetrieben ist und auf empirischen Erkenntnissen beruht. Sie sind Bestandteil einer modernen evidenzbasierten Ordnungspolitik“ (BMW, 2019, S. 8). Zum Testen und zur Evaluierung der Einsatzmöglichkeiten des Tool-Sets wird dieses anhand zweier Fallstudien erprobt: des Stadtentwicklungsgebiets „asperm - Die Seestadt Wiens“ sowie eines Stadterneuerungsgebiets mit bestehender Siedlungsstruktur in Innerfavoriten im 10.

Wiener Gemeindebezirk (Zielgebiet Innovationslabor „GrünStattGrau“). Diese beiden Case-Studies ermöglichen den Einsatz des Tool-Sets an realen Orten.

Transfer von Forschungsergebnissen in das Verwaltungshandeln

Um einen Transfer der Forschung in den Planungsalltag zu unterstützen, wurde neben dem Ansatz der Reallabore eine umfangreiche Stakeholderbeteiligung durchgeführt.

Der systemische und der urbane Wandel müssen notwendigerweise als miteinander verflochten angesehen werden (Wolfram et al., 2016; BMWi, 2019). Der gesetzliche Rahmen und bestehende Regulative müssen auf die sich verändernden Bedingungen in den Städten – wie Wachstum und Verdichtung, UHI-Effekt, Zunahme an Versiegelung und Verlust von Grünräumen – reagieren und dementsprechend adaptiert werden, um Raum für neue Steuerungs- und Kontrollinstrumente bereitzustellen, ohne notwendige und etablierte Standards aufzugeben.

Durch die Einbindung der planenden Dienststellen der Stadt Wien (siehe Kapitel 5.4 zu Advisory Boards und Austauschplattform) wurden zum einen der Einsatz der Instrumente und des Tool-Sets sowie der damit verbundene Nutzen für die Stadt, zum anderen die Möglichkeit der Verankerung in bestehenden Planungsinstrumenten und Gesetzen diskutiert. Ergänzend wurden im Zuge einer Austauschplattform mit weiteren Städten der Bedarf bzw. die Übertragungsmöglichkeiten auf andere Städte diskutiert.

4.2. Vorstellung der verwendeten Instrumente

Für die Simulation des Ist-Zustands sowie zukünftiger Klimaentwicklungen und Begrünungsszenarien wurden Klimamodelle auf unterschiedlichen Maßstabsebenen angewendet. Für eine klimasensible Stadt- und Landschaftsplanung müssen mehrere Maßstabsebenen berücksichtigt werden, um den unterschiedlichen Maßstäben in der Planung zu entsprechen. Eine klimasensible Planung benötigt Aussagen auf der stadtreionalen Ebene, ebenso wie auf der kleinskaligen Quartiersebene. Die große Herausforderung dabei ist, dass diese Aussagen derzeit nur von unterschiedlichen Modellen geliefert werden können, die bisher nicht miteinander gekoppelt sind. Daher war es das zentrale Ziel dieses Forschungsprojekts, zu untersuchen, wo Schnittstellen zwischen den Modellen bestehen und wie die Modelle harmonisiert werden können. Dafür wurden etablierte Klima- und Simulationsmodelle ausgewählt, die alle notwendigen klimatischen Maßstabsebenen und Planungsebenen abdecken können und bereits im Rahmen verschiedenster Forschungsprojekte angewendet und validiert wurden. Auf Mikroebene wurde die GREENPASS-Technologie basierend auf der Mikroklimasimulationssoftware ENVI-met verwendet, auf urbaner Ebene wurde das Stadtklimamodell MUKLIMO_3 und auf regionaler Ebene das Klimamodell COSMO-CLM herangezogen.

4.2.1. Grün- und Freiflächenfaktor (GFF)

International haben zahlreiche Städte (u. a. Berlin, Malmö, Seattle, Helsinki) eigene Instrumente entwickelt, um die Versorgung mit grüner Infrastruktur auf Parzellen- und Stadtquartiersebene zu steigern und die ökologische Nachhaltigkeit der bebauten Umwelt und von Entwicklungsgebieten zu verbessern. Die bisher entwickelten Grün- und Freiflächenfaktoren berechnen alle das Verhältnis der naturhaushaltswirksamen Fläche zur Gesamtfläche des Bauplatzes bzw. der Bauparzelle. Die auf der

Parzelle vorkommenden grünen Infrastrukturelemente werden durch Zuhilfenahme eines Bewertungskatalogs nach ökologischen Gesichtspunkten bewertet. Jedes miteinbezogene grüne Infrastrukturelement hat eine Auswirkung auf den endgültigen Wert bzw. die ökologisch „wertvolle“ Fläche. Diese wird durch die Grundfläche der Parzelle dividiert und das Ergebnis ist ein numerischer Wert – der jeweilige Grünflächenfaktor (Järvelä, 2014; Vartholomaios et al., 2013; Hirst, 2008; Juhola, 2018; Landschaft Planen & Bauen und Becker Giseke Mohren Richard, 1990).

Im Rahmen des Forschungsprojekts „MehrWertGrün“ (Damyanovic et al., 2016) wurden erste Vorschläge und Grundlagen für die Übertragung dieser Instrumente auf Österreich, am Beispiel der Stadt Wien, dargestellt. Die Berechnungsmethode und Vorgehensweise ist ähnlich und beruht auf den Adaptierungen der bestehenden Grünflächenfaktoren. „MehrWertGrün“ war die Grundlage für die in diesem Projekt „green.resilient.city“ stattfindende Abstimmung mit den Simulationstools. Durch die Anwendung an Beispielen des Grün- und Freiflächenfaktors aus dem Projekt „MehrWertGrün“ hat sich Potenzial für eine Weiterentwicklung aufgetan. Drei Schwachstellen wurden identifiziert, die die Grenzen der bestehenden Grünflächenfaktoren aufzeigen:

- (1) Das Herunterbrechen des Faktors auf die reine Grundfläche birgt einen methodischen Fehler in sich, da Veränderungen der Gebäudemasse (Höhe) nicht berücksichtigt werden.
- (2) Flächenmäßig kleine Parzellen werden bei Anwendung dieser Berechnungsmethode tendenziell benachteiligt.
- (3) Die Bewertungsmethode begutachtet vor allem den ökologischen Nutzen einzelner Flächen oder Elemente. Die Auswirkungen auf die BewohnerInnen, sprich die sozialen Gesichtspunkte, werden entweder kaum oder gar nicht berücksichtigt.

Hier setzt die Entwicklung des Grün- und Freiflächenfaktors für Wien (GFF) an, denn er löst sich von der immer wiederkehrenden Berechnungsmethode der bestehenden Faktoren. Im Zuge von „green.resilient.city“ wurde der GFF dahingehend weiterentwickelt, dass unterschiedliche Gebäudetypologien/Baumassen in der Berechnung berücksichtigt werden und neben ökologischen auch klimatische und soziale Aspekte in die zugrundeliegende Bewertung der urbanen grünen Infrastrukturelemente (UGI) und deren Gewichtung einfließen. Das gesamte Forschungsprojekt war eine Entwicklungsphase hin zu einer überarbeiteten Auswahl an UGI-Elementen, neuen Multiplikationsfaktoren (Bewertung der UGI-Elemente in Hinblick auf deren Relevanz in Bezug zu den erbrachten Ökosystemleistungen) und zu einer detaillierten und aussagekräftigen Berechnungsmethode.

4.2.2. GREENPASS

GREENPASS ist das erste international anwendbare All-in-one-Software-as-a-Service (SaaS)-Planungs-, Optimierungs- und Zertifizierungstool für klimaresiliente Stadtplanung und Architektur. GREENPASS analysiert, optimiert und zertifiziert die Auswirkungen von Gebäuden, Materialien und Pflanzen hinsichtlich sechs urbaner Themenfelder: Klima, Wasser, Luft, Biodiversität, Energie und Kosten. Die GREENPASS-Technologie wurde in den letzten zehn Jahren mit führenden Universitäten und PlanungsexpertInnen im Rahmen verschiedener nationaler und internationaler Forschungsprojekte mithilfe von mehr als 4 Mio. Euro an F&E-Mitteln entwickelt und bei über 70 Projekten in mehr als 10 europäischen Ländern angewendet. Die GREENPASS-Toolbox bietet für die jeweilige Planungsphase eine maßgeschneiderte Lösung. Die GREENPASS-Software verbindet dabei wissenschaftliche ExpertInnen-Simulationssysteme, wie z. B. ENVI-met (Klima) und/oder Rheologic CFD (Wind) mit der

Planungspraxis und erlaubt eine standardisierte Bewertung und Optimierung von Projekten hinsichtlich eines Sets an Schlüsselindikatoren. Sie kann auf Bauplatz-, Stadtteil- und Stadtebene im Neubau als auch im Bestand angewendet werden (Kraus und Scharf, 2020; Kraus und Scharf, 2019; Scharf, 2018).

4.2.3. MUKLIMO_3

Mit einer horizontalen Auflösung von 20–200 m wird das vom Deutschen Wetterdienst entwickelte Stadtklimamodell MUKLIMO_3 (Sievers, 1990, 1995) zur Untersuchung städtischer Hitzebelastung sowie zur Analyse der Auswirkungen von Klimaanpassungsmaßnahmen auf Stadtebene herangezogen. Unter Berücksichtigung hochaufgelöster Landnutzungs- und Topographiedaten sowie meteorologischer Anfangsbedingungen werden die Parameter Temperatur, relative Feuchte, Wind und Strahlungsbilanz im Tagesgang für niederschlagsfreie Tage mit potenzieller Hitzebelastung simuliert.

Die Kombination der MUKLIMO_3-Ergebnisfelder mit langjährigen Klimazeitreihen, gewonnen aus Beobachtungsdaten oder regionalen Klimasimulationen, ermöglicht die Berechnung von hochaufgelösten Klimaindizes, wie beispielsweise der mittleren jährlichen Anzahl an Sommertagen ($T_{\max} \geq 25 \text{ °C}$) oder Hitzetagen ($T_{\max} \geq 30 \text{ °C}$). Mithilfe dieser von Früh et al. (2011) entwickelten Quadermethode kann somit die urbane Hitzebelastung für vergangene und zukünftige Zeiträume – unter Berücksichtigung verschiedener regionaler Klimaszenarien – analysiert werden.

Durch Änderung der dem Modell zugrundeliegenden Landnutzungsparameter können im Zuge von Sensitivitätsstudien die Auswirkungen verschiedener Klimaanpassungsszenarien (z. B. erhöhter Vegetationsanteil, Dachbegrünung, Entsiegelungsmaßnahmen, Erhöhung der Reflektivität von Gebäudeflächen) evaluiert werden. Dazu wurden im Rahmen von diversen Forschungsprojekten bereits Studien mit MUKLIMO_3 durchgeführt, die sich mit Klimaanpassungsmaßnahmen in verschiedenen österreichischen Städten beschäftigt haben (siehe z. B. Zuvela-Aloise et al., 2016; Oswald et al., 2020; de Wit et al., 2020).

4.2.4. COSMO-CLM

Speziell für großräumige Stadtgebiete bieten urbane Klimamodelle den derzeit neuesten Stand der Technik. Mit dem deutschen regionalen Klimamodell COSMO-CLM (Rockel et al., 2008) und der speziellen urbanen Erweiterung TERRA-URB (Wouters et al., 2017), welche anthropogene Wärmeemissionen und ursprünglich einen hochaufgelösten Versiegelungslayer von EEA (2009) integrieren, wurden urbane Klimasimulationen mit einer Auflösung von 1 x 1 km für den Großraum Wien (100 x 100 km) durchgeführt. Im Zuge des Projekts konnte die Versiegelung durch neuere Daten aus der CLM-Community ersetzt werden, die für die Version 5 durch WebPEP (Web interface for Processing External data Parameters https://tools.clm-community.eu/web_pep/gui/web_pep.php) bereitgestellt werden. Durch Integration der anthropogenen Wärmeemissionen und horizontalen Auflösungen im 1-km-Bereich ließ sich erstmalig der städtische Wärmeinseleffekt mit regionalen Klimamodellen im Kontext mit großräumigen Klimaentwicklungen relativ feinskalig abbilden. In einem ersten Schritt wurden Simulationen für die Jahre 1960 bis 2018 basierend auf ERA40/ERAInterim-Daten berechnet und für eine erste Validierung mit Daten von 12 Messstationen in und um Wien verglichen. Obwohl hochaufgelöste regionale Klimasimulationen extrem

rechenintensiv sind und bisher bestenfalls in Jahres-Zeitscheiben realisiert wurden, konnte in einem zweiten Schritt erstmalig ein Modelllauf für den Zeitraum 1960 bis 2100 durchgeführt und somit stündliche Daten für das gemäßigte SRES-Klimaszenario A1B generiert werden. Zusätzlich wurde in der Projektlaufzeit das weiterentwickelte COSMO-CLM 5 getestet, dieses wurde jedoch wegen numerischer Instabilitäten nicht weiterverwendet. Da der Deutsche Wetterdienst aktuell eine Schnittstelle zwischen COSMO-CLM und dem neuen mikroskaligen Stadtklimamodell PALM-4U entwickelt, wurde auch dieses näher in Augenschein genommen.

5 Ergebnisse

5.1. Harmonisierung der Instrumente

5.1.1. Verfahren zur Harmonisierung und Schnittstellenprüfung der einzelnen Instrumente

Die Klimasimulationsinstrumente und Instrumente zur Bewertung des Stadtklimas sind bereits ausgereift und mehrfach erprobt und ihre Einsatzmöglichkeiten sind umfassend und vielfältig, jedoch noch nicht auf die Bedürfnisse der Landschafts- und Stadtplanung abgestimmt und zugeschnitten. Drei verschiedene Simulationsinstrumente, nämlich COSMO-CLM, MUKLIMO_3 und GREENPASS, die in vergangenen Forschungsprojekten (wie z. B. reclip:century¹, UFT Adi², CLARITY³, Nature4Cities⁴) angewendet und einzeln validiert wurden, wurden ausgewählt, um die unterschiedlichen Wirkungsbereiche der Klimasimulationsinstrumente mit den Planungsmaßstäben abzugleichen und die Synergien daraus zu nutzen. Im Rahmen des Forschungsprojekts „green.resilient.city“ wurden die einzelnen Klimasimulationsinstrumente aufeinander abgestimmt, Kreuzvalidiert und harmonisiert, sodass die Input- und Output-Parameter wechselseitig genutzt werden konnten.

Die Urbanen Standard-Typologien („Urban Standard Typologies“) als gemeinsame Datengrundlage

Der Prozess zur Schnittstellenprüfung und Harmonisierung erfolgte über zahlreiche Abstimmungsmeetings, um zu gewährleisten, dass die Schnittstellen zwischen den Modellen (z. B. Projektion, Koordinaten, Rastergröße, Bearbeitungsausschnitt, gewähltes Klimaszenario, Output-Parameter, ausgewählter Hitzetag etc.) bestmöglich untersucht (Kreuzvalidierung) und harmonisiert werden. Dies garantierte einen ko-kreativen und effizienten Prozess.



Abbildung 9: Urbane Standard-Typologien (USTs) und internationale Case-Study-Städte (Green4Cities/GREENPASS, 2018)

¹ <https://www.zamg.ac.at/cms/de/forschung/klima/klimamodellierung/reclip-century>

² <http://urbanfabric.tuwien.ac.at/index.php/de/>

³ <http://clarity-h2020.eu/>

⁴ Nature4Cities: Innovating with Nature – Nature based solutions. This project has received funding from the European Union’s Horizon 2020 research and innovation programme under Grant Agreement N° 730468

Zu Beginn stellte die Entwicklung einer gemeinsamen Datenbasis einen wesentlichen Schritt zur Harmonisierung der Instrumente dar. Ursprünglich arbeiteten alle drei Modelle mit unterschiedlichen Landnutzungs- und Inputdaten. Zur Harmonisierung wurden „Urbane Standard-Typologien“ („Urban Standard Typologies“, USTs) angewendet, die Quartiere nach charakteristischen Bebauungsstrukturen abgrenzen und zu Typen zusammenfassen. Urbane Standard-Typologien sind typische, wiederkehrende, abstrahierte Stadtmorphologien, die im EASME-Forschungsprojekt „Green4Cities“ auf Basis von fünf internationalen Case-Study-Städten entwickelt worden sind: Wien, London, Hong Kong, Kairo und Santiago de Chile (siehe Abbildung 9). Die USTs für Wien wurden von „Green4Cities“ erstellt und im Projektteam evaluiert und gemeinsam weiterentwickelt.

Die USTs haben eine Standardgröße von 200 x 200 m und wurden auf Basis von Flächenanalysen der Landnutzungsanteile (Gebäude, Freiraum, Grün etc.) sowie weiteren städtebaulichen Parametern (z.B. Gebäudehöhe) abstrahiert und geclustert. Die USTs unterscheiden 25 Typologien, wobei manche davon in unterschiedlichen Ausstattungen (z. B. unterschiedlichen Gebäudehöhen) existieren und sich daher in Summe 35 verschiedene USTs ergeben (siehe Abbildung 10).

Urban Standard Typologies


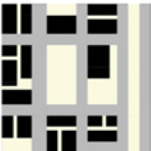






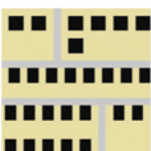
No.	UST	Sub-version	Typology	Description
1	UST 001	001		Dense high-rise: Dense high-rised buildings with a low street width to building height ratio. Very few and small open spaces.
2		001 HIGH		Dense very high-rise: As 001, but with skyscrapers (100m+).
3	UST 002	002		Dense midrise: Dense and closed perimeter block or linear buildings. Middle building height and open space with low green space.
4		002 HIGH		Dense midrise with high-rise: As 002, but with several higher buildings.
5	UST 003	003		Open high-rise: High-rised buildings, open or in cluster. High open space ratio.
6		003 HIGH		Open very high-rise: As 003, but with skyscrapers (100m+).
7		003 WATER		Open high-rise + Water: As 003, but water covers a part of the open space.
8	UST 004	004		Open midrise: Up to 10-floor buildings, free or in rows. High open space ratio which is mostly greened.
9	UST 005	005		Open lowrise: Small buildings and plots. detached in rows.

Abbildung 10: Auszug der „Urban Standard Typologies“ (USTs) (Green4Cities/GREENPASS, 2018)

Man unterscheidet zwischen lokalen USTs und globalen USTs, die sich aus lokalen USTs zusammensetzen. Die globalen USTs sind dabei, sofern zuordenbar bzw. vorhanden, auch den „Local Climate Zones“ (LCZ) von Stewart (2011) und Stewart und Oke (2012) zugeordnet. Die globalen als auch lokalen USTs wurden in weiterer Folge begrünt zu globalen gUSTs und lokalen gUSTs, die somit den Einsatz von UGI detailliert abbilden. Im Folgenden bezieht sich der Begriff UST, zwecks Lesbarkeit, auf die finalen globalen gUSTs. Jede dieser USTs gibt es – neben dem Status quo (SQ) – weiters in drei (Begrünungs-)Szenarien mit unterschiedlichem Begrünungsgrad: „Worst Case“ (WOC/WC) – 100 % versiegelt, „Moderate Case“ (MOD/MC) – moderat begrünt und „Maximum/Best Case“ (MAX/BC) – maximal begrünt (siehe Abbildung 11).

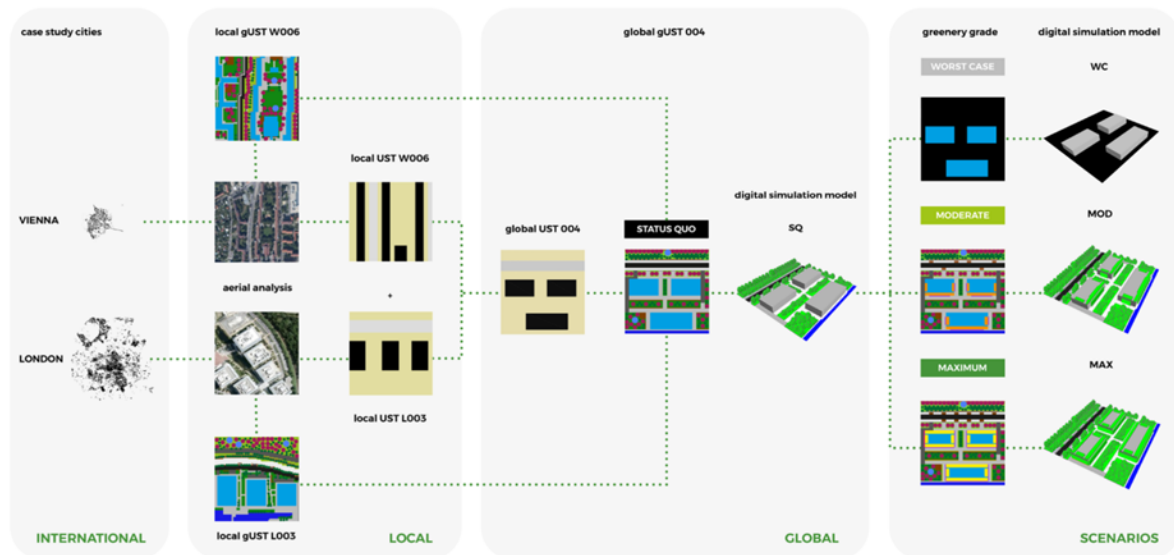


Abbildung 11: Methodik Urbane Standard-Typologien (USTs) (Green4Cities/GREENPASS, 2018)

Für jede UST sowie deren Begrünungsszenarien gibt es eine detaillierte Flächenstatistik mit dem Anteil der unterschiedlichen Landnutzungstypologien und UGI-Elemente sowie städtebaulichen Parametern (siehe Abbildung 12 und Abbildung 13).

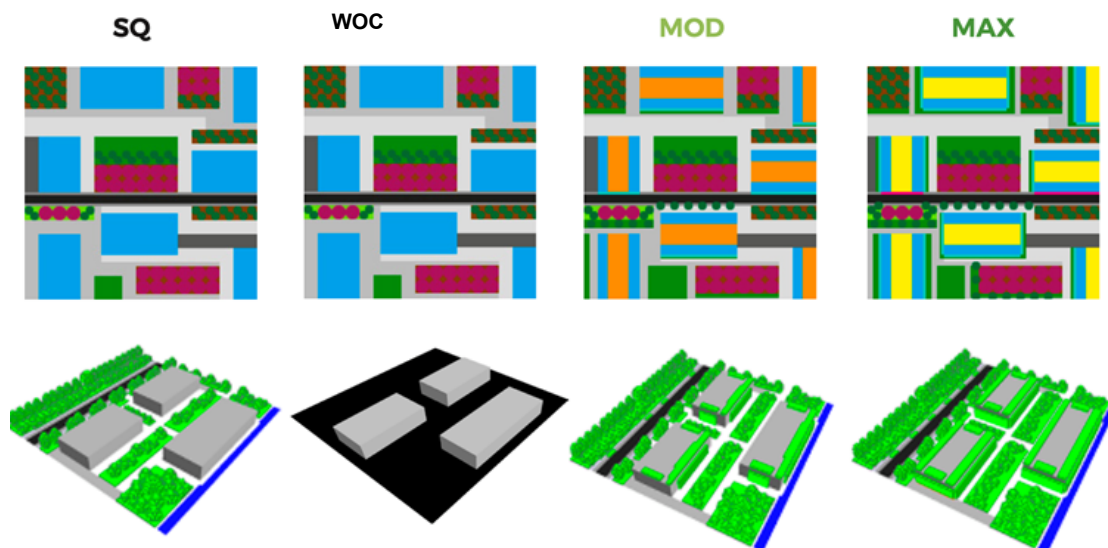
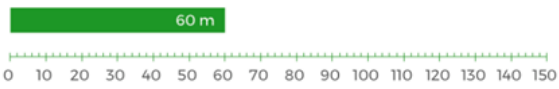
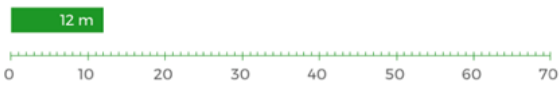


Abbildung 12: Beispiel UST003 inkl. Begrünungsszenarien (Green4Cities/GREENPASS, 2018)

building height



street width



ratio building/street width

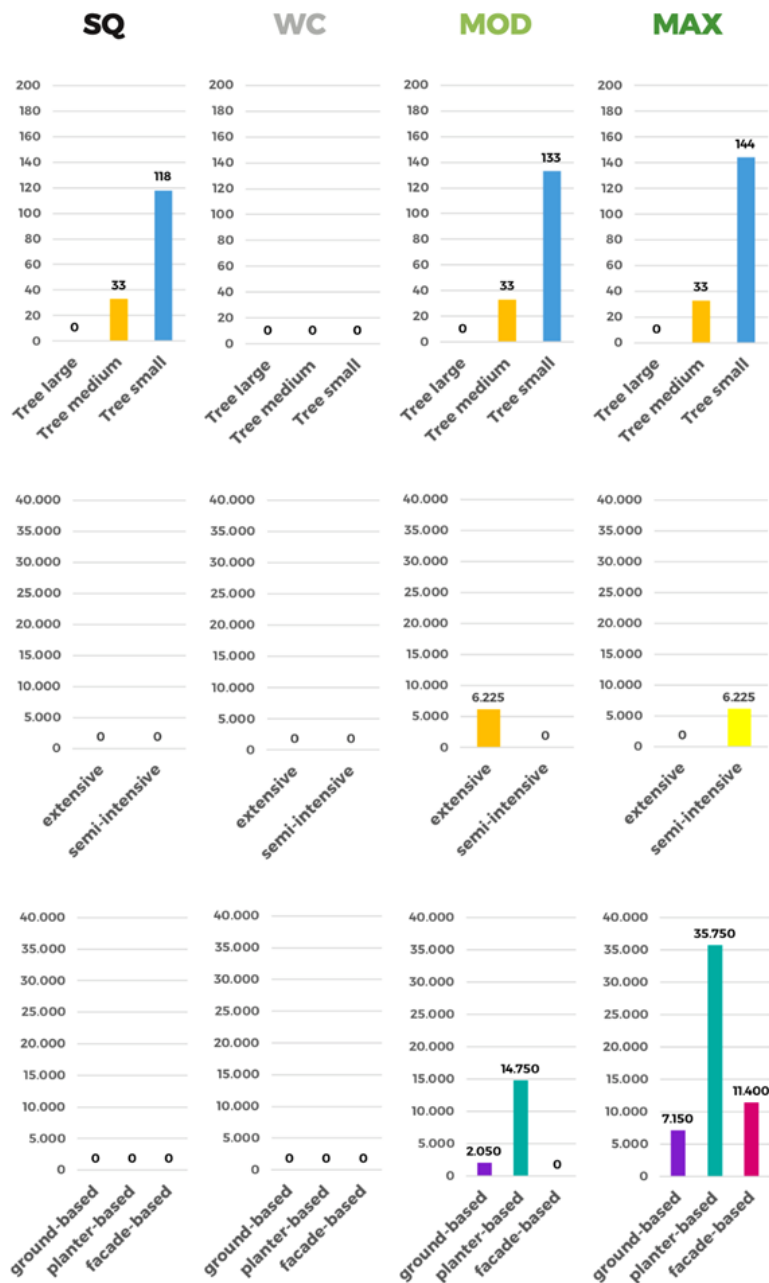


Abbildung 13: Teil der Flächenstatistik für Beispiel UST003 (Green4Cities/GREENPASS, 2018)

UST-Karte

Die USTs ermöglichen die Einteilung von urbanen Räumen anhand der standardisierten Stadttypologien, die auch am Beispiel Wien angewendet wurde. Die UST-Karte zeigt dabei markant die für Wien typische und Innenstadt-dominierende Typologie der Blockrandbebauung (siehe Abbildung 14).

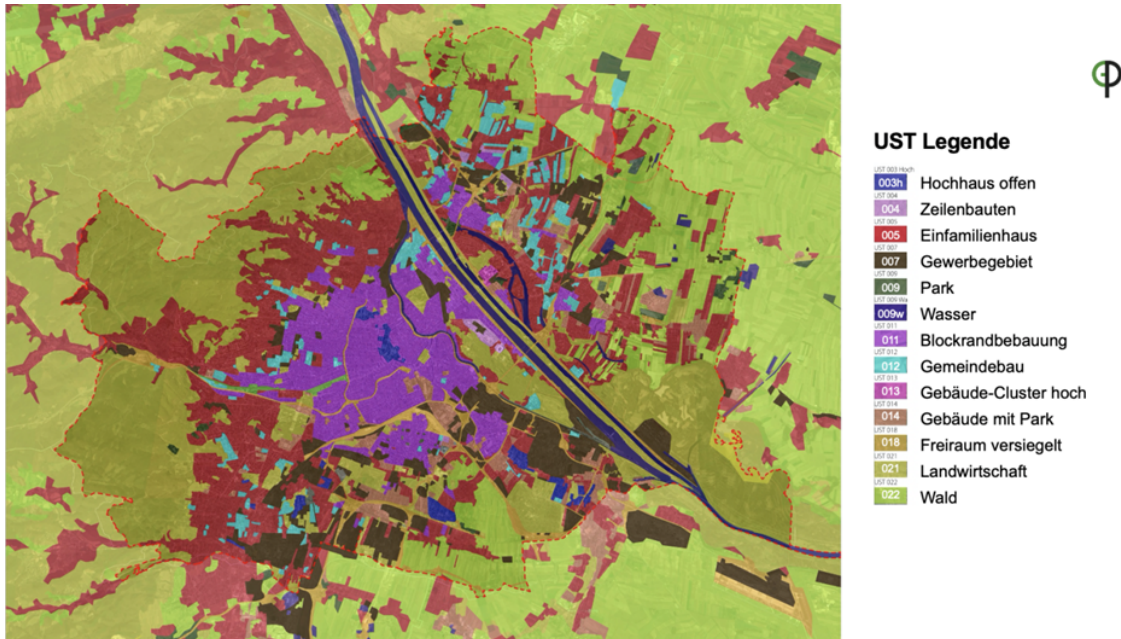


Abbildung 14: UST-Karte für Wien (Green4Cities/GREENPASS, 2018)

Weitere Harmonisierungsschritte für die Klimasimulationen

Mit der Integration der USTs in die Modelle auf urbaner und regionaler Ebene gab es eine gemeinsame Datengrundlage für die Simulationen, die einen Vergleich der Modelle erst ermöglichte (siehe Abbildung 15).

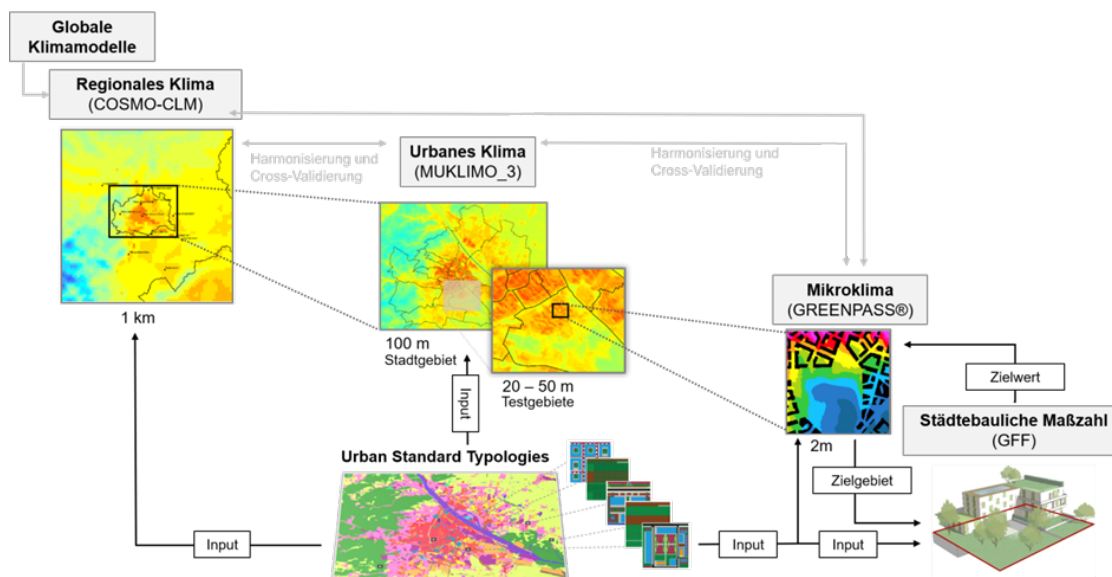


Abbildung 15: GFF und Klimasimulationsinstrumente auf verschiedenen Maßstabsebenen – Downscaling von regionaler Ebene auf Bauplatzebene (Reinwald et al., 2019)

Abgleich des Untersuchungszeitraumes

In weiteren Schritten erfolgte ein Abgleich hinsichtlich Untersuchungszeitraum und Untersuchungstag sowie Adaptionsszenarien (Begrünungsszenarien). Als Referenzzeitraum wurde für eine 10-jährige Periode (2009 bis 2018) jeweils der Zeitraum 11.7.–31.7. herangezogen und aus stündlichen Messdaten der Station Wien-Innere Stadt jener Tag ausgewählt, dessen Temperaturmaximum dem 80. Perzentil (32,56 °C) entspricht. Für die Berechnung wurden zunächst alle Tage ausgeschlossen, an denen Niederschlag gemessen wurde. Basierend auf dieser Berechnungsmethode wurde folglich als idealisierter Tag in allen drei Modellen der 19.7.2014 verwendet. Dieser Tag wurde so gewählt, dass der Tagesgang des idealisierten Tages annähernd dem eines gleichen Tages in den COSMO-CLM-Simulationen entsprochen hat (siehe Abbildung 16 bis Abbildung 18).

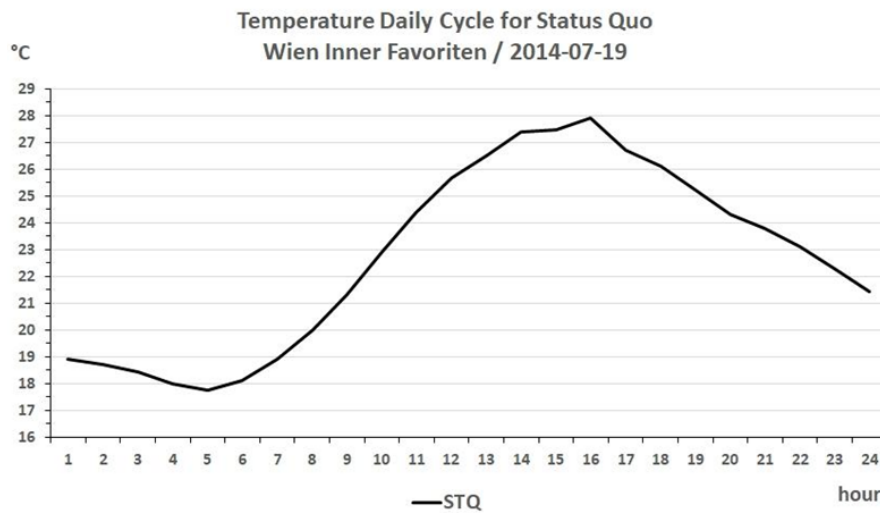


Abbildung 16: Tagesgang der 2-m-Temperatur für den idealisierten Sommertag (19.7.2014) in COSMO-CLM für das Case-Study-Gebiet Wien-Innerfavoriten (AIT)

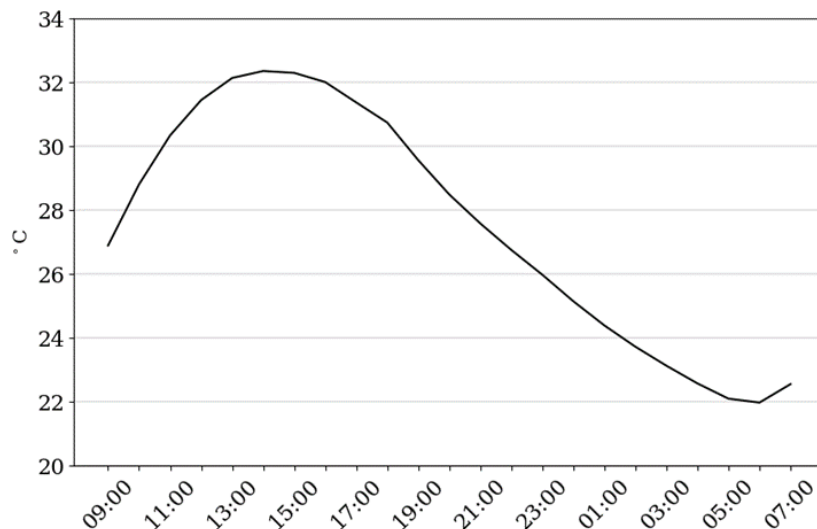


Abbildung 17: Tagesgang der 2-m-Temperatur für den idealisierten Sommertag (19.7.2014) in MUKLIMO_3 für das Case-Study-Gebiet Wien-Innerfavoriten (ZAMG)

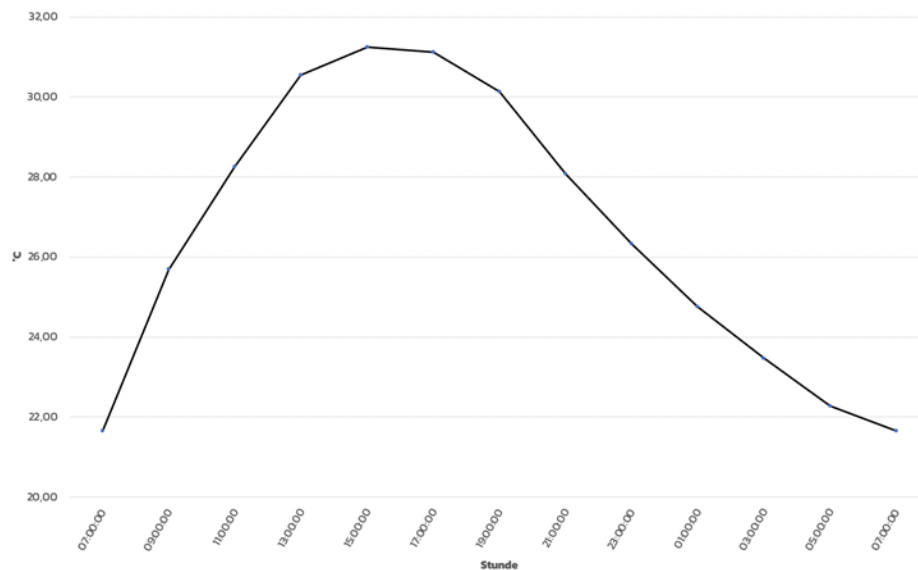


Abbildung 18: Tagesgang der 2-m-Temperatur für den idealisierten Sommertag (19.7.2014) im GREENPASS für das Case-Study-Gebiet Wien-Innerfavoriten (Green4Cities)

Nachdem auf regionaler und urbaner Ebene die Simulationen für ganz Wien durchgeführt wurden, erfolgte ein Ergebnisvergleich auf Quartiersebene in den Case-Study-Gebieten „aspersn - Die Seestadt Wiens“ und Wien-Innerfavoriten (siehe Kapitel 5.1.3 und 5.3).

Aufgrund der Komplexität der Zusammenführung der Instrumente wird im Folgenden der Abstimmungsprozess zwischen den Instrumenten in Teilbereiche untergliedert beschrieben.

5.1.2. Definition der Schnittstellen in den jeweiligen Klimasimulationsmodellen

Schnittstellen in COSMO-CLM

Die USTs fließen als Inputdaten in das regionale Klimamodell COSMO-CLM ein. Aus den USTs wurden der Versiegelungsgrad, die Pflanzenbedeckung, der Leaf-Area-Index (LAI) und die mittlere Gebäudehöhe herangezogen. Um die USTs als Inputdaten für COSMO-CLM überhaupt nutzen zu können, waren eine entsprechende Integration und Adaptierung nötig.

In einem ersten Schritt wurden die UST-Polygondaten in das in CLM verwendete rotierte Koordinatensystem überführt und in einen 100-m-Raster konvertiert. Danach konnten die für die unterschiedlichen Szenarien in entsprechenden Excel-Tabellen aggregierten Werte für Versiegelungsgrad, Pflanzenbedeckung und Baumbestand den jeweiligen Kategorien zugeordnet werden. Diese wurden mittels des Geografischen Informationssystems (GIS) ArcGIS in Rasterdaten mit einer Auflösung von 0,01° (1 km) umgewandelt und als NetCDF in die Initialisierungsdateien von COSMO-CLM eingefügt. Der LAI wurde aus Satellitendaten ermittelt und analog aufbereitet. Dieser Vorgang wird in Abbildung 19 beispielhaft für die Versiegelung dargestellt.

