

DIPLOMARBEIT

Shade and the City

Eine GIS-gestützte Untersuchung des Verschattungsbedarfs des
öffentlichen Raums in Hitze-vulnerablen Stadtteilen aus Wien

Ausgeführt zum Zweck der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

Unter der Leitung von

Senior Scientist Dipl.-Ing. Robert Kalasek

E280-02

Institut für Raumplanung

Forschungsbereich Stadt- und Regionalforschung

eingrichtet an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Cristian Andronic

00725227

Wien, am 14.10.2022

Kurzfassung

Die Auswirkungen des Klimawandels sind immer deutlicher bemerkbar und im städtischen Kontext haben diese einen direkten und spürbaren Effekt auf das menschliche Leben. Die städtische Bevölkerung, deren Anteil an der Weltbevölkerung in den nächsten Jahren noch weiter steigen wird, braucht einen angemessenen Grad an Schutz vor den extremen Hitzeeffekten. Die Stadtplanung kann Maßnahmen einsetzen, um bestimmten klimatischen Effekten entgegenzuwirken. Um diese Maßnahmen strategisch und gezielt umsetzen zu können, braucht es ein Set an analytischen Werkzeugen, mit deren Hilfe passende Zielgebiete und Standorte im öffentlichen Raum für Maßnahmen festgelegt werden können.

In dieser Arbeit werden Wiener Zählgebiete mit der höchsten Hitzevulnerabilität identifiziert, um darin Teile des öffentlichen Raumes mit mangelnder Verschattung zu untersuchen. Diese Analyse, die aus zwei Schritten besteht, strebt an, den Übergang von dem gesamtstädtischen Bild auf das kleinräumige Detail zu schaffen.

Im ersten Schritt werden physische und thermische Merkmale der Stadt mit demographischen Merkmalen der Bevölkerung kombiniert. Dadurch entsteht ein Bild der städtischen Hitze, welches die Vulnerabilität der Bevölkerung mitberücksichtigt. Der sogenannte Hitzevulnerabilitätsindex wird mit Hilfe einer GIS-Analyse für den gesamten Wiener Raum auf Zählgebiet Ebene berechnet. Anhand dieser Analyse werden in einem zweiten Schritt Zielgebiete festgelegt, an denen die Verschattung des öffentlichen Raumes untersucht wird. Durch die Einbeziehung von Gebäudemodellen, Bäumen und anderen Merkmalen des öffentlichen Raumes kommt eine 3D-GIS Verschattungsanalyse zur Anwendung. Es ergibt sich eine messbare Darstellung der Verschattung, anhand von welcher passende Stellen für Verschattungsmaßnahmen identifiziert werden können. Ergänzend werden Handlungsempfehlungen für die Platzierung von Verschattungsmaßnahmen entwickelt.

Abstract

The effects of climate change are increasingly noticeable and in the urban context these have a direct and tangible effect on human life. The urban population, whose share of the world's population will continue to increase in the coming years, needs an adequate level of protection from the extreme heat effects. Urban planning can employ measures to counteract certain climatic effects. To implement these measures in a strategic and targeted manner, a set of analytical tools is needed to help identify appropriate target areas and locations in public space for measures.

In this work, Viennese census tracts with the highest heat vulnerability are identified in order to investigate parts of the public space with a lack of shading in them. This two-step analysis strives to bridge the gap from the city-wide picture to the small-scale detail.

In the first step, physical and thermal characteristics of the city are combined with demographic characteristics of the population. This creates a picture of urban heat that considers the vulnerability of the population. The so-called Heat Vulnerability Index is calculated using a GIS-analysis for the entire Vienna area at the census tract level. Based on this analysis, in a second step target areas are defined, in which the shading of public space is investigated. Using building models, trees and other features of the public space, a 3D GIS shading analysis is applied. The result is a measurable representation of the sun impact and of shading, which can be used to identify suitable locations for shading measures. In addition, recommendations for the placement of shading measures are developed.

Inhaltverzeichnis

Kurzfassung	3
Abstract	4
1. Einleitung	10
1.1. Stadtklimatische Herausforderungen	10
1.2. Problemstellung	10
1.3. Forschungsziel	11
1.4. Begriffsbestimmung	14
1.5. Aufbau der Arbeit	16
1.6. Daten	16
2. Theorie – Das Verhältnis der Stadtbevölkerung zum Extremklima	19
2.1. Urbanisierung	20
2.2. Klimawandel	20
2.3. Stadtklima	22
2.3.1. Urbane Hitzeinseln – Urban Heat Island / UHI	22
2.3.2. Urbaner Hitzevulnerabilitätsindex – Urban Heat Vulnerability Index / UHVI	23
2.4. Verschattung	24
2.5. Klimathematik in der Wiener Stadtentwicklung	26
2.5.1. Strategien – Verschattungsmaßnahmen	32
3. Methodische Umsetzung und Implementierung	33
3.1. Hitzevulnerabilitätsindex HVI	33
3.1.1. Modellkomponente „Belastung“	35
3.1.2. Modellkomponente „Empfindlichkeit“	43
3.1.3. Modellkomponente „Anpassungsfähigkeit“	46
3.1.4. Wiener urbane Hitzevulnerabilitätsindex – UHVI / <i>Urban Heat Vulnerability Index</i>	50
3.1.5. Wohngebietstypen	53
3.2. Zwischenergebnis Hitzevulnerabilitätsindex und Auswahl Zielgebiete	55
3.2.1. Zwischenergebnis urbaner Hitzevulnerabilitätsindex	56

3.2.2.	Auswahl der Zielgebiete	66
3.3.	GIS-gestützte Verschattungsanalyse	66
3.3.1.	Vorbereitung der zur Anwendung kommenden Daten	68
3.3.2.	Durchführung der Shade Impact Analysis	73
4.	Ergebnisse und Handlungsempfehlungen	77
4.1.	Zielgebiet 1: Zählgebiet 10072	77
4.1.1.	Ergebnisse der Verschattungsanalyse	78
4.1.2.	Gebietstypologische Merkmale und allgemeine Handlungsempfehlungen	79
4.2.	Zielgebiet 2: Zählgebiet 5039	80
4.2.1.	Ergebnisse der Verschattungsanalyse	81
4.2.2.	Gebietstypologische Merkmale und allgemeine Handlungsempfehlungen	83
4.3.	Zielgebiet 3: Zählgebiet 10102	84
4.3.1.	Ergebnisse der Verschattungsanalyse	84
4.3.2.	Gebietstypologische Merkmale und allgemeine Handlungsempfehlungen	86
4.4.	Zielgebiet 4: Zählgebiet 10054	87
4.4.1.	Ergebnisse der Verschattungsanalyse	88
4.4.2.	Gebietstypologische Merkmale und allgemeine Handlungsempfehlungen	90
4.5.	Allgemeine Gebietstyp-unabhängige Handlungsempfehlungen	91
5.	Schlussfolgerung und Ausblick	95
5.1.	Schlussfolgerung	95
5.2.	Ausblick	96
	Abkürzungsverzeichnis	98
	Quellen:	99
	Anhang A: Datentabelle	103

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Hitzevulnerabilität als Funktion von Belastung, Empfindlichkeit und Anpassungsfähigkeit.....	34
<i>Abbildung 2: Model Builder – Submodell</i>	35
<i>Abbildung 3: Model Builder - Hauptmodell</i>	35
Abbildung 4: Jährliche maximale Helligkeitstemperaturen 2018-2022.....	39
Abbildung 5: Gewichteter Durchschnitt der BT-Temperatur.....	42
Abbildung 6: Belastungsindex – EI	43
Abbildung 7: Index Bevölkerungsvulnerabilität - Junge Bevölkerung (0-14 Jahre). Datenstand 2020.....	44
Abbildung 8: Index Bevölkerungsvulnerabilität - ältere Bevölkerung (über 65 Jahre). Datenstand 2020	45
Abbildung 9: Empfindlichkeitsindex - SI.....	46
Abbildung 10: Erweiterte Vegetationsindex - EVI.....	48
Abbildung 11: Normalisierter Differenzwasserindex - NDWI	49
Abbildung 12: Anpassungsfähigkeitsindex - ACI	50
Abbildung 13: Urbane Hitzevulnerabilitätsindex – UHVI.....	51
Abbildung 14: UHVI - ecoten, Stadt Wien, Bhattacharjee 2019	52
Abbildung 15: Kartografische Darstellung der Wohngebietstypen 2016 - Zählgebiete	54
Abbildung 16: Kartographische Darstellung der Realnutzungskategorie Wohn- und Mischnutzung nach Wohngebietstypen	55
Abbildung 17: UHVI	56
Abbildung 18: Berechnung eines mittleren UHVI Wertes je Zählgebiet.....	57
Abbildung 19: UHVI nach Zählgebieten	57
Abbildung 20: Zählgebiete mit dem Höchsten UHVI	61
Abbildung 21: Zählbezirke mit dem höchsten UHVI je Wohngebietstyp	64
Abbildung 22: Zählgebiet 10071	68
Abbildung 23: Pufferung des Zielgebiets	68