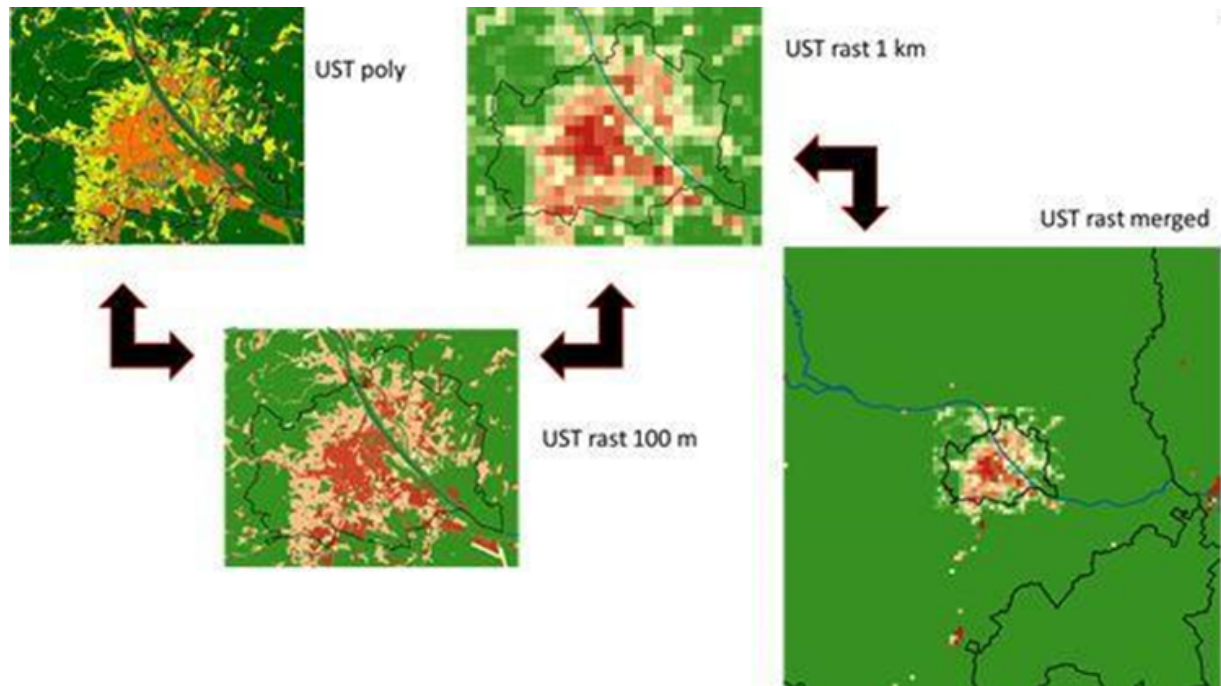


Abbildung 19: Aufbereitung der UST-Daten für die Integration in COSMO-CLM (AIT)

Schnittstellen in MUKLIMO_3

Informationen zur Landbedeckung wurden aus den Status-quo-Daten der USTs extrahiert. Diese wurden entsprechend adaptiert (z. B. Konvertierung in Rasterformat, Transformation in ein für europäische Geodaten allgemein verwendetes Koordinatenbezugssystem mittels QGIS) und in MUKLIMO_3 integriert. Viele der in den USTs verfügbaren Parameter (z. B. Versiegelungsgrad, Gebäudeanteil, Gebäudehöhe, Vegetationsanteil) konnten direkt in das Modell übertragen und simuliert werden, während es für manche anderen Parameter (z. B. Fassadenbegrünung) modellspezifische Beschränkungen gab, auf die in Kapitel 5.1.3 noch näher eingegangen wird.

Für die Berechnung der Klimaszenarien bis zum Ende des 21. Jahrhunderts mit MUKLIMO_3 und der Kuboidmethode wurden Klimasignaldaten aus COSMO-CLM (A1B-Szenario) integriert. Dabei wurden die Parameter Temperatur, relative Feuchte, Windgeschwindigkeit und Windrichtung berücksichtigt und in weiterer Folge durch Kombination mit MUKLIMO_3-Ergebnisfeldern Klimaindizes (z. B. Anzahl der Sommertage) für vergangene sowie zukünftige 30-jährige Klimanormalperioden berechnet.

Bei der Analyse der städtischen Klimaprojektionen für Wien zeigt sich eine deutliche Zunahme der urbanen Hitzebelastung bis zum Ende des 21. Jahrhunderts (siehe Abbildung 20). Dabei nimmt die mittlere jährliche Anzahl an Sommertagen im Vergleich zur Periode 1971–2000 im Mittel um etwa 19 Tage (2021–2050) bzw. 38 Tage (2071–2100) zu.

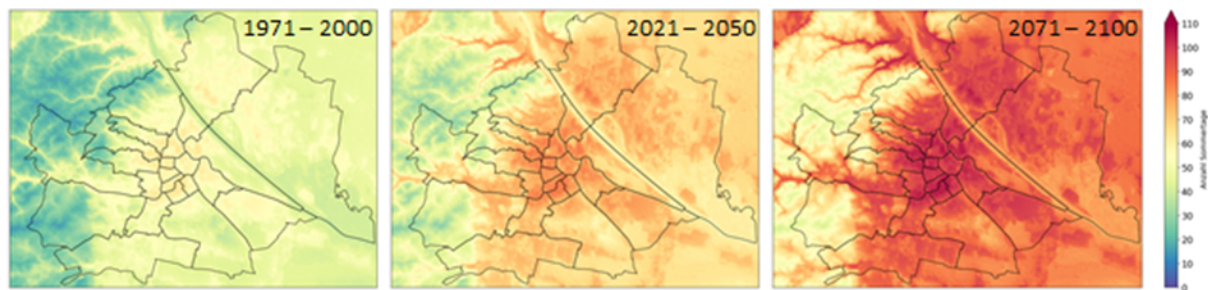


Abbildung 20: Mittlere jährliche Anzahl an Sommertagen ($T_{max} \geq 25 \text{ °C}$) für vergangene und zukünftige 30-jährige Klimanormalperioden unter Berücksichtigung des A1B-Emissionsszenarios, simuliert mit MUKLIMO_3 und unter Anwendung der Quadermethode nach Früh et al. (2011) (ZAMG)

Nach ersten Testläufen mit COSMO-CLM und MUKLIMO_3 erfolgte eine Rückkoppelung zu den USTs, die zu einer Verbesserung bzw. Verfeinerung in der Case-Study Wien-Innerfavoriten führte.

Des Weiteren kam es zu einem Datenaustausch von den höherskaligen Modellen auf urbaner bzw. regionaler Skala zum Mikroklimamodell. Informationen wie Temperatur, Luftfeuchte, Strahlung, Windrichtung und Windgeschwindigkeit konnten aus MUKLIMO_3 und COSMO-CLM nach entsprechender Aufbereitung als Inputdaten für GREENPASS/ENVI-met genutzt werden.

Abstimmung von GREENPASS und GFF

Um eine Harmonisierung zwischen GREENPASS und GFF zu erreichen, mussten in einem ersten Schritt die UGI-Elemente abgeglichen und ihr Detaillierungsgrad koordiniert werden. Dies ermöglicht es, den Input und Output beider Instrumente in beide Richtungen nutzen zu können. Für das Erdgeschoßniveau des GFF wurden die gleichen Grundelemente wie bei GREENPASS definiert, jedoch hat der GFF eine tiefergehende Typologiestruktur, da die planerische Maßstabsebene eine kleinere ist und neben der klimatischen Effektivität auch die Biodiversität und das Wohlbefinden bewertet werden (siehe Kapitel 5.2.3). Im Bereich der Gebäudebegrünung, vor allem der Fassadenbegrünung, wurden die UGI-Elemente des GFF erweitert, um auf die Exposition Rücksicht nehmen zu können. Die Ausrichtung der Fassadenbegrünung hat einen wesentlichen Einfluss auf deren Wirksamkeit und wird darum in den mikroklimatischen Berechnungen von GREENPASS berücksichtigt.

Die vorhin beschriebenen USTs wurden für Zielwertberechnungen herangezogen. Durch die Anwendung des GFF an den USTs und den hinterlegten Begrünungsszenarien war es möglich, für unterschiedliche Bebauungstypologien Minimum- und Maximum-Werte zu berechnen. Durch den Abgleich mit GFF-Berechnungen von konkreten Anwendungsbeispielen (wie z. B. der Case-Study „aspersn - Die Seestadt Wiens“ und der Case-Study Wien-Innerfavoriten) konnten die Ergebnisse der UST-Berechnungen verifiziert werden.

5.1.3. Harmonisierung anhand der Begrünungsszenarien und der Case-Study Wien-Innerfavoriten

Nach einer Harmonisierung der Modelle auf der jeweiligen Maßstabsebene für den Status quo wurden moderate und maximale Begrünungsszenarien berechnet und die daraus resultierenden klimatischen Effekte für Wien – hinsichtlich sommerlicher Durchschnittstemperatur sowie Klimaindizes wie z. B. Sommertage, Tropennächte – zwischen den Modellen verglichen (siehe Kapitel

5.1.4). In einem zweiten Schritt erfolgte eine Analyse für ein konkretes Untersuchungsgebiet in einem typischen Bestandsgebiet in Wien-Favoriten (siehe Kapitel 0). Die Vergleichbarkeit der Modellergebnisse wird in Kapitel 5.1.6 beschrieben.

Eingangsdaten für COSMO-CLM-Simulation

Basierend auf ERA-Interim-Daten (Simmons et al., 2006) des ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) für die Jahre 2000 bis 2018 wurden mit COSMO-CLM Version 4.8_19 Simulationen in drei Nestingstufen für Europa (~ 50 km), GAR (Greater Alpine Region ~ 10 km) und Österreich (~ 4 km) durchgeführt. Die Ergebnisse des 4-km-Laufs wurden dann als Input für die hochauflösenden urbanen Klimasimulationen mit einer speziellen, erweiterten Version des Modells verwendet. Als zusätzliche Information wurden hierbei hochaufgelöste Versiegelungsdaten und anthropogene Wärmeemissionen eingesetzt. Diese Simulationen umfassen einen 100 x 100 km Bereich um Wien mit einer horizontalen Auflösung von ~ 1 km. Mit diesem Set-up ist es erstmals möglich, den städtischen Wärmeinseleffekt in einem regionalen Klimamodell zu reproduzieren. Für die Untersuchungen der möglichen Klimaefekte der vier Szenarien „Status quo“, „Moderate Begrünung“, „Maximale Begrünung“ und „Worst Case“ wurden die entsprechenden Daten für Versiegelung, Pflanzenbedeckung und Baumbestand aus den Karten der USTs extrahiert und entsprechend den Möglichkeiten eines regionalen Klimamodells generalisiert. Dies bedeutet, dass im Parameter „Pflanzenbedeckung“ jedwede grüne Infrastruktur zusammengefasst wird. Dies bezieht sich ausschließlich auf horizontale Grünflächen, da in einer horizontalen Auflösung von 1 km keine Gebäude erfasst werden und somit Fassadenbegrünungen nicht berücksichtigt werden können. Mit diesen Daten wurde der Input des Klimamodells entsprechend modifiziert, wie in der nachfolgenden Abbildung 21 beispielhaft für die Bodenversiegelung gezeigt wird.

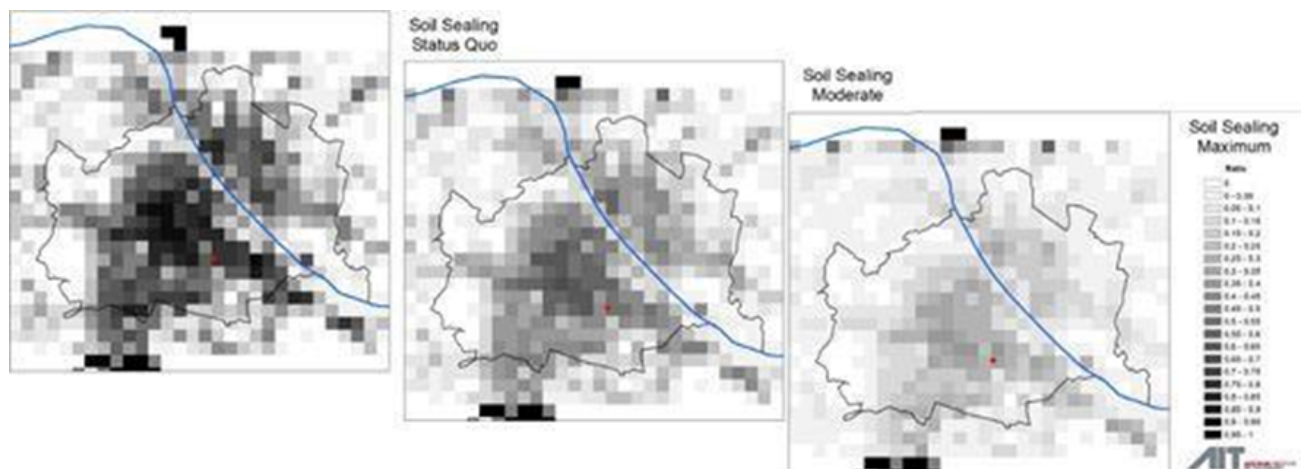


Abbildung 21: Versiegelungslayer in den Varianten „Status quo“ (SQ), „Moderate Begrünung“ (MOD) und „Maximale Begrünung“ (MAX) als Inputdaten für die regionale Klimasimulation (AIT)

Eingangsdaten für MUKLIMO_3-Simulationen

Für die Simulationen mit MUKLIMO_3 wurde die Version V141010 des Modells verwendet. Die meteorologischen Anfangsbedingungen (Temperatur, relative Feuchte, Windgeschwindigkeit und -richtung, Bedeckungsgrad) wurden so gewählt, dass sie dem zuvor definierten idealisierten Sommertag bestmöglich entsprachen. Die Landnutzungsdaten wurden sowohl für den Status quo (siehe Abbildung 22) als Beispiel für die Gesamtversiegelung) als auch für die drei Begrünungsszenarien „Moderate Case“, „Maximum Case“ und „Worst Case“ entsprechend vorbereitet und ins Modell integriert. Da es in MUKLIMO_3 nicht möglich ist, innerhalb einer Gitterzelle Gebäude und Bäume gleichzeitig zu simulieren, wurde der Baumanteil der niedrigen Vegetation zugerechnet. Bei der Simulation der UST-Begrünungsszenarien bestand eine weitere Beschränkung in Bezug auf die Fassadenbegrünung, die vom Modell nicht simuliert werden konnte. Somit wurden die Effekte von moderater und maximaler Begrünung in MUKLIMO_3 als Kombination von Entsiegelung, Erhöhung des Vegetationsanteils und Dachbegrünung im Rahmen von Sensitivitätstests untersucht. Auch die Auswirkung des Worst-Case-Szenarios, das eine zusätzliche Versiegelung auf Kosten aller vorhandenen Grünflächen beschreibt, konnte durch entsprechende Vorbereitung bzw. Modifizierung der Landnutzungsdaten vom Modell simuliert werden.

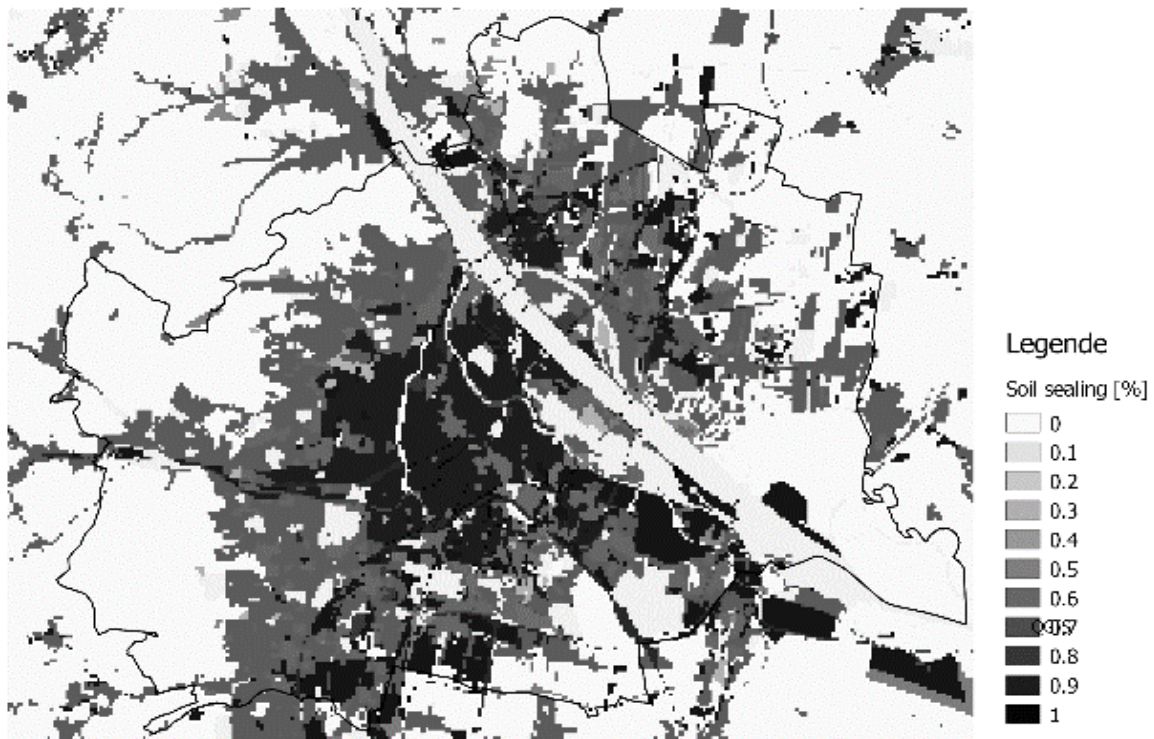


Abbildung 22: Gesamtversiegelung in MUKLIMO_3 basierend auf UST-Status-quo (SQ) (ZAMG)

Eingangsdaten für GREENPASS-Simulationen

Für die Case-Study Wien-Innerfavoriten wurden mit der GREENPASS-Software neben dem Bestand (Status quo) auch drei Begrünungsszenarien abgeleitet und definiert sowie für den „Worst Case“, „Moderate Case“ und „Maximum Case“ Simulationsmodelle generiert (siehe Abbildung 23 bis Abbildung 25).

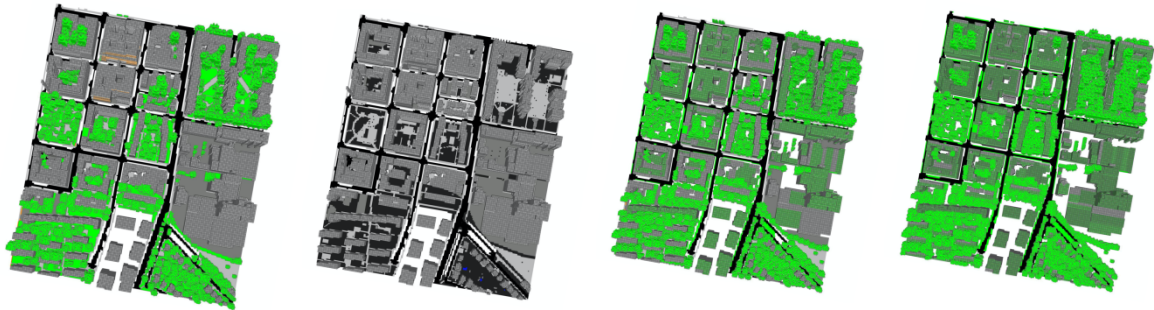


Abbildung 23: GREENPASS-Szenarien und Simulationsmodelle Grundriss: Status quo (1.), Worst Case (2.), Moderate Case (3.) und Maximum Case (4.) (Green4Cities)

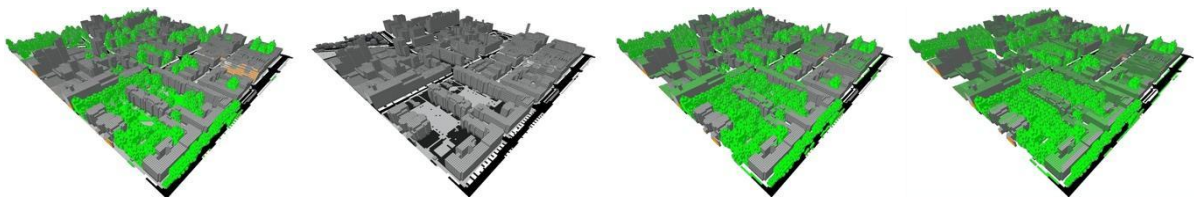


Abbildung 24: GREENPASS-Szenarien und Simulationsmodelle Perspektive SW: Status quo (1.), Worst Case (2.), Moderate Case (3.) und Maximum Case (4.) (Green4Cities)

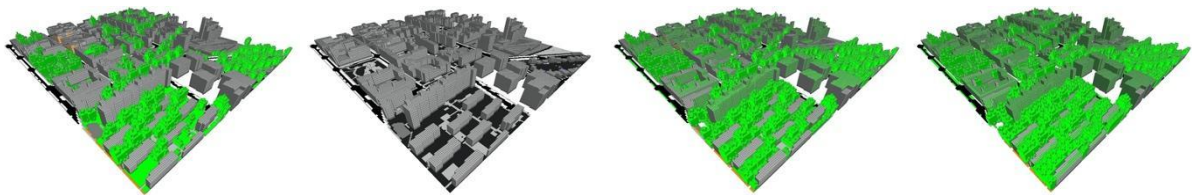


Abbildung 25: GREENPASS-Szenarien und Simulationsmodelle Perspektive NO für die Case-Study Wien-Innerfavoriten: Status quo (1.), Worst Case (2.), Moderate Case (3.) und Maximum Case (4.) (Green4Cities)

5.1.4. Ergebnisse der Begrünungsszenarien auf unterschiedlichen Stadtebenen

Nach der oben beschriebenen Aufbereitung der Datengrundlagen „Status quo“, „Worst Case“, „Moderate Case“ und „Maximum Case“ flossen diese als Inputdaten in die jeweiligen Simulationsmodelle ein. Die Simulationen zeigen, dass sich die Begrünungsszenarien deutlich auf die sommerliche Durchschnittstemperatur sowie Klimaindizes wie z. B. Sommertage und Tropennächte auswirken. Im Folgenden werden die Ergebnisse aus den drei Modellen beschrieben.

In den COSMO-CLM-Simulationen konnte gezeigt werden, dass vor allem die Nachttemperaturen mit zunehmender Begrünung entsprechend abgesenkt werden können und in weiten Bereichen der Stadt im Mittel Reduktionspotenziale von mehr als 2 °C erreichbar sind. Dies macht sich vor allem in einer deutlichen Abnahme der Anzahl der Tropennächte ($T_{min} > 20\text{ °C}$) bemerkbar (Abbildung 26). Der entsprechende Trend ist auch in den Tagesgängen von zwei ausgewählten Tagen erkennbar (Abbildung 27).

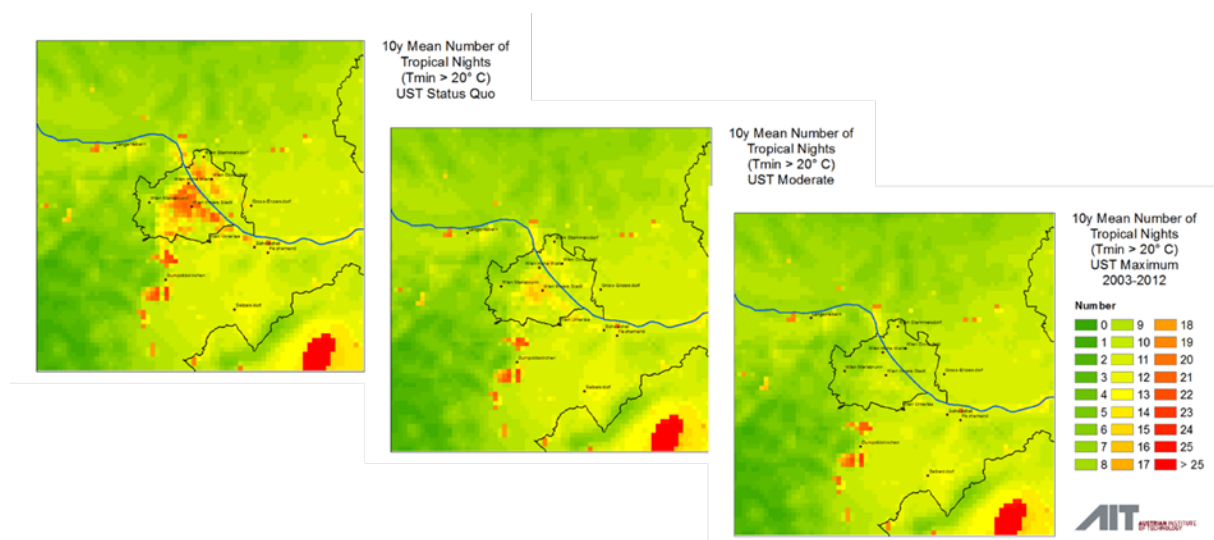


Abbildung 26: Zahl der Tropennächte (im 10-jährigen Mittel) im Status quo und in den Begrünungsvarianten simuliert mit COSMO-CLM (AIT)

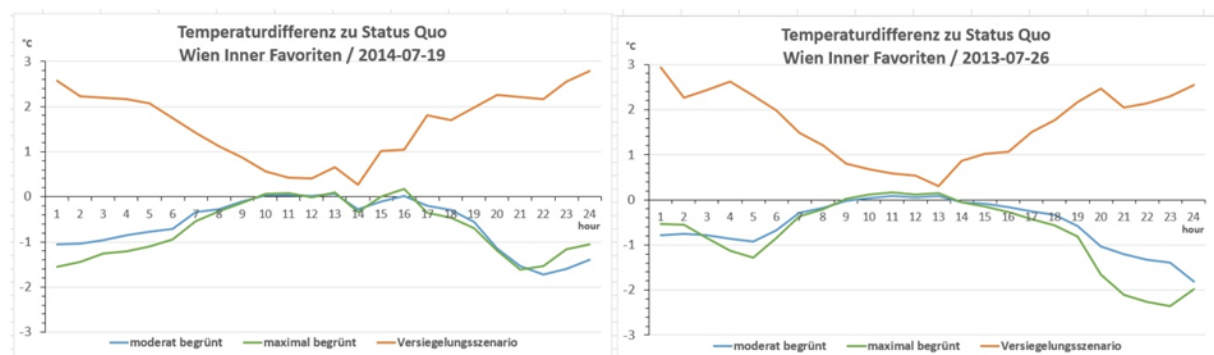


Abbildung 27: Temperaturdifferenzen (relativ zum Status quo) der Szenarien „Moderate Begrünung“ (blau), „Maximale Begrünung“ (grün), „Versiegelung“ (orange) simuliert mit COSMO-CLM. Eine Temperaturreduktion bei den Begrünungsvarianten und eine Temperaturzunahme beim Versiegelungsszenario sind vor allem nachts sichtbar (AIT)

Positiv zu bewerten ist die Tatsache, dass die Begrünungsszenarien während der Sommermonate eine signifikante Temperaturreduktion ermöglichen, während im Winter nahezu keine Änderungen

zum Status quo festzustellen sind. Im Sommer kann die Tagesmitteltemperatur großflächig um deutlich mehr als 1 °C abgesenkt werden, im Winter reduzieren sich die Unterschiede auf sporadische Ereignisse mit weniger als 0,5 °C Differenz (Abbildung 28).

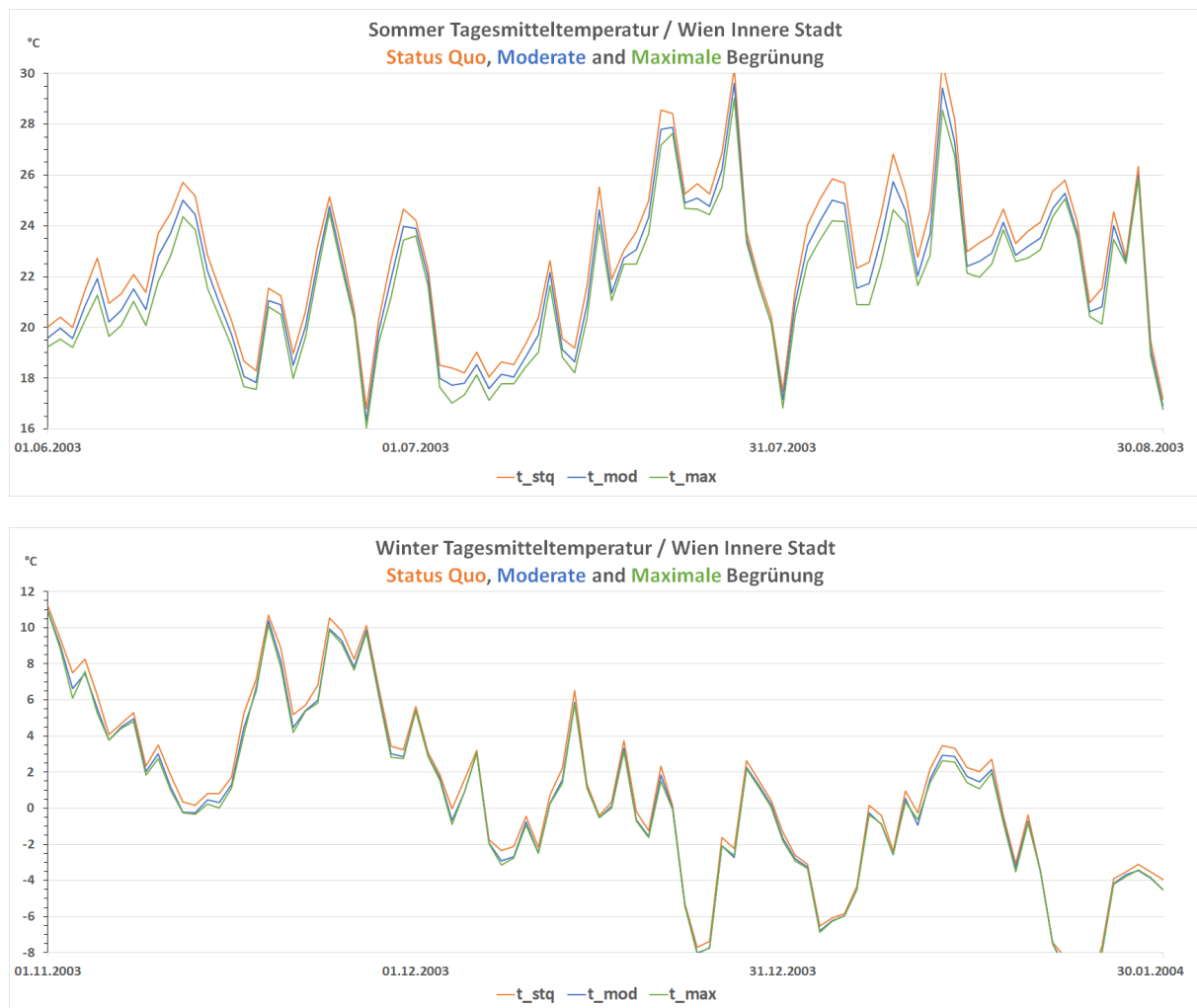


Abbildung 28: Tagesmitteltemperatur für Status quo und Begrünungsszenarien im Sommer (oben) und Winter (unten) simuliert mit COSMO-CLM (AIT)

Die Simulationen in MUKLIMO_3 auf Stadtebene stimmen im Wesentlichen mit den Aussagen von COSMO-CLM überein.

Die folgende Abbildung 29 zeigt die räumliche Verteilung der Lufttemperatur für Wien basierend auf den USTs (Status quo) für den idealisierten Sommertag tagsüber (links) und nachts (rechts). Abhängig von den unterschiedlichen Bebauungsstrukturen, Versiegelungsgraden und Begrünungsanteilen erwärmen sich speziell die inneren Stadtteile tagsüber stärker als die umliegenden Gebiete und die Ausbildung einer urbanen Wärmeinsel wird deutlich sichtbar. Auch nachts zeigt sich, dass sich die innerstädtischen Gebiete langsamer abkühlen als die Umgebung.

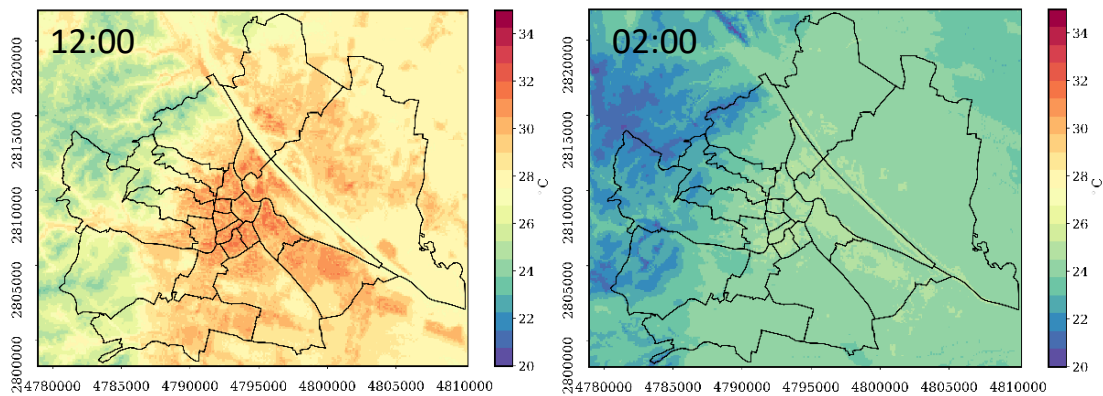


Abbildung 29: Räumliche Verteilung der 2-m-Temperatur basierend auf den USTs für einen idealisierten Sommertag tagsüber (links) und nachts (rechts) simuliert mit MUKLIMO_3 (ZAMG)

Abbildung 30 zeigt den Effekt der moderaten und maximalen Begrünungsszenarien auf die maximale Lufttemperatur unter der Annahme, dass die Szenarien auf alle UST-Klassen angewendet werden. Es zeigt sich, dass sich Begrünung in allen bebauten Teilen der Stadt positiv auswirkt und speziell dort, wo aktuell ein hoher Versiegelungsgrad vorherrscht, ein deutlicher Kühlungseffekt erreicht werden kann.

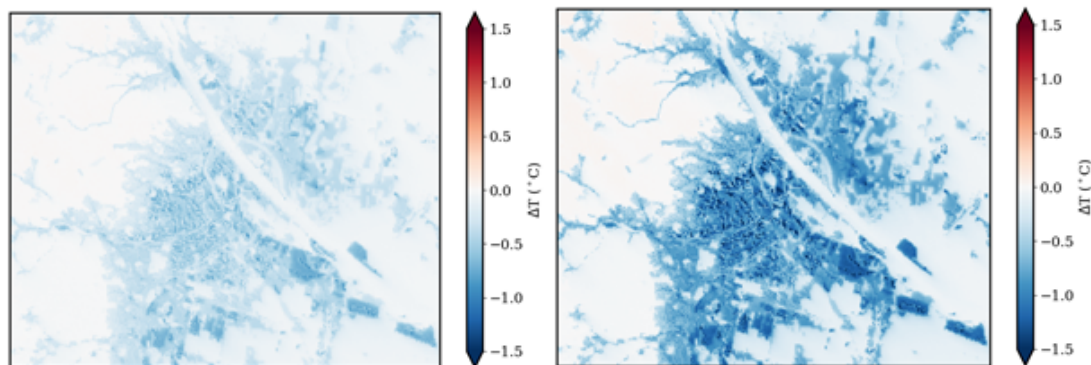


Abbildung 30: Effekt der Begrünungsszenarien; Differenz in Maximaltemperatur für moderates (links) und maximales (rechts) Begrünungsszenario im Vergleich zu Status quo simuliert mit MUKLIMO_3 (ZAMG)

Auch die Mikroklimasimulationen mit GREENPASS können die Grundaussagen von COSMO-CLM und MUKLIMO_3 bestätigen.

Bei den GREENPASS-Berechnungen des Tagesgangs der Lufttemperatur (Abbildung 31) innerhalb des Untersuchungsgebiets Wien-Innerfavoriten zeigt sich allerdings, dass bei den moderaten und maximalen Begrünungsszenarien speziell tagsüber ein deutlicher Kühlungseffekt auftritt, in der Nacht der Effekt jedoch kaum ausgeprägt ist. Hingegen macht sich beim Worst-Case-Szenario die Auswirkung der zusätzlichen Versiegelung hauptsächlich nachts durch eine im Vergleich zum Status quo erhöhte Temperatur bemerkbar.

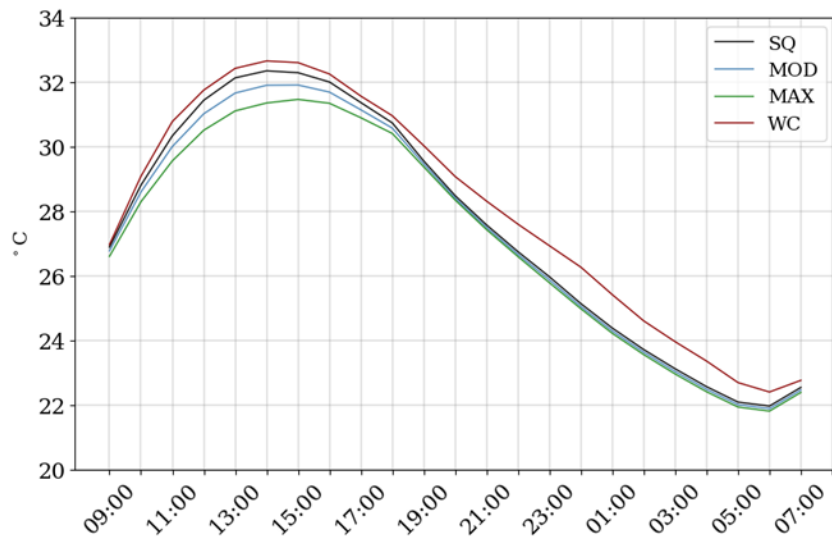


Abbildung 31: Tagesgang der über das Untersuchungsgebiet Wien-Innerfavoriten gemittelten Lufttemperatur für die vier UST-Szenarien simuliert mit MUKLIMO_3 (ZAMG)

5.1.5. Ergebnisse UST-Begrünungsszenarien Case-Study Wien-Innerfavoriten

In der Case-Study Wien-Innerfavoriten, einem dichten Bestandsgebiet des 10. Bezirks, wurde der Fokus auf die Vergleichbarkeit der drei Instrumente COSMO-CLM, MUKLIMO_3 und GREENPASS gelegt. Die Ergebnisse aus den drei Modellen wurden anhand bestimmter Schlüsselparameter, die in allen drei Modellen verfügbar sind, verglichen. Obwohl die Modelle völlig unterschiedliche Skalierung haben und auf unterschiedlichen Berechnungsalgorithmen basieren, konnten doch in allen drei Modellen ähnliche Effekte durch Begrünungsmaßnahmen nachgewiesen werden.

Für das Untersuchungsgebiet wurde innerhalb des Zielgebiets Kretaviertel/Wien-Innerfavoriten, auf Basis der auftretenden urbanen Strukturen und Raster, eine ca. 25 ha große, rechteckige Projektfläche definiert (siehe Abbildung 32). Für die weitere Koordination wurden die GPS-Koordinaten (WGS81/EPSS Code 3857) für die Schnittstellenübergabe zu den weiteren Modellen definiert.



Abbildung 32: Verortung Untersuchungsgebiet (Map data ©2020 Google)

Bevor der Fokus explizit auf den Vergleich und die Harmonisierung der Modellergebnisse gelegt wird, werden im Folgenden Ergebnisse aus dem GREENPASS vorgestellt.