Abbildung 24: Flächen-Mehrzweckkarte	69
Abbildung 25: Baumkataster 2D	70
Abbildung 26: Baumkataster 3D	71
Abbildung 27: Gebäudemodell	72
Abbildung 28: Kombinierte Darstellung der Datengrundlagen für die Verschattungsanalyse	73
Abbildung 29: Sonnenumlaufbahn.....	74
Abbildung 30: Detail Verschattungsanalyse, Panelbreite: 1.....	75
Abbildung 31: Detail Verschattungsanalyse, Panelbreite: 2.....	75
Abbildung 32: Ergebnistraster der Verschattungsanalyse	76
Abbildung 33: Inzersdorfer Straße, Quelle: Google Maps	76
Abbildung 34: Inzersdorfer Straße, Verschattungsanalyse Zielgebiet 1	76
Abbildung 34: Zielgebiet 1 – Übersicht, Lage.....	77
Abbildung 36: Zielgebiet 1- Inzersdorfer Straße	78
Abbildung 35: Zielgebiet 1 - Verschattungsanalyse	78
Abbildung 37: Zielgebiet 1 - Quellenstraße.....	78
Abbildung 38: Zielgebiet - Kreuzung	79
Abbildung 39: Zielgebiet 2 – Übersicht, Lage.....	80
Abbildung 40: Zielgebiet 2 - Verschattungsanalyse	81
Abbildung 41: Zielgebiet 2 - Gehsteig Diehlgasse	82
Abbildung 42: Zielgebiet 2 - Gehsteig Einsiedlergasse.....	82
Abbildung 43: Zielgebiet 3 – Übersicht, Lage.....	84
Abbildung 44: Zielgebiet 3 - Verschattungsanalyse	85
Abbildung 46: Zielgebiet 3 - Kreuzung ohne Verschattungsmaßnahmen	85
Abbildung 45: Zielgebiet 3 - Kreuzung mit Verschattungsmaßnahmen	85
Abbildung 47: Zielgebiet 4 – Übersicht, Lage.....	87
Abbildung 48: Zielgebiet 4 - Straßenbahnhaltestelle Troststraße	88
Abbildung 49: Zielgebiet 4 - Straße mit Straßenbahntrasse	89
Abbildung 50: Zielgebiet 4 - Straße mit zentraler Baumreihe	90
Abbildung 52: Orientierung von Straßen. Quelle: rixx.de.....	92

1. Einleitung

1.1. Stadtklimatische Herausforderungen

Der Klimawandel und dessen Auswirkungen beeinflussen das Leben von immer mehr Lebewesen weltweit. Sowohl der menschliche Beitrag zum Klimawandel als auch die immer alarmierenderen Auswirkungen davon haben dazu geführt, dass die Organisation der Vereinten Nationen schon seit Jahren folgende Warnung zu diesem Thema wiederholt: *„Der Klimawandel ist das entscheidende Thema unserer Zeit, und wir befinden uns in einem entscheidenden Moment.“*

Im urbanen Kontext gerät der öffentliche Raum in den Vordergrund, da er eine Vielzahl von oft unersetzlichen Funktionen übernimmt, wie Erholungsraum, Begegnungsraum, Fortbewegungsraum oder Protestraum, deren Ausübung aber durch klimatische Effekte bedroht werden. Sowohl besonders hohe Temperaturen als auch verlängerte direkte Sonneneinstrahlung haben negative Auswirkungen auf Menschen mit erhöhtem Risiko bei bestimmten Altersgruppen. Die hitzeassoziierte Übersterblichkeit für Österreich war 550 für das Jahr 2018 (vgl. BMSGPK, 2021), wobei die Jahre 2018 und 2019 die heißesten Jahre in Wien waren, seitdem es Messungen gibt (vgl. ZAMG, 2022a). Für diese Zeiten von extremen Temperaturen, die laut Prognosen nur extremer werden, werden sich die Nutzer:innen des öffentlichen Raumes vorbereiten müssen. Dementsprechend wird die Stadtplanung mittels Kühlungs- und Verschattungsmaßnahmen darauf reagieren müssen, um einen hohen Grad an Lebensqualität zukünftig garantieren zu können.

1.2. Problemstellung

Der Urbanisierungstrend, welcher von den Vereinten Nationen als einer der vier „demographischen Mega-Trends“ charakterisiert wird (vgl. UNDESA, 2019a), verursacht anthropogene Umwandlungsprozesse, durch welche der natürliche Raum den menschlichen Bedürfnissen angepasst wird. Doch diese Prozesse hatten auch negative Auswirkungen auf mehrere Merkmale des menschlichen Lebens. Klimatische Auswirkungen stellen ein globales Problem dar, und im städtischen Kontext gibt es vulnerable Gruppen, deren Wohlbefinden und teils auch deren Leben durch die extremen Effekte der Sonneneinstrahlung negativ beeinflusst werden.

Städte reagieren auf ihre eigene Art auf die klimatischen Effekte mit Zielen, Strategien und Maßnahmen, die auf lokale Situationen modelliert sind, wobei deutliche Unterschiede zwischen den Städten und deren Ausmaß an Maßnahmen zu erkennen ist.

Wien, dessen Bevölkerung im letzten Jahrzehnt um mehr als 200.000 Einwohner:innen gewachsen ist und im Jahr 2022 bei 1,93 Millionen liegt (vgl. Stadt Wien, 2022a), hat sämtliche Strategien und Planungsinstrumente entwickelt, nach denen sich die Stadt auf klimareaktive Art entwickeln soll. Von übergeordneten Strategien wie im Wiener Klimafahrplan (vgl. MA20, 2022) zu spezifischeren hitzefokussierten Strategieplänen für die Stadtentwicklung wie der Urban Heat Islands Strategieplan (vgl. MA22, 2015) bis hin zu sehr spezifischen Broschüren wie Wiener Schatten (vgl. MA19, 2022), die Verschattungsvorschläge direkt an die Bevölkerung empfehlen. Alle diese und noch weitere Dokumente behandeln die Thematik der Sonneneinstrahlung als eines der zentralen Probleme und schlagen Verschattungsmaßnahmen in unterschiedlichem Detaillierungsgrad als Effektlinderungsmaßnahme vor.

1.3. Forschungsziel

Die folgende Arbeit gliedert sich in zwei Abschnitte. In einem ersten Schritt wird eine Hitzeempfindlichkeitsanalyse für das gesamte Wiener Gebiet erstellt, in der räumliche, klimatische und demographisch-soziale Merkmale mittels einer GIS-Analyse berücksichtigt werden. In einem zweiten Schritt werden aufbauend auf die Ergebnisse des ersten Schrittes kleinräumige 3D Verschattungsmodelle mittels ArcGIS Pro durchgeführt, um genauer festlegen zu können, welche Standorte im Wiener öffentlichen Raum unter verlängerter Sonneneinstrahlung stehen und dementsprechend von Verschattungsmaßnahmen am meisten profitieren würden. Dabei kommen hauptsächlich räumliche Merkmale als 3D Modelle zur Anwendung. Letztendlich wird anhand der räumlichen 3D-Analyse von den ausgewählten Stadtteilen eine Detailuntersuchung durchgeführt, um daraus mögliche allgemeine Handlungsempfehlungen basierend auf räumlichen Merkmalen formulieren zu können.

Die Thematik wird aus folgenden zwei Betrachtungspunkten relevant. Einerseits durch die drastischen Effekte des Klimawandels, auf die die Stadtplanung reagieren muss, um einen angemessenen Grad an Lebensqualität garantieren zu können. Andererseits aus dem Wien-spezifischen Instrumentarium und der Fachliteratur, welche einen Sprung in der Umsetzungslogik

vorweist. Es fehlt ein Schritt in der Umsetzung zwischen der unscharfen gesamtstädtischen Untersuchungskarte und dem detaillierten, aber ortsunabhängigen Verschattungsmaßnahmenkatalog.