GREENPASS

Die Ergebnisse der GREENPASS-Analyse zeigen die unterschiedlichen Wirkungen der verschiedenen Begrünungsszenarien und -maßnahmen. „Worst Case“ setzt hierbei den unteren Rahmenbereich, „Maximum Case“ die obere Rahmengrenze. Die Begrünungsszenarien „Moderate Case“ und „Maximum Case“ zeigen im Vergleich zum Status quo eine deutliche Steigerung und Verbesserung der betrachteten Schlüsselindikatoren. Hinsichtlich Thermischen Komforts (TCS) erreicht das Projektgebiet im Status quo nur ca. 50 % des möglichen Scores. Die Ergebnisse zeigen, dass die Strahlung (RAD) – v. a. gegenüber dem „Worst Case“, aber auch Status quo – in den Begrünungsszenarien deutlich reduziert werden kann. Auch der Beschattungsfaktor der Oberflächen

(SAF) wird mit zusätzlicher Begrünung erhöht sowie auch der Run-off-Score (ROS) stark reduziert bzw. verbessert – von 0,9 im „Worst Case“, 0,7 im Bestand, bis hin zu 0,38 im „Maximum Case“-Szenario. Neben der zusätzlichen Blattfläche kann v. a. auch die CO₂-Speicherung (CSS) durch den forcierten Einsatz von Vegetation im Projektgebiet deutlich verbessert und erhöht werden (von 0 kg/Tag im WOC, ca. 66 kg/Tag im Status quo, bis hin zu ca. 169 kg/Tag im Szenario mit Maximalbegrünung) (siehe Abbildung 33).

	STATUS QUO		WORST CASE		MODERATE		MAXIMUM	
TCS Thermal Comfort Score	33,48	52,21 %	19,20	0,00 %	42,42	84,90 %	46,55	100,00 %
PET Thermal Performance	41,444	66,42 %	45,702	0,00 %	39,946	89,78 %	39,291	100,00 %
RAD Radiation	254,08 GW	60,32 %	344,79 GW	0,00 %	217,07 GW	84,93 %	194,40 GW	100,00 %
SAF Shaded Area Factor	0,337	50,12 %	0,251	0,00 %	0,390	81,02 %	0,423	100,00 %
ROS RUN OFF Score	0,70	37,19 %	0,90	0,00 %	0,52	72,89 %	0,38	100,00 %
CSS Carbon Sequestration Score	66,28 kg/day	39,16 %	0,00 kg/day	0,00 %	116,79 kg/day	69,00 %	169,25 kg/day	100,00 %
LA Leaf Area	22,76 ha	47,59 %	0,00 ha	0,00 %	37,72 ha	78,86 %	47,83 ha	100,00 %

Abbildung 33: GREENPASS – Vergleich der Ergebnisse für unterschiedliche Begrünungsszenarien in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten (Green4Cities)

Thermischer Komfort / Gefühlte Temperatur

Folgende Abbildungen zeigen den Thermischen Komfort bzw. die Gefühlte Temperatur für das Projektgebiet sowie die Begrünungsszenarien um 15 Uhr an dem betrachteten idealisierten Hitzetag in Relation und gleicher Farblegende zu den Klassen des Thermischen Komforts (TCS) (siehe Abbildung 34 bis Abbildung 37).

Thermischer Komfort / Gefühlte Temperatur für Status-quo-Szenario

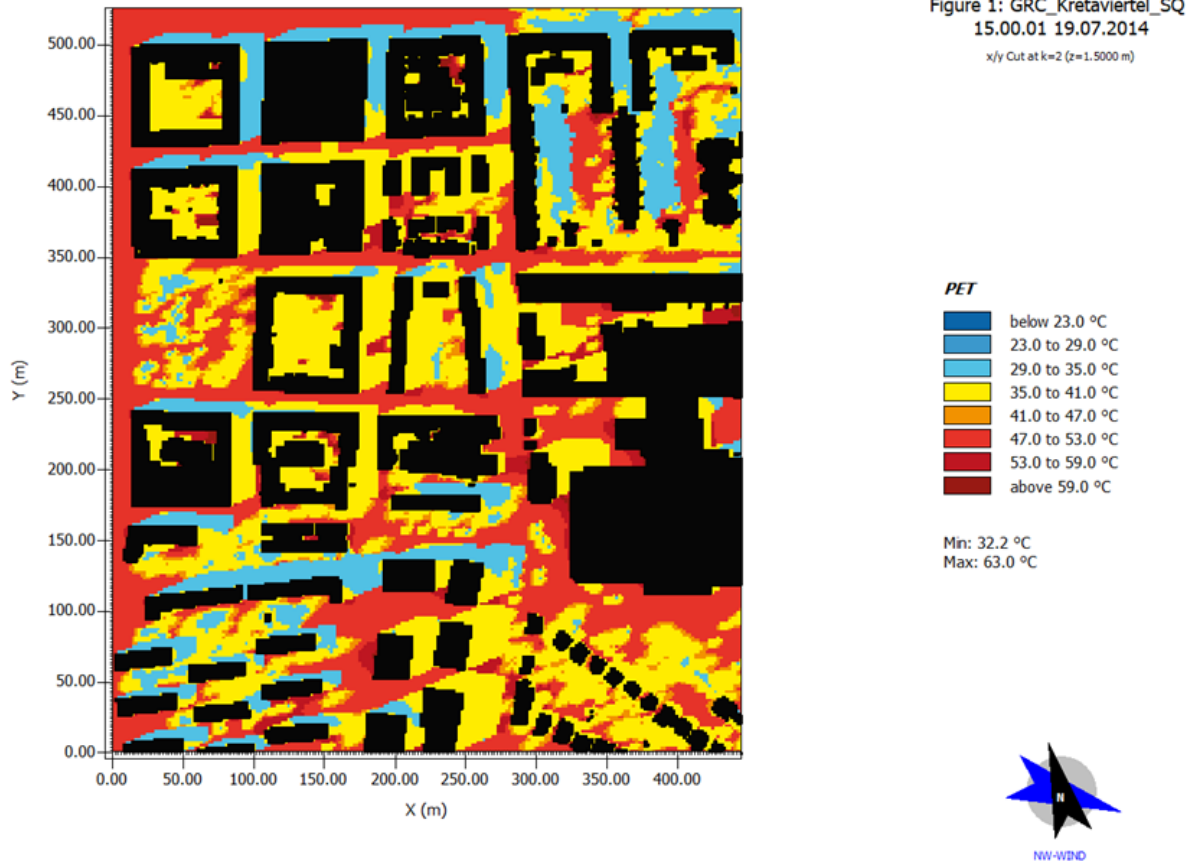


Abbildung 34: GREENPASS – Thermischer Komfort / Gefühlte Temperatur für Status-quo-Szenario in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten, 15 Uhr (Green4Cities)

Thermischer Komfort / Gefühlte Temperatur für Worst-Case-Szenario

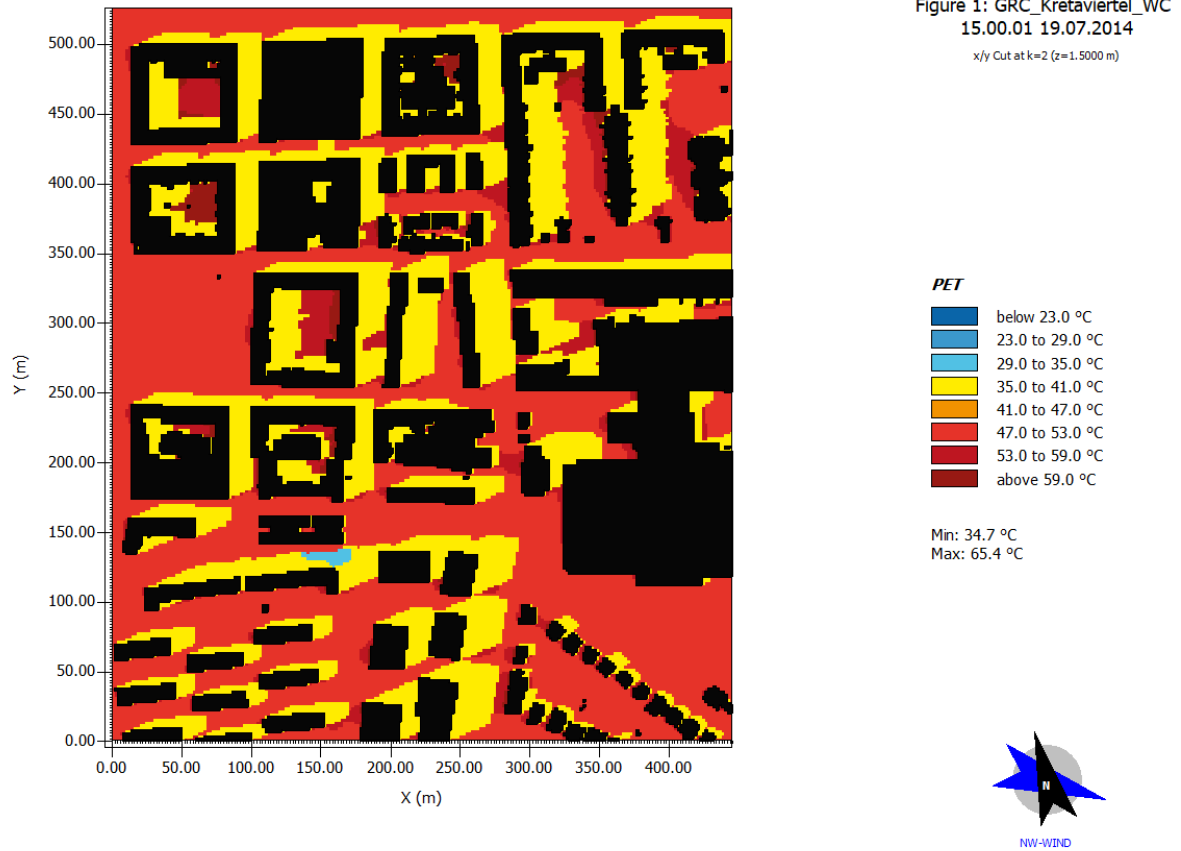


Abbildung 35: GREENPASS – Thermischer Komfort / Gefühlte Temperatur für Worst-Case-Szenario in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten, 15 Uhr (Green4Cities)

Thermischer Komfort / Gefühlte Temperatur für Moderate-Case-Szenario

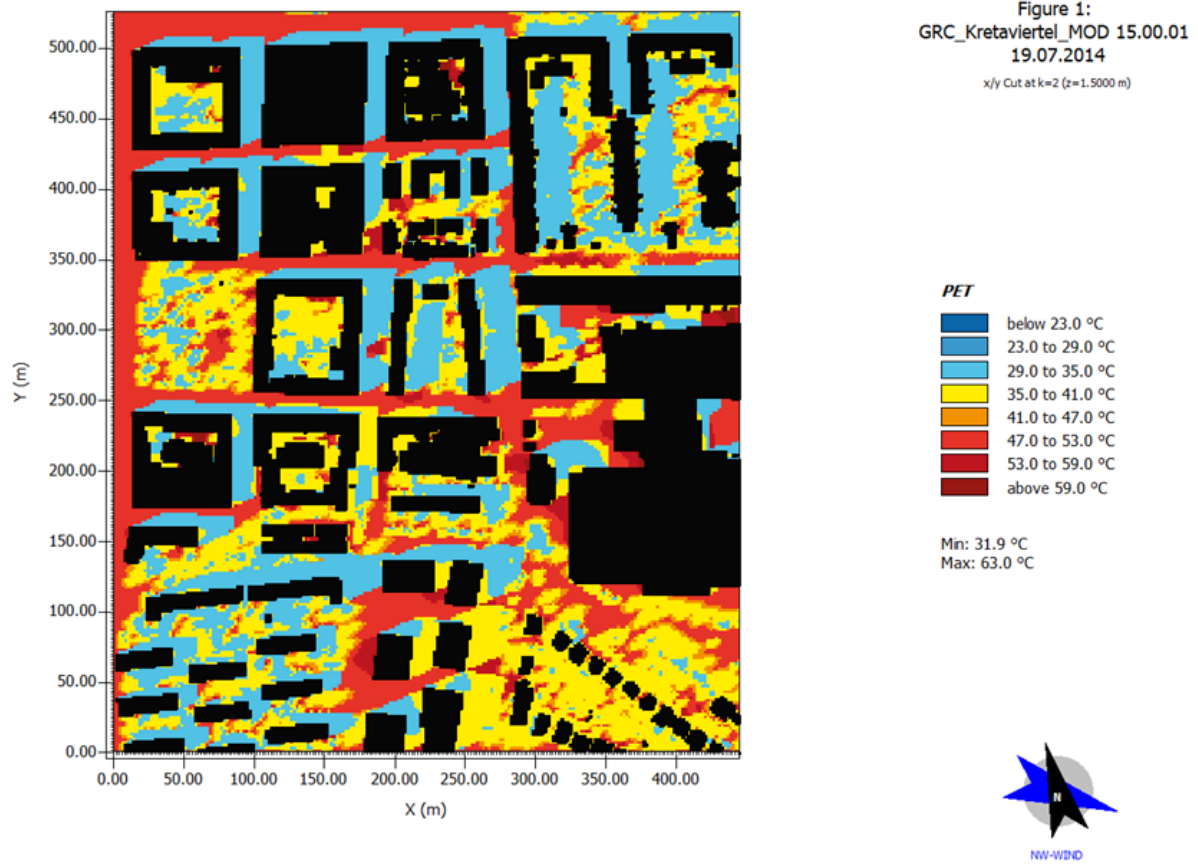


Abbildung 36: GREENPASS – Thermischer Komfort / Gefühlte Temperatur für Moderate-Case-Szenario in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten, 15 Uhr (Green4Cities)

Thermischer Komfort / Gefühlte Temperatur für das Maximum-Case-Szenario

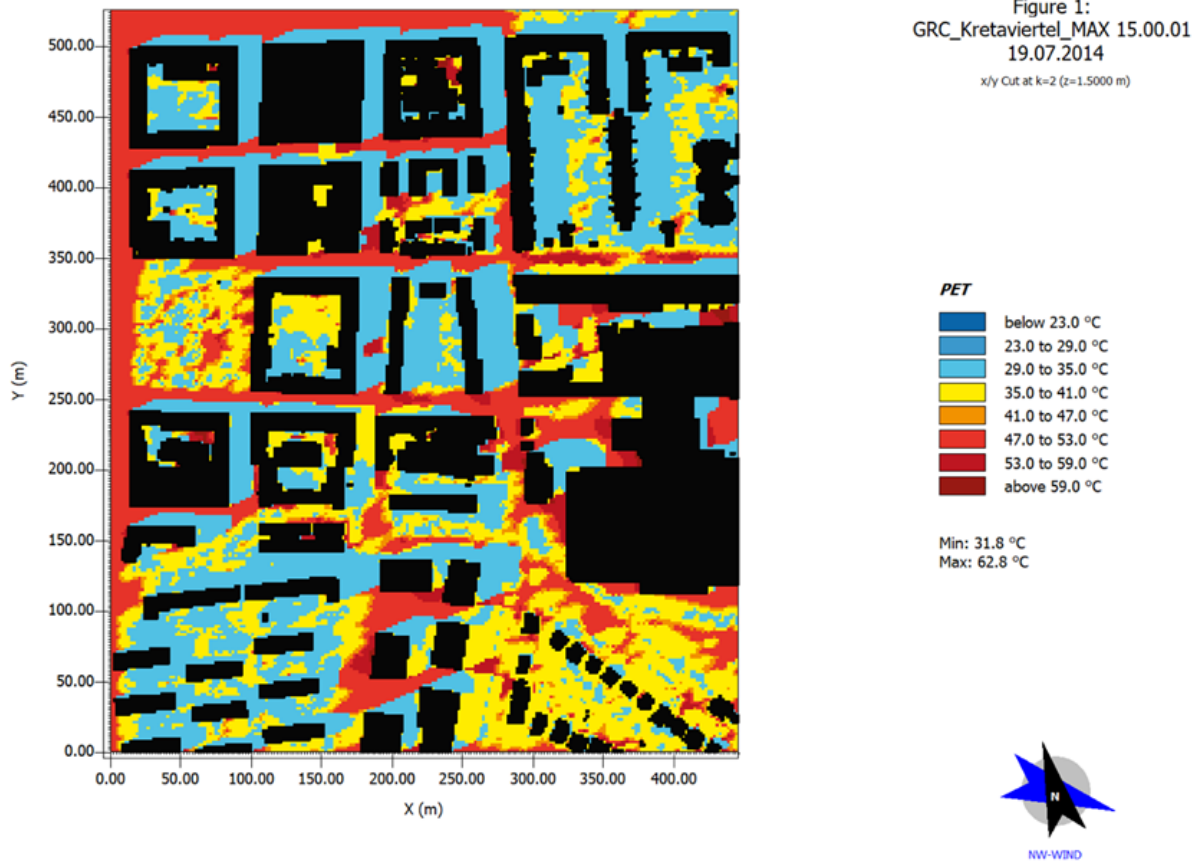
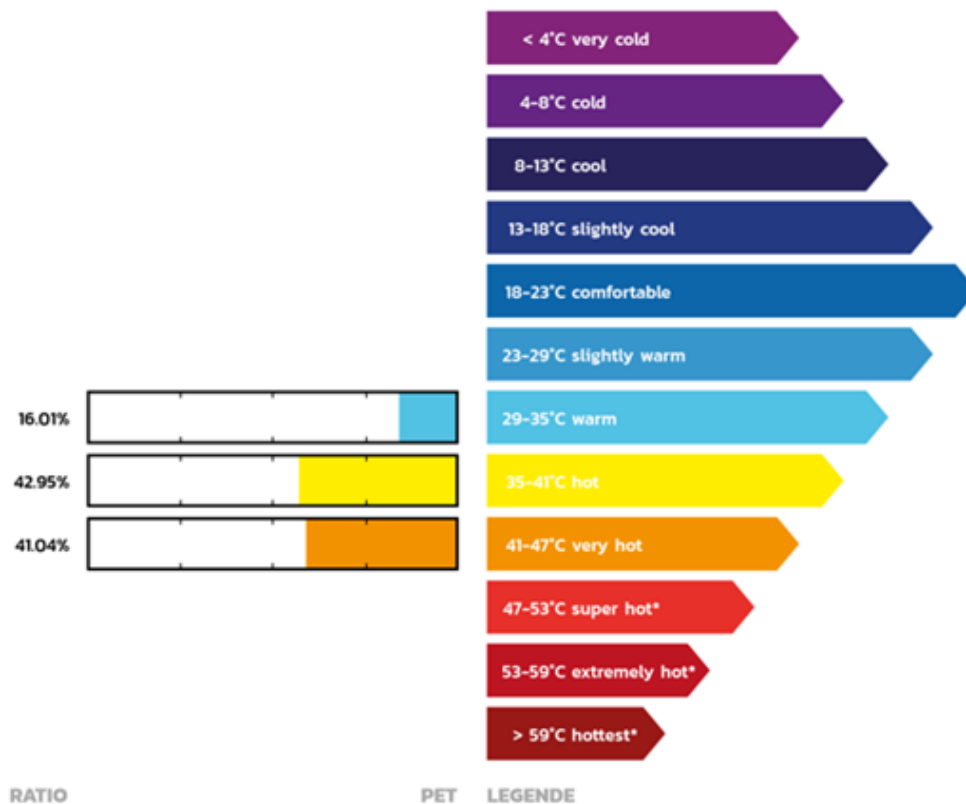


Abbildung 37: GREENPASS – Thermischer Komfort / Gefühlte Temperatur für das Maximum-Case-Szenario in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten, 15 Uhr (Green4Cities)

Numerische Darstellung des Thermischen Komforts

Abbildung 38 bis Abbildung 41 zeigen den Thermischen Komfort für die vier verschiedenen Szenarien numerisch dargestellt sowie die flächenmäßige Verteilung der Gefühlsklassen in dem Projektgebiet. Der Thermische Komfort-Wert (Thermal-Comfort-Score, TCS) – im Status quo 33 TCS – kann im „Moderate Case“ (42 TCS) und „Maximum Case“ (45 TCS) klar verbessert werden.

Thermischer Komfort-Wert für Status-quo-Szenario



02 😊 TCS TOTAL 33.48 PUNKTE

NAME Kretaviertel

SZENARIO Status Quo Worst Case Moderate Maximum

AUSWERTUNG ☀️ **Hitzetag** Juli 19 15:00

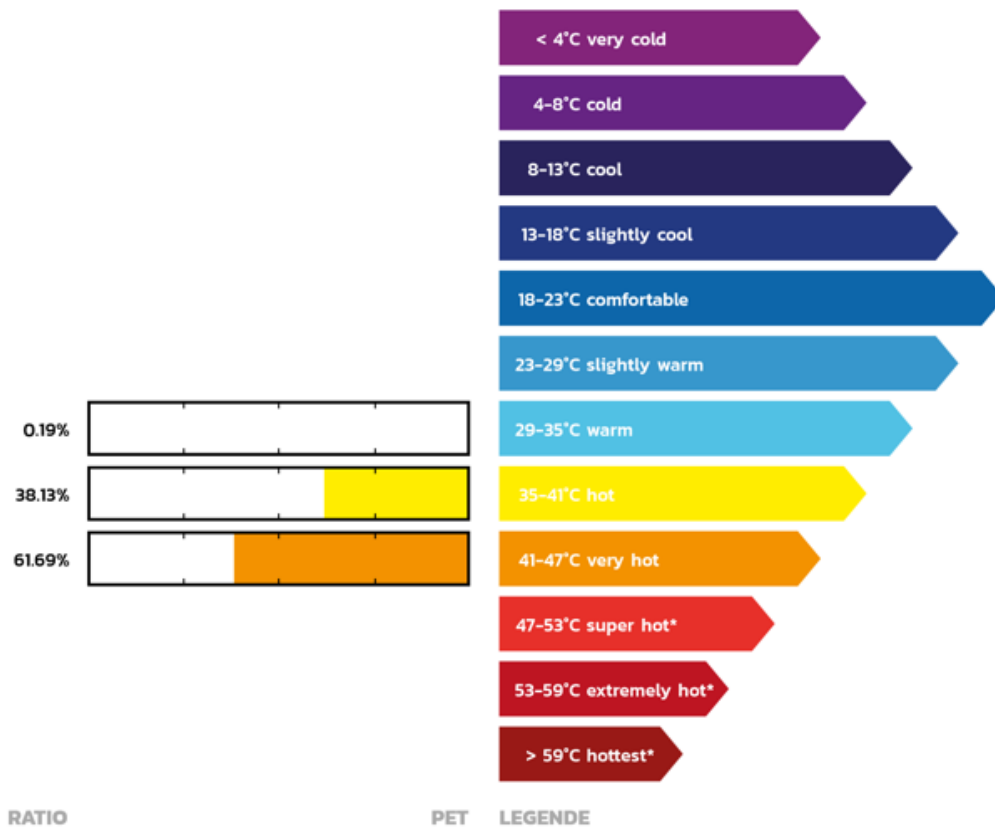
ID AT-2019-GRC Kinder Erwachsene Ältere

TOOLBOX 📄 GREENPASS Assessment

* Thermische Komfort Klasse wurde zur visuellen Darstellung und Differenzierung der heißen Temperaturen gebildet und erweitert die Messkala. Sie fließt jedoch nicht in die Bewertung des TCS ein.

Abbildung 38: GREENPASS – Thermischer Komfort-Wert für Status-quo-Szenario in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten, 15 Uhr (Green4Cities)

Thermischer Komfort-Wert für Worst-Case-Szenario



02 😊 TCS
TOTAL
1.20 PUNKTE

NAME Kretaviertel

SZENARIO Status Quo Worst Case Moderate Maximum

AUSWERTUNG ☀️ **Hitzetag** Juli 19 15:00

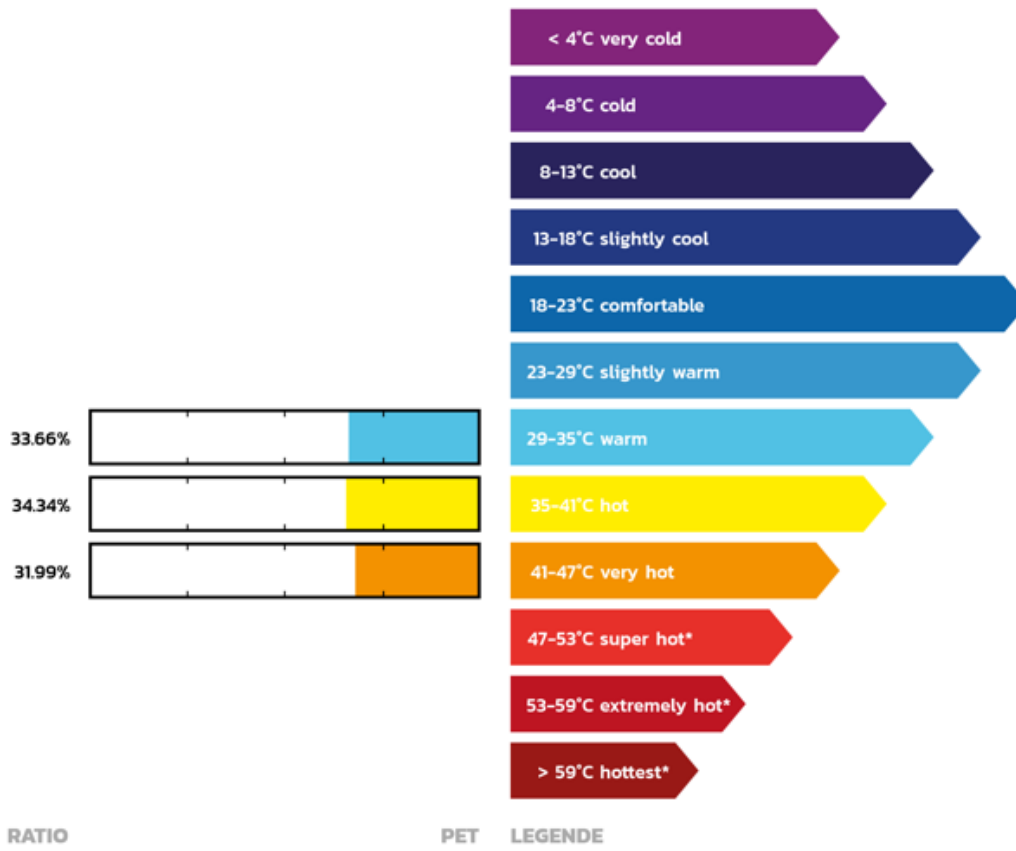
ID AT-2019-GRC Kinder Erwachsene Ältere

TOOLBOX 🔧 GREENPASS Assessment

* Thermische Komfort Klasse wurde zur visuellen Darstellung und Differenzierung der heißen Temperaturen gebildet und erweitert die Messkala. Sie fließt jedoch nicht in die Bewertung des TCS ein.

Abbildung 39: GREENPASS – Thermischer Komfort-Wert für Worst-Case-Szenario in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten, 15 Uhr (Green4Cities)

Thermischer Komfort-Wert für Moderate-Case-Szenario



02 TCS
TOTAL 42.42 **PUNKTE**

THERMISCHER KOMFORT WERT

NAME Kretaviertel

SZENARIO Status Quo Worst Case Moderate Maximum

AUSWERTUNG **Hitzetag** Juli 19 15:00

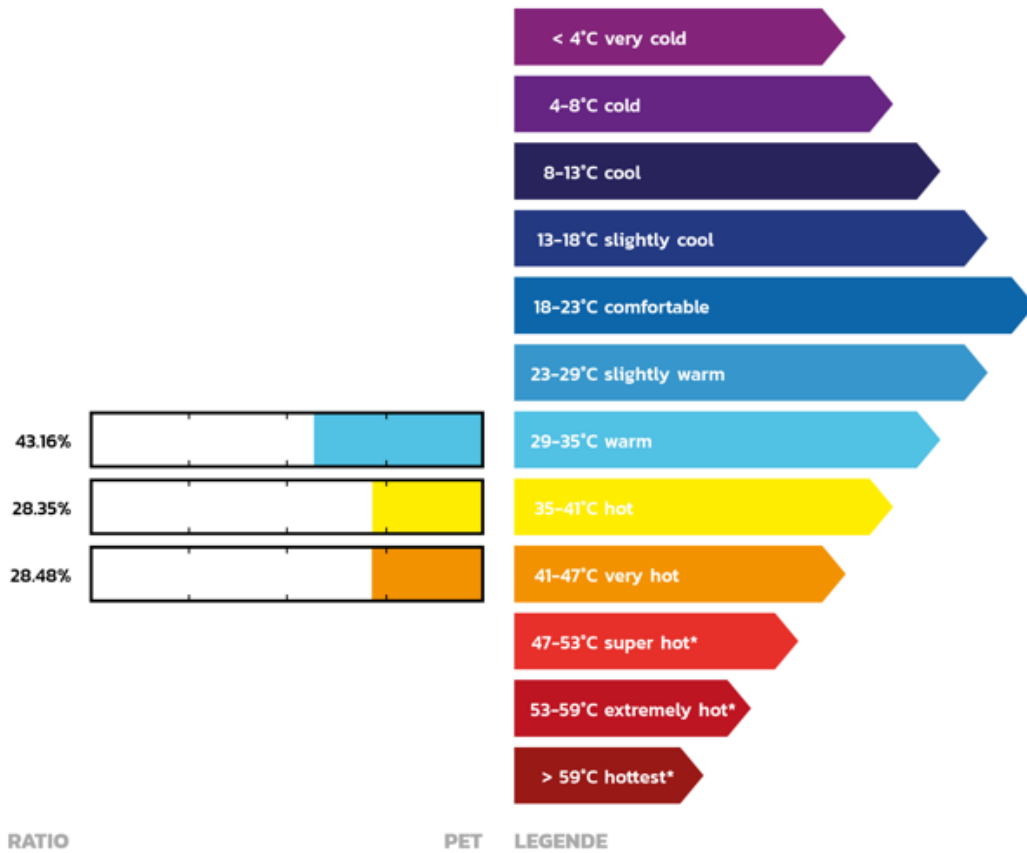
ID AT-2019-GRC Kinder Erwachsene Ältere

TOOLBOX **GREENPASS Assessment**

* Thermische Komfort Klasse wurde zur visuellen Darstellung und Differenzierung der heißen Temperaturen gebildet und erweitert die Messskala. Sie fließt jedoch nicht in die Bewertung des TCS ein.

Abbildung 40: GREENPASS – Thermischer Komfort-Wert für Moderate-Case-Szenario in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten, 15 Uhr (Green4Cities)

Thermischer Komfort-Wert für Maximum-Case-Szenario



02 TCS
TOTAL
46.55 PUNKTE

NAME Kretaviertel

SZENARIO Status Quo Worst Case Moderate Maximum

AUSWERTUNG **Hitzetag** Juli 19 15:00

ID AT-2019-GRC Kinder Erwachsene Ältere

TOOLBOX **GREENPASS Assessment**

* Thermische Komfort Klasse wurde zur visuellen Darstellung und Differenzierung der heißen Temperaturen gebildet und erweitert die Messskala. Sie fließt jedoch nicht in die Bewertung des TCS ein.

Abbildung 41: GREENPASS – Thermischer Komfort-Wert für Maximum-Case-Szenario in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten, 15 Uhr (Green4Cities)

Lufttemperatur für die verschiedenen Szenarien

Abbildung 42 bis Abbildung 45 zeigen folgend die Lufttemperatur für die verschiedenen Szenarien des Projektgebiets um 15 Uhr des idealisierten Hitzetages.

Lufttemperatur für Status-quo-Szenario

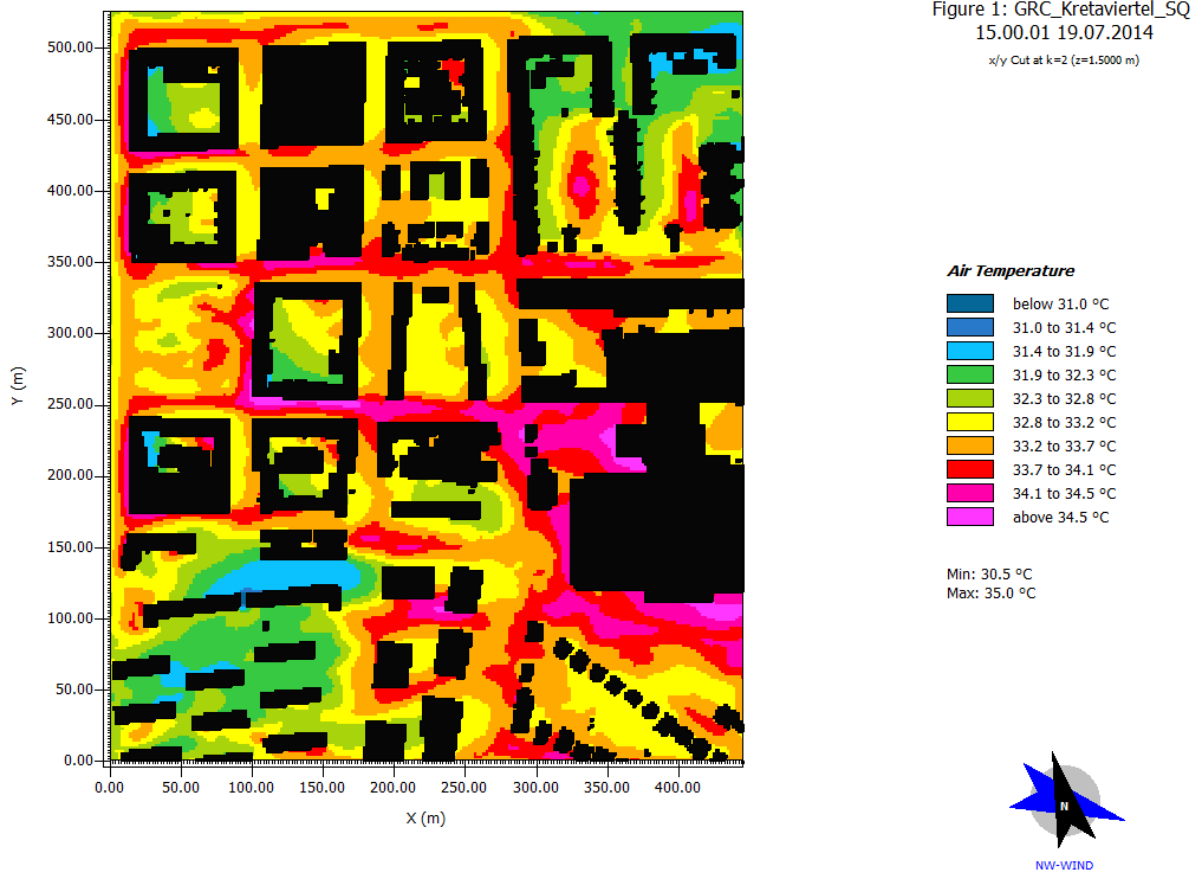


Abbildung 42: GREENPASS – Lufttemperatur für Status-quo-Szenario in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten, 15 Uhr (Green4Cities)

Lufttemperatur für Worst-Case-Szenario

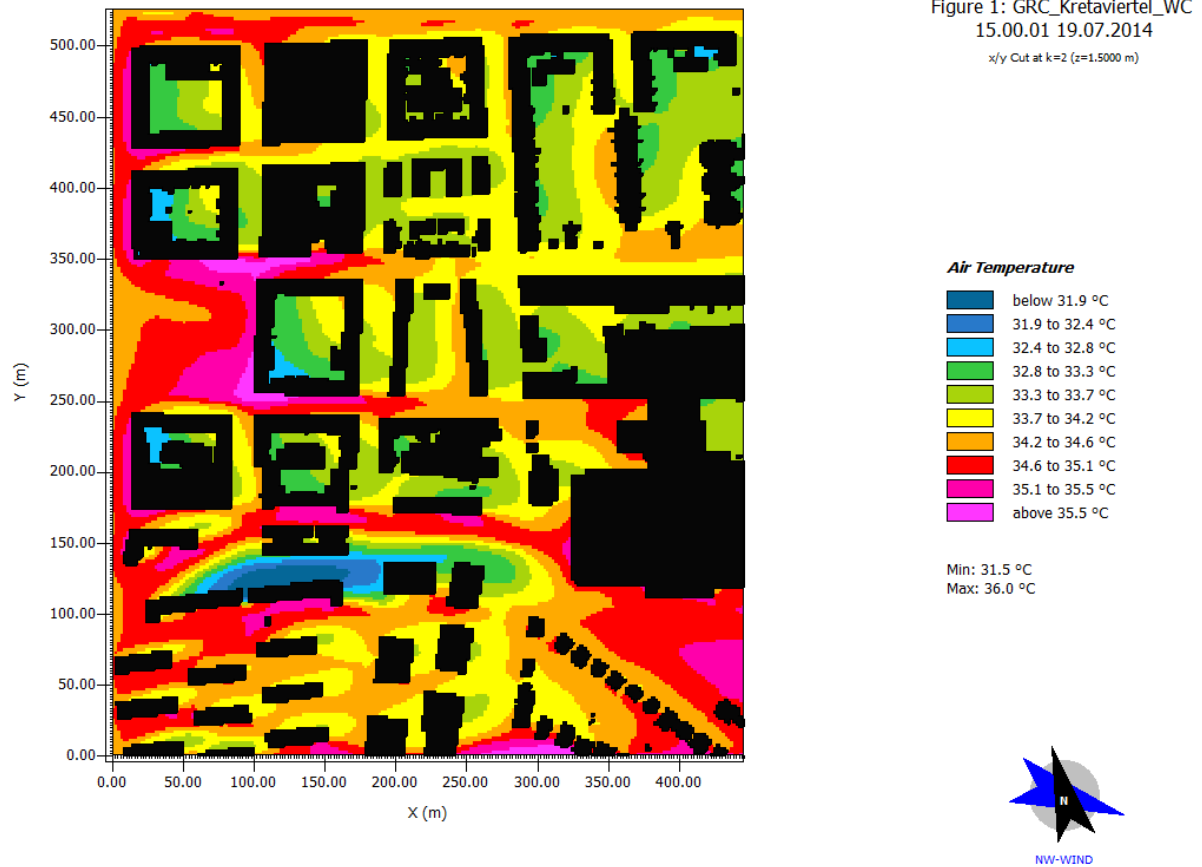


Abbildung 43: GREENPASS – Lufttemperatur für Worst-Case-Szenario in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten, 15 Uhr (Green4Cities)

Lufttemperatur für Moderate-Case-Szenario

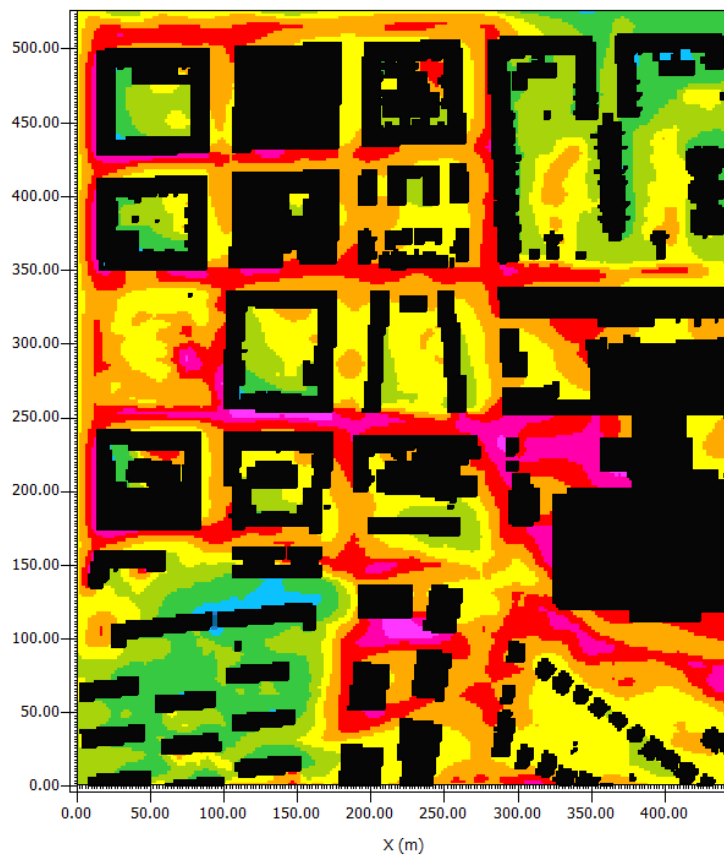
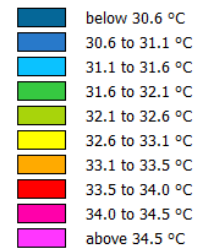


Figure 1:
GRC_Kretaviertel_MOD 15.00.01
19.07.2014
x/y Cut at k=2 (z=1.5000 m)

Air Temperature



Min: 30.1 °C
Max: 35.0 °C



Abbildung 44: GREENPASS – Lufttemperatur für Moderate-Case-Szenario in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten, 15 Uhr (Green4Cities)

Lufttemperatur für Maximum-Case-Szenario

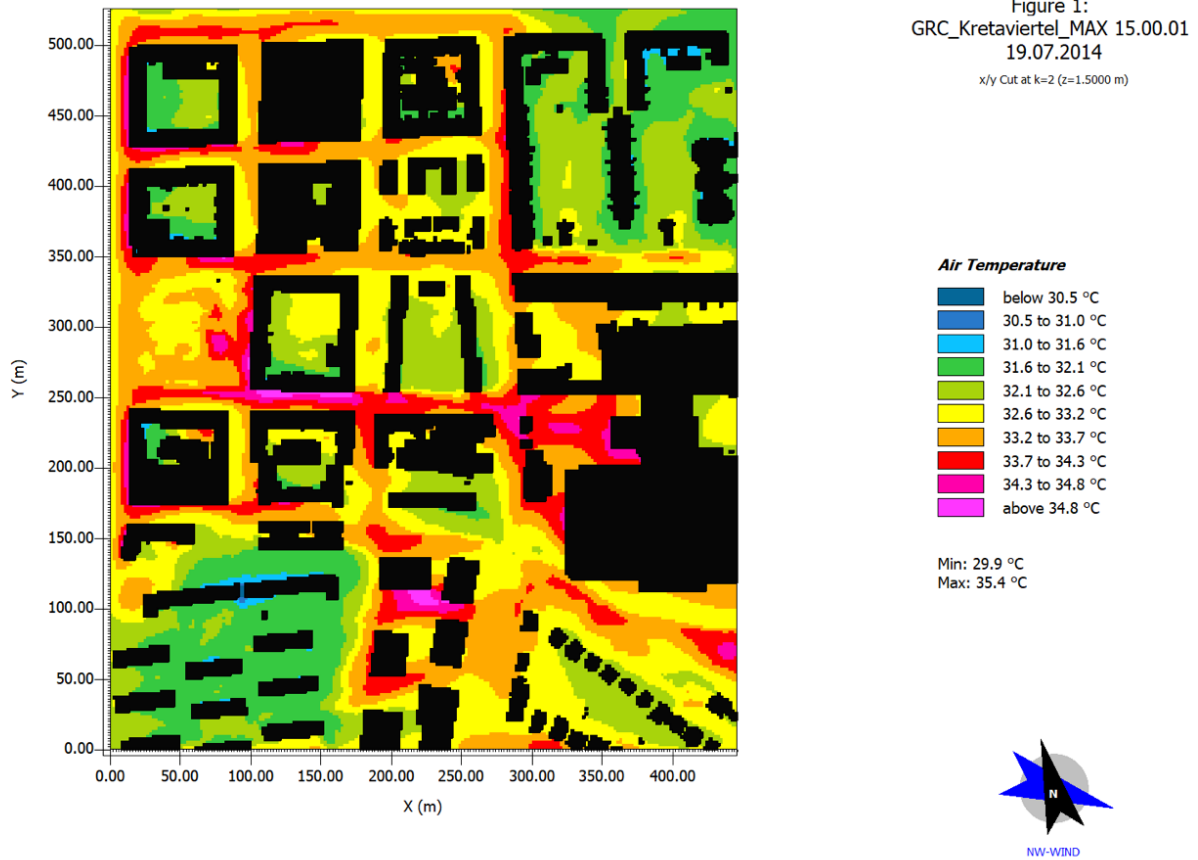


Abbildung 45: GREENPASS – Lufttemperatur für Maximum-Case-Szenario in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten, 15 Uhr (Green4Cities)

5.1.6. Vergleichbarkeit der Modellergebnisse anhand der Case-Study Wien-Innerfavoriten

Nach der Darstellung der Ergebnisse aus den drei Modellen wurde in einem weiteren Schritt der Fokus auf die Vergleichbarkeit der drei Instrumente COSMO-CLM, MUKLIMO_3 und GREENPASS gelegt. Die Ergebnisse aus den drei Modellen wurden anhand bestimmter Schlüsselparameter, die in allen drei Modellen verfügbar sind, verglichen. Wie sich schon aus den davor beschriebenen Ergebnissen der einzelnen Modelle ableiten lässt, konnten in allen drei Modellen ähnliche Effekte durch Begrünungsmaßnahmen nachgewiesen werden, obwohl die Modelle völlig unterschiedliche Skalierung haben und auf unterschiedlichen Berechnungsalgorithmen basieren. Im Folgenden wird dies anhand von Schlüsselparametern nochmals detailliert aufbereitet.