Die gesamtstädtische Untersuchung der stadtklimatischen Situation wurde für den Wiener Raum als Teil mehrerer Studien durchgeführt, durch Einbindung unterschiedlicher Einflussfaktoren. Die erzeugten Wien-übergreifenden Analysen verleihen zwar ein gesamtstädtisches Bild, es fehlt ihnen aber der nötige Detailgrad, um die stadtklimatische Analyse detailliert weiterführen zu können und letztendlich um die Stellen des öffentlichen Raumes identifizieren zu können, an denen die Einsetzung von Verschattungsmaßnahmen den größten Unterschied machen würde.

Analog kann bemerkt werden, dass die Art und Ausführung von einer ganzen Reihe an Verschattungsmaßnahmen in den Verschattungsstrategien der Stadt Wien beschrieben wird und dass deren Vorteile und Auswirkung auf die Reduktion der Sonneneinstrahlung sowie deren klimatische Effekte aufgelistet sind. Allerdings fehlt in der Wien-spezifischen Fachliteratur bei der Auseinandersetzung mit dem Thema ein Instrument, mit dessen Hilfe auch geeignete Anwendungsstandorte dieser Verschattungsmaßnahmen identifiziert werden können.

Es kann angenommen werden, dass mehrere Verschattungsmaßnahmen standortpassend sein können und dass eine größere Anzahl an Maßnahmen zu einem größeren Effekt führen kann; betrachtet man aber die Situation durch Einbezug von räumlichen und materiellen Merkmalen, wird jedoch ersichtlich, dass das Ausmaß an Maßnahmen limitiert ist. Genau deshalb ist die Anwendung des noch fehlenden Instrumentes nützlich, um das Wissen aus dem gesamtstädtischen Bild vertieft zu untersuchen und Stellen zu identifizieren, die den größten Bedarf an Maßnahmen haben. Hier können dann passende Verschattungsmaßnahmen anhand der vorhandenen Literatur umgesetzt werden.

Forschungsziele:

- GIS gestützte Erstellung und Darstellung einer gesamtstädtischen Analyse, die sowohl klimatische wie auch räumliche und soziale Aspekte kombiniert.
- Identifizierung von Stadtteilen oder kleinräumigeren Einheiten, die laut der o.g. Analyseergebnisse besonders gefährdet sind.
- Entwicklung eines GIS-basierten Instrumentariums, welches durch Anwendung von 3D-Datensätzen und mittels GIS-Verschattungsmodellierung eine hoch-detaillierte Verschattungsanalyse liefert.
- Anwendung dieses entwickelten Instrumentariums an exemplarischen Standorten, um Stellen für zukünftige Verschattungsmaßnahmen zu definieren und gleichzeitig Handlungsempfehlungen für bestimmte Raumtypologien zu entwickeln.

Die Arbeit zielt darauf ab, folgende Forschungsfragen zu beantworten:

Welchen Einfluss hat die Sonneneinstrahlung auf das städtische Klima und spezifischer auf die Nutzer:innen des öffentlichen Raumes?

Wie können städtische Hitzevulnerabilitätsanalysen mittels GIS-Analyse durchgeführt werden und welche Einflussfaktoren spielen dabei eine wichtige Rolle?

Wie können urbane Verschattungsmaßnahmen im öffentlichen Raum mit Hilfe von GIS-Werkzeugen gezielt eingesetzt werden?

Welche allgemeinen Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen können für unterschiedliche städtische Strukturen abgeleitet werden?

1.4. Begriffsbestimmung

In diesem Unterkapitel werden spezifische Begriffe aus den relevanten Themen aufgelistet und erläutert, um ein besseres Verständnis zu schaffen. Dabei sind diese Definitionen zugleich literatur-basiert und spezifisch auf die in dieser Arbeit angesprochenen Inhalte ausgerichtet, und es wird kein Anspruch auf Allgemeingültigkeit gestellt.

Urbane Hitzeinsel - Urban Heat Island / UHI

Darunter versteht man, in einem thermischen Kontext, die inselartige Überwärmung von urbanen Gebieten im Vergleich zu dem kühleren Umland. Der horizontale Temperaturunterschied zwischen Stadt und Umland entspricht der Intensität der Wärmeinsel (vgl. Hupfer und Kuttler 2006, S. 389).

Vulnerabilität (soziale Vulnerabilität und Hitzevulnerabilität)

Vulnerabilität bezieht sich im Kontext dieser Arbeit sowohl auf den thermischen Aspekt, der durch die Hitze verursacht wird als auch auf den sozial-demographischen Aspekt, der bestimmte soziale Gruppen als besonders empfindlich definiert. Folgende zwei Definitionen wirken ergänzend als übergreifende Erklärung.

IFRP - Integrated Food Resilience Program sieht es als die verminderte Fähigkeit eines Individuums oder einer Gruppe, die Auswirkungen einer natürlichen oder vom Menschen verursachten Gefahr zu antizipieren, zu bewältigen, ihr zu widerstehen und sich von ihr zu erholen.

Das International Panel on Climate Change (IPCC) definiert die Vulnerabilität als das Ausmaß, in dem ein natürliches oder soziales System anfällig ist, durch den Klimawandel Schaden zu nehmen. Vulnerabilität bedeutet daher nicht nur die Aussetzung gegenüber Gefahrenfaktoren, sondern auch die Fähigkeit, sich von deren Auswirkungen zu erholen. Die Vulnerabilität in einem städtischen Kontext sollte nicht als ein festes Merkmal einer bestimmten Gesellschaft oder eines bestimmten Gebiets betrachtet werden, sondern als ein Prozess, dessen Intensität durch geeignete Maßnahmen verringert werden kann (vgl. IPCC, 2014a).

Urbane Hitzevulnerabilitätsindex - UHVI

Oft wird der UHVI beschrieben als eine Kombination von Variablen, die zur Vulnerabilität des Menschen bei Hitze im urbanen Kontext beitragen und den Variablen, die es reduzieren. (vgl. Frotzbacher, 2018, S.8)

1.5. Aufbau der Arbeit

In dem ersten Kapitel wird die allgemeine Thematik präsentiert, die Forschungsfragen werden aufgelistet, einige Grundkenntnisse werden erläutert und es wird eine Übersicht der angewandten Daten geschaffen. In den weiteren Kapiteln gliedert sich Arbeit folgendermaßen:

Der zweite Kapitel schafft ein übergreifendes Verständnis für die relevanten theoretischen Grundlagen. Es wird versucht eine Logische Themenabfolge zu schaffen, von dem Thema der Urbanisierung und dem Klimawandel zu Themen des Stadtklimas wie Hitzeinsel, der Hitzevulnerabilität bis hin zu Untersuchungen der Verschattung. Hier wird auch ein Überblick über die Auseinandersetzung mit Hitze- sowie Verschattungsthemen in der Fachliteratur Wiens und die von anderen Städten.

Im dritten Kapitel finden die Beschreibung sowie die methodische Umsetzung der GIS-Analysemethoden statt. Grob kann dieses Kapitel in zwei Schritte eingeteilt werden, mit einem Analyse- und Auswahlzwischenschritt dazwischen. Der erste Schritt bezieht sich auf die Berechnung des UHVI. Der Zwischenschritt dient zur kurzen Reflexion auf die Ergebnisse und zur Auswahl der Zielgebiete für den zweiten Schritt. In diesem zweiten Schritt wird der Ablauf der Verschattungsanalyse beschrieben.

Anhand der im Kapitel 3.3 beschriebenen Methodik wird die Verschattungsanalyse durchgeführt und die Ergebnisse dessen werden im Kapitel 4 im Detail präsentiert. Ziel dieses Kapitels ist es, eine Serie von Handlungsempfehlungen zu formulieren, die für die Thematik der städtischen Verschattung relevant sind.

In einem Letzten Kapitel wird dann auf die Methoden und deren Ergebnisse reflektiert und es wird eine Aussicht gebildet für potenzielle weitere Schritte.

1.6. Daten

Bei Analysen, die auf bestehende Datensätze basieren gibt es mehrere Faktoren, die eine Auswirkung auf die Qualität der Arbeit haben. Die Aktualität der Daten ist ein wichtiges Kriterium für die Auswahl der Daten. Sowohl für klimatische Messwerte als auch für räumliche und demographische Daten werden aktuelle Datensätze angewendet, um ein möglichst aktuelles

und relevantes Bild zu schaffen. Der Detaillierungsgrad ist ein zweiter Faktor, auf dem bei den Analysen in dieser Arbeit geachtet wird. Je detaillierter die Datensätze sind, desto genauer sind die Ergebnisse.

Die Datensätze, welche im Rahmen dieser Arbeit zur Anwendung kommen, können allgemein in zwei Kategorien aufgeteilt werden, entsprechend den zwei Analyseschritten. Es folgt eine Übersicht dieser Datensätze.