Um die entsprechenden Werte aus den Ergebnissen des regionalen Klimamodells COSMO-CLM zu extrahieren, wurden die geographischen Koordinaten des Untersuchungsgebiets in die Projektion des Modells überführt. Danach wurden mithilfe des GIS ArcINFO Daten für Temperatur, Niederschlag, Wind, Bodenfeuchte und Strahlung aus den Rasterdateien extrahiert und in Excel-Tabellen abgespeichert. Diese wurden anschließend für alle simulierten Jahre und Szenarien zusammengeführt und ausgewertet.

Die Werte in den jeweiligen Rasterzellen aus den drei Modellen wurden einander gegenübergestellt. Folgende Werte wurden verglichen:

- Versiegelungsgrad
- Grünanteil
- Temperaturmittel über 24 Stunden
- Tagesmittelwert (10–18 Uhr)
- Nachtmittelwert (22–6 Uhr)
- Maximaltemperatur in 24 Stunden
- Minimaltemperatur in 24 Stunden

Bereits beim Vergleich des Versiegelungsgrades zeigt sich, dass alle drei Modelle ähnliche Werte zeigen, jedoch auch Unterschiede erkennbar sind (siehe Abbildung 46). Die Unterschiede zwischen Status quo und maximaler Begrünung sind in GREENPASS und COSMO_CLM am größten. Der Versiegelungsgrad nimmt zwar auch im MUKLIMO_3-Modell vom Status quo zur maximalen Begrünungsvariante deutlich ab, jedoch ist die Schwankungsbreite geringer. Da der Versiegelungsgrad komplementär zum Begrünungsanteil ist und wesentlichen Einfluss auf die Klimasimulationen hat, setzen sich die Erkenntnisse aus diesem Parameter auch in den Temperaturwerten fort.

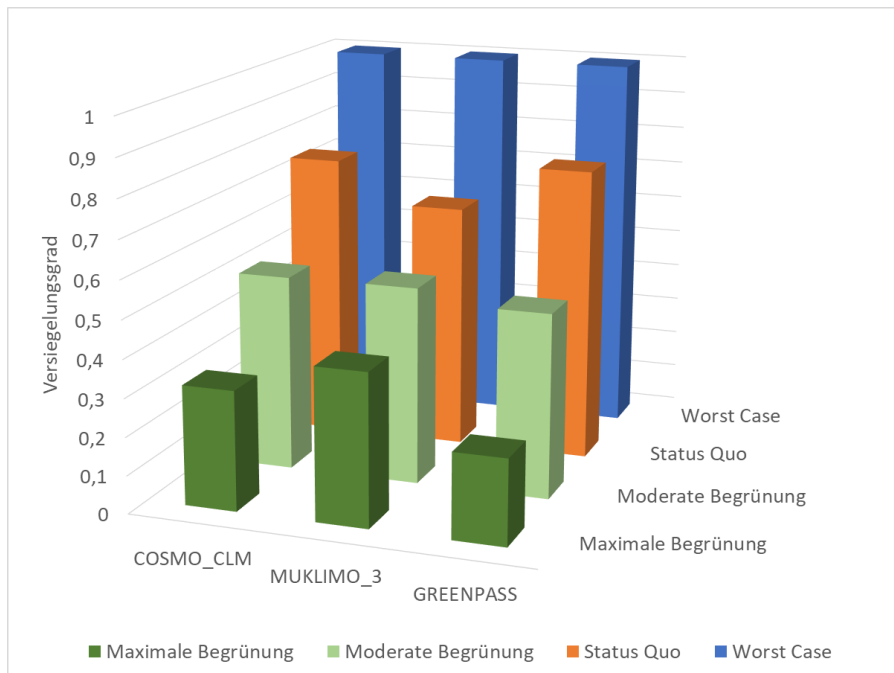


Abbildung 46: Versiegelungsgrad in den unterschiedlichen Simulationsmodellen nach Szenarien (AIT/ZAMG/Green4Cities)

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass alle drei Modelle – von regional über urban bis hin zur Quartiersebene – die gleichen Aussagen liefern: Versiegelung führt zu einem Temperaturanstieg und Begrünung zu einer Temperaturreduktion. Auch wenn zum Beispiel COSMO-CLM grundsätzlich eine niedrigere Temperaturkurve hat, so zeigen Versiegelungs- bzw. Begrünungsmaßnahmen in den Simulationsszenarien die gleiche Wirkung. Diese Erkenntnis ist ein wesentliches Ergebnis des Projekts, da die Klimamodelle völlig unterschiedlich aufgesetzt sind und modellieren und bisher eine vergleichende Analyse mit abgestimmten Inputdaten und Zeitscheiben nicht erfolgt ist.

Im Detail gibt es Unterschiede in den Modellergebnissen, die aufgrund der völlig unterschiedlichen Skalenebenen zu erwarten waren. Die folgende Abbildung 47 zeigt die Abweichung der Worst-Case-Variante (totale Versiegelung; rot) und der maximalen Begrünungsvariante (grün) vom Status quo (Nulllinie) in allen drei Modellen. Die linke Abbildung gibt die Abweichungen untertags (10–18 Uhr), die rechte Abbildung die Abweichungen nachts (22–6 Uhr) wieder.

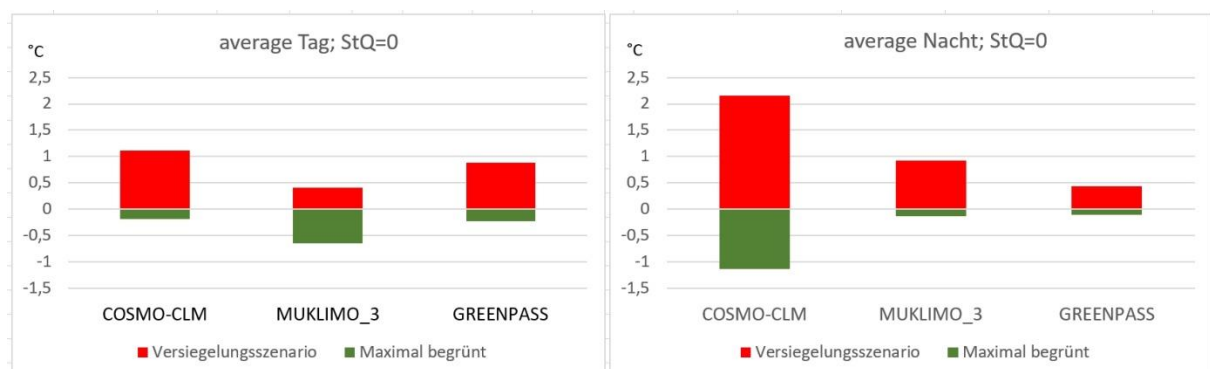


Abbildung 47: Bandbreite (Versiegelung / Worst Case [rot] und maximale Begrünung [grün]) der Temperaturdifferenz (in °C) relativ zum Status quo in den drei Simulationsmodellen tagsüber (links) und nachts (rechts) (AIT/ZAMG/Green4Cities)

Untertags zeigt vor allem die Versiegelung im Worst-Case-Szenario in COSMO-CLM und GREENPASS eine ähnlich starke Wirkung und führt zur deutlichen Erhöhung des Tagestemperaturmittels. In MUKLIMO_3 wirkt sich die maximale Begrünung in Form einer Absenkung der Temperatur untermtags stärker aus. In der Nacht zeigt sich die größte Auswirkung von Versiegelung und Begrünung in COSMO-CLM. Hier werden durch maximale Begrünung mehr als 1 °C Temperaturreduktion und durch Versiegelung mehr als 2 °C Temperaturanstieg simuliert. In MUKLIMO_3 und GREENPASS wirkt sich nachts vor allem die Versiegelung negativ aus.

Ausgehend von der Case-Study Wien-Innerfavoriten wurden in den Modellen COSMO-CLM und MUKLIMO_3 die Auswirkungen von Begrünung und Versiegelung für weitere Gebiete Wiens betrachtet und verglichen. Zusammenfassend können dafür folgende Schlussfolgerungen aus den Simulationen gezogen werden:

In COSMO-CLM sind die Auswirkungen von Versiegelung und Begrünung vor allem in der Nacht deutlich. Im dicht verbauten Gebiet wie Innerfavoriten sind Temperaturreduktionen von mehr als 2 °C möglich. Untertags zeigt eine Begrünung in COSMO-CLM nur relativ geringe Auswirkungen – die Maximaltemperaturen sinken nur unwesentlich. Im Gegensatz zur nur schwach sichtbaren positiven Wirkung von Begrünung am Tag zeigt Versiegelung auch untermtags negative Auswirkungen durch eine Erhöhung der Tagestemperaturen. Die größten Effekte zeigen sich aber auch hier während der Nacht. In Randbezirken sind Steigerungen um mehr als 4 °C möglich.

COSMO-CLM zeigt einen weiteren interessanten Effekt: eine Absenkung der Nachttemperaturen durch Begrünung wird mit zunehmender Tagestemperatur immer effektiver, d. h. wenn die Temperaturen aufgrund des Klimawandels zunehmen, hat Begrünung ein noch stärkeres Potenzial als heute, die Nachttemperaturen abzusenken. Dies zeigt sich vor allem in den dicht verbauten Gebieten. Hier sind die Auswirkungen von Begrünung signifikant, während sie in städtischen Randbereichen eher gering sind. Dafür sind in den Randbezirken die negativen Auswirkungen von zunehmender Versiegelung enorm.

In MUKLIMO_3 konnte gezeigt werden, dass mit moderaten und maximalen Begrünungsmaßnahmen vor allem tagsüber eine deutliche Temperaturreduktion erreicht werden kann. Nachts wiederum wurde der negative Effekt von zusätzlicher Versiegelung deutlich. Des Weiteren wurde in Zusammenhang mit den Begrünungsszenarien im Rahmen von Sensitivitätstests ein zusätzlicher interessanter Effekt beobachtet, der vor allem die Bodenentsiegelung betrifft: Ist die Bodenfeuchte zu gering, der Boden also extrem trocken, zeigen die Maßnahmen wenig bis gar keine Wirkung mehr. Dies ist vor allem in Hinblick auf eine Gewährleistung der Wasserversorgung speziell während langer und trockener Hitzeperioden ein wichtiger Punkt.

5.2. Weiterentwicklung des Grün- und Freiflächenfaktors

Ein zentrales Ergebnis des Forschungsprojekts war die Weiterentwicklung des GFF für Wien. Aufgrund der Untersuchung bestehender Grünflächenfaktoren konnten zentrale Schwachstellen festgestellt werden, die als Basis für die Weiterentwicklung dienten. Mit dem GFF als städtebaulicher Maßzahl für Freiflächen auf Parzellenebene wurde diesem Defizit durch die Berücksichtigung klimatischer, ökologischer und vor allem sozialer Aspekte Rechnung getragen und dabei qualitative Kriterien in ein quantitatives Maß einbezogen. Der GFF kann Bauplätze evaluieren und Optimierungspotenziale aufzeigen, um die immer knapper werdenden Freiflächen bestmöglich zu nutzen und die Multifunktionalität der UGI zu fördern.

5.2.1. Auswahl und Bewertung von ausgewählten UGI-Elementen und Ökosystemleistungen für den Grün- und Freiflächenfaktor

Für die Berechnung des GFF werden Elemente der städtischen grünen (und blauen) Infrastruktur (Baum, Rasen, Oberflächenmaterialien, Feuchtbiotope etc.) benötigt, da sie die Grundlage des GFF bilden. Sie werden im Zuge des Berechnungsvorgangs durch Multiplikationsfaktoren gewichtet und führen letztendlich durch Division einer Referenzfläche zum GFF – einer städtebaulichen Maßzahl. Daher war es notwendig, relevante Elemente auf Parzellenebene zu identifizieren, die für die Berechnung des GFF herangezogen werden sollen. In mehreren Diskussionsrunden und Testphasen wurde der Detaillierungsgrad der UGI-Elemente festgelegt. Neben der Abstimmung mit der anwendungsorientierten Ebene (Datenblätter des wohnfonds, die von PlanerInnen im Rahmen eines Baurägerwettbewerbs in Wien ohnehin ausgefüllt werden müssen, Anwendung an schon gebauten Beispielen) erfolgte eine Verschneidung mit der klimatischen Ebene (GREENPASS). Um den Anforderungen der Stadt Wien gerecht zu werden und in Anbetracht der zukünftigen Implementierung in rechtlich bindende Planungsinstrumente, wird die Anwendung des GFF für Landschafts- und StadtplanerInnen so einfach wie möglich gehalten – es werden auf Erdgeschoß- und Dachebene die gleichen UGI-Elemente verwendet. Es wird lediglich zwischen Flächen über natürlich gewachsenem Boden sowie unterbauten Flächen unterschieden. Bei der Fassadenbegrünung wird eine zusätzliche Differenzierung hinsichtlich der Exposition vorgenommen, um mit GREENPASS bestmöglich zu korrelieren und die unterschiedlichen klimatischen Effekte abbilden zu können (Ring et al., forthcoming).

Die bereits entwickelten Grünflächenfaktoren erfassen oft nicht die Dimension der qualitativen Kriterien, insbesondere der sozialen Aspekte. Mehrere Studien bestätigen, dass gebäudebezogene Freiräume einen großen Einfluss auf das Wohlbefinden der BewohnerInnen und ihre Lebensqualität haben. Daher sind die Zugänglichkeit, die Nutzbarkeit und soziale Funktionen von gebäudebezogenen Freiräumen im städtischen Umfeld entscheidende Faktoren für die differenzierten Ansprüche der NutzerInnen (Sutter-Schurr, 2008; Spitthöver, 2010; WHO Regional Office for Europe, 2016; Hansen et al., 2019; Sturm et al., 2019; Khomenko et al., 2020).

Der GFF berücksichtigt verschiedene UGI-Elemente auf Parzellenebene und bewertet sie in Bezug zur Bereitstellung von Ökosystemleistungen (ÖSL). Die folgende Beschreibung basiert auf Ring et al. (forthcoming). Die Auswahl der ÖSL-Kategorien für den GFF erfolgte anhand der Klassifizierung nach TEEB (The Economics of Ecosystems & Biodiversity) – berücksichtigt werden folgende drei Hauptkategorien:

1. Klimatische Faktoren [cl] – regulierende Leistungen zur Verbesserung des städtischen Mikroklimas durch Begrünung und Reduktion von Versiegelung (Pfoser et al., 2013; Naturkapital Deutschland – TEEB DE, 2016).
2. Biodiversität [bd] – Erhaltung der biologischen Vielfalt durch Bereitstellung von Lebensräumen (Convention on Biological Diversity, 2006).
3. Wohlbefinden [wb] – kulturelle Leistungen zur Verbesserung des Wohlbefindens der BewohnerInnen. Nach Haas et al. (2018) ist die Wohnsituation einer der wichtigsten Faktoren für die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen. Studien schreiben den gesundheitlichen Nutzen von Grünflächen vor allem der Tatsache zu, dass sie die Möglichkeit bieten, körperlich aktiv zu sein, sich von Stress zu erholen und soziale Kontakte zu ermöglichen (Lee et al., 2015). Aus diesem Grund wird die Kategorie 3) weiter unterteilt in körperliches [wbp], soziales [wbs] und geistiges [wbm] Wohlbefinden. Dadurch, dass die Nutzbarkeit und Zugänglichkeit von Freiräumen Kriterien sind, die durch Dritte (ExpertInnen) bewertet werden können (siehe Kapitel 5.2.3), wird zusätzlich hinsichtlich der Zugänglichkeit (privat [pr], halböffentlich/öffentlich [pu] und nicht zugänglich [na]) differenziert. Dies ergibt 32 UGI-Elemente und 10 ÖSL-Kategorien.

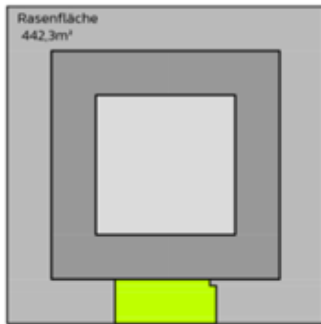
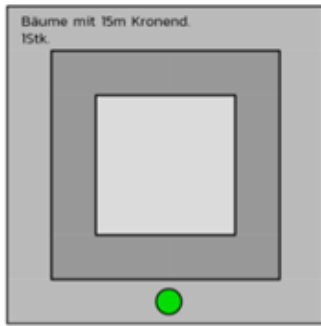
5.2.2. Bewertung der klimatischen Regulierungsleistungen durch GREENPASS

Um die Berechnung der klimatischen Wirkungen bzw. die Multiplikationsfaktoren fundiert auf Basis von Simulationsanalysen festlegen zu können, wurde von Green4Cities und GREENPASS ein Verfahren entwickelt, welches die Leistungen unterschiedlicher Elemente der grünen Infrastrukturen in Relation setzt und darauf basierend den Multiplikationsfaktor Klima für den „GFF-cl“ definiert. Die Wirkungen von grünen Infrastrukturen sind von zahlreichen Faktoren abhängig. Neben der Typologie an sich, also Baum oder Rasen beispielsweise, sind auch die raumstrukturelle Einbindung in der Stadtlandschaft, die Exposition und das Windfeld maßgeblich. Zusätzlich treten Wechselwirkungen bei Kombinationen von grünen Infrastrukturen auf. Um die Wirkungen der einzelnen grünen Infrastruktur-Typologien bewerten und vergleichen zu können, wurde daher eine Faktorenanalyse konzipiert.

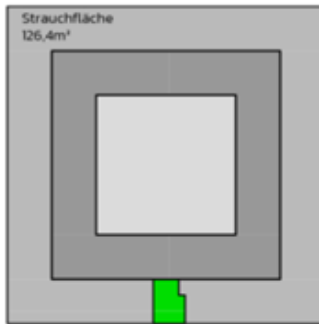
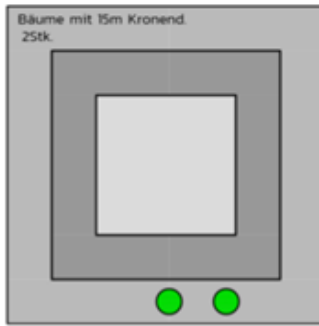
Im Kern werden grüne Infrastrukturen bzw. ihre Klimawirksamkeit in Bezug zur Blattfläche der jeweiligen Typologie gesetzt. Das heißt, dass die Wirksamkeit von beispielsweise 100 m² Blattfläche eines Baumes mit jener von 100 m² Blattfläche eines Rasens verglichen wird (siehe Abbildung 48).

Daraus ergibt sich ein relatives Verhältnis der Leistungen in Bezug auf Klimaregulation, das letztlich den Multiplikationsfaktor des GFF definiert.

Blattfläche 221,2m²



Blattfläche 442,3m²



Blattfläche 663,5m²

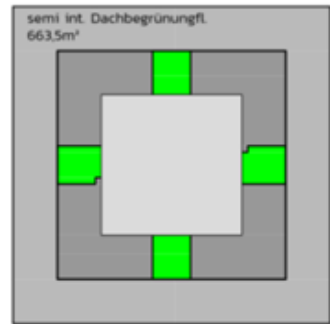
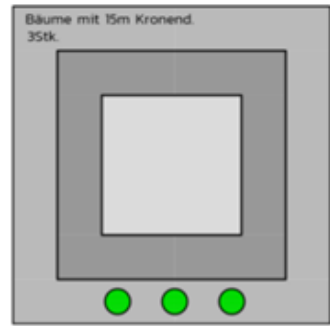


Abbildung 48: GREENPASS-Wirksamkeitsanalyse – Vergleich der Anzahl bzw. Größe von grünen Infrastrukturen mit gleicher Blattflächensumme (Green4Cities/GREENPASS)

Übersicht der gewählten grünen Infrastrukturen

Für Fassadenbegrünungen werden außerdem spezifische Gewichtungsfaktoren ermittelt. Die folgende Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der gewählten grünen Infrastrukturen, deren Anordnung und Dimensionierung sowie deren Simulationsszenarien.

Tabelle 1: GREENPASS-Wirksamkeitsanalyse – Simulationsvarianten der Faktorenanalyse (Green4Cities/GREENPASS)

GI Typologie	Varianten	Größe	Anzahl	Exposition	Simulationen
Baum (Referenz Typologie)	<i>Acer campestre</i>	small medium large	1 2 3	Nord	45
				Süd	
				Ost	
				West	
				Innenhof	
Baum auf Dachfläche	<i>Acer campestre</i>	small medium large	1 2 3	Nord	36
				Süd	
				Ost	
				West	
Grünflächen	Rasen Stauden Sträucher	small medium large	1 2 3	Nord	135
				Süd	
				Ost	
				West	
				Innenhof	
Dachbegrünungen	extensiv semi-intensiv intensiv	small medium large	1 2 3	Innenhof	27
Fassadenbegrünungen	Kletterpflanzen Living Wall	small medium large	1 2 3	Nord	90
				Süd	
				Ost	
				West	
				Innenhof	
Wasserfläche	Wasserflächen	small medium large	1 2 3	Nord	45
				Süd	
				Ost	
				West	
				Innenhof	
Summe Simulationen					378

Modellgrundlage für die Simulationen

Als Modellgrundlage für die Simulationen dient das „micro UST011“, welches im Zuge des Projekts neu entwickelt wurde. Es handelt sich dabei um einen Perimeterblock in einem Modellgebiet von 100 x 100 m (siehe Abbildung 49).

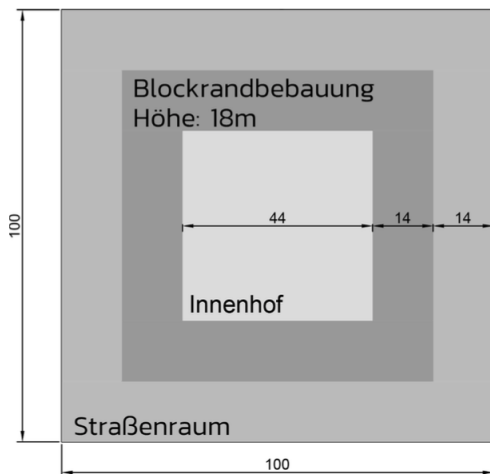


Abbildung 49: GREENPASS-Wirksamkeitsanalyse – Modellmaße Simulationsmodelle (Green4Cities/GREENPASS)

Die einzelnen Simulationsvarianten werden anhand der grünen Infrastruktur-Typologien, ihrer Exposition und Dimensionierung gebildet. Hierfür dienen die Varianten, die Bäume als grüne Infrastruktur verwenden, als Referenzszenarien (siehe Abbildung 50).

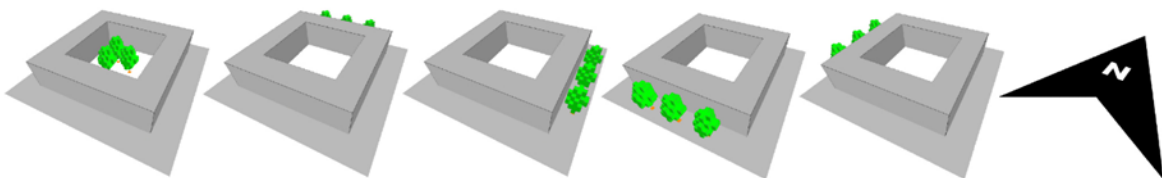


Abbildung 50: GREENPASS-Wirksamkeitsanalyse – Anordnung von Bäumen in unterschiedlichen Lagen bzw. Expositionen zum Baukörper (Green4Cities/GREENPASS)

Als Grundlage wurden *Acer campestre* (Feldahorn) mit drei verschiedenen Kronendurchmessern ($S = 5$ m, $M = 6$ m und $L = 8$ m) und mit unterschiedlicher Stückzahl (1–3 Stk.) herangezogen. Anhand der den einzelnen Baumszenarien entsprechenden Blattflächen wurden die restlichen Varianten für die anderen UGI-Typologien abgeleitet (siehe

Tabelle 2).

Tabelle 2: GREENPASS-Wirksamkeitsanalyse – Ableitung der Blattflächen auf die benötigten Grünflächen (Green4Cities/GREENPASS)

Grüne Infrastruktur	Varianten / LAI			Varianten / LAI			Varianten / LAI			
	Anzahl			Anzahl			Anzahl			
Baum	S / 5,4			M / 5,1			L / 4,4			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
	106,03	212,06	318,09	144,20	288,40	432,60	221,17	442,34	663,50	
Blattfläche in m ²										
Grüne Infrastruktur	LAI	Fläche in m ²								
Rasen	0,5	212,06	424,12	636,17	288,40	576,80	865,19	442,34	884,67	1.327,01
Stauden	0,75	141,37	282,74	424,12	192,27	384,53	576,80	294,89	589,78	884,67
Sträucher	3,5	30,29	60,59	90,88	41,20	82,40	123,60	63,19	126,38	189,57
Dachbegrünung extensiv	0,5	212,06	424,12	636,17	288,40	576,80	865,19	442,34	884,67	1.327,01
Dachbegrünung semi-intensiv	1	106,03	212,06	318,09	144,20	288,40	432,60	221,17	442,34	663,50
Dachbegrünung intensiv	3	35,34	70,69	106,03	48,07	96,13	144,20	73,72	147,45	221,17
Fassadenbegrünung Living Wall (50 % LAI)	1,55	68,41	136,81	205,22	93,03	186,06	279,10	142,69	285,38	428,07
Fassadenbegrünung Kletterpflanze (50 % LAI)	1,5	70,69	141,37	212,06	96,13	192,27	288,40	147,45	294,89	442,34
Wasserfläche	/	106,03	212,06	318,09	144,20	288,40	432,60	221,17	442,34	663,50

Die Modelle für die unterschiedlichen Simulationsvarianten werden in zwei verschiedene Kategorien gegliedert:

- Bei den expositionsabhängigen Modellen liegen die grünen Infrastrukturen jeweils entlang einer Außenkante des Perimeterblocks. Diese Modelle werden dann je nach Simulationsszenario in die entsprechende Himmelsrichtung gedreht.
- Die expositionsneutralen Modelle beinhalten die grünen Infrastrukturen zentriert innerhalb des Perimeterblocks. Fassaden- sowie die nur in diesen Modellen vorkommenden Dachbegrünungen werden hier jeweils auf die vier Seiten des Blocks aufgeteilt.

Für die Berechnung der Multiplikationsfaktoren wurde in weiterer Folge für die einzelnen Indikatoren das Szenario mit dem besten Wert als obere Grenze angesetzt. Die untere Rahmengrenze bildet dabei jeweils das Szenario ohne UGI-Elemente (xCLEAN). Für die weiteren Multiplikationsfaktoren wurden die Werte innerhalb des Bewertungsrahmens regressiert.

Ergebnisse der Simulation

Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse inklusive des gemittelten „Multiplikationsfaktor Klima“ für die einzelnen UGI-Typologien, basierend auf den einzelnen Multiplikationsfaktoren für den jeweiligen Key-Performance-Score (KPS) bzw. Indikator. Die Ergebnisse zeigen, dass der UGI-Typ „Baum medium“ zusammenfassend den höchsten Multiplikationsfaktor (1) erhält. Der UGI-Typ „Baum“ und seine Größen sind dabei mit Abstand die effektivsten UGI-Elemente hinsichtlich der drei betrachteten Indikatoren. Der „Baum medium“ zeigt eine höhere Leistung als „Baum large“ aufgrund einer besseren Durchlüftung und höherer nächtlicher Abstrahlung. Anschließend an die Leistungswirkung der Bäume am Boden folgen Bäume am Dach, wobei „Baum Roof medium“ mit einer Leistungswirkung von 0,41 stärker ist als „Baum Roof large“ (0,28) und „Baum Roof small“ (0,19).

Tabelle 3: Gemittelter Multiplikationsfaktor Klima für einzelne UGI-Typen und Expositionen aus GREENPASS-Wirksamkeitsanalyse (Thermischer Abluftstrom-Wert (TLO), Thermischer Komfort-Wert (TCS) und Thermischer Speicherfähigkeits-Wert (TSS)) (Green4Cities/GREENPASS)

GI Typ	TLS	TCS	TSS	Multiplikationsfaktor Klima
Baum large	0,75	0,66	0,65	0,69
Baum medium	1,00	1,00	1,00	1,00
Baum small	0,66	0,87	0,78	0,77
Baum Roof large	0,04	0,55	0,24	0,28
Baum Roof medium	0,38	0,24	0,60	0,41
Baum Roof small	0,05	0,09	0,43	0,19
Rasen	0,02	0,04	0,58	0,21
Stauden	0,00	0,11	0,64	0,25
Sträucher	0,02	0,12	0,61	0,25
Dachbegrünung extensiv	0,00	0,00	0,43	0,14
Dachbegrünung semi-intensiv	0,00	0,00	0,42	0,14
Dachbegrünung intensiv	0,00	0,01	0,52	0,18
Fassadenbegrünung Boden+Trog Innenhof	0,00	0,01	0,00	0,00
Fassadenbegrünung Boden+Trog Norden	0,08	0,00	0,03	0,04
Fassadenbegrünung Boden+Trog Osten	0,00	0,00	0,04	0,01
Fassadenbegrünung Boden+Trog Süden	0,18	0,02	0,02	0,07
Fassadenbegrünung Boden+Trog Westen	0,00	0,03	0,02	0,02
Fassadenbegrünung Fassade Innenhof	0,00	0,03	0,18	0,07
Fassadenbegrünung Fassade Norden	0,10	0,01	0,08	0,06
Fassadenbegrünung Fassade Osten	0,00	0,02	0,27	0,10
Fassadenbegrünung Fassade Süden	0,16	0,06	0,08	0,10
Fassadenbegrünung Fassade Westen	0,00	0,06	0,23	0,10

Die UGI-Elemente Stauden und Sträucher haben mit 0,25 einen minimal höheren Multiplikationsfaktor als Rasen mit 0,21. Bei den Dachbegrünungen ist der Typ „Dachbegrünung intensiv“ mit 0,18 etwas leistungsstärker als die extensive und semi-intensive Dachbegrünung mit einem Multiplikationsfaktor von je 0,14. Bei den Fassadenbegrünungen zeigt sich, dass der UGI-Typ „Fassadenbegrünung Fassade“ leicht bessere Leistungen erbringt als „Fassadenbegrünung Boden + Trog“. Hier spielt v. a. auch die Exposition der Fassadenbegrünung eine große Rolle hinsichtlich der Wirkungsleistung. Wandgebundene Fassadenbegrünungen im Osten, Süden und Westen haben mit 0,1 einen höheren Multiplikationsfaktor als im Norden (0,06) und als im Innenhof (0,07). Bei „Fassadenbegrünung Boden + Trog“ ist die Begrünung nach Süden mit 0,07 am effektivsten. Im Norden ist die „Fassadenbegrünung Boden + Trog“ mit 0,04 doppelt so hoch wie im Westen mit 0,02. Die „Fassadenbegrünung Boden + Trog“ im Osten (0,01) sowie im Innenhof (0,00) ist hingegen weniger effektiv und bildet die untere Grenze.

Multiplikationsfaktor Klima

Die folgende Abbildung 51 zeigt den „Multiplikationsfaktor Klima“ für die UGI-Typen grafisch dargestellt. Die Grafik zeigt die Wirkungsleistung des UGI-Typs „Baum“ in Relation zu den anderen UGI-Typen und unterstreicht die Effizienz von Bäumen hinsichtlich der drei betrachteten Key-Performance-Scores (KPS): TLS – Thermal-Load-Score / Thermischer Abluftstrom, TCS – Thermal-Comfort-Score / Thermischer Komfort, TSS – Thermal-Storage-Score / Thermische Speicherfähigkeit (siehe auch Tabelle 3).

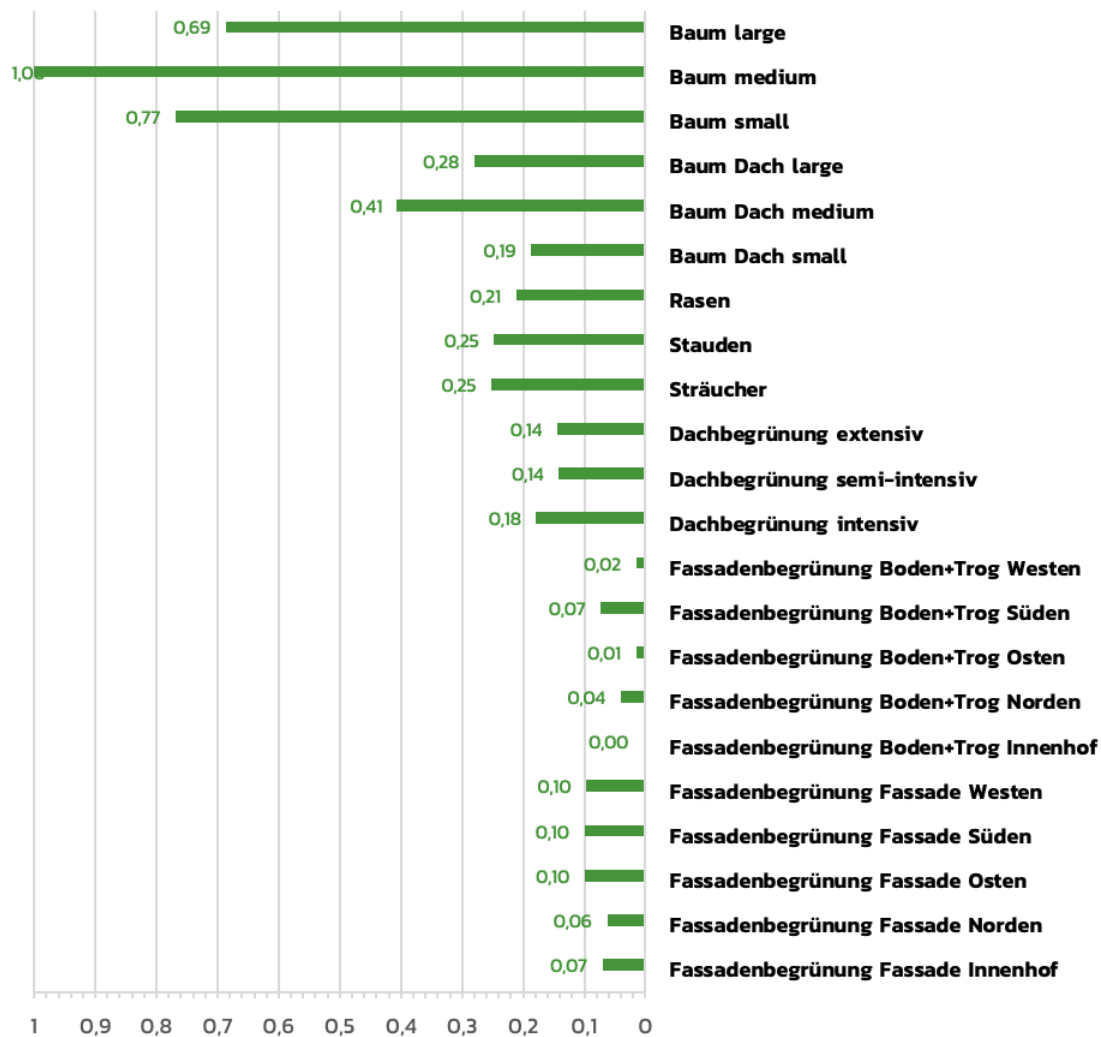


Abbildung 51: Gemittelter Multiplikationsfaktor Klima für einzelne UGI-Typen und Expositionen aus GREENPASS-Wirksamkeitsanalyse – grafische Darstellung (Green4Cities/GREENPASS)

Multiplikationsfaktor Thermischer Komfort

Abbildung 52 fasst den Multiplikationsfaktor TCS – Thermischer Komfort (Thermal-Comfort-Score) grafisch zusammen und zeigt auch hier klar die Dominanz des UGI-Typs „Baum“ im Vergleich zu den anderen Typen.

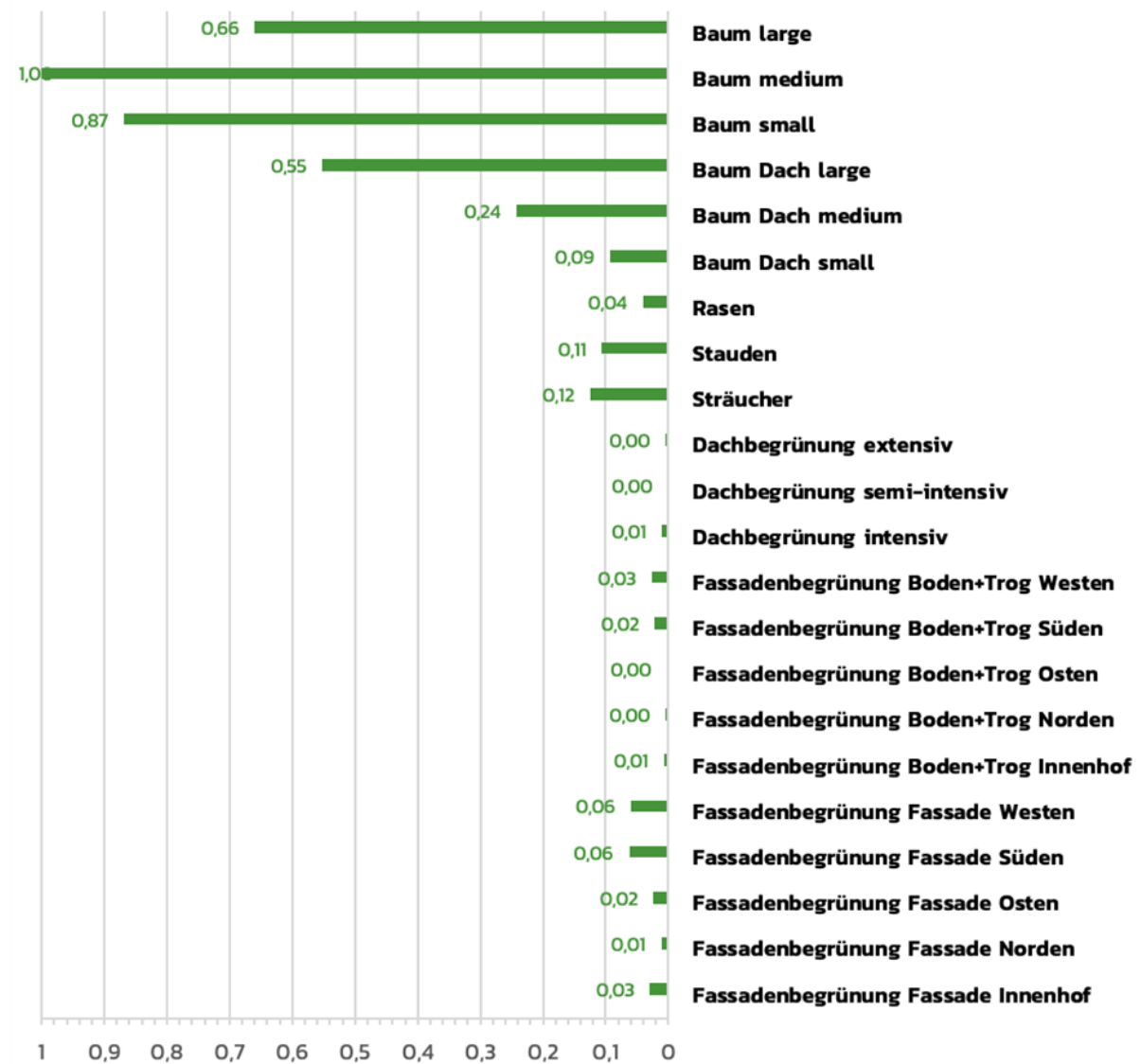


Abbildung 52: Multiplikationsfaktor Thermischer Komfort (TCS) für einzelne UGI-Typen und Expositionen aus GREENPASS-Wirksamkeitsanalyse – grafische Darstellung (Green4Cities/GREENPASS)

Multiplikationsfaktor Thermischer Abluftstrom

In Abbildung 53 wird der Multiplikationsfaktor TLS – Thermischer Abluftstrom (Thermal-Load-Score) grafisch zusammengefasst und zeigt auch hier die Wirkungsleistung des UGI-Typs „Baum“.

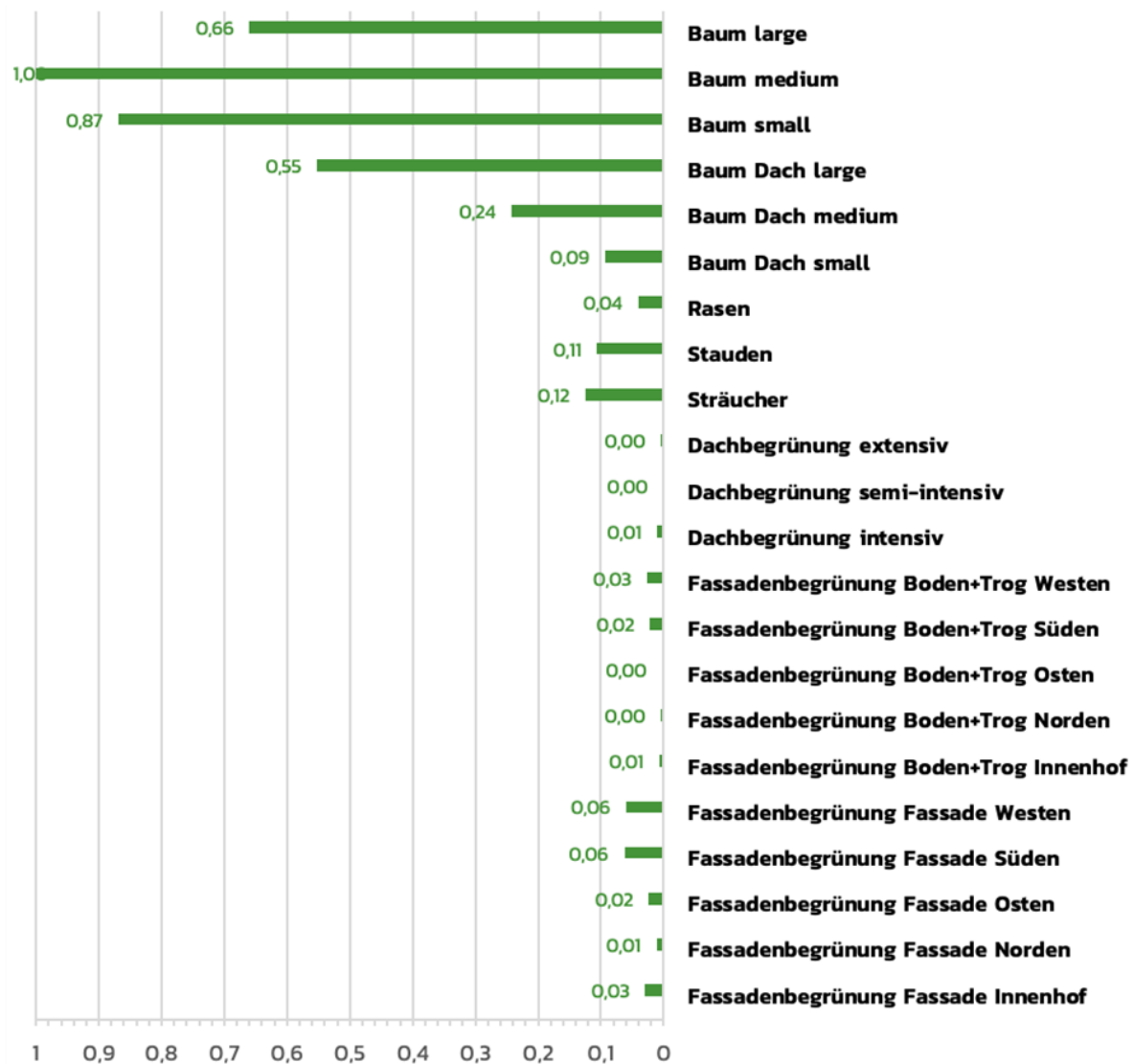


Abbildung 53: Gemittelter Multiplikationsfaktor für Thermischen Abluftstrom (TLS) für einzelne UGI-Typen und Expositionen aus GREENPASS-Wirksamkeitsanalyse – grafische Darstellung (Green4Cities/GREENPASS)

Multiplikationsfaktor Thermische Speicherfähigkeit

Folgende Abbildung 54 zeigt die Grafik für den Multiplikationsfaktor TSS – Thermische Speicherfähigkeit (Thermal-Storage-Score) für die einzelnen UGI-Typen. Auch hier ist der UGI-Typ „Baum“ die wirkungsvollste Typologie. Vor allem auch Rasen, Stauden und Sträucher sowie die unterschiedlichen Dachbegrünungstypen zeigen bei diesem Indikator eine stärkere Wirkungsleistung als bei den anderen Indikatoren. Die „Fassadenbegrünungen Boden + Trog“ bilden hier die untere Leistungsgrenze, wenngleich „Fassadenbegrünung Fassade“ hier höhere Werte erzielen kann.

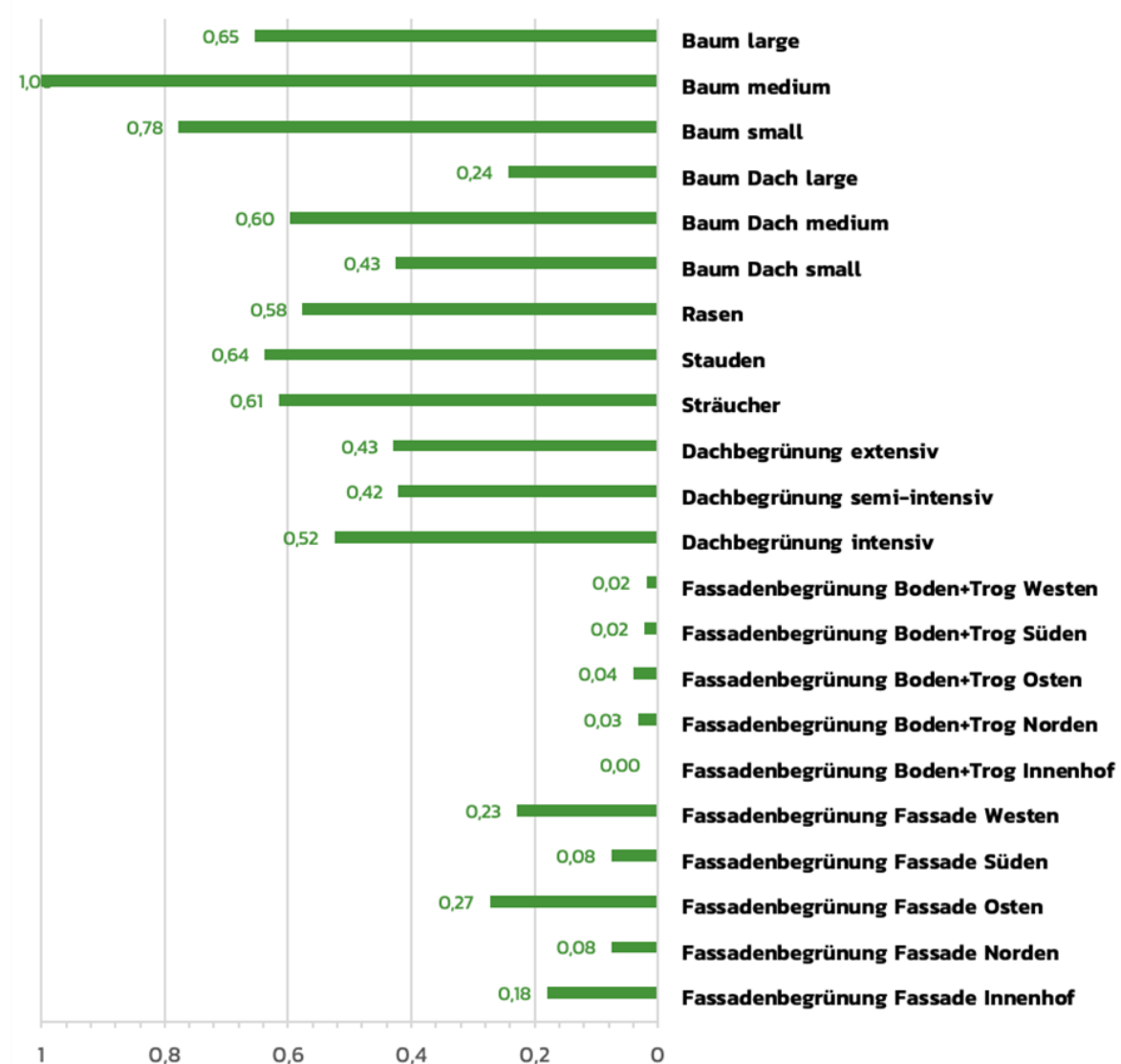


Abbildung 54: Gemittelter Multiplikationsfaktor für Thermische Speicherfähigkeit (TSS) für einzelne UGI-Typen und Expositionen aus GREENPASS-Wirksamkeitsanalyse – grafische Darstellung (Green4Cities/GREENPASS)

5.2.3. ExpertInnen-basierte Bewertung der UGI-Elemente anhand ihres Beitrags zu Ökosystemleistungen (Bewertungskategorien: Biodiversität und Wohlbefinden)

Für die ausgewählten kulturellen ÖSL sowie für die Biodiversität wurde eine nicht-monetäre Bewertung durch ExpertInnen vorgenommen. Hier kommt es – wie auch bei Fokus-Gruppen – zu einer effektiven Bewertung durch die Nutzung von Schwarmintelligenz („Crowd Wisdom“) (Cheng et al., 2019). Durch die Erfahrung, Ausbildung und berufliche Praxis der ExpertInnen wird angenommen, dass diese über ein ausreichendes Wissen über den Untersuchungsgegenstand verfügen, um sich auf ihr Urteil verlassen zu können (Jacobs et al., 2015). ExpertInnen sind darüber hinaus mit Fachbegriffen vertraut, die nicht erst erklärt oder visualisiert werden müssen. Diese Methode wird v. a. bei geringer Datenverfügbarkeit (z. B. wenn eine repräsentative Befragung nicht durchgeführt werden kann) angewendet und verursacht auch nur geringe Kosten. Allerdings kann das Ergebnis von den Werten der breiten Öffentlichkeit abweichen (Scholte et al., 2015). Bei der ExpertInnen-basierten Bewertung kommen häufig Capacity-Matrices zum Einsatz, bei denen jedem zu bewertenden Ökosystem Punktwerte für die jeweilig erbrachten ÖSL zugewiesen werden (Campagne et al., 2017). Die ExpertInnen-Bewertung mithilfe des Matrix-Modells ist laut Jacobs et al. (2015) derzeit eine der beliebtesten Methoden zur Bewertung von ÖSL.

Alle UGI-Elemente wurden von ExpertInnen in Hinblick auf die ÖSL-Kategorien 2) Biodiversität und 3) Wohlbefinden differenziert auf Erdgeschoß- und Dachebene bewertet. Zusätzlich wurden beim Wohlbefinden die Zugänglichkeit und somit die Nutzbarkeit der Freiflächen berücksichtigt. Ziel dieses Bewertungsprozesses ist, eine breite ExpertInnen-Basis für die Bildung der Multiplikationsfaktoren zu schaffen. Um von einem einheitlichen Standpunkt aus zu bewerten, wurden mit dem Bewertungsblatt (Capacity-Matrix) ein Leitfaden für den Bewertungsprozess und eine Beschreibung der einzelnen ÖSL-Kategorien und UGI-Elemente an die ExpertInnen übergeben (Ring et al., forthcoming).

Bei ExpertInnen-basierten Bewertungen mittels Capacity-Matrices hat sich eine Range von 0–5 bewährt (Burkhard et al., 2012; Burkhard et al., 2009; Jacobs et al., 2015). Dies ermöglicht eine Einschätzung der ökologischen und sozioökonomischen Kapazitäten der UGI-Elemente zur Bereitstellung von ÖSL. Der numerische Wert gibt die Relevanz in Bezug auf die ÖSL an und wird als $Y_{i,j,o}$ angegeben, wobei i für die ÖSL-Kategorien, j für die UGI-Elemente und o für die ExpertInnen stehen. Beispielhaft bedeutet das, dass ein großer Baum bei der Kategorie Biodiversität mit 5 bewertet werden würde, eine versiegelte Fläche hingegen mit 0. Das führte zu einem Gesamtdatensatz von 9.180 ExpertInnen-Bewertungen – 4.320 für das Erdgeschoßniveau und 4.860 für Gebäudebegrünung (Dach und Fassade). Bei ExpertInnen-Bewertungen besteht die Möglichkeit einer Verzerrung durch persönliche und daher subjektive Einschätzungen. Auch bei dieser Bewertung hat sich gezeigt, dass die einzelnen ExpertInnen-Einschätzungen zum Teil divergieren, vor allem in der Kategorie des Wohlbefindens. Der nachfolgend beschriebene Confidence-Score versucht, diese Streuung auszugleichen (Ring et al., forthcoming).

Confidence-Score

Die Herausforderung ist die Transparenz der Bewertung und die Reproduktion der Methodik (Juhola, 2018). Bei fachlich breit aufgestellten ExpertInnen-Bewertungen, so wie in diesem Fall (von Biodiversität bis hin zu geistigem und sozialem Wohlbefinden), ist bekannt, dass diese abhängig von dem spezifischen Fachwissen der einzelnen Personen sind. Bei allen Ansätzen, die sich auf ExpertInnen-Wissen stützen, besteht eine der Schwierigkeiten darin, den Grad des Vertrauens

jeder/s einzelnen Expertin/Experten in ihre/seine eigene Bewertung zu beurteilen und zu berücksichtigen (Ring et al., forthcoming). Diverse Gespräche mit Personen, die die Bewertung durchgeführt haben, haben gezeigt, dass es Unsicherheiten bei einzelnen UGI-Elementen und/oder Bewertungskategorien gab. Jacobs et al. (2015, S. 25) betonen in diesem Zusammenhang: „Confidence reporting is paramount for communication of results and quality comparison“. Daher wird zusätzlich zur ExpertInnen-Bewertung das Vertrauen der Expertin bzw. des Experten anhand eines Confidence-Scores quantifiziert. „Confidence“ bezieht sich in diesem Fall auf das Vertrauen in die Richtigkeit der eigenen Bewertung (Jacobs et al., 2015). Es wurde jeweils für die UGI-Elemente als auch für die Bewertungskategorien mit 1–3 abgefragt: „1 = I don't feel comfortable on my score, 2 = I feel fairly comfortable on my score and 3 = I feel comfortable on my score“ (Campagne et al., 2017, S. 65). Das gewährt, dass das Ergebnis die Realität besser abbildet.

5.2.4. Berechnung des Grün- und Freiflächenfaktors

Zur Ermittlung der gewichteten naturhaushalts- und soziokulturell wirksamen Fläche, die für die Berechnung des GFF benötigt wird, müssen Multiplikationsfaktoren gebildet werden. Je Bewertungskategorie gibt es einen Multiplikationsfaktor für jedes UGI-Element, um die klimatischen, ökologischen und soziokulturellen Aspekte in die Bewertung einfließen zu lassen. Die Berechnungsmethode wird im Folgenden erläutert.

Multiplikationsfaktor (MF)

Der Confidence-Score (CS) wurde anhand der Methode von Campagne et al. (2017) gebildet, um die Einschätzungen der Bewertungen der UGI-Elemente ($V_{j,o}$) und der ÖSL-Kategorien ($V_{i,o}$) zusammenzuführen. Dazu wurden die Werte multipliziert $V_{i,j,o} = V_{i,o} \times V_{j,o}$ und auf eine Skala von 1–6 rekodiert, um eine einfache Analyse zu ermöglichen.

Der CS hilft, um durch Multiplikation mit der ExpertInnen-Bewertung den gewichteten Faktor (Multiplikationsfaktor) zu ermitteln: $Y_{i,j,o} = Y_{i,j,o} \times V_{i,j,o}$.

Daraus ergibt sich der gewichtete Mittelwert $\hat{\mu}_{i,j} = \frac{\sum_{i,o} Y_{i,j,o}}{\sum_{i,o} V_{i,j,o}}$, der letztendlich durch eine Umrechnung in Prozentwerte zum Multiplikationsfaktor führt und Werte zwischen > 0 und 1 annimmt: $MF_{i,j} = (1/5) \times \hat{\mu}_{i,j}$ (Ring et al., forthcoming).

Somit werden für die Berechnung des GFF die ExpertInnen-Bewertung und die Gewichtung durch den CS kombiniert und die Wechselbeziehung zwischen dem einzelnen UGI-Element und seinem Beitrag zu ÖSL durch die Verwendung eines Multiplikationsfaktors ausgedrückt. In mehreren Studien wurde die intransparente Bewertungsmethode und Steuerung der Faktoren durch Dritte kritisiert (Vartholomaios et al., 2013; Juhola, 2018). Da durch den CS Verzerrungen in der Bewertung reduziert werden und die Einschätzungen der Realität näherkommen, benötigt es keine zusätzliche Steuerung. Bei einigen bereits entwickelten Grünflächenfaktoren wurden eigene Fokusgruppen gebildet, die den einzelnen Elementen nochmals Gewichtungen oder Bonuspunkte zugewiesen haben. Dieser zusätzliche menschliche Eingriff und die damit verbundene abermalige Erhöhung der Subjektivität wurden in diesem Projekt gezielt abgelehnt und obsolet gemacht.

Berechnungsmethode

Die zugrundeliegende Gewichtung durch Multiplikationsfaktoren und der Berechnungsvorgang führen zu einem numerischen Wert (GFF), der Bauplätze evaluieren und Optimierungspotenzial hinsichtlich klimatischer, ökologischer und soziokultureller Belange aufzeigen kann. Der GFF setzt sich aus drei Teil-GFFs zusammen: Erdgeschoßniveau, Fassaden- und Dachflächen (siehe Abbildung 55).

$$GFF = GFF_F + GFF_D + GFF_{EG}$$

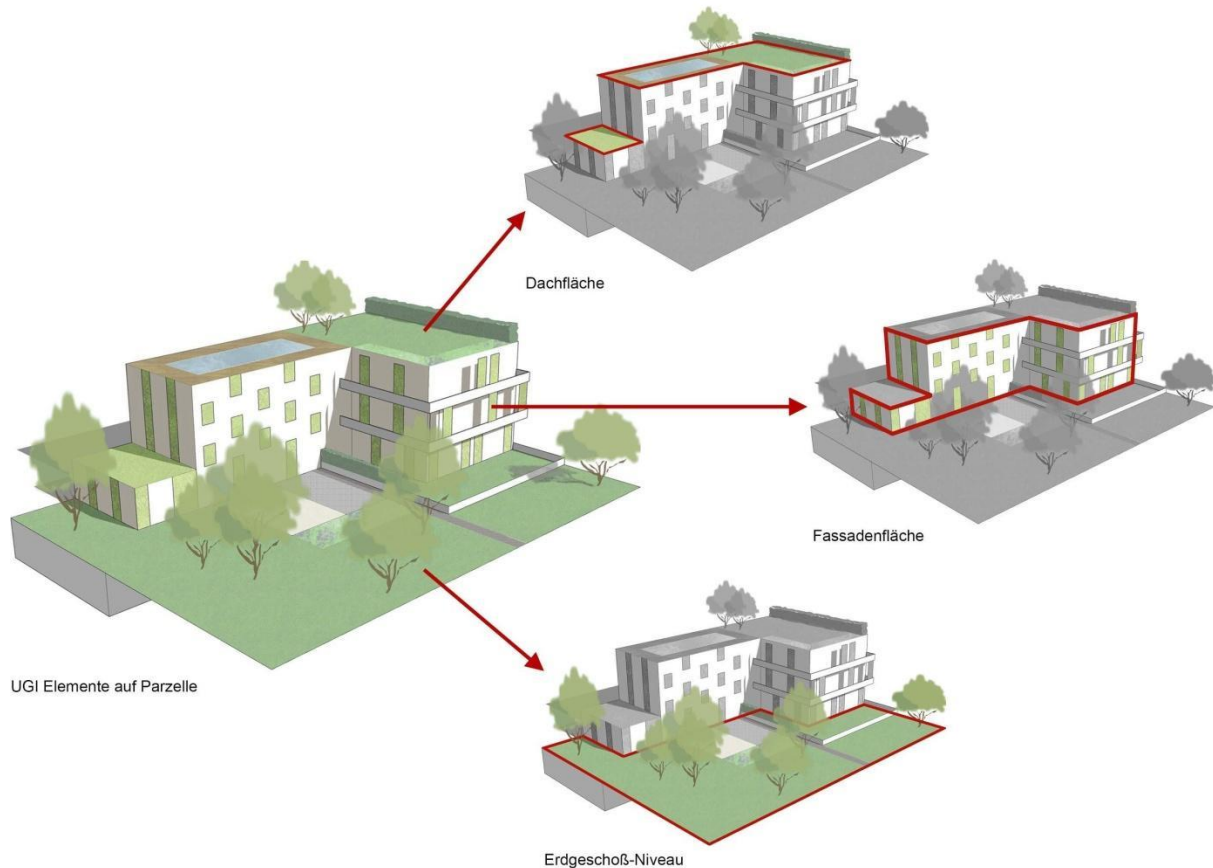


Abbildung 55: Konzept GFF: differenzierte Betrachtung des Grundstücks (Ring et al., forthcoming)

Diese Teil-GFFs können als eigenständige Indikatoren angesehen werden, da die Gewichtung (Klima [cl], Biodiversität [bd], Wohlbefinden [wb]) jeweils für alle drei erfolgt (Ring et al., forthcoming). Abbildung 56 zeigt, aus welchen Bestandteilen sich die Formel des GFF zusammensetzt, indem sie veranschaulicht, welche Flächen durch welche entsprechenden Referenzflächen geteilt werden, und erläutert die in den Formeln verwendeten Abkürzungen.

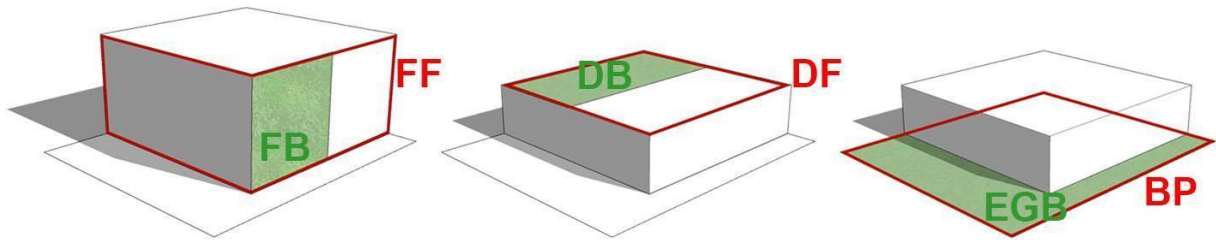


Abbildung 56: Zusammensetzung des GFF und die entsprechenden Referenzflächen (FB: Fassadenbegrünung, FF: Fassadenfläche, DB: Dachbegrünung, DF: Dachfläche, EGB: Erdgeschoß-Begrünung, BP: Bauplatzfläche) (Ring et al., forthcoming)

$$\text{Formel 1: } GFF_F = \frac{\sum_i FB'_i}{FF} = \frac{GFF_{cl} + GFF_{bd} + GFF_{wb}}{3}$$

$$\text{Formel 2: } GFF_D = \frac{\sum_i DB'_i}{DF} = \frac{GFF_{cl} + GFF_{bd} + GFF_{wb}}{3}$$

$$\text{Formel 3: } GFF_{EG} = \frac{\sum_i EGB'_i}{BP} = \frac{GFF_{cl} + GFF_{bd} + GFF_{wb}}{3}$$

Das bedeutet, dass die Summe der gewichteten UGI-Elemente für jede ÖSL-Kategorie gebildet und durch die entsprechende Referenzfläche dividiert wird. Bei „Klima“ und „Biodiversität“ gibt es einen Multiplikationsfaktor, da die Wirkung unabhängig von der Zugänglichkeit (privat [pr], teil-öffentlich/öffentlich [pu], nicht zugänglich [na]) ist (siehe Formel 4 und 5) (Ring et al., forthcoming).

$$\text{Formel 4: } GFF_{F-cl} / GFF_{D-cl} / GFF_{EG-cl} = \frac{(m^2_{pr} + m^2_{pu} + m^2_{na}) \times MF_{cl}}{FF/DF/BP} = \frac{FB'_{cl}/DB'_{cl}/EGB'_{cl}}{FF/DF/BP}$$

$$\text{Formel 5: } GFF_{F-bd} / GFF_{D-bd} / GFF_{EG-bd} = \frac{(m^2_{pr} + m^2_{pu} + m^2_{na}) \times MF_{bd}}{FF/DF/BP} = \frac{FB'_{bd}/DB'_{bd}/EGB'_{bd}}{FF/DF/BP}$$

Beim Wohlbefinden werden die sozialen Raumcharaktere durch unterschiedliche Multiplikationsfaktoren berücksichtigt. Somit wird der jeweilige Mittelwert des Wohlbefindens (körperlich [wbp], sozial [wbs] und geistig [wbm]: $WB = \frac{wbp + wbs + wbm}{3}$) für privat, teil-öffentlich/öffentlich und nicht zugänglich berechnet (siehe Formel 6) (Ring et al., forthcoming).

$$\text{Formel 6: } GFF_{F-wb} / GFF_{D-wb} / GFF_{EG-wb} = \frac{m^2_{pr} \times MF_{wb-pr} + m^2_{pu} \times MF_{wb-pu} + m^2_{na} \times MF_{wb-na}}{FF/DF/BP} = \frac{FB'_{wb}/DB'_{wb}/EGB'_{wb}}{FF/DF/BP}$$

Die neue, komplexere Berechnungsmethode macht den GFF in der Anwendung für PlanerInnen nicht komplizierter. Es müssen nach wie vor die Quadratmeter der am Bauplatz vorkommenden Begrünungen, Oberflächen und Wasserelemente in ein Excel-Datenblatt eingetragen werden. Lediglich die Zuordnung zu Erdgeschoß- und Gebäudebegrünung (Fassaden- und Dachbegrünung) sowie die Aufteilung bezüglich der Zugänglichkeit kommen hinzu (Ring et al., forthcoming).

Vorteile der neuen Berechnungsmethode

Die Ergebnisse des Vergleichs der bestehenden Grünflächenfaktoren („Green and Open Space Factor“ – GOF) und der neuen Berechnungsmethode (GFF) zeigen die Vorteile von einem Grün- und Freiflächenfaktor, der zwischen Erdgeschoß-, Fassaden- und Dachflächen differenzieren kann. Durch die Berücksichtigung der unterschiedlichen Referenzflächen können Veränderungen der Gebäudemasse und somit der Gebäudetypologie erfasst werden. Wenn die Begrünung von Bauplätzen relativ gesehen gleich ist, also prozentual der gleiche Anteil vorhanden ist (siehe Abbildung 57: FB_A und FB_C bzw. DB_A und DB_C), können die gleichen Werte erreicht werden. Wenn nur die Gebäudemasse und nicht der Anteil der Begrünung zunimmt (siehe Abbildung 57: FB_B und DB_B), verschlechtert sich der Wert des GFF. Die bestehenden Grünflächenfaktoren lassen diese Tatsache bisher außer Acht (Ring et al., forthcoming).

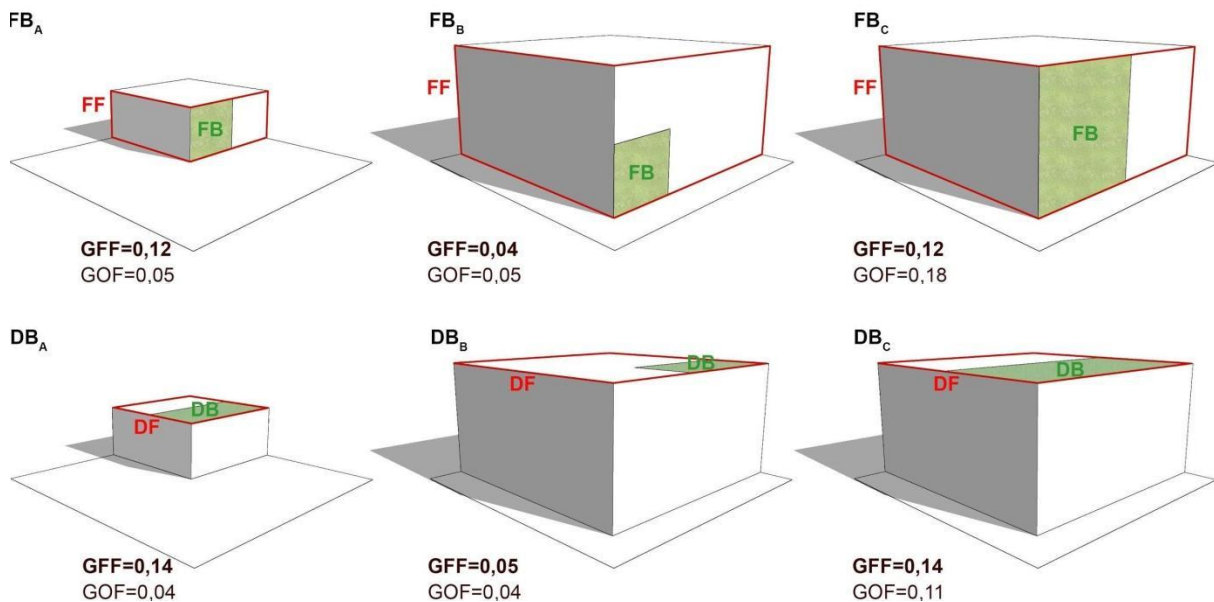


Abbildung 57: Vergleich von neuer Berechnungsmethode (GFF) und bereits bestehenden Grünflächenfaktoren (GOF) (eigene Bearbeitung nach Ring et al., forthcoming)

5.3. Case-Study „asperm - Die Seestadt Wiens“

Ein erster Anwendungsfall von Teilen des GRC-Tool-Sets ist das städtebauliche Qualifizierungsverfahren für das Quartier „Seeterrassen“ in der Seestadt, welches die Grundlage für die Erarbeitung eines städtebaulichen Leitbildes war. Sowohl in der ersten als auch zweiten Stufe des städtebaulichen Wettbewerbs Quartier „Seeterrassen“ wurden aus dem Forschungsprojekt wichtige Beiträge zur klimasensiblen Stadtentwicklung geleistet. Es wurden sowohl eine Beilage für die Berechnung des Grün- und Freiflächenfaktors inklusive der Vorgabe eines Zielwertes für die Wettbewerbsbeiträge erstellt, als auch ein umfangreiches Mikroklima-Handbuch von GREENPASS als Unterstützung zur Verfügung gestellt, das grundlegende Richtlinien und Empfehlungen für klimasensible Stadtentwicklung und Architektur liefert – basierend auf einer mikroklimatischen Simulation des bestehenden Masterplans der Seestadt für das Wettbewerbsgebiet. Im Zuge der zweiten Wettbewerbsstufe wurde für die Berücksichtigung des Mikroklimas in Kooperation mit dem Verfahrensbüro außerdem eine erste Vorprüfung der Wettbewerbsbeiträge durchgeführt.

asperm Die Seestadt Wiens – Quartier „Seeterrassen“

Auf rund 240 ha entsteht mit „asperm - Die Seestadt Wiens“ neuer Lebens- und Arbeitsraum für mehr als 40.000 Menschen inmitten des dynamisch wachsenden 22. Wiener Gemeindebezirks. Die Entwicklung der Seestadt erfolgt in Etappen: im südlichen Teil entstanden seit Herbst 2012 öffentliche Räume und Gebäude für bislang etwa 8.000 BewohnerInnen und 2.000 Arbeitsplätze. Nach Vorarbeiten wurde im Jahr 2018 die städtebaulich-funktionale Vertiefung und Qualifizierung zweier zentraler Teilquartiere bzw. Stadträume der Seestadt in Angriff genommen: die zentrale Einkaufsstraße zwischen Bahnhof „Asperm Nord“ und See sowie das Quartier „Seeterrassen“ entlang der nördlichen Seekante. Beide sind Teil der sogenannten „Roten Saite“, einer der strategischen Entwicklungslinien aus der „Partitur des öffentlichen Raums“ von Gehl Architects (Wien 3420 Asperm Development AG, 2009).

Für das Quartier „Seeterrassen“ wurde beschlossen, aufgrund der prominenten Lage, der zentralen Funktionalität und der Hochhausstandorte einen städtebaulichen Wettbewerb auszuloben.

Städtebaulicher Wettbewerb Quartier „Seeterrassen“

Nach einer internen Vorbereitungsphase im Herbst 2017 wurde im März 2018 die Verfahrensorganisation vergeben. Nach Abstimmungen zwischen Ausloberin, Verfahrensbüro, asperm-Beirat und der ZT-Kammer wurde im Mai ein zweistufiger, offener Realisierungswettbewerb mit EU-weiter Bekanntmachung ausgeschrieben. In der Preisgerichtssitzung Ende Juni 2018 wurden sechs TeilnehmerInnen für die zweite Stufe ausgewählt. Nach einem Kolloquium im August mussten die Arbeiten Mitte Oktober eingereicht werden. In der Preisgerichtssitzung vom 12. November wurde die Arbeit von StudioVlayStreeruwitz und Carla Lo Landschaftsarchitektur mit dem 1. Preis ausgezeichnet.

Für das Quartier „Seeterrassen“ sollte – unter Respektierung des Zuschnitts von Baufeldern und öffentlichen Räumen aus dem Masterplan – ein städtebaulicher Entwurf als grundsätzlicher Lösungsvorschlag zur etappenweisen Entwicklung des Standortes erstellt werden. Die landschaftsarchitektonischen Leistungen sollten vorrangig auf die baufeldbezogenen Freiräume fokussieren und die Schnittstelle zwischen den Sockelzonen und den öffentlichen Räumen des Quartiers bearbeiten. Es wurden drei besondere inhaltliche Schwerpunkte definiert: „Ausgestaltung

der Sockelzone“, „Verortung und typologische Bearbeitung der Hochhausstandorte“ sowie „Mikroklima – klimaresilienter Städtebau“.

Das SiegerInnenprojekt sollte die Basis für die Erstellung eines städtebaulichen Leitbildes und Gestaltungshandbuchs sein.

Inhaltlicher Schwerpunkt „klimaresilienter Städtebau“

Die ursprüngliche Motivation für die Auslobung des Wettbewerbs lag nicht primär in der Umsetzung eines „grünen Stadtquartiers“, sondern in einer gestalterischen und typologischen Vertiefung des funktional und visuell zentralen Stadtraumes der Seestadt – als Vorbereitung für weitere Planungsschritte wie z. B. Architekturwettbewerbe. Dennoch sollte mit der thematischen Integration der Klimaresilienz in einen sehr frühen Planungsschritt die allgemeine Relevanz des Themas – auch für die Seestadt – aufgezeigt und dadurch als neuer allgemeiner Planungsparameter etabliert werden.

Durch die Integration des Wettbewerbs in das Programm des Projekts „green.resilient.city“ war es möglich, schon sehr früh inhaltliche und instrumentelle Erfordernisse für einen Planungswettbewerb vorzubereiten: bereits vor dem Verfahrensstart wurden die Verfahrensschritte mit der möglichen Implementierung von Tools aus dem Projekt „green.resilient.city“ abgeglichen. Gemeinsam mit dem Verfahrensbüro wurden dann die Vorgaben und Maßnahmen für die einzelnen Verfahrensschritte verfeinert (siehe Kapitel 5.3.1 und 5.3.2 Einsatz GREENPASS und GFF im Wettbewerb).

Ausgangspunkt war eine GREENPASS-Analyse (ENVI-met-Simulation) des Bebauungsvorschlages gemäß Masterplan – als „Ist“-Zustand des Entwurfes. Zwei Varianten wurden simuliert: 100%ige Versiegelung und maximale Begrünung. Dadurch wurden die klimatischen Schwachpunkte (Hotspots) durch die gegebenen Bebauungsstrukturen aufgezeigt und daraus abgeleitete Empfehlungen für die WettbewerbsteilnehmerInnen niedergeschrieben. Die mittels GREENPASS-Pre-Certification ermittelte Punkteanzahl war für die WettbewerbsteilnehmerInnen die Benchmark, die es zu verbessern galt.