Für den ersten Schritt der Analyse sollen die Daten auf gesamtstädtischer Ebene zur Verfügung stehen, um ein stadtübergreifendes Bild schaffen zu können. Thematisch können die angewandten Daten in folgende Kategorien aufgeteilt werden: klimatische(thermische), physische und demographische Daten.

- Für die klimatischen Daten werden eigene Datensätze aus hoch aktuellen Satellitenbildern erstellt. Diese Bilder stammen von USGS und wurden von dem Satelliten Landsat 8 aufgenommen. Die hohe Auflösung dieser Bilder ermöglicht die Erzeugung von detaillierten Analyse-Ergebnissen.
- Für die Kategorie der räumlichen Daten werden Daten angewendet, die ebenfalls aus der Bearbeitung von aktuellen Satellitenbildern stammen. Dadurch sind auch hier die Genauigkeit und die Aktualität der Daten gegeben. Hierfür werden Bilder, die von dem Satelliten Sentinel 2 aufgenommen wurden, angewendet. Die zwei Satelliten liefern Bilder mit unterschiedlichen Inhalten und das mit unterschiedlichen Auflösungen.
- Als weiteres kommen dazu auch Informationen über den Gebietstypen, zum Einsatz. Diese Daten sind auf Zählgebietsebene und gliedern diese jeweils nach Bebauungsmerkmalen und nach der Bevölkerungsdichte (vgl. MA18, 2016).

Der zweite Analyseschritt im Rahmen dieser Arbeit stellt eine dreidimensionale Verschattungsanalyse dar, für die hauptsächlich dreidimensionale Merkmale des Raumes zur Anwendung kommen. Obwohl dieser Analyseschritt nur für kleine räumliche Einheiten durchgeführt wird, und deshalb nur lokale Daten anwendet, ist die Verfügbarkeit von gesamtstädtischen Datensätzen angestrebt, um diesen Analyseschritt für das gesamte Stadtgebiet anwendbar zu machen. Für die Durchführung der Analyse werden folgende Daten angewendet:

- Ein digitales Geländemodell, welches das Relief möglichst genau wiedergibt, wird von der Stadt Wien öffentlich zur Verfügung gestellt. Die korrekte Platzierung der anderen physischen Merkmale hängt stark von einer genau modellierten Oberfläche ab.
- Die Gebäude der Stadt werden als 3D Polygone in die Analyse angewendet. Hierfür wird der Generalisierte Dachmodell der Gebäude im Detaillierungsgrad LOD 2.1 angewendet. Dessen Detailgrad bietet sowohl korrekte Volumen als auch abstrahierte Dachformen, Merkmale für die Untersuchung der Verschattung besonders relevant sind.
- Außer den Gebäuden werden auch noch Bäume als 3D Modelle in der Analyse berücksichtigt. Ausgehend von dem Baumkataster, in dem Informationen zu allem Bäumen im Wiener öffentliche Raum zur eingetragen sind, werden abstrahierte Baummodelle mit möglichst genauen Abmessungen im Modell verwendet.
- Um verschattete Flächen genauer aufteilen und untersuchen zu können wird die Erdoberfläche mit Hilfe der Flächenmehrzweckkarte dargestellt, in der die unterschiedlichen Nutzungen des öffentlichen Raumes vorzufinden sind.

2. Theorie – Das Verhältnis der Stadtbevölkerung zum Extremklima

Die Gegenwart wird historisch als die sicherste Zeit für das Leben der Menschen gesehen, mit einer steigenden globalen Lebenserwartung (vgl. Riley, 2001) und einem hohen Grad an Eigenbestimmung und Freiheit. Und trotz dieser Individualität und Sicherheit gibt es globale Phänomene, die das Leben vieler Menschen beeinflussen.

Die Tendenz der Bevölkerung, aus dem ländlichen in dem urbanen Umfeld umzusiedeln, hat zu einer mehrheitlich städtischen Bevölkerung geführt. Der Charakter urbaner Räume hat einen Einfluss nicht nur auf den Menschen und auf sein Leben, sondern auch auf die Umgebung. Dieses urbane, vom Menschen gebaute und gestaltete Umfeld verursacht unter anderem auch klimatische Effekte, sodass sich die Thematik des städtischen Klimas gebildet hat. Aus thermischer Sicht gibt es noch weitere Effekte, die im urbanen Raum auftreten, wie die Urbanen Hitzeinseln.