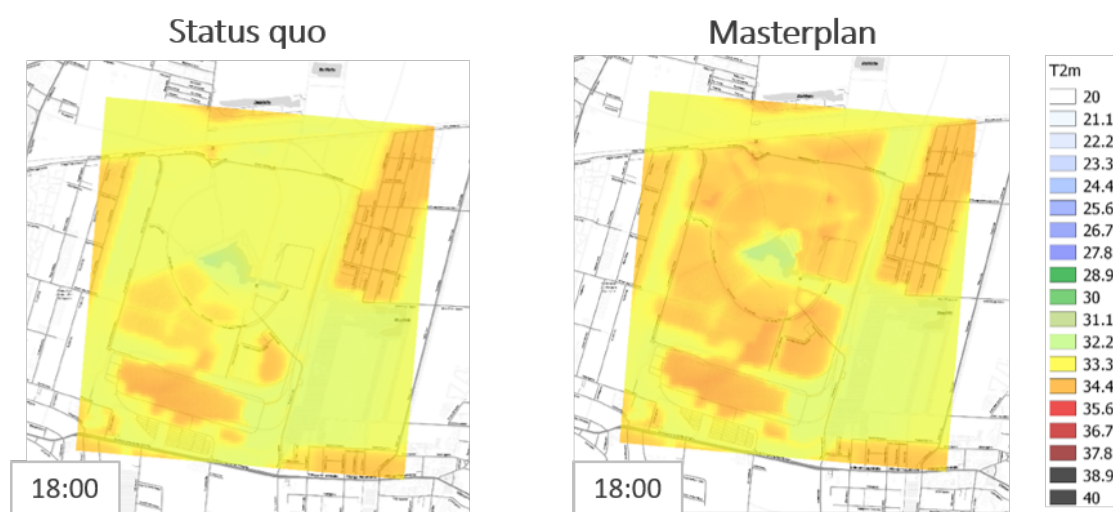


Abbildung 58: Simulation der Temperaturverteilung (20 m räumliche Auflösung) im Case-Study-Gebiet „asperm - Die Seestadt Wiens“ für den Status quo (links) und den Masterplan inkl. neu bebauter Gebiete (rechts) (ZAMG)

In weiterer Folge wurde auch mit MUKLIMO_3 die Auswirkung zusätzlicher Bebauung auf die Hitzebelastung im gesamten Gebiet, basierend auf dem UST-Masterplan, für die Status-quo-Variante berechnet (siehe Abbildung 58). Dafür wurde mit einer Auflösung von 20 m die Temperaturverteilung für den Status quo (ohne neue Bebauung) sowie für den Masterplan (mit neuer Bebauung) simuliert.

Das Thema „Klimaresilienz“ bzw. „klimasensibler Städtebau“ wurde als eines von drei Schwerpunktthemen in der Auslobung präsent kommuniziert und berücksichtigt. Bereits in den Unterlagen der ersten Wettbewerbsstufe wurde das Fokusthema „klimaresilienter Städtebau“ mit zugehörigen Maßnahmen erläutert.

Im Kolloquium der zweiten Stufe wurden allen TeilnehmerInnen neben städtebaulichen und funktionalen Aspekten des Quartiers und seiner Umgebung auch die Möglichkeiten und „Werkzeuge“ zur Erzielung eines klimasensiblen Entwurfes eingehend erläutert: Es wurden sowohl eine Beilage für die Berechnung des Grün- und Freiflächenfaktors, inklusive der Vorgabe eines Richtwertes für die Wettbewerbsbeiträge (siehe Abbildung 59), als auch ein umfangreiches Mikroklima-Handbuch erstellt. Dieses liefert grundlegende Richtlinien und Empfehlungen für klimasensible Stadtentwicklung und Architektur sowie ableitbare Erkenntnisse für die Planung aus den mikroklimatischen Simulationen und Analysen (Dos and Don'ts).

Die sechs Entwürfe der 2. Wettbewerbsstufe konnten aufgrund der Einbettung in das Projekt „green.resilient.city“ einer vollständigen Simulation und Analyse mit einer GREENPASS-Pre-Certification unterzogen werden. Dazu mussten die WettbewerbsteilnehmerInnen digitale Plangrundlagen zur Erstellung von Simulationsmodellen einreichen, wofür im Vorfeld genaue technische und fachliche Spezifikationen erarbeitet wurden. Die Ergebnisse wurden für den Gesamt-Vorprüfbericht aufbereitet (Plus/Minus-Liste) und standen somit dem Preisgericht zum Vergleich zur Verfügung.

Überdies standen die fachspezifischen Vorprüfer auch persönlich während der Preisgerichtssitzung für Fragen und Erklärungen zur Verfügung.

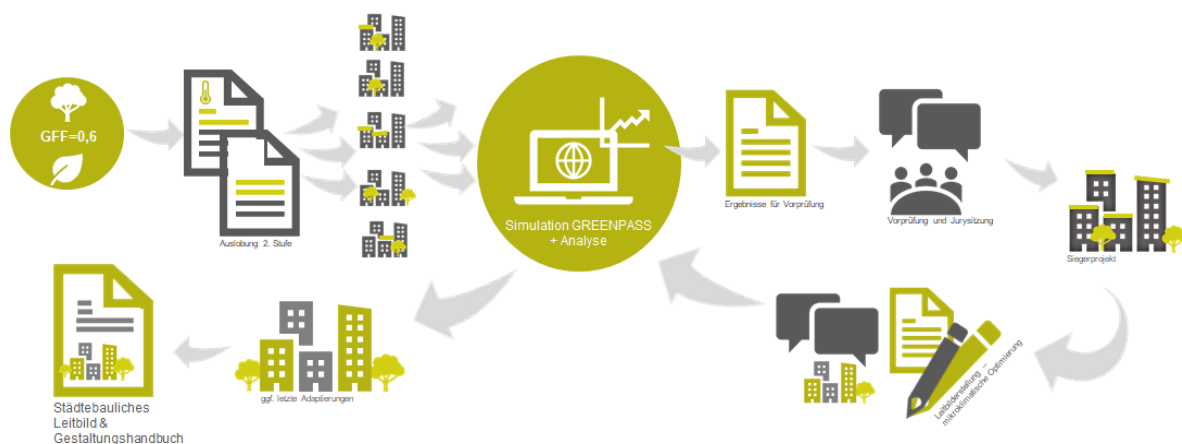


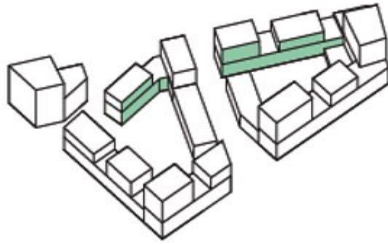
Abbildung 59: Der Prozess von der Wettbewerbsvorbereitung zum städtebaulichen Leitbild (Wien 3420 Aspern Development AG)

Begleitung – Städtebauliches Leitbild

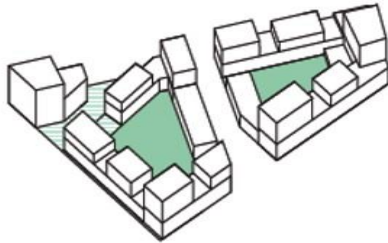
Das von der Jury mit dem 1. Preis ausgezeichnete Projekt wies trotz aller oben beschriebenen Vorarbeiten und Hinweise noch deutliche Verbesserungspotenziale hinsichtlich der mikroklimatischen Performance auf. Die fachliche Begleitung des Planungsteams in der Leitbilderstellung war daher entscheidend für die Erzielung weiterer maßgeblicher Verbesserungen.

Nach der qualitativen Analyse von Schwachstellen des Entwurfes wurden die Optimierungsmaßnahmen eingearbeitet. Der optimierte Entwurf wurde wiederum einer Simulation und Analyse unterzogen, um die Wirkung der optimierten Maßnahmen zu überprüfen und gegebenenfalls noch Anpassungsbedarf identifizieren zu können. Jedoch bestätigte die Überprüfung die hohe Wirksamkeit der durch den Optimierungsworkshop getroffenen Maßnahmen.

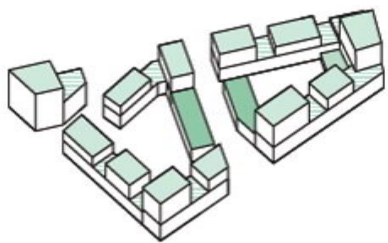
Durch die Begleitung des Wettbewerbs durch das Forschungskonsortium konnten quantitative (Richtwert für UGI durch den GFF) und qualitative mikroklimatische Vorgaben (GREENPASS) im städtebaulichen Leitbild für weitere Planungs- und Umsetzungsprozesse verankert werden, welche in thematischen Plänen in das Gestaltungshandbuch zum Leitbild integriert wurden (siehe



Fassadenbegrünung
Begrünung der Südfassaden hofseitig



Grüne Innenhöfe
Hoher Grünanteil im Innenhof
Versiegelungsgrad minimieren

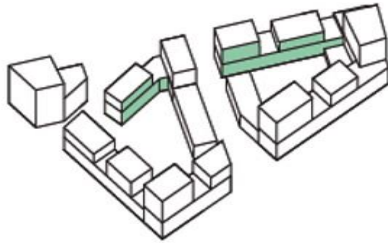


Grüne Dächer
Dachbegrünung mit erhöhtem Substrataufbau
Superintensive Dachgärten,
Gartenterrassen und semi-intensive Dachbegrünung

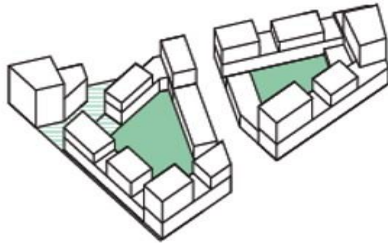


Gute Durchlüftung
Baukörperöffnungen- und abschrägungen
Ideale Belüftung durch gutes Platzieren
von Baumpflanzungen

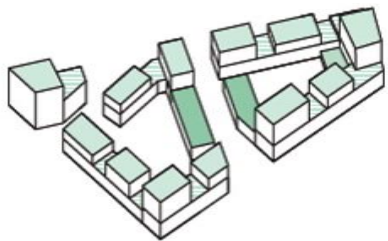
Abbildung 60 und Abbildung 61). Dieses wird zukünftigen EntwicklerInnen als weitere Planungsbasis zur Verfügung gestellt. Es zeigt hinsichtlich einer klimaresilienten Gestaltung gezielte und wirkungsvolle Maßnahmen für die Umsetzung klar auf und schreibt diese für die weitere Baufeldentwicklung auch vor.



Fassadenbegrünung
Begrünung der Südfassaden hofseitig



Grüne Innenhöfe
Hoher Grünanteil im Innenhof
Versiegelungsgrad minimieren



Grüne Dächer
Dachbegrünung mit erhöhtem Substrataufbau
Superintensive Dachgärten,
Gartenterrassen und semi-intensive Dachbegrünung



Hauptwindrichtung
NW

Gute Durchlüftung
Baukörperöffnungen- und abschrägungen
Ideale Belüftung durch gutes Platzieren
von Baumpflanzungen

Abbildung 60: Auszug Gestaltungshandbuch „aspersn - Die Seestadt Wiens“, Quartier „Seeterrassen“ – Maßnahmenübersicht (Wien 3420 Aspern Development AG und StudioVlayStreeruwitz, 2020)

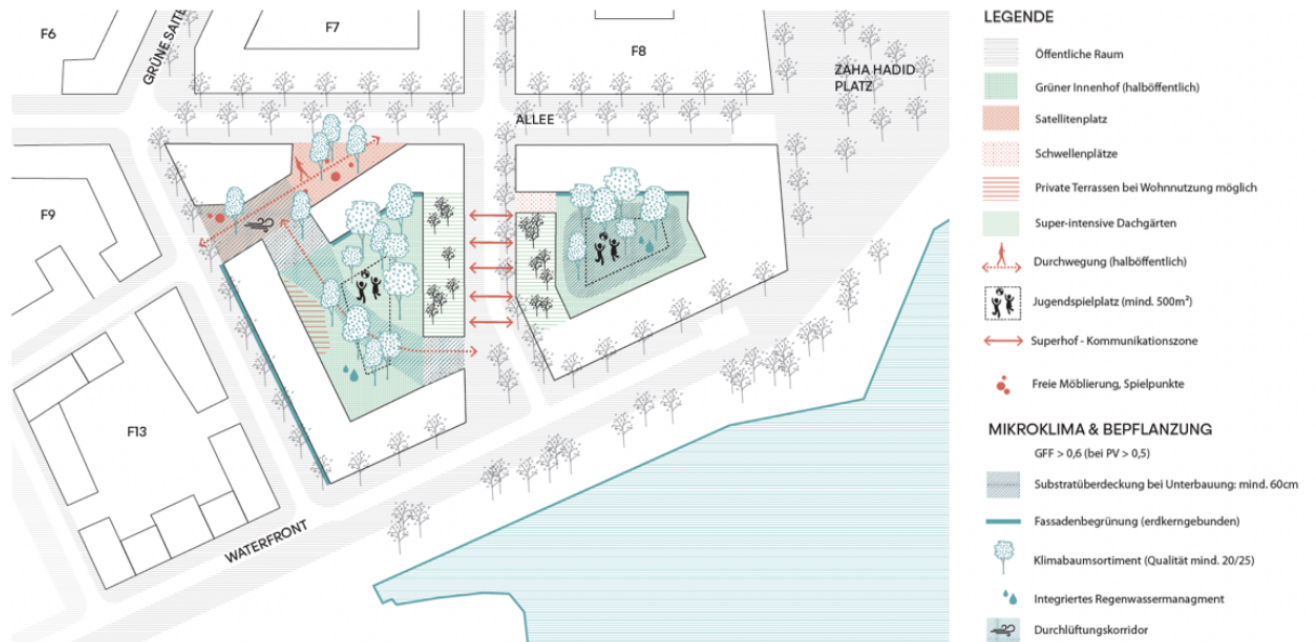


Abbildung 61: Auszug Gestaltungshandbuch „aspers - Die Seestadt Wiens“, Quartier „Seeterrassen“ – Plandarstellung (Wien 3420 Aspern Development AG und StudioVlayStreeruwitz, 2020)

5.3.1. Einsatz von GREENPASS im Wettbewerb und nachfolgender Optimierung

In der 1. Stufe wurden in den Auslobungsunterlagen, neben allgemeinen Informationen zur Thematik, Dos and Don'ts für klimaresiliente Planung kommuniziert. Die Beiträge der 1. Stufe wurden in weiterer Folge mittels einer qualitativen Kriterien-Checkliste vorgeprüft, bewertet und der Jury als Entscheidungsgrundlage aufbereitet. In der 2. Stufe wurde zu den Auslobungsunterlagen als Planungsbasis zusätzlich ein Mikroklimahandbuch (siehe Abbildung 62, rechts) beigelegt, das neben einem Stadtklima-Tutorial und quantitativen Vorgaben auch eine Analyse des Masterplans mittels GREENPASS-Pre-Certification beinhaltet. Die genannten Unterlagen erläuterten den Planungsteams, wie das Mikroklima und Windfeld im Wettbewerbsgebiet funktionieren und dienten somit als wertvoller Input für deren Entwurfsarbeit.



Abbildung 62: Unterlagen zur Einbindung in den städtebaulichen Wettbewerb (Green4Cities/GREENPASS, Wien 3420 aspern Development AG)

Die eingereichten Beiträge der 2. Stufe wurden in weiterer Folge mit einer GREENPASS-Pre-Certification mittels Mikroklimasimulation und standardisierter Analyse innerhalb von 14 Tagen detailliert geprüft und bewertet (siehe Abbildung 63).

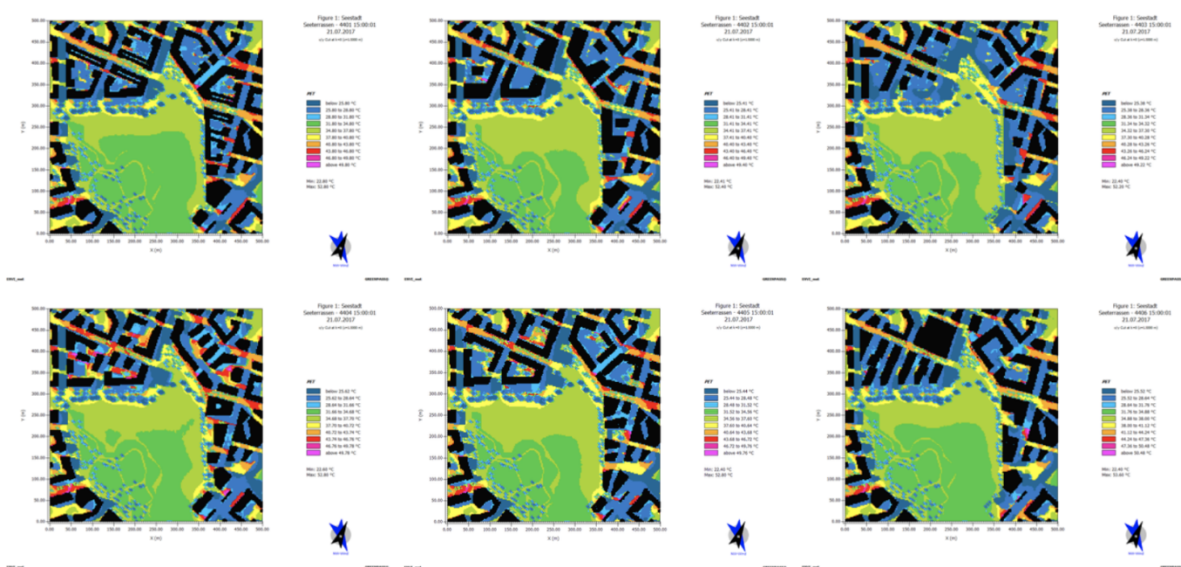


Abbildung 63: „aspern - Die Seestadt Wiens“, Quartier „Seeterrassen“ – Vorprüfung 2. Wettbewerbsstufe – Heatmap Gefühlte Temperatur (PET) um 15 Uhr an einem Hitzetag (alle Wettbewerbsbeiträge) (Green4Cities/GREENPASS)

Die standardisierten vergleichbaren Auswertungsergebnisse wurden der Jury in Form eines Gesamtrankings bestehend aus dem Mittelwert von drei Key-Performance-Scores (KPSs) – dem Thermischen Abluftstrom-Wert (TLO), Thermischen Komfort-Wert (TCS) und Thermischen Speicherfähigkeits-Wert (TSS) – erneut als faktenbasierte Entscheidungsgrundlage aufbereitet. Dabei wurden die unterschiedlichen Entwurfsvarianten relativ zueinander gerankt und nach prozentuellem Erfüllungsgrad für die Jury in Empfehlungsklassen eingeteilt (siehe Abbildung 64 und Abbildung 65).



*Entwurfsvariante xxxx (100%) und xxxx (0%) dienen als Berechnungsgrundlage für die relative Rahmenbildung der Empfehlung.
 Klassen: wenig empfehlenswert 0-35 %, ausreichend 35-50%, empfehlenswert 50-75%, sehr empfehlenswert 75-100 %

Abbildung 64: „aspersn - Die Seestadt Wiens“, Quartier „Seeterrassen“ – Vorprüfung 2. Wettbewerbsstufe – Key-Performance-Score-Gesamt-Ranking mittels GREENPASS (Green4Cities/GREENPASS)

02 | TCS – THERMISCHER KOMFORT WERT



*Entwurfsvariante xxxx (100%) und xxxx (0%) dienen als Berechnungsgrundlage für die relative Rahmenbildung der Empfehlung. Klassen: wenig empfehlenswert 0-35 %, ausreichend 35-50%, empfehlenswert 50-75%, sehr empfehlenswert 75-100 %.

01 | TLO – THERMISCHER ABLUFTSTROM WERT



*Entwurfsvariante xxxx (100%) und xxxx (0%) dienen als Berechnungsgrundlage für die relative Rahmenbildung der Empfehlung. Klassen: wenig empfehlenswert 0-35 %, ausreichend 35-50%, empfehlenswert 50-75%, sehr empfehlenswert 75-100 %.

03 | TSS – THERMISCHER SPEICHERFÄHIGKEITS WERT



*Entwurfsvariante xxxx (100%) und xxxx (0%) dienen als Berechnungsgrundlage für die relative Rahmenbildung der Empfehlung. Klassen: wenig empfehlenswert 0-35 %, ausreichend 35-50%, empfehlenswert 50-75%, sehr empfehlenswert 75-100 %.

Abbildung 65: „asperm - Die Seestadt Wiens“, Quartier „Seeterrassen“ – Vorprüfung 2. Wettbewerbsstufe – Key-Performance-Score-Ranking mittels GREENPASS (Green4Cities/GREENPASS)

Optimierung des Thermischen Komforts

Unter Berücksichtigung aller städtebaulichen Kriterien, darunter auch der Klimaresilienz, wurde von der Fachjury gesamtseitlich ein Entwurf als Wettbewerbsgewinner ausgewählt.

Mithilfe von GREENPASS wurde der ausgewählte Entwurf der 2. Wettbewerbsstufe gemeinsam mit der Auftraggeberin, ArchitektInnen und LandschaftsarchitektInnen gezielt hinsichtlich Klimaresilienz und Thermischen Komforts optimiert. Basierend auf einer detaillierten Baufeldanalyse des Entwurfes wurden in einem dreistündigen Optimierungsworkshop einfach umsetzbare Maßnahmen erarbeitet und definiert, wie z. B. Baukörperöffnungen für eine bessere Ventilation, die Begrünung von im Innenhof liegenden Südfassaden, Entsiegelung von Oberflächen, zusätzliche Baumpflanzungen oder -verschiebungen sowie die Auswahl bestimmter Baumarten. Die gesetzten Maßnahmen wurden in weiterer Folge mit einer erneuten Simulation und Analyse überprüft und bestätigt (siehe Abbildung 66). Dabei konnte z. B. der Thermische Komfort-Wert für das Projektgebiet auf sehr gute 72,37 Punkte (und somit den mit Abstand besten Wert aller Beiträge) erhöht werden (siehe Abbildung 67).

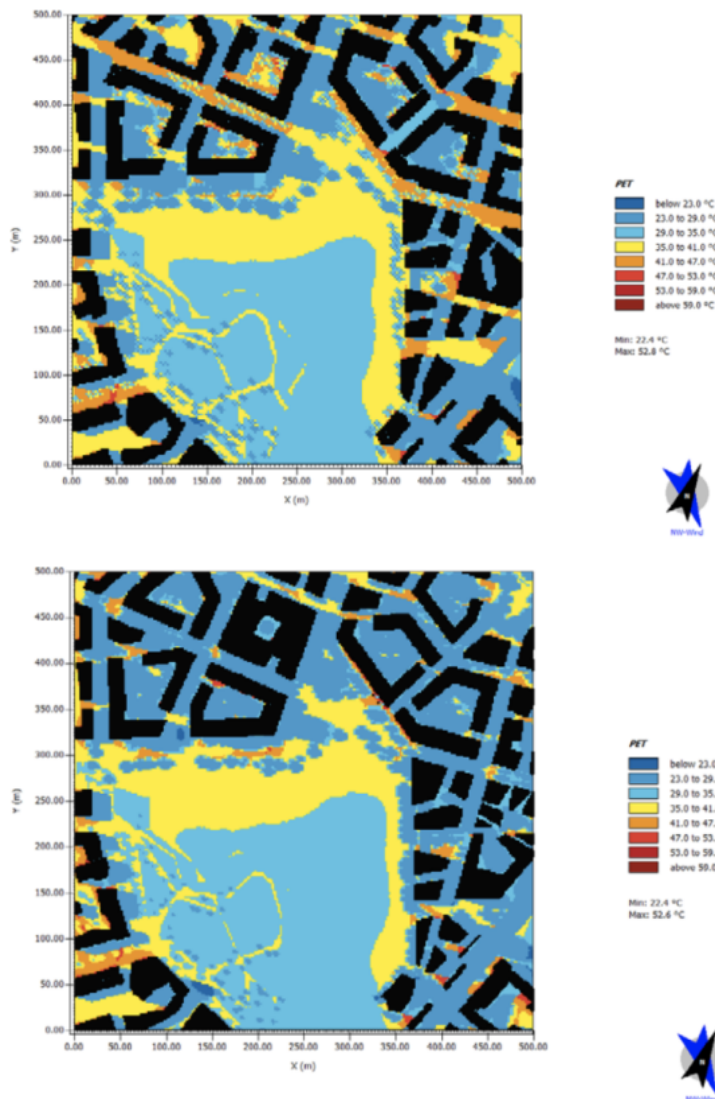


Abbildung 66: „aspersn - Die Seestadt Wiens“, Quartier „Seeterrassen“ – Heatmap Gefühlte Temperatur (PET) um 15 Uhr an einem Hitzetag – SiegerInnenentwurf 2. Runde vor Optimierung (oben) und nach Optimierung (unten) (Green4Cities/GREENPASS)

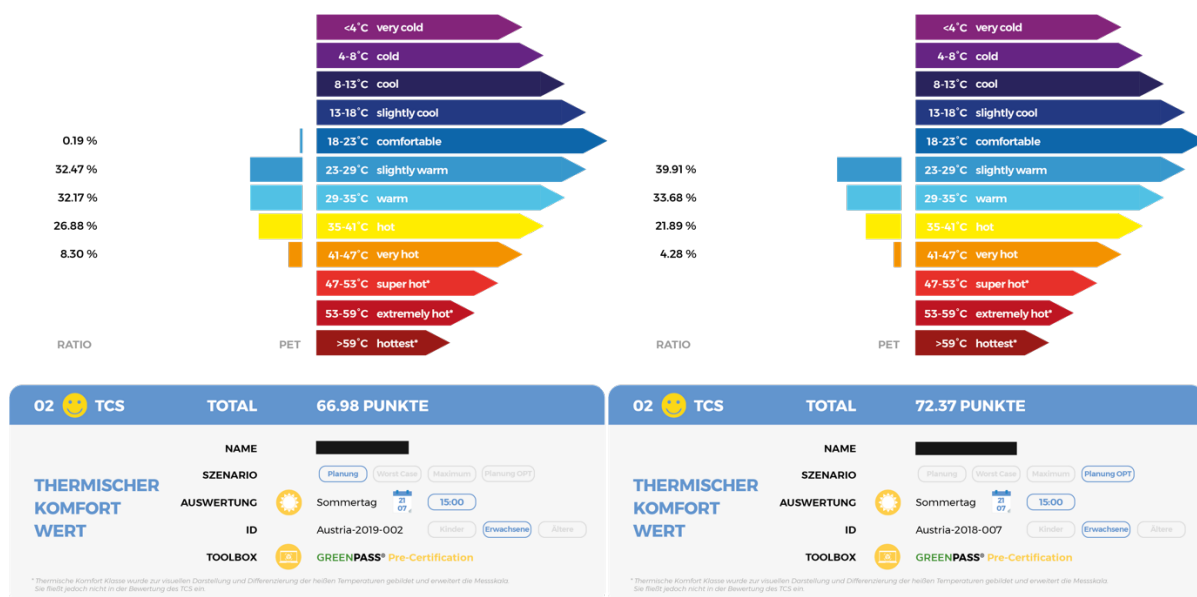


Abbildung 67: „aspersn - Die Seestadt Wiens“, Quartier „Seeterrassen“ – Thermischer Komfort-Wert – SiegerInnenentwurf 2. Runde vor Optimierung (li.) und nach Optimierung (re.) (Green4Cities/GREENPASS)

Die Ergebnisse zeigen, dass bei gezieltem Einsatz von smartem Städtebau sowie grüner Infrastruktur der im Gesamt-Ranking unterdurchschnittliche Entwurf durch einfache und effiziente Maßnahmen final zum klimaresilientesten Entwurf optimiert werden konnte.

5.3.2. Einsatz des GFF im Wettbewerb

Durch die Integration des GFF als städtebaulicher Maßzahl in den Auslobungsunterlagen wurde ein quantitativer Richtwert (0,6) für den Einsatz von urbaner grüner Infrastruktur auf Parzellenebene vorgegeben. Wie dieser Wert erreicht wird, ist von den PlanerInnen frei wählbar. Es gibt keine Vorgaben oder Einschränkungen, welche grünen Infrastrukturelemente eingesetzt werden sollen. Die Gestaltungsfreiheit der PlanerInnen bleibt somit bestehen.

Die sechs Abgaben der zweiten Wettbewerbsstufe wurden hinsichtlich Plausibilität des angegebenen GFF in Zusammenhang mit den planlichen Darstellungen geprüft. Jeder Wettbewerbsbeitrag wurde im Gesamten und für jeden Bauplatz einzeln hinsichtlich der mikroklimatischen Performance analysiert, ausgewertet und gereiht (siehe Abbildung 68 bis Abbildung 70) (Anm.: Beitrag 2 hat für Bauplatz H1 eine falsche Abgabe getätigt, darum kein Wert). Diese Aufbereitung der Beiträge wurde der Jury für die Vorprüfung zur Verfügung gestellt.

	F8	F10	F11	G10	G11	H1	H5	Gesamt
Beitrag 1	0,72	0,86	0,71	0,81	0,77	0,70	0,79	0,77
Beitrag 2	0,66	0,61	0,70	0,80	0,75		0,68	0,70
Beitrag 3	0,70	0,76	0,85	0,61	0,70	0,62	0,68	0,70
Beitrag 4	0,65	0,62	0,65	0,68	0,66	0,70	0,99	0,69
Beitrag 5	0,74	0,73	0,63	0,69	0,69	0,61	0,63	0,68
Beitrag 6	0,60	0,62	0,63	0,60	0,61	0,59	0,59	0,60

Abbildung 68: Berechnung des GFF je Bauplatz je Wettbewerbsabgabe (ILAP)

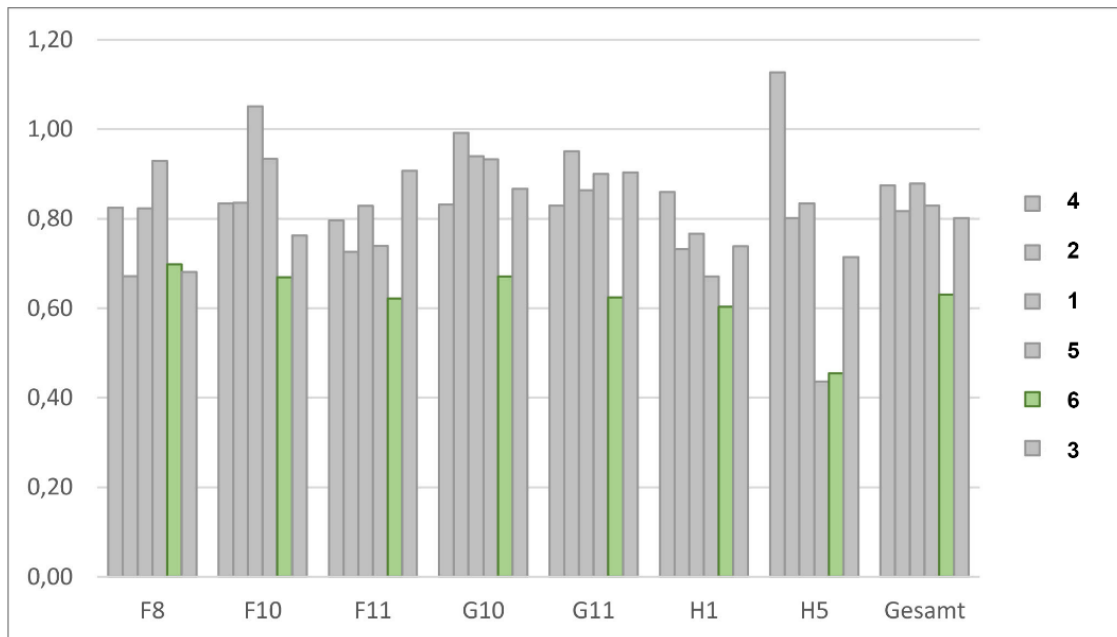


Abbildung 69: Auswertung und Vergleich der Wettbewerbsbeiträge (grün – SiegerInnenentwurf). Dargestellt wird der erreichte GFF der einzelnen Wettbewerbsbeiträge differenziert nach den zu bearbeitenden Baufeldern (ILAP)

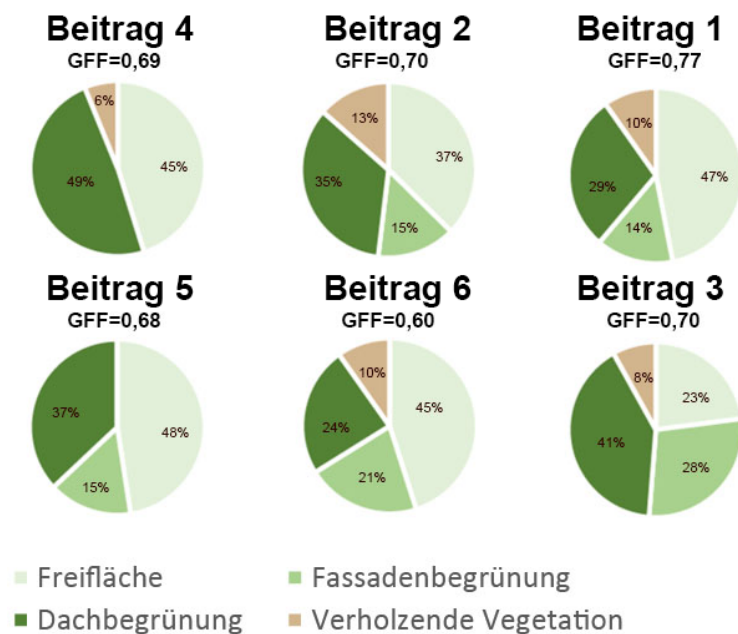


Abbildung 70: Darstellung der eingesetzten Begrünungsmaßnahmen differenziert nach den Wettbewerbsbeiträgen (ILAP)

Für den SiegerInnenentwurf wurden detaillierte Analysen der Begrünungen differenziert nach Dach-, Fassaden- und Außenanlagenfläche (NHW) durchgeführt (siehe Abbildung 71), um eine Analyse der Stärken und Verbesserungsmöglichkeiten vornehmen zu können. Dadurch wurde auch der positive Einfluss des Optimierungsworkshops sichtbar. Einzig bei Bauplatz F8 gab es eine Verschlechterung. Dies ist auf eine allgemeine städtebauliche Änderung zurückzuführen, da dieses Baufeld eine größere Verkaufsfläche im Erdgeschoß aufweisen soll.



Abbildung 71: GFF-Performance – SiegerInnenbeitrag vor und nach den Optimierungsmaßnahmen (ILAP)

5.3.3. Erkenntnisse und Erfahrungen

Die Herausforderung für eine klimasensible Stadtteilplanung bzw. für die WettbewerbsteilnehmerInnen lag insbesondere darin, dass das grundsätzliche städtebauliche Layout – Lage, Orientierung, Ausdehnung von Bauplätzen und öffentlichen Freiräumen – als auch die Ausgestaltung der Straßenräume und Plätze – Versiegelung, Vegetation – nicht mehr zur Disposition standen (hier lagen mit dem Masterplan und den Gestaltungsprinzipien bzw. dem generellen Straßenbauprojekt bereits konkrete Anforderungen vor). Die Maßnahmen mussten sich also im Wesentlichen auf folgende Aspekte beschränken: Anordnung, Höhe und Unterbrechung von Baumassen; Grün- und Freiflächenplanung auf den Parzellen, Versiegelung, Verortung von Bäumen; Gebäudebegrünung.

Eine weitere Herausforderung lag sicherlich auch in der Gebäudetypologie, da zwei Baufelder als potenzielle Hochhausstandorte (bis ca. 85 m) ausgewiesen waren und aufgrund der Bebauungsdichte nur wenige mikroklimatische Maßnahmen umgesetzt werden konnten. Dennoch zeigte sich, dass auch unter diesen Umständen beachtliche qualitätsfördernde Schritte und Vorbereitungen für spätere Projektplanungen umgesetzt werden konnten. Dabei erwies es sich als vorteilhaft, dass gemäß Wettbewerbsauslobung ein interdisziplinäres Team aus ArchitektInnen, StadtplanerInnen und LandschaftsarchitektInnen vorhanden war.

Die konsequente Vermittlung des thematischen Schwerpunktes „Klimaresilienz“ führte – trotz sehr starker Konkurrenz mit anderen Themenschwerpunkten – zu durchwegs guten und sehr guten Ergebnissen schon im Wettbewerb. Das Thema erfordert aktuell noch eine hohe Intensität in der Informationsaufbereitung und Begleitung eines Verfahrens inklusive eines hohen Personal- und Zeitaufwandes (z. B. in der Vorprüfung). Als Unterstützung der WettbewerbsteilnehmerInnen wurde ein Klimaresilienz-Handbuch erarbeitet und auch eine Simulation, Bewertung und Analyse des Masterplans durchgeführt. Auch der GFF wurde detailliert erläutert und entsprechende Arbeitsunterlagen erstellt und zur Verfügung gestellt. Dank des beschriebenen Aufwandes und der prominenten Platzierung der Thematik in den Ausschreibungsunterlagen erreichten alle Projekte akzeptable Ergebnisse in Bezug auf die Grünraumausstattung und Klimaresilienz. Die Analysen der Wettbewerbsbeiträge durch die ExpertInnen des „green.resilient.city“-Projekts zeigten jedoch, dass das grundsätzliche Verständnis der PlanerInnen für die Wirkungsweisen und Wechselwirkungen von Bausteinen klimasensibler Stadtplanung bzw. grüner Infrastrukturelemente ausbaubar ist. Daher wurde für den Begleitprozess des städtebaulichen Wettbewerbs bereits von Beginn an eine Optimierungsphase eingeplant. Der von der Jury als SiegerInnenentwurf bestimmte Wettbewerbsbeitrag wurde daher in einem dreistündigen Workshop mit dem siegreichen Planungsteam, der Ausloberin und den ExpertInnen des Forschungsprojekts optimiert. Sehr effizient wurden alle Bauplätze separat sowie die Frei- und Straßenräume auf Basis der vorangegangenen Analysen diskutiert. Daraus wurden Änderungen bzw. Ergänzungen und Erweiterungen an Baukörpern und Begrünungen abgeleitet. Die Adaptierungen wurden sowohl mit GREENPASS und dem GFF erneut analysiert und bewertet und bestätigten die Effizienz und Richtigkeit der beschlossenen Optimierungen des Entwurfes. Die Klimaresilienz konnte, trotz hohem Ausgangswert, nochmals ohne Mehrkosten mit geringem Aufwand signifikant verbessert werden. Die gewählte Herangehensweise kann also als sehr effektiv bewertet werden.

Die Begleitung des städtebaulichen Wettbewerbs und die kombinierte Anwendung von GFF und GREENPASS waren ein erstmaliger Versuch, einen Teil des Tool-Sets in die Planung zu integrieren. Zeitlich gesehen hat die Wettbewerbsbegleitung im ersten Projektjahr stattgefunden, demzufolge war es ein Testlauf. Positiv zu beobachten war, dass die zur Verfügung gestellten Unterlagen und Anleitungen sowie ein GFF-Richtwert insgesamt zu einer Befassung mit der Thematik klimaresilienter Stadtplanung und mit Sicherheit dahingehend überdurchschnittlichen Entwürfen führte. Die Auswertung der Wettbewerbsbeiträge zeigte eine weitgehende Übereinstimmung zwischen den erstmals gemeinsam eingesetzten Tools. Eine weitere, positive Erkenntnis der Begleitung sind die Akzeptanz der planenden Teams und die Operabilität des Einsatzes von GFF und GREENPASS. Dank der klaren Kommunikation der Ausloberin und dem Stellenwert der Thematik Klimaresilienz wurde die Anwendung von GFF und GREENPASS positiv aufgenommen. Alle Planungsteams konnten die zur Verfügung gestellten Unterlagen und Arbeitshilfen anwenden bzw. die geforderten Unterlagen und Pläne gemäß den Vorgaben des Forschungsteams zeitgerecht abgeben. Bei der unmittelbaren Anwendbarkeit von GFF-Kennwerten, welche schlussendlich der Bewertung einer Summe von

Maßnahmen dienen, hat sich gezeigt, dass dies als Hilfswerkzeug für die Planung noch zu verbessern ist. Diese Erkenntnisse bildeten die Grundlagen für die Weiterentwicklung des GFF und es konnten Erfahrungen für die folgenden Harmonisierungsschritte des Tool-Sets gesammelt werden.

5.4. Anknüpfungspunkte für die Anwendung des GRC-Tool-Sets im Planungsalltag

Die Case-Studies und die Diskussionen im Rahmen der Advisory-Board-Treffen und der Austauschplattform zeigten deutlich den Bedarf an Klimasimulationen und Steuerungsinstrumenten, die auf die jeweilige Planungsebene und -instrumente abgestimmt sind. Grundlagen und Informationen über die klimatischen Veränderungen, aber auch das Aufzeigen der Handlungsmöglichkeiten zur klimasensiblen bzw. klimaresilienten Stadtplanung und -entwicklung sind für die Städte wichtig, um eine Anpassung an den Klimawandel im Planungsalltag umsetzen zu können. Das Aufzeigen der Einsatzmöglichkeiten und die intensiven Diskussionen der Implementierungsmöglichkeiten im Zuge der Advisory-Board-Treffen mit den planenden Dienststellen der Stadt Wien eröffneten Perspektiven für eine zukünftige Umsetzung bzw. Anwendung des GRC-Tool-Sets.

5.4.1. Diskussion der Einsatzmöglichkeiten mit dem Advisory Board aus den planenden Dienststellen der Stadt Wien

Das Ziel der Advisory-Board-Treffen, die gemeinsam mit der Umweltschutzabteilung der Stadt Wien organisiert wurden, war, inhaltlich aufeinander aufzubauen und unterschiedliche Schwerpunktthemen und Einsatzmöglichkeiten des GRC-Tool-Sets zu behandeln.

Ein Kernteam an Beteiligten (u. a. Magistratsabteilung 22 – Umweltschutz, VertreterInnen des InKA [Infrastrukturelle Anpassung an den Klimawandel]-Kernteams und der Magistratsdirektion, Magistratsabteilung 21 – Stadtteilplanung und Flächennutzung, Magistratsabteilung 19 – Architektur und Stadtgestaltung, Magistratsabteilung 50 – Wohnbauförderung und Schlichtungsstelle für wohnrechtliche Angelegenheiten, Wiener Umweltanwaltschaft) wurde durchgehend einbezogen. Für einzelne Termine wurden themenrelevante VertreterInnen aus weiteren Dienststellen hinzugezogen (z. B. Magistratsabteilung 18 – Stadtentwicklung und Stadtplanung oder MD-KLI – Magistratsdirektion Klimaschutzkoordination).

Das erste Advisory-Board-Treffen diente der Vorstellung des Projekts und des Forschungskonsortiums sowie der Vernetzung mit den Dienststellen und inhaltlich ähnlichen bzw. ergänzenden Projekten in der Wiener Stadtverwaltung wie dem InKA-Projekt.

Das zweite Advisory-Board-Treffen hatte als Ziel, einen vertiefenden Einblick in das Tool-Set anhand beispielhafter Anwendungen zu geben. Das Zusammenspiel von GFF und GREENPASS sowie der Einsatz der Simulationsergebnisse von MUKLIMO_3 wurden anhand der Begleitung des städtebaulichen Wettbewerbs „aspersn - Die Seestadt Wiens“ – Quartier „Seeterrassen“ erläutert (Neubau). Anschließend wurde in zwei Kleingruppen die Anwendung in städtebaulichen Qualifizierungsverfahren diskutiert und der rechtliche Rahmen sowie die notwendigen planerischen Ebenen abgesteckt.

Das dritte Advisory-Board-Treffen ging vertiefend auf die Anwendung im Neubau ein. Es wurde auf den Diskussionen des zweiten Treffens aufgebaut und vertiefend die Implementierung des Tool-Sets in städtebaulichen Qualifizierungsverfahren und Bauträgerwettbewerben behandelt. Weiters wurden die Einsatzmöglichkeiten der Instrumente zur Steuerung der Grün- und Freiraumversorgung im Bestand sowie bei Umnutzungs- und geplanten Verdichtungsvorhaben anhand des Zielgebiets Wien-Innerfavoriten diskutiert.

Planungsebenen und Planungsinstrumente

Die Ergebnisse zeigen, dass sich das GRC-Tool-Set für unterschiedliche Planungsebenen und -instrumente eignet (siehe Tabelle 4). Das Einsatzspektrum reicht von regionalen Entwicklungskonzepten bis zur Bauplatzebene, die mit den unterschiedlichen Klimamodellen und Steuerungsinstrumenten bespielt werden können.

Tabelle 4: Abstimmung der klimatischen und planerischen Maßstabsebenen mit den Klimasimulations- und Steuerungsinstrumenten (ILAP)

Planungsebenen und Planungsinstrumente	Maßstabsebenen und räumliche Auflösung	Klimasimulations- bzw. Steuerungsinstrumente
<u>Über die Stadtgrenze hinaus / Großraum</u> Regionale Entwicklungskonzepte und Strategiepläne	<u>Regionales/urbanes Klima</u> (1–10 km)	COSMO-CLM
<u>Stadt</u> Städtebauliche Entwicklungskonzepte	<u>urbanes/lokales Klima</u> (100 m–1 km)	COSMO-CLM MUKLIMO_3 (GREENPASS GFF)
<u>Bezirk/Stadtteil</u> FWP und Bebauungsplan; Städtebauliche Wettbewerbe und Leitbilder	<u>urbanes/lokales Mikroklima</u> (20–100 m)	MUKLIMO_3 GREENPASS GFF
<u>Stadtquartier/Parzelle</u> Bauträgerwettbewerbe; Städtebaulicher Vertrag; Baubewilligung	<u>Mikroklima</u> (0,5–20 m)	GREENPASS GFF

5.4.2. Anknüpfungspunkte für die Anwendung bei unterschiedlichen Planungsprozessen und -instrumenten am Beispiel der Stadt Wien

Ein weiteres zentrales Ergebnis ist, dass das GRC-Tool-Set als wissenschaftliche Entscheidungsgrundlage für städtebauliche Beschlüsse auf politischer und planerischer Ebene dienen kann. Eine zentrale These des Forschungsprojekts war, dass nur ein auf die Planungsebenen abgestimmtes Tool-Set eine wirkliche Unterstützung von Planungsprozessen liefern kann. Die räumliche Auflösung und Detailliertheit muss genau auf die Planungsebene und Detailliertheit der Planungskonzepte abgestimmt werden.

Regionale Konzepte

Ein erster Anknüpfungspunkt für den Einsatz des GRC-Tool-Sets wird auf Ebene der regionalen Entwicklungskonzepte gesehen. Gerade bei der Abstimmung über Verwaltungsgrenzen hinaus ist ein Wissen über die gegenseitige Beeinflussung des lokalen Klimas wichtig, da sich Veränderungen im lokalen Klima nicht an Verwaltungsgrenzen halten.

Örtliche Entwicklungskonzepte

Örtliche Entwicklungskonzepte – in Wien der Stadtentwicklungsplan (STEP) – sind ein weiterer Anknüpfungspunkt, um großräumig die aktuelle Situation und Hitzebelastung zu erfassen, aber auch künftige Änderungen sowohl in klimatischer als auch baulich-räumlicher Sicht zu modellieren. Vor allem die Wirkungen großräumiger und strategischer Maßnahmen – wie z. B. der Lage von Grünkeilen oder -gürteln oder der Positionierung von Stadterweiterungs- und Stadtentwicklungsprojekten – können mit regionalen und mesoklimatischen Klimasimulationsinstrumenten dargestellt und geprüft werden.

Städtebauliche Entwicklungskonzepte und Wettbewerbe

Städtebauliche Entwicklungskonzepte – siehe dazu auch die Case-Study „Aspern - Die Seestadt Wiens“ – sind ein weiterer zentraler Einsatzbereich des GRC-Tool-Sets. Wie in Kapitel 3.1 erläutert, hat z. B. die grundsätzliche Bebauungsstruktur großen Einfluss auf das Mikroklima. Daher sollte der Einsatz der Instrumente in die Dichte und Nutzungsverteilungen als Entscheidungsgrundlage für Vorgaben von Mengengerüsten bzw. städtebaulichen Kennwerten einfließen (z. B. wie bei der Anwendung an der Case-Study „Aspern - Die Seestadt Wiens“, wo die Thematik des klimaresilienten Städtebaus schon in die Auslobungsunterlagen mit aufgenommen wurde).

Wie sich auch bei der Begleitung des städtebaulichen Wettbewerbs Quartier „Seeterrassen“ gezeigt hat, besteht die Notwendigkeit, Mikroklima-ExpertInnen in Wettbewerbsverfahren (Stichwort: Juryzusammensetzung) zu integrieren. Ziel muss es sein, Jurymitglieder mit entsprechenden Kompetenzen zu involvieren, damit das Thema angemessen berücksichtigt werden kann.

Praktische Anwendungsbeispiele des Tool-Sets wären, eine optimale Kombination an städtebaulichen Typologien für Stadtentwicklungsgebiete vorzugeben oder Alternativvorschläge z. B. zu geschlossener Bebauung (aus mikroklimatischer Sicht meist schlecht zu bewerten) zu machen, ohne die Bebauungsmöglichkeiten zu verringern und somit keinen Verlust an Wohnungen zu haben. Dies ist sowohl im Neubau als auch bei der Bestandsumwandlung möglich. Durch die Vorgabe von Gebäudetypologien ist nachfolgend die Gestaltungsfreiheit der PlanerInnen nicht eingeschränkt. Typologien können architektonisch individuell gestaltet und je nach Nutzungsschwerpunkt angepasst werden.

Flächenwidmungs- und Bebauungsplanung

Die Ebene der Flächenwidmungs- und Bebauungsplanung wird als die zentrale Ebene für den Einsatz eines Grün- und Freiflächenfaktors gesehen. Damit ließen sich rechtsverbindlich Zielwerte verankern. Zentrale Fragen in der realen Umsetzung sind die Entwicklung der Zielwerte für unterschiedliche Siedlungsbereiche und -typologien sowie Fragen der Gleichbehandlung. Außerdem muss der Einsatz für die Bestandsentwicklung oder für Neuausweisungen differenziert umgesetzt werden.

Klimasimulationsmodelle können dabei helfen, den notwendigen bzw. gewünschten Begrünungsgrad und die damit einhergehenden Verbesserungen des lokalen Klimas zu quantifizieren. Daraus lassen sich konkrete Zielwerte für einen Grün- und Freiflächenfaktor ableiten.

Bestandsentwicklungskonzepte

Auch in Gebieten, in denen eine Bestandsentwicklung angestrebt wird, lässt sich das GRC-Tool-Set erfolgreich einsetzen (siehe auch Case-Study Innerfavoriten). Diese Planungs- und Umsetzungsprozesse sind oft an die Überarbeitung von Flächenwidmungs- und Bebauungsplanungen oder städtische Sanierungsgebiete (z. B. Sockelsanierung des wohnfonds_wien) gekoppelt. Effekte unterschiedlicher Anpassungsmaßnahmen und auch Kennwerte wie die Senkung der Lufttemperatur in Abhängigkeit von den Maßnahmen lassen sich simulieren.

Bauträgerwettbewerbe

Das in Wien stark genutzte Instrument der Bauträgerwettbewerbe – aber auch alle anderen städtebaulichen oder architektonischen Qualifizierungsverfahren bzw. Wettbewerbsformen – kann mit dem GRC-Tool-Set begleitet werden. Vor allem mikroklimatische Simulationen und die Vorgabe eines Zielwertes für den Grün- und Freiflächenfaktor unterstützen den Wettbewerb und können auch geprüft werden.

Baubewilligung und städtebaulicher Vertrag

Selbst Einzelprojekte zeigen Einsatzmöglichkeiten auf. Auch hier sind es vor allem mikroklimatische Simulationen einzelner Gebäude bzw. die Vorgabe eines Grün- und Freiflächenfaktors, die als mögliche Einsatzbereiche gesehen werden. Sollte eine Verbindlichkeit über den Flächenwidmungs- und Bebauungsplan nicht möglich sein, würden sich auch städtebauliche Verträge für die Verankerung eines Zielwertes eines Grün- und Freiflächenfaktors eignen.

Durchgehende Berücksichtigung klimatischer Aspekte und der Einsatz des GRC-Tool-Sets

Die Anwendung des GRC-Tool-Sets muss auf unterschiedlichen planerischen und strategischen Ebenen erfolgen – überall dort, wo seitens der Stadt Entscheidungen getroffen werden (Auslobungen, Verordnungen, Flächenwidmungspläne, Bebauungspläne etc.) – und auf den jeweiligen Detaillierungsgrad Bezug nehmen.

Es ist nicht ausreichend, erst im Zuge der Flächenwidmung mit einem Steuerungsinstrument einzugreifen. Sinnvoll ist es, früher anzusetzen – bereits bei der Entwicklung von neuen Stadtentwicklungsplänen (STEP).

Die kombinierte Anwendung der unterschiedlichen Instrumente des Tool-Sets ermöglicht, durch Simulationen die klimatischen Auswirkungen auf Parzellen-, Quartiers-, Bezirks- und Gesamtstadtebene aufzuzeigen. Es ist nicht nur für städtebauliche Entscheidungen hilfreich, sondern kann auch bei der Etablierung eines zusammenhängenden Freiraumnetzes helfen. Die Klimasimulationen können Bereiche identifizieren und aufzeigen, in denen der Lückenschluss des grünen Netzes notwendig ist.

5.4.3. Übertragungsmöglichkeiten auf andere Städte

Im Zuge einer Austauschplattform mit einem Fokus auf Grün- und Freiflächenfaktoren wurden der Bedarf und die Übertragungsmöglichkeiten des GRC-Tool-Sets auf andere österreichische Städte diskutiert.

Bei der Veranstaltung, an der VertreterInnen der Städte Braunau, Graz, Innsbruck, Krems, Linz, Salzburg, Wels und Wien teilnahmen, wurde deutlich, dass sich viele österreichische Städte – unabhängig von der Größe – intensiv mit der Anpassung der räumlichen Entwicklung an den Klimawandel beschäftigen. Der Ausbau und die Entwicklung der urbanen grünen (und blauen) Infrastruktur wurden von allen als eine der zentralen Strategien der Städte genannt. Instrumente, die dem Ansatz des Grün- und Freiflächenfaktors entsprechen – also eine quantitative Vorschreibung der Versiegelung bzw. des Anteils an grüner Infrastruktur – werden aktuell von diesen Städten entwickelt bzw. befinden sich in der Umsetzung.

Deutlich wurde im Vergleich der Ansätze, dass die Städte einen starken Druck verspüren, die räumliche Entwicklung klimasensibel zu gestalten. Klimatische Simulationen helfen, besonders betroffene Bereiche zu identifizieren und die Wirkung unterschiedlicher Maßnahmen zu prüfen.

Die Steuerung einer entsprechenden Begrünung wird aber von allen Städten als schwierig empfunden, da adäquate Instrumente kaum vorhanden sind. Neben der Frage, wie viel Grün wo notwendig ist, ist die Frage, auf Basis welcher rechtlichen Grundlagen sowie in welchen Planungsinstrumenten und Verfahren eine Umsetzung möglich ist, entscheidend.

Generell gibt es einen umfassenden Planungsrahmen, der es den Ländern und insbesondere den Kommunen ermöglicht, die tatsächliche räumliche Entwicklung auf nachhaltige und klimasensible Weise zu steuern. Es fehlen aber Möglichkeiten, wirksame Maßnahmen zu definieren, um auf z.B. Wärmeinseln oder sich ändernde Gefahrenintensitäten und -frequenzen durch die Steuerung der Versorgung mit urbaner grüner Infrastruktur zu reagieren. Das GRC-Tool-Set schließt hier eine Forschungslücke. Viele Fragen bleiben aber offen (z.B. wie die konkrete rechtliche Umsetzung erfolgen kann), da diese nicht im Fokus des Forschungsprojekts lagen, welches sich auf den Proof of Concept des prinzipiellen Ansatzes konzentrierte.

5.5. Proof of Concept des Tool-Sets der unterschiedlichen Einzelinstrumente

Im Folgenden wird beschrieben, welche Vorteile die Kombination der unterschiedlichen Instrumente im Tool-Set hat (siehe Abbildung 72): Der GFF ermöglicht eine quantitative Bewertung von Parzellen/Bauplätzen (Gebäuden und Freiflächen). Angewendet werden kann er zum einen, um städtebauliche Verfahren zu begleiten, indem eingereichte Wettbewerbsbeiträge bewertet und verglichen werden. Andererseits kann der Optimierungsbedarf für vorhandene gebaute Strukturen (im Bestand) identifiziert werden. Der GREENPASS stellt die klimatische Leistung einzelner Bauplätze oder Stadtquartiere dar. Durch die Verknüpfung dieser beiden Instrumente (GFF und GREENPASS) können die mikroklimatischen Auswirkungen von bestehender grüner Infrastruktur und deren Veränderungen auf Parzellenebene für ein gesamtes Stadtviertel simuliert werden. Da das Stadtklimamodell MUKLIMO_3 und das regionale Klimamodell COSMO-CLM ebenfalls im Tool-Set integriert sind und über die USTs harmonisiert wurden, greifen alle drei Simulationsmodelle auf die gleiche Datenbasis zurück und haben eine gemeinsame Schnittstelle. Die Vorteile der Implementierung der USTs in die Klimasimulationsmodelle liegen in der Verschneidung mit städtebaulichen Typologien. Die Bewertung einzelner UST-Typen ermöglicht es, allgemeine städtebauliche Empfehlungen für die Stadt zu generieren. Darüber hinaus können die hinterlegten Begrünungsszenarien in die Simulationen integriert werden. So kann gezeigt werden, welcher Gebäudetyp in Kombination mit welchem Begrünungstyp klimatisch besonders effektiv ist.

Das Tool-Set kann auch in umgekehrter Reihenfolge verwendet werden, vom großen Maßstab bis zur Parzellenebene. Die Verwendung von COSMO-CLM und MUKLIMO_3 als Klimasimulationsmodelle auf Stadtebene und für den Großraum Wien ermöglicht die Darstellung innerstädtischer Hitzespots unter aktuellen Bedingungen und für zukünftige Klimaszenarien. Dies führt zu „Schwerpunkt-Bereichen“, in denen Verbesserungen erzielt werden müssen, um eine hohe Lebensqualität für die BewohnerInnen zu gewährleisten. Die identifizierten Teilbereiche können als Ausgangsbedingungen für den GREENPASS herangezogen werden. Durch verschiedene Begrünungsszenarien kann der GREENPASS zeigen, wo welche grüne Infrastruktur am effizientesten ist, um ein Stadtviertel zu kühlen. Unter Berücksichtigung von Windrichtung und Windgeschwindigkeit zeigt der GREENPASS an, auf welchen Parzellen bestimmte Maßnahmen ergriffen werden müssen. Der GFF kann dann die Verwendung von UGI auf genau diesen Parzellen steuern, indem Zielwerte vorgegeben werden.

Das Tool-Set unterstützt politische Entscheidungen auf wissenschaftlicher Basis. Es dient der Stadt dazu, klimatische Entwicklungen und Auswirkungen städtebaulicher Veränderungen vorzusehen und gezielte Maßnahmen zu fordern und zu erreichen. Da es in Wien noch kein ganzheitliches Instrument zur Analyse des Stadtklimas auf verschiedenen Planungsebenen und kein Steuerungsinstrument für UGI auf Parzellenebene gibt, kann die Kombination verschiedener Klimasimulationsinstrumente mit dem GFF einen wesentlichen Beitrag zur grünen, klimaresilienten Stadtplanung leisten.

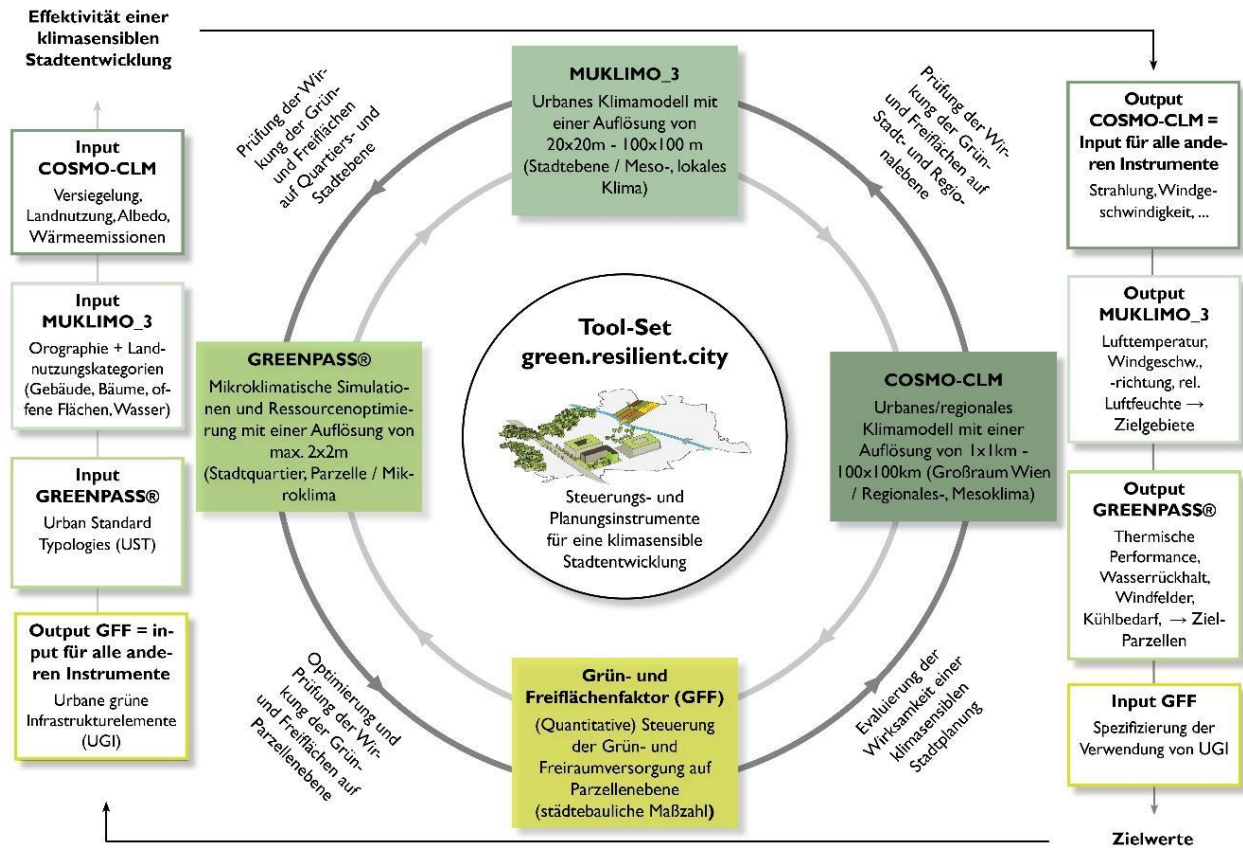


Abbildung 72: Proof of Concept für ein harmonisiertes, mehrskaliges Optimierungs-, Steuerungs- und Evaluierungsinstrument auf unterschiedlichen klimatischen und planerischen Ebenen (ILAP/GRC-Projektkonsortium)

6 Schlussfolgerungen

Das übergeordnete Ziel des Forschungsprojekts – ein Proof of Concept des GRC-Tool-Sets – wurde erreicht. Sowohl in der Bestandsstadt als auch bei Neubauprojekten sowie auf unterschiedlichen Planungsebenen kann das GRC-Tool-Set einen Beitrag zu einer klimaresilienten Stadtplanung und -entwicklung leisten. Vielmehr noch, es ist dafür geeignet, die Klimawandelanpassung von Städten zu quantifizieren und zu steuern. Der Ansatz, mit Simulationstools auf unterschiedlichen klimatischen Ebenen in Verbindung mit den planerischen Ebenen zu arbeiten, erweist sich als erfolgreich und zielführend. Auch die Koppelung mit einem Steuerungsinstrument zur Sicherstellung der quantitativen Versorgung mit grüner Infrastruktur, die notwendig ist, um die Anpassung zu unterstützen bzw. die gewünschten Effekte zu erreichen, ist gelungen und konnte mithilfe der Simulationstools auch abgesichert werden. Somit kann das Projekt insgesamt als Erfolg gewertet werden.

Eine wesentliche Herausforderung des Projekts bestand in der Harmonisierung und Verbindung der unterschiedlichen Simulationsmodelle. Dies wurde einerseits durch die geografische Abstimmung der Simulationsgebiete über alle Maßstäbe hinweg erreicht, andererseits wurde durch den Ansatz sogenannter Urbaner Standard-Typologien (USTs) eine gemeinsame Klimadatenbasis hergestellt. Die USTs werden im Simulationsmodell auf Quartiersebene räumlich genau abgebildet. Das urbane und regionale Simulationsmodell (MUKLIMO_3 und COSMO-CLM) parametrisiert diese, das heißt die Eigenschaften der unterschiedlichen USTs werden mithilfe von Parametern im Modell abgebildet und berücksichtigt. Als Grundlage für die USTs kamen der Urban Atlas und die GREENPASS-USTs zum Einsatz. Die Simulationsergebnisse des urbanen Simulationsmodells wurden mit gemessenen Daten verglichen. Dadurch konnte gezeigt werden, dass dieser Ansatz zu soliden Simulationsergebnissen führt. Die GREENPASS-USTs erwiesen sich als etwas akkurater als jene des Urban Atlas und sind außerdem in unterschiedlichen Begrünnungsszenarien je UST verfügbar. Daher wurden sie für die weitere Projektbearbeitung gewählt. Der Ansatz der Verbindung unterschiedlicher Simulationsmodelle über USTs kann somit erfolgreich bestätigt und empfohlen werden.

Es konnte dadurch gezeigt werden, dass alle drei Simulationsmodelle – von regional über urban bis zur Quartiersebene – in ihren grundsätzlichen Aussagen übereinstimmen: alle drei Modelle konnten den positiven Effekt von Begrünnungsmaßnahmen auf das Stadtklima belegen. Dies erlaubt einen direkten Vergleich von Klimawandelanpassungsmaßnahmen durch grüne und blaue Infrastrukturen und deren Wirksamkeit auf unterschiedlichen Maßstabsebenen. Gleichzeitig konnten wertvolle Erkenntnisse über die Stärken und Schwächen der einzelnen Modelle gewonnen werden, insbesondere wie sich Änderungen der USTs in Bezug auf Begrünnungsintensität und Entsiegelung in den unterschiedlichen Simulationsmodellen auch leicht abweichend auswirken. Damit wird die Interpretationsqualität ihrer Aussagen erhöht.

Die gekoppelte Modellierungskette über alle drei Ebenen erlaubt drei essenzielle Erkenntnisse aus dem Projekt:

1. Eine Koppelung von unterschiedlichen Simulationsmodellen über USTs ist möglich und sinnvoll.
2. Trotz der völlig unterschiedlichen Modelle und Skalenebenen liefern diese tendenziell ähnliche Aussagen.
3. Die Wirkungen von Maßnahmen auf Quartiers-, Stadt- und Regionalebene können abgebildet und bewertet werden.

Verwertung und Zielgruppen des GRC-Tool-Sets

Die primäre Zielgruppe für die Anwendung des GRC-Tool-Sets sind Städte. Diese stehen aufgrund des Klimawandels vor enormen Herausforderungen. Das GRC-Tool-Set ermöglicht Städten, ihre Anstrengungen zur Anpassung an Hitze und Starkregen gezielt auf unterschiedlichen planlichen Maßstäben umzusetzen und auf den unterschiedlichen klimatischen Maßstabebenen zu bewerten. Öffentliche Mittel können so effizient und zielgenau eingesetzt werden, um die bestmögliche Wirkung zu entfalten. Daher wurden Städte bzw. ihre Fachvertretungen von Beginn an intensiv in das Forschungsprojekt eingebunden. Als Zielgruppen für das GRC-Tool-Set wurden außerdem politische EntscheidungsträgerInnen, planende Dienststellen der Stadtverwaltungen, aber auch Planungs- und Architekturbüros sowie beratende IngenieurInnen identifiziert. Die Einbindung zukünftiger Zielgruppen bzw. AnwenderInnen des GRC-Tool-Sets in die Entwicklung unterstützte bereits in der Phase der industriellen Forschung die Vorbereitung einer späteren konkreten Umsetzung.

Die direkte Zusammenarbeit mit der Umweltschutzabteilung der Stadt Wien als Projektpartnerin, die Etablierung eines Advisory Boards mit VertreterInnen der planenden Dienststellen der Stadt Wien sowie die Austauschplattform mit weiteren Städten waren zentrale Ansätze, die zu einer Verbreitung und Verbesserung der Forschungsergebnisse führten, da eine ständige Rückkoppelung der Forschungsergebnisse mit den Anforderungen der städtischen Verwaltungen erfolgte. Auch wurde damit die Implementierung in den Praxisalltag unterstützt. Ergänzend wurden (Zwischen-)Ergebnisse laufend in Gremien bzw. bei Institutionen der Stadt Wien präsentiert, um so die neuen Ansätze diskutieren zu können und die Praxisauglichkeit zu überprüfen. Gleichzeitig dienten die Workshops einer Bekanntmachung und Verbreitung des Tool-Sets. Die Vorstellung des GRC-Ansatzes und des Proof of Concept auf nationalen und internationalen Tagungen zeigte deutlich die Notwendigkeit, die Neuartigkeit und die Innovation des Ansatzes.

Weiterarbeit mit den Ergebnissen

Im Zuge des Forschungsprojekts wurden zahlreiche Anwendungsfelder im Bereich der räumlichen Planung identifiziert, die durch das GRC-Tool-Set bedient werden können. Die Ergebnisse des Forschungsprojekts sind für alle Konsortialbeteiligten eine wichtige Grundlage für die Weiterentwicklung ihrer Instrumente und die Basis für weitere Forschungsprojekte. Bereits während der Projektlaufzeit wurden erfolgreich weitere Forschungsprojekte entwickelt, die ein Weiterarbeiten an den Ergebnissen des Projekts „green.resilient.city“ ermöglichen. Durch die intensive Verbreitung der Forschungsprojekte sind einige Städte interessiert, die erarbeiteten Grundlagen weiterzuentwickeln und die Implementierung zumindest von Teilen des GRC-Tool-Sets einer konkreten Anwendung zuzuführen.

Im Lichte des ungebremsten Klimawandels und des inzwischen gereiften Verantwortungsbewusstseins auf internationaler Ebene gewinnen Tool-Sets, wie das im Zuge dieses Projekts entwickelte, zunehmend an Bedeutung. Der europäische Green Deal stellt Lösungen zur Vermeidung des Klimawandels bzw. die Anpassung an diesen in den Fokus von Forschung und Wirtschaft. Das Potenzial für das GRC-Tool-Set, sukzessive in das Verwaltungshandeln integriert zu werden, ist daher hoch.

7 Ausblick und Empfehlungen

Wie bereits die Ergebnisse der Case-Studies im Rahmen des Forschungsprojekts „green.resilient.city“ zeigten, liefert das Forschungsprojekt Grundlagen für eine Umsetzung in realen Projekten der Stadtentwicklung und Stadtplanung. Die ausgewählten GRC-Tools wurden einerseits erfolgreich zur Bewertung der Begrünungsintensität und Klimaresilienz eingesetzt, andererseits aber auch in weiterer Folge zur Optimierung und Qualitätssicherung. Aufbauend auf der erfolgreichen Anwendung des GRC-Tool-Sets wird nun eine Übertragung der Methodik und Vorgehensweise zur Sicherung der Klimaresilienz und Qualität von Stadtentwicklungen angestrebt und von den ProjektpartnerInnen propagiert. Als erste Erfolge dahingehend können die Aufnahme des GFF in das Klimaaktiv-System genannt werden oder die Beauftragung von Partner GREENPASS für die nächste Entwicklungsphase der Seestadt. Außerdem soll das GRC-Tool-Set in nachfolgenden (angewandten Forschungs-)Projekten weiterentwickelt werden.

Auf Stadtebene und unter Berücksichtigung der USTs kann das urbane Klimamodell MUKLIMO_3 eingesetzt werden, um die Auswirkung von zukünftig geplanten Bauprojekten auf das städtische Klima zu untersuchen und somit eine fundierte Grundlage sowie Empfehlungen im Rahmen von Stadtentwicklungsprojekten liefern zu können. Die numerische Bewertung des GFF und die Quartiersbetrachtung von GREENPASS werden in die stadtklimatische Ebene eingebunden. Mit dem Modell COSMO-CLM wird die Analyse auf die regionale Ebene erweitert und die Wirkungskette in beide Richtungen der Maßstabsebenen geschlossen.

Die Städte erkennen zunehmend, dass die einzelnen Ebenen in der Stadtplanung nicht voneinander getrennt betrachtet werden können. Bauprojekte auf Quartiersebene können durchaus stadtklimatologische Auswirkungen haben, genauso wie regionale Klimaszenarien und Stadtklimaanalysen essenzielle Empfehlungen für die Stadtteilebene liefern. Durch die Koppelung der Modelle über all diese Ebenen konnte dieses Projekt einen wertvollen Beitrag liefern, den Städten erstmals eine Modellkette für alle Ebenen in die Hand zu geben. Die hier geschaffenen Grundlagen sind auf weitere Fragestellungen, Zukunfts- bzw. Klimaszenarien und Städte übertragbar. Da in diesem Projekt ein Proof of Concept erfolgreich durchgeführt wurde, besteht hier weiterer Forschungsbedarf vor allem in der Anwendung und praktischen Prüfung des GRC-Tool-Sets.

Bedarf an wissenschaftlich fundierten Entscheidungsgrundlagen insbesondere für kleinere und mittlere Städte

Insbesondere kleinere und mittlere Städte haben oft nicht die Kapazitäten, sich intensiv mit den Herausforderungen des Klimawandels bzw. der Anpassung an diesen auseinanderzusetzen. Klimatische Simulationen, wie sie im GRC-Tool-Set eingesetzt werden, sind eine wichtige und zentrale Grundlage für die Entscheidungsfindung.

Derzeit bestehen jedoch noch erhebliche Barrieren: technologische, administrative sowie regulatorische, um den kleinen und mittleren Städten die notwendigen Entscheidungsgrundlagen effizient zur Verfügung zu stellen. Das Ziel von weiteren Entwicklungen sollte eine kleinräumige Verfügbarkeit von Simulationen und Bewertungen für Städte sein. Denn im Rahmen des Projekts „green.resilient.city“ wurde deutlich, dass für die unterschiedlichen Planungsebenen entsprechend kleinräumige bzw. auf die Planungsebenen abgestimmte Datengrundlagen notwendig sind, um

darauf aufbauend entsprechende klimatische Simulationen durchführen zu können, welche die Entscheidungsfindung unterstützen. Weitere Forschungsvorhaben werden sich daher mit der Fragestellung beschäftigen, wie diese Datengrundlagen zu erheben und für Simulationen zur Verfügung zu stellen sein werden. Eine wesentliche Rolle in diesem Kontext können hier Remote Sensing und Software-gestützte Datentransformation darstellen.

Eine zentrale Herausforderung – vor allem für EntscheidungsträgerInnen – bleibt aber der Umgang mit den Unsicherheiten in der konkreten Entwicklung der Klimasignale sowie den konkreten räumlichen Auswirkungen. Der Umgang mit und die Kommunikation dieser Unsicherheiten sowie die Folgen für die Entscheidungsfindungen sind gerade in der räumlichen Planung ein offenes Forschungsfeld. Das Forschungsprojekt „green.resilient.city“ konnte hier erste wertvolle Ansätze und Lösungswege aufzeigen.

Fehlende rechtliche Grundlagen für eine grüne und klimaresiliente räumliche Entwicklung

Im Zuge des Forschungsprojekts – insbesondere im Rahmen der Diskussionen des Advisory Boards und der Austauschplattform – wurde deutlich, dass die Umsetzung einer grünen und klimaresilienten räumlichen Entwicklung eine enorme Herausforderung für die österreichischen Städte darstellt. Die Planungsinstrumente und -prozesse zur Berücksichtigung klimatischer Aspekte in der Planung fehlen häufig. Hinzu kommt die Herausforderung, dass die Umsetzungsmöglichkeiten in den österreichischen Bundesländern unterschiedlich sind. Die Raumplanungs- und Baugesetze bieten darüber hinaus in allen Bundesländern nur wenige konkrete Anknüpfungspunkte.

Ein wesentlicher Aspekt für zukünftige Forschungsvorhaben ist daher die Frage der Einrichtung eines „Klimaschutzmechanismus“ im österreichischen Raumplanungskontext. Die Diskussion ist nicht neu, hat aber in den letzten zehn Jahren im österreichischen und europäischen Kontext interessanterweise nicht an Dynamik gewonnen. Neben der Frage, welche einzelnen Planungsinstrumente zur Förderung der Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Klimawandel und der Anpassung an seine Folgen beitragen können, ist es unvermeidlich, einen Workflow zur Bewertung der räumlichen Pläne sowie Strategien hinsichtlich ihrer Anpassungsfähigkeit einzurichten.

Im österreichischen Raumplanungskontext wurde „Climate Proofing“ (Birkmann und Fleischhauer, 2009) von Planungsinstrumenten nicht umfassend diskutiert. Erste Grundlagen dafür wurden im Rahmen des Forschungsprojekts „green.resilient.city“ erarbeitet. Für die konkrete rechtliche und prozessuale Umsetzung der Einbindung des GRC-Tool-Sets ist aber ein umfangreicher (angewandter) Forschungsbedarf gegeben.

Berücksichtigung neu entwickelter (State-of-the-Art-)Modellierungsansätze

Mit der im Oktober 2019 begonnenen zweiten Phase der Fördermaßnahme „Stadtklima im Wandel“ verfolgt das deutsche Bundesministerium für Bildung und Forschung das Ziel, das neue Stadtklimamodell PALM-4U, welches gebäudeauflösende Simulationen von Stadtgebieten – in Abhängigkeit verfügbarer rechnerischer Ressourcen – bis zu ca. 2.000 km² erlaubt, zu einem Werkzeug weiterzuentwickeln, das sowohl den Bedürfnissen von Gemeinden, Städten und anderen PraxisanwenderInnen entspricht, als auch für die wissenschaftliche Forschung geeignet ist. PALM-4U soll laut Anforderungskatalog Funktionalitäten zu Planungs- und Prüfungsprozessen in der Stadtentwicklung und Stadtplanung, zur Konzeption der Grün- und Freiraumentwicklung und -nutzung in Hinblick auf die Hitzeanfälligkeit, zur Berechnung und Monitoring der Luftqualität und Schadstoffbelastung sowie zur energetischen und gesundheitlichen Optimierung von Gebäuden

aufweisen (Weber et al., 2019). Der Einsatz des Modells weist ein großes Potenzial auf, da dadurch mikroklimatische bzw. umweltmeteorologische Wechselwirkungen im gesamtstädtischen Bereich abgebildet werden und als Grundlage zur Bewältigung der kurz- und langfristigen Herausforderungen des Klimawandels sowie für diverse städteplanerische Fragestellungen dienen können.

8 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel für den urbanen Wärmeinseleffekt: zwischen Innenstadt und offenem ländlichen Raum beträgt der Temperaturunterschied bis zu 6 K (Stewart und Oke, 2012, S. 1888) ...	13
Abbildung 2: Abendliches Thermalbild Stadt Wien (MA 22, 2015, S. 8).....	14
Abbildung 3: Stündliche Temperaturverteilung an Referenztag im Sommer 2012 für Wien-Innere Stadt und Nordbahnhof sowie Seibersdorf als ländlicher Vergleich (MA 22, 2015, S. 8).....	14
Abbildung 4: Schwankungen in der CO ₂ -Konzentration (je nach Warmzeiten und Eiszeiten) und der rapide Anstieg nach 1950 (NASA – Global Climate Change, o. J., o. S.).....	15
Abbildung 5: Zeitreihen der Jahreswerte für Lufttemperatur für Österreich ab Messbeginn bis 2019. Der Mittelwert im Referenzzeitraum 1961–1990 sowie der Mittelwert der letzten 30 Jahre sind jeweils mit dunkel- bzw. hellgrauen Balken gekennzeichnet (Höfler et al., 2020, S. 5).....	15
Abbildung 6: Bevölkerungsveränderung 2018 bis 2040 (ÖROK, 2019, S. 15).....	16
Abbildung 7: Grün- und Freiraumkennwerte für Wien (MA 18, 2015, S. 84).....	23
Abbildung 8: Vorschlag für ein mehrskaliges Optimierungs-, Steuerungs- und Evaluierungsinstrument auf unterschiedlichen klimatischen und planerischen Ebenen (ILAP/GRC-Projektconsortium).....	24
Abbildung 9: Urbane Standard-Typologien (USTs) und internationale Case-Study-Städte (Green4Cities/GREENPASS, 2018).....	30
Abbildung 10: Auszug der „Urban Standard Typologies“ (USTs) (Green4Cities/GREENPASS, 2018)....	32
Abbildung 11: Methodik Urbane Standard-Typologien (USTs) (Green4Cities/GREENPASS, 2018).....	33
Abbildung 12: Beispiel UST003 inkl. Begrünungsszenarien (Green4Cities/GREENPASS, 2018).....	33
Abbildung 13: Teil der Flächenstatistik für Beispiel UST003 (Green4Cities/GREENPASS, 2018).....	34
Abbildung 14: UST-Karte für Wien (Green4Cities/GREENPASS, 2018).....	35
Abbildung 15: GFF und Klimasimulationsinstrumente auf verschiedenen Maßstabsebenen – Downscaling von regionaler Ebene auf Bauplatzebene (Reinwald et al., 2019).....	35
Abbildung 16: Tagesgang der 2-m-Temperatur für den idealisierten Sommertag (19.7.2014) in COSMO-CLM für das Case-Study-Gebiet Wien-Innerfavoriten (AIT).....	36
Abbildung 17: Tagesgang der 2-m-Temperatur für den idealisierten Sommertag (19.7.2014) in MUKLIMO_3 für das Case-Study-Gebiet Wien-Innerfavoriten (ZAMG).....	36
Abbildung 18: Tagesgang der 2-m-Temperatur für den idealisierten Sommertag (19.7.2014) im GREENPASS für das Case-Study-Gebiet Wien-Innerfavoriten (Green4Cities).....	37
Abbildung 19: Aufbereitung der UST-Daten für die Integration in COSMO-CLM (AIT).....	38
Abbildung 20: Mittlere jährliche Anzahl an Sommertagen (T _{max} ≥ 25 °C) für vergangene und zukünftige 30-jährige Klimanormalperioden unter Berücksichtigung des A1B-Emissionsszenarios, simuliert mit MUKLIMO_3 und unter Anwendung der Quadermethode nach Früh et al. (2011) (ZAMG).....	39
Abbildung 21: Versiegelungslayer in den Varianten „Status quo“ (SQ), „Moderate Begrünung“ (MOD) und „Maximale Begrünung“ (MAX) als Inputdaten für die regionale Klimasimulation (AIT).....	40

Abbildung 22: Gesamtversiegelung in MUKLIMO_3 basierend auf UST-Status-quo (SQ) (ZAMG).....	41
Abbildung 23: GREENPASS-Szenarien und Simulationsmodelle Grundriss: Status quo (1.), Worst Case (2.), Moderate Case (3.) und Maximum Case (4.) (Green4Cities)	42
Abbildung 24: GREENPASS-Szenarien und Simulationsmodelle Perspektive SW: Status quo (1.), Worst Case (2.), Moderate Case (3.) und Maximum Case (4.) (Green4Cities).....	42
Abbildung 25: GREENPASS-Szenarien und Simulationsmodelle Perspektive NO für die Case-Study Wien-Innerfavoriten: Status quo (1.), Worst Case (2.), Moderate Case (3.) und Maximum Case (4.) (Green4Cities).....	42
Abbildung 26: Zahl der Tropennächte (im 10-jährigen Mittel) im Status quo und in den Begrünungsvarianten simuliert mit COSMO-CLM (AIT)	43
Abbildung 27: Temperaturdifferenzen (relativ zum Status quo) der Szenarien „Moderate Begrünung“ (blau), „Maximale Begrünung“ (grün), „Versiegelung“ (orange) simuliert mit COSMO-CLM. Eine Temperaturreduktion bei den Begrünungsvarianten und eine Temperaturzunahme beim Versiegelungsszenario sind vor allem nachts sichtbar (AIT)	43
Abbildung 28: Tagesminimumtemperatur für Status quo und Begrünungsszenarien im Sommer (oben) und Winter (unten) simuliert mit COSMO-CLM (AIT).....	44
Abbildung 29: Räumliche Verteilung der 2-m-Temperatur basierend auf den USTs für einen idealisierten Sommertag tagsüber (links) und nachts (rechts) simuliert mit MUKLIMO_3 (ZAMG).....	45
Abbildung 30: Effekt der Begrünungsszenarien; Differenz in Maximaltemperatur für moderates (links) und maximales (rechts) Begrünungsszenario im Vergleich zu Status quo simuliert mit MUKLIMO_3 (ZAMG)	45
Abbildung 31: Tagesgang der über das Untersuchungsgebiet Wien-Innerfavoriten gemittelten Lufttemperatur für die vier UST-Szenarien simuliert mit MUKLIMO_3 (ZAMG).....	46
Abbildung 32: Verortung Untersuchungsgebiet (Map data ©2020 Google).....	47
Abbildung 33: GREENPASS – Vergleich der Ergebnisse für unterschiedliche Begrünungsszenarien in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten (Green4Cities)	48
Abbildung 34: GREENPASS – Thermischer Komfort / Gefühlte Temperatur für Status-quo-Szenario in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten, 15 Uhr (Green4Cities)	49
Abbildung 35: GREENPASS – Thermischer Komfort / Gefühlte Temperatur für Worst-Case-Szenario in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten, 15 Uhr (Green4Cities)	50
Abbildung 36: GREENPASS – Thermischer Komfort / Gefühlte Temperatur für Moderate-Case-Szenario in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten, 15 Uhr (Green4Cities)	51
Abbildung 37: GREENPASS – Thermischer Komfort / Gefühlte Temperatur für das Maximum-Case-Szenario in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten, 15 Uhr (Green4Cities)	52
Abbildung 38: GREENPASS – Thermischer Komfort-Wert für Status-quo-Szenario in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten, 15 Uhr (Green4Cities)	53
Abbildung 39: GREENPASS – Thermischer Komfort-Wert für Worst-Case-Szenario in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten, 15 Uhr (Green4Cities)	54
Abbildung 40: GREENPASS – Thermischer Komfort-Wert für Moderate-Case-Szenario in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten, 15 Uhr (Green4Cities)	55

Abbildung 41: GREENPASS – Thermischer Komfort-Wert für Maximum-Case-Szenario in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten, 15 Uhr (Green4Cities)	56
Abbildung 42: GREENPASS – Lufttemperatur für Status-quo-Szenario in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten, 15 Uhr (Green4Cities)	57
Abbildung 43: GREENPASS – Lufttemperatur für Worst-Case-Szenario in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten, 15 Uhr (Green4Cities)	58
Abbildung 44: GREENPASS – Lufttemperatur für Moderate-Case-Szenario in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten, 15 Uhr (Green4Cities)	59
Abbildung 45: GREENPASS – Lufttemperatur für Maximum-Case-Szenario in der Case-Study 10. Bezirk/Innerfavoriten, 15 Uhr (Green4Cities)	60
Abbildung 46: Versiegelungsgrad in den unterschiedlichen Simulationsmodellen nach Szenarien (AIT/ZAMG/Green4Cities)	62
Abbildung 47: Bandbreite (Versiegelung / Worst Case [rot] und maximale Begrünung [grün]) der Temperaturdifferenz (in °C) relativ zum Status quo in den drei Simulationsmodellen tagsüber (links) und nachts (rechts) (AIT/ZAMG/Green4Cities)	62
Abbildung 48: GREENPASS-Wirksamkeitsanalyse – Vergleich der Anzahl bzw. Größe von grünen Infrastrukturen mit gleicher Blattflächensumme (Green4Cities/GREENPASS).....	66
Abbildung 49: GREENPASS-Wirksamkeitsanalyse – Modellmaße Simulationsmodelle (Green4Cities/GREENPASS).....	68
Abbildung 50: GREENPASS-Wirksamkeitsanalyse – Anordnung von Bäumen in unterschiedlichen Lagen bzw. Expositionen zum Baukörper (Green4Cities/GREENPASS).....	68
Abbildung 51: Gemittelter Multiplikationsfaktor Klima für einzelne UGI-Typen und Expositionen aus GREENPASS-Wirksamkeitsanalyse – grafische Darstellung (Green4Cities/GREENPASS).....	73
Abbildung 52: Multiplikationsfaktor Thermischer Komfort (TCS) für einzelne UGI-Typen und Expositionen aus GREENPASS-Wirksamkeitsanalyse – grafische Darstellung (Green4Cities/GREENPASS).....	74
Abbildung 53: Gemittelter Multiplikationsfaktor für Thermischen Abluftstrom (TLS) für einzelne UGI-Typen und Expositionen aus GREENPASS-Wirksamkeitsanalyse – grafische Darstellung (Green4Cities/GREENPASS).....	75
Abbildung 54: Gemittelter Multiplikationsfaktor für Thermische Speicherfähigkeit (TSS) für einzelne UGI-Typen und Expositionen aus GREENPASS-Wirksamkeitsanalyse – grafische Darstellung (Green4Cities/GREENPASS).....	76
Abbildung 55: Konzept GFF: differenzierte Betrachtung des Grundstücks (Ring et al., forthcoming) .	79
Abbildung 56: Zusammensetzung des GFF und die entsprechenden Referenzflächen (FB: Fassadenbegrünung, FF: Fassadenfläche, DB: Dachbegrünung, DF: Dachfläche, EGB: Erdgeschoß-Begrünung, BP: Bauplatzfläche) (Ring et al., forthcoming)	80
Abbildung 57: Vergleich von neuer Berechnungsmethode (GFF) und bereits bestehenden Grünflächenfaktoren (GOF) (eigene Bearbeitung nach Ring et al., forthcoming)	81
Abbildung 58: Simulation der Temperaturverteilung (20 m räumliche Auflösung) im Case-Study-Gebiet „aspersn - Die Seestadt Wiens“ für den Status quo (links) und den Masterplan inkl. neu bebauter Gebiete (rechts) (ZAMG)	83

Abbildung 59: Der Prozess von der Wettbewerbsvorbereitung zum städtebaulichen Leitbild (Wien 3420 Aspern Development AG).....	84
Abbildung 60: Auszug Gestaltungshandbuch „aspern - Die Seestadt Wiens“, Quartier „Seeterrassen“ – Maßnahmenübersicht (Wien 3420 Aspern Development AG und StudioVlayStreeruwitz, 2020)	87
Abbildung 61: Auszug Gestaltungshandbuch „aspern - Die Seestadt Wiens“, Quartier „Seeterrassen“ – Plandarstellung (Wien 3420 Aspern Development AG und StudioVlayStreeruwitz, 2020)	88
Abbildung 62: Unterlagen zur Einbindung in den städtebaulichen Wettbewerb (Green4Cities/GREENPASS, Wien 3420 aspern Development AG)	89
Abbildung 63: „aspern - Die Seestadt Wiens“, Quartier „Seeterrassen“ – Vorprüfung 2. Wettbewerbsstufe – Heatmap Gefühlte Temperatur (PET) um 15 Uhr an einem Hitzetag (alle Wettbewerbsbeiträge) (Green4Cities/GREENPASS)	89
Abbildung 64: „aspern - Die Seestadt Wiens“, Quartier „Seeterrassen“ – Vorprüfung 2. Wettbewerbsstufe – Key-Performance-Score-Gesamt-Ranking mittels GREENPASS (Green4Cities/GREENPASS)	90
Abbildung 65: „aspern - Die Seestadt Wiens“, Quartier „Seeterrassen“ – Vorprüfung 2. Wettbewerbsstufe – Key-Performance-Score-Ranking mittels GREENPASS (Green4Cities/GREENPASS)	91
Abbildung 66: „aspern - Die Seestadt Wiens“, Quartier „Seeterrassen“ – Heatmap Gefühlte Temperatur (PET) um 15 Uhr an einem Hitzetag – SiegerInnenentwurf 2. Runde vor Optimierung (oben) und nach Optimierung (unten) (Green4Cities/GREENPASS)	92
Abbildung 67: „aspern - Die Seestadt Wiens“, Quartier „Seeterrassen“ – Thermischer Komfort-Wert – SiegerInnenentwurf 2. Runde vor Optimierung (li.) und nach Optimierung (re.) (Green4Cities/GREENPASS)	93
Abbildung 68: Berechnung des GFF je Bauplatz je Wettbewerbsabgabe (ILAP).....	93
Abbildung 69: Auswertung und Vergleich der Wettbewerbsbeiträge (grün – SiegerInnenentwurf). Dargestellt wird der erreichte GFF der einzelnen Wettbewerbsbeiträge differenziert nach den zu bearbeitenden Baufeldern (ILAP).....	94
Abbildung 70: Darstellung der eingesetzten Begrünungsmaßnahmen differenziert nach den Wettbewerbsbeiträgen (ILAP).....	94
Abbildung 71: GFF-Performance – SiegerInnenbeitrag vor und nach den Optimierungsmaßnahmen (ILAP)	95
Abbildung 72: Proof of Concept für ein harmonisiertes, mehrskaliges Optimierungs-, Steuerungs- und Evaluierungsinstrument auf unterschiedlichen klimatischen und planerischen Ebenen (ILAP/GRC-Projektconsortium)	103

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: GREENPASS-Wirksamkeitsanalyse – Simulationsvarianten der Faktorenanalyse (Green4Cities/GREENPASS)	67
Tabelle 2: GREENPASS-Wirksamkeitsanalyse – Ableitung der Blattflächen auf die benötigten Grünflächen (Green4Cities/GREENPASS)	70
Tabelle 3: Gemittelter Multiplikationsfaktor Klima für einzelne UGI-Typen und Expositionen aus GREENPASS-Wirksamkeitsanalyse (Thermischer Abluftstrom-Wert (TLO), Thermischer Komfort-Wert (TCS) und Thermischer Speicherfähigkeits-Wert (TSS)) (Green4Cities/GREENPASS)	71
Tabelle 4: Abstimmung der klimatischen und planerischen Maßstabsebenen mit den Klimasimulations- und Steuerungsinstrumenten (ILAP)	98

Literaturverzeichnis

- Abraham, A., Sommerhalder, K., Abel, T., 2009. Landscape and well-being: a scoping study on the health-promoting impact of outdoor environments. *International Journal of Public Health* (2010) 55, 59–69.
- AGES, 2020. Hitze-Mortalitätsmonitoring. <https://www.ages.at/themen/umwelt/informationen-zu-hitze/hitze-mortalitaetsmonitoring/> (aufgerufen am 1. Oktober 2020).
- Anderl, M., Gangl, M., Haider, S., Heinfellner, H., Köther, T., Lampert, C., Mandl, N., Matthews, B., Pazdernik, K., Pfaff, G., Pinterits, M., Poupa, S., Purzner, M., Schieder, W., Schmid, C., Schmidt, G., Schodl, B., Schwaiger, E., Schwarzl, B., Titz, M., Weiss, P., Wieser, M., Zechmeister, A., 2020. Austria's annual greenhouse gas inventory 1990-2018: Submission under regulation (EU) No 525/2013, 62 Seiten.
- Anderl, M., Geiger, K., Gugele, B., Gössl, M., Haider, S., Heller, C., Ibesich, N., Köther, T., Krutzler, T., Kuschel, V., Lampert, C., Neier, H., Pazdernik, K., Perl, D., Poupa, S., Purzner, M., Rigler, E., Schieder, W., Schmidt, G., Schodl, B., Svehla-Stix, S., Storch, A., Stranner, G., Vogel, J., Wiesenberger, H., Zechmeister, A., 2019. Klimaschutzbericht 2019: Report Rep-0702. Umweltbundesamt GmbH, Wien.
- APCC, 2014. Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, 1096 pp.
- Artmann, M., Inostroza, L., Fan, P., 2019. Urban sprawl, compact urban development and green cities. How much do we know, how much do we agree? *Ecological Indicators* 96, 3–9. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.059>.
- Bauer, N., Martens, D., 2010. Die Bedeutung der Landschaft für die menschliche Gesundheit – Ergebnisse neuester Untersuchungen der WSL. WSL Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf. https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl%3A13787/datastream/PDF/Bauer-2010-Die_Bedeutung_der_Landschaft_f%C3%BCr-%28published_version%29.pdf (aufgerufen am 25. August 2020).

- BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.), 2015. Überflutungs- und Hitzevorsorge durch die Stadtentwicklung. Strategien und Maßnahmen zum Regenwassermanagement gegen urbane Sturzfluten und überhitzte Städte. Bonn.
- Bertram, C., Rehdanz, K., 2015. Preferences for cultural urban ecosystem services: Comparing attitudes, perception, and use. *Ecosystem Services* 12, 187–199.
- Birkmann, J., Fleischhauer, M., 2009. Anpassungsstrategien der Raumentwicklung an den Klimawandel: „Climate Proofing“ — Konturen eines neuen Instruments. *Raumforschung und Raumordnung* 67, 114–127.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.), 2014. Biodiversitäts-Strategie Österreich 2020+. Vielfalt erhalten – Lebensqualität und Wohlstand für uns und zukünftige Generationen sichern!
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2019. Freiräume für Innovationen. Das Handbuch für Reallabore. Frankfurt. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/handbuch-fuer-reallabore.pdf?__blob=publicationFile (aufgerufen am 1. September 2020).
- BO für Wien, 2018. Wiener Stadtentwicklungs-, Stadtplanungs- und Baugesetzbuch (Bauordnung für Wien).
- Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F., Windhorst, W., 2009. Landscapes' capacities to provide ecosystem services - A concept for land-cover based assessments. *Landscape Online* 15, 1–22. DOI: 10.3097/LO.200915.
- Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S., Müller, F., 2012. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators* 21, 17–29. DOI: 10.1016/j.ecolind.2011.06.019.
- Campagne, C.S., Roche, P., Gosselin, F., Tschanz, L., Tatoni, T., 2017. Expert-based ecosystem services capacity matrices: Dealing with scoring variability. *Ecological Indicators* 79, 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.03.043>.
- Cheng, X., van Damme, S., Li, L., Uyttenhove, P., 2019. Evaluation of cultural ecosystem services: A review of methods. *Ecosystem Services* 37, 100925. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100925>.
- Convention on Biological Diversity, 2006. Article 2. Use of Terms. <https://www.cbd.int/convention/articles/?a=cbd-02> (aufgerufen am 19. Februar 2020).
- Damyanovic, D., Reinwald, F., Morawetz, U., Czachs, C., Brandenburg, C., Mayr, D., 2016. MehrWertGrün! Nachhaltiges Management urbaner grüner Infrastruktur. Universität für Bodenkultur Wien, Vienna.
- Davies, Z.G.E., Heinemeyer, A., Leake, J.R., Gaston, K.J., 2011. Mapping an urban ecosystem service: quantifying above-ground carbon storage at a city-wide scale. *Journal of Applied Ecology* 48 (5), 1125–1134.
- De Groot, R., Fisher, B., Christie, M., Aronson, J., Braat, L., Gowdy, J., Maltby, E., Neuville, A., Polasky, S., Portela, R., 2010. Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and

- ecosystem service valuation. In: Kumar, P. (Ed.), *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. Earthscan, London.
- de Wit, R., Kainz, A., Goler, R., Zuvela-Aloise, M., Hahn, C., Zuccaro, G., Leone, M., Loibl, W., Tötzer, T., Hager, W., Geyer-Scholz, A., Havlik, D., 2020. Supporting climate proof planning with CLARITY's climate service and modelling of climate adaptation strategies – the Linz use-case. *Urban Climate* 34, 100675.
- EEA – European Environment Agency, 2009. Fast Track Service Precursor on Land Monitoring: Degree of soil sealing. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eea-fast-track-service-precursor-on-land-monitoring-degree-of-soil-sealing-100m> (aufgerufen am 7. September 2020).
- Europäische Kommission, 2011. Lebensversicherung und Naturkapital: Eine Biodiversitätsstrategie der EU für das Jahr 2020. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Brüssel, 3.5.2011, KOM (2011) 244 endgültig.
- Früh, B., Becker, P., Deutschländer, T., Hessel, J.-D., Kossmann, M., Mieskes, I., Namyslo, J., Roos, M., Sievers, U., Steigerwald, T., Turau, H., Wienert, U., 2011. Estimation of climate-change impacts on the urban heat load using an urban climate model and regional climate projections. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 50, 167–184.
- Fuller, R.A., Irvine, K.N., Devine-Wright, P., Warren, P.H., Gaston, K.J., 2007. Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity. *Biology Letters* 3, 390–394.
- Gloor, S., Bontadina, F., Moretti, M., Sattler, T., Home, R., 2010. BiodiverCity: Biodiversität im Siedlungsraum. Zusammenfassung der wissenschaftlichen Resultate des Projekts „BiodiverCity: Ökologische und soziale Werte der städtischen Natur – Identifizierung, Erhalt und Förderung der Biodiversität und ihre Akzeptanz im städtischen Entwicklungsprozess“. Unpublizierter Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU. 30. August 2010.
- Gómez-Baggethun, E., Martín-López, B., Barton, D., Braat, L., Saarikoski, H., Kelemen, E., García-Llorente, M., van den Bergh, J., Arias, P., Berry, P., Potschin, M., Keene, H., Dunford, R., Schröter-Schlaack, C., Harrison, P., 2014. State-of-the-art report on integrated valuation of ecosystem services. EU FP7 OpenNESS Project Deliverable 4.1., European Commission.
- Green4Cities/GREENPASS, 2018. Urban Standard Typologies, unveröffentlicht.
- Grunewald, K., Bastian, O. (Hrsg.), 2013. Ökosystemdienstleistungen. Konzept, Methoden und Fallbeispiele. Springer Verlag, Berlin Heidelberg.
- Gupta, K., Kumar, P., Pathan, S.K., Sharma, K.P., 2012. Urban Neighborhood Green Index – A measure of green spaces in urban areas. *Landscape and Urban Planning* 105 (3), 325–335. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.01.003>.
- Haaland, C., Konijnendijk van den Bosch, C., 2015. Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification: A review. *Urban Forestry & Urban Greening* 14 (4), 760–771. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.07.009>.

- Haas, W., Moshammer, H., Muttarak, R., 2018. Gesundheit, Demographie und Klimawandel (Österreichischer special report).
- Hansen, R., Olafsson, A.S., van der Jagt, A.P.N., Rall, E., Pauleit, S., 2019. Planning multifunctional green infrastructure for compact cities: What is the state of practice? *Ecological Indicators* 96, 99–110. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.042>.
- Hansen, R., Pauleit, S., 2014. From multifunctionality to multiple ecosystem services? A conceptual framework for multifunctionality in green infrastructure planning for urban areas. *Ambio* 43 (4), 516–529. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0510-2>.
- Harth, A., Scheller, G. (Hrsg.), 2010. *Soziologie in der Stadt- und Freiraumplanung*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden.
- Hirst, J., 2008. *Functional Landscapes: Assessing Elements of Seattle Green Factor*. Internship Report, Seattle. http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web_informational/dpds021359.pdf (aufgerufen am 9. Juli 2020).
- Höfler, A., Andre, K., Orlik, A., Stangl, M., Spitzer, H., Ressler, H., Hiebl, J., Hofstätter, M., 2020. *Klimarückblick Wien 2019*. CCCA (Hrsg.), Wien.
- Hop, M.E.C.M., Hiemstra, J.A., 2013. Contribution of Green Roofs and Green Walls to Ecosystem Services of Urban Green. In: Van Huylenbroeck, J. et al. (Eds.), *Proceedings II International Symposium on Woody Ornamentals of the Temperate Zone*. ISHS Acta Horticulturae 990, 475–480.
- Hunter, M.R., Gillespie, B.W., Chen, S.Y.-P., 2019. Urban nature experiences reduce stress in the context of daily life based on salivary biomarkers. *Frontiers in Psychology* 10, 722.
- Jacobs, S., Burkhard, B., Van Daele, T., Staes, J., Schneiders, A., 2015. ‘The Matrix Reloaded’: A review of expert knowledge use for mapping ecosystem services. *Ecological Modelling* 295, 21–30.
- Järvelä, E., 2014. *Developing a Green Factor Tool for the City of Helsinki*. Hg. v. City of Helsinki Environment Centre. Helsinki. Online verfügbar: https://ilmastotyokalut.fi/files/2014/11/Developing_Helsinki_Green_Factor_Summary_13032014.pdf (zuletzt geprüft am 5. Oktober 2020).
- Juhola, S., 2018. Planning for a green city: The Green Factor tool. *Urban Forestry & Urban Greening* 34, 254–258. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.07.019>.
- Kabisch, N., Haase, D., 2014. Green justice or just green? Provision of urban green spaces in Berlin, Germany. *Landscape and Urban Planning* 122, 129–139. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.016>.
- Khomenko, S., Nieuwenhuijsen, M., Ambròs, A., Wegener, S., Mueller, N., 2020. Is a liveable city a healthy city? Health impacts of urban and transport planning in Vienna, Austria. *Environmental research* 183, 109238. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109238>.

- Kowarik, I., 1992. Berücksichtigung von nichteinheimischen Pflanzenarten, von "Kulturflüchtlingen" sowie von Pflanzenvorkommen auf Sekundärstandorten bei der Aufstellung Roter Listen. Schriftenreihe für Vegetationskunde 23, 175–190.
- Kraus, F., Scharf, B., 2020. IT-gesteuerte Natur in der dichten Stadt. Neue Landschaft 01/2020. Patzer Verlag. Berlin-Hannover. 2020.
- Kraus, F., Scharf, B., 2019. Management of urban climate adaptation with NBS and GREENPASS®. EGU General Assembly 2019 – Vol. 21, EGU2019-16221-1, 2019.
- Kromp-Kolb, H., Nakicenovic, N., Steininger, K., Gobiet, A., Formayer, H., Köppl, A., Pretenthaler, F., Stötter, J., Schneider, J., 2014. Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, 1096 pp.
- Kühn, I., Brandl, R., Klotz, S., 2004. The flora of German cities is naturally species rich. Evolutionary Ecology Research 6, 749–764.
- Kuttler, W., 2011. Klimawandel im urbanen Bereich. Teil 2, Maßnahmen. <https://enveurope.springeropen.com/track/pdf/10.1186/2190-4715-23-21?site=enveurope.springeropen.com> (aufgerufen am 23. März 2018).
- Landsberg, H.E., 1982. The Urban Climate. Elsevier Science, Stanford.
- Landschaft Planen & Bauen, Becker Giseke Mohren Richard, 1990. Der Biotopflächenfaktor als ökologischer Kennwert: Grundlagen zur Ermittlung und Zielgrößenbestimmung. Auszug, Berlin. <https://www.berlin.de/sen/uvk/natur-und-gruen/landschaftsplanung/bff-biotopflaechenfaktor/> (aufgerufen am 9. Juli 2020).
- Lee, A.C.K., Jordan, H.C., Horsley, J., 2015. Value of urban green spaces in promoting healthy living and wellbeing: prospects for planning. Risk Management and Healthcare Policy 8, 131–137.
- Lemonsu, A., Vigié, V., Daniel, M., Masson, V., 2015. Vulnerability to heat waves: Impact of urban expansion scenarios on urban heat island and heat stress in Paris (France). Urban Climate 14, 586–605. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.10.007>.
- MA 18 – Stadtentwicklung und Stadtplanung (Hrsg.), 2014. STEP 2025 – Stadtentwicklungsplan Wien. Wien.
- MA 18 – Stadtentwicklung und Stadtplanung, 2015. Fachkonzept Grün- und Freiraum. Gemeinsam draußen. Wien.
- MA 22 – Wiener Umweltschutzabteilung, 2015. Urban Heat Islands – Strategieplan Wien.
- MA 23 – Wirtschaft, Arbeit und Statistik, 2018. Kleinräumige Bevölkerungsprognose Wien 2018; Statistik Journal Wien 1/2018. Online verfügbar: <https://www.wien.gv.at/statistik/publikationen/bev-prog-2018.html>.
- MEA – Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and human well-being: synthesis. Island Press, Washington, DC, 137 pp.

- NASA – Global Climate Change, o. J. Climate Change: How Do We Know?
<https://climate.nasa.gov/evidence/> (aufgerufen am 12. August 2020).
- Naturkapital Deutschland – TEEB DE, 2016. Ökosystemleistungen in der Stadt – Gesundheit schützen und Lebensqualität erhöhen. Kowarik, I., Bartz, R., Brenck, M. (Hrsg.), Technische Universität Berlin, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Berlin, Leipzig.
- ÖROK – Österreichische Raumordnungskonferenz, 2019. Kleinräumige Bevölkerungsprognose für Österreich 2018 bis 2040 mit einer Projektion bis 2060 und Modellfortschreibung bis 2075 (ÖROK-Prognose). Online verfügbar: <https://www.oerok.gv.at/raum/daten-und-grundlagen/oerok-prognosen/oerok-bevoelkerungsprognose-2018>.
- Österreichischer Verband für Bauwerksbegrünung o. J.. Grüne Bauweisen für Städte der Zukunft, Leitfaden
- Oke, T.R., 1982. The energetic basis of the urban heat island. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 108 (455), 1–24.
- Oswald, S. M., Hollosi, B., Žuvela-Aloise, M., See, L., Guggenberger, S., Hafner, W., Prokop, G., Storch, A., Schieder, W., 2020. Using urban climate modelling and improved land use classifications to support climate change adaptation in urban environments: A case study for the city of Klagenfurt, Austria. *Urban Climate* 31, 100582.
- Oteros-Rozas, E., Martín-López, B., González, J.A., Plieninger, T., López, C.A., Montes, C., 2013. Socio-cultural valuation of ecosystem services in a transhumance social–ecological network. *Regional Environmental Change* 14, 1269–1289. <http://dx.doi.org/10.1007/s10113-013-0571-y>.
- Pauleit, S., Breuste, J.H., 2011. Land-Use and Surface-cover as Urban Ecological Indicators. In: Niemelä, J., Breuste, J.H., Elmqvist, T., Guntenspergen, G., James, P., McIntyre, N. (Eds.), *Urban ecology: patterns, processes, and applications*. Oxford University Press, Oxford, New York, pp. 19–30.
- Peen, J., Schoevers, R.A., Beekman, A.T., Dekker, J., 2010. The current status of urban-rural differences in psychiatric disorders. *Acta Psychiatr Scand* 121 (2), 84-93.
- Peters, K., Elands, B., Buijs, A., 2009. Social interactions in urban parks: Stimulating social cohesion? *Urban Forestry & Urban Greening* 9 (2010), 93–100.
- Pfoser, N., Jenner, N., Henrich, J., Heusinger, J., Weber, S., Schreiner, J., Unten Kanashiro, C., 2013. Gebäude Begrünung Energie - Potenziale und Wechselwirkungen. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt.
- Pitha, U., Scharf, B., Enzi, V., Mursch-Radlgruber, E., Trimmel, H., Seher, W., Eder, E., Haslsteiner, J., Allabashi, R., Oberhuber, A., o.J. Leitfaden – Grüne Bauweisen für Städte der Zukunft: Optimierung des Wasser- und Luftaushalts urbaner Räume mittels Gründächern, Grünfassaden und versickerungsfähigen Oberflächenbefestigungen. Grüne Bauweisen für Städte der Zukunft, Wien. http://www.gruenstadtklima.at/download/leitfaden_GSK.pdf (aufgerufen am 7. Juli 2020).
- Rapp, M.A., Heinz, A., Meyer-Lindenberg, A., 2015. Machen Städte unsere Psyche krank? Psyche im Fokus – Das Magazin der DGPPN 2/2015, 8–11.

- Reinwald, F., Ring, Z., Kraus, F., Kainz, A., Tötzer, T., Damyanovic, D., 2019. Green Resilient City - A framework to integrate the Green and Open Space Factor and climate simulations into everyday planning to support a green and climate-sensitive landscape and urban development. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 323. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012082>.
- Ring, Z., Damyanovic, D., Reinwald, F., (forthcoming). Green and Open Space Factor Vienna: a steering and evaluation tool for urban green infrastructure. *Urban Forestry & Urban Greening*.
- Rittel, K., Bredow, L., Wanka, E.R., Hokema, D., Schuppe, G., Wilke, T., Nowak, D., Heiland, S., 2014. Grün, natürlich, gesund: Die Potenziale multifunktionaler städtischer Räume. Ergebnisse des gleichnamigen F+E-Vorhabens. BfN-Skripten 371, Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.), Bonn – Bad Godesberg.
- Rockel, B., Will, A., Hense, A., 2008. The regional climate model COSMO-CLM (CCLM), *Meteorol. Z.* 17, 347–348.
- Sandifer, P.A., Sutton-Grier, A.E., Ward, B.P., 2015. Exploring connections among nature, biodiversity, ecosystem services, and human health and well-being: opportunities to enhance health and biodiversity conservation. *Ecosystem Services* 12, 1–15.
- Scharf, B., 2018. Coole Städte planen – Mit der „Greenpass-Methode“. *Neue Landschaft* 01/2018. ISSN 0548-2836. Patzer Verlag, Berlin-Hannover.
- Schmidt, K., Walz, A., Jones, I., Metzger, M.J., 2016. The socio-cultural value of upland regions in the vicinity of cities in comparison with urban green spaces. *Mountain Research and Development* 36 (4), 465–474.
- Scholte, S.S.K., van Teeffelen, A.J.A., Verburg, P.H., 2015. Integrating socio-cultural perspectives into ecosystem service valuation: A review of concepts and methods. *Ecological Economics* 114, 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.03.007>.
- Sievers, U., 1990. Dreidimensionale Simulationen in Stadtgebieten. *Umweltmeteorologie, Schriftenreihe Band 15: Sitzung des Hauptausschusses II am 7. und 8. Juni in Lahnstein. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, Düsseldorf.* S. 92–105.
- Sievers, U., 1995. Verallgemeinerung der Stromfunktionsmethode auf drei Dimensionen (Generalization of the streamfunction vorticity method to three dimensions). *Meteorol. Z.* 3 3–15.
- Simmons, A., Uppala, S., Dee, D., Kobayashi, S., 2006. ERA-Interim: New ECMWF reanalysis products from 1989 onwards. *ECMWF Newsletter* 110, 26–35. DOI 10.21957/pocnex23c6.
- Spitthöver, M., 2010. Zur Relevanz des Gebrauchswerts von Freiräumen. In: Harth, A., Scheller, G. (Hrsg.), *Soziologie in der Stadt- und Freiraumplanung*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, pp. 363–380.
- Spitzer, M., 2019. Gemeinschaft für Geist & Gesundheit. Warum Einsamkeit Körper und Geist schadet. Vortrag an der pro mente Austria Fachtagung zum Thema „Psychische Gesundheit in Zeiten gesellschaftlichen Wandels“ am 28.3.2019 in Graz. Online verfügbar:

- <https://www.promenteaustria.at/de/fachtagung-2019/rueckblick-fachtagung-28-maerz-2019/> (aufgerufen am 6.9.2020).
- Stangl, M., Formayer, H., Höfler, A., Andre, K., Kalcher, M., Hiebl, J., Hofstätter, M., Orlik, A., Michl, C., 2020. Klimastatusbericht Österreich 2019. https://ccca.ac.at/fileadmin/00_DokumenteHauptmenue/02_Klimawissen/Klimastatusbericht/web_Klimastatusbericht_OE_2019.pdf (aufgerufen am 13. August 2020).
- Stangl, R., Medl, A., Scharf, B., Pitha, U., 2019. Wirkungen der grünen Stadt: Studie zur Abbildung des aktuellen Wissensstands im Bereich städtischer Begrünungsmaßnahmen. Wien.
- Statistik Austria, 2020. Privathaushalte 1985–2019. https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/haushalte_familien_lebensformen/haushalte/023298.html.
- Stewart, I., 2011. Local climate zone classification system. Redefining the urban heat island. Unpublished doctoral dissertation. University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- Stewart, I., Oke, T., 2012. Local climate zones for urban temperature studies. American Meteorological Society, December 2012.
- Sturiale, L., Scuderi, A., 2019. The Role of Green Infrastructure in Urban Planning for Climate Change Adaptation. *Climate* 7 (10), 119. <https://doi.org/10.3390/cli7100119>.
- Sturm, U., Tuggener, S., Damyanovic, D., Kail, E., 2019. Gender sensitivity in neighbourhood planning: The example of case studies from Vienna and Zurich. In: Zibell, B., Damyanovic, D., Sturm, U. (Eds.), *Gendered Approaches to Spatial Development in Europe: Perspectives*. ROUTLEDGE, Oxon, New York, pp. 124–156.
- Sutter-Schurr, H., 2008. Freiräume in neuen Wohnsiedlungen: Lehren aus der Vergangenheit - Qualitäten für die Zukunft? Aachen, 345 pp.
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kazmierczak, A., Niemela, J., James, P., 2007. Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning* 81(3), 167–178.
- United Nations, 2019. 2018 Revision of World Urbanization Prospects. Department of Economic and Social Affairs. <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html> (aufgerufen am 19. Februar 2020).
- United Nations Statistics Division, o. J. Carbon dioxide emissions (CO₂), metric tons of CO₂ per capita (CDIAC). <http://mdgs.un.org/unsd/mdg/SeriesDetail.aspx?srid=751&crd=> (aufgerufen am 12. August 2020).
- Vartholomaïos, A., Kalogirou, N., Athanassiou, E., Papadopoulou, M., 2013. The green space factor as a tool for regulating the urban microclimate in vegetation-deprived Greek cities. *Proceedings of the 1st Changing Cities: Spatial, morphological, formal & socio-economic dimensions*, At Skiathos, Greece, Skiathos, Greece.

- Vierikko, K., Elands, B., Niemelä, J., Andersson, E., Buijs, A., Fischer, L.K., Haase, D., Kabisch, N., Kowarik, I., Luz, A.C., Olafsson Stahl, A., Száraz, L., van der Jagt, A., van den Konijnendijk Bosch, C., 2016. Considering the ways biocultural diversity helps enforce the urban green infrastructure in times of urban transformation. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 22, 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.02.006>.
- Wang, Y., 2016. The effect of urban green infrastructure on local microclimate and human thermal comfort. PhD thesis. Wageningen.
- Weber, F.-A., Bolle, F.-W., Halbig, G., Willen, L., Weber, B., Völker, V., Hasse, J., Schultze, J., Hölsgens, R., Dankwart-Kammoun, S., Schlumberger, J., Büter, B., Burkmeister, C., Frerichs, S., Simon, A., 2019. Stadtklima im Wandel – Klimamodelle für die Praxis. Abschlussbericht des BMBF-Verbundvorhaben KliMoPrax. Aachen.
- Werner, P., Zahner, R., 2009. Biologische Vielfalt und Städte. Eine Übersicht und Bibliographie. Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.), BfN-Skripten 245. Bonn-Bad Godesberg.
- WHO Regional Office for Europe, 2016. Urban green spaces and health: A review of evidence.
- WHO Regional Office for Europe, 2017. Urban Green Space Interventions and Health. A review of impacts and effectiveness.
- Wien 3420 Aspern Development AG, 2009. Partitur des öffentlichen Raums Planungshandbuch
- Wien 3420 Aspern Development AG, StudioVlayStreeruwitz, 2020. Gestaltungshandbuch aspern Die Seestadt Wiens, Quartier „Seeterrassen“, unveröffentlicht.
- Wittig, R., 2002. Siedlungsvegetation. Ulmer, Stuttgart.
- Wolfram, M., Frantzeskaki, N., Maschmeyer, S., 2016. Cities, systems and sustainability: status and perspectives of research on urban transformations. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 22, 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.01.014>.
- Wouters, H., Varentsov, M., Blahak, U., Schulz, J.P., Schättler, U., Bucchignani, E., Demuzere, M., 2017. The urban-canopy land-surface scheme of the COSMO model. User guide for TERRA_URB v2.2.
- Yu, S., Yu, B., Song, W., Wu, B., Zhou, J., Huang, Y., Wu, J., Zhao, F., Mao, W., 2016. View-based greenery: A three-dimensional assessment of city buildings' green visibility using Floor Green View Index. *Landscape and Urban Planning* 152, 13–26. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.04.004>.
- Zibell, B., Damyanovic, D., Sturm, U. (Eds.), 2019. Gendered Approaches to Spatial Development in Europe: Perspectives. ROUTLEDGE, Oxon, New York.
- Žuvela-Aloise, M., Koch, R., Buchholz, S., Früh, B., 2016. Modelling the potential of green and blue infrastructure to reduce urban heat load in the city of Vienna. *Climatic Change* 135.3-4, 425-438.

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)