Wie zuvor erwähnt, gibt es auch Phänomene, die nicht nur lokal, sondern global eine Einwirkung haben. Ein Phänomen, dessen Bedeutung mit der Zeit nur an Bedeutung gewinnt, ist der Klimawandel, dessen Effekte einen deutlichen Einfluss auf das Leben der Menschen überall auf der Welt haben. Unter den vielen Auswirkungen dieses vom Menschen geschaffene Prozess zählt auch das Auftreten von extremen Temperaturen.

Temperatur-beeinflussende Phänomene, sowohl auf einer globalen als auch lokalen Ebene, können sich gegenseitig beeinflussen und teilweise sogar verstärken. Obwohl Temperaturen in Wien durch städtische Klimaeffekte schon seit langem höhere Messwerte als die der Umgebung gezeigt haben, konnte in den letzten Jahrzehnten ein beschleunigter Anstieg dieser beobachtet werden. Diese Extremtemperaturen, die durch die Kombination der beiden klimatischen Effekte entstehen, haben einen Einfluss auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der städtischen Bevölkerung. Vor allem bestimmte Bevölkerungsgruppen weisen eine Vulnerabilität auf.

Damit das städtische Leben, aus einem thermischen Betrachtungspunkt, ein nötiges Niveau an Sicherheit und Komfort ihren Bewohner:innen anbieten kann, wird versucht, dieser Kombination an Phänomenen entgegenzuwirken. Da gegen globale Prozesse, wie den Klimawandel, lokale Maßnahmen nur bedingt einen Einfluss haben, werden hauptsächlich die lokalen

Effekte bekämpft. Eine Methode, wie die Menschen vor Hitzeeffekten geschützt werden können, ist durch die Reduktion der Zeit, während der sie diesem Effekten ausgesetzt sind. Im Kontext des öffentlichen Raumes bedeutet das eine Erhöhung des thermischen Komforts auf den Straßen durch Maßnahmen, die den Schutz der Fußgänger:innen garantieren. Die Verschattung des öffentlichen Raumes ist eine Lösung für dieses Problem, indem es zu einer signifikanten Reduktion der direkten klimatischen Einflüsse führt.

2.1. Urbanisierung

Durch eine wachsende Weltbevölkerungszahl, die im November 2022 den Wert von 8 Milliarden überschreiten soll (vgl. UNDESA, 2022), und wegen des steigenden Anteils an Menschen, die in urbanen Bereichen leben werden, der bis 2050 auf 68% steigen soll (vgl. UNDESA, 2019b), wird es deutlich, dass sich urbane Räume stark entwickelt haben und dass ihnen noch ein längerer Umwandlungsprozess bevorsteht.

Obwohl ein urbaner Raum mittels einer Vielzahl von Parametern definiert und abgegrenzt werden kann, werden oft die große Bevölkerungszahl und hohe Dichte als markante Indikatoren erwähnt. Die dadurch erzeugten Verdichtungseffekte führen zu einer schrittweise drastischer werdenden Änderung der natürlichen Umwelt und des Ökosystems, einem drastischen Anstieg des Energiekonsums sowie einer erhöhten Menge an Ausstoßen (vgl. Mohamed et al., 2017).

Prozesse der Urbanisierung haben auch mehrere unerwünschte Effekte auf die Umgebung. Der Bodenverbrauch, der für Urbanisierung verbraucht wird, steigt jährlich und die Auswirkungen davon haben auch einen direkten Einfluss auf den Klimawandel. Die Fähigkeit von Böden, Kohlenstoff zu speichern, macht sie weltweit zu den zweigrößten Treibhausgasspeicher. Die kontinuierliche Versiegelung des Bodens führt zu einer Reduktion der globalen Speicherkapazität dieser Treibhausgase und trägt so zum Klimawandel hinzu. (vgl. KBU, 2017, S.5)

2.2. Klimawandel

Der Klimawandel bezieht sich in erster Linie auf das Phänomen der vom Menschen verursachten Veränderung des globalen und regionalen Klimas. Hier werden hauptsächlich langfristige klimatische Änderungen berücksichtigt (vgl. Birkmann et al., 2013, S.15). Im österreichischen Kontext sind die Effekte vom Klimawandel, in Bezug auf die Temperaturerhöhung, deutlich

nachweisbar und stärker als der Durchschnitt der Welt. Im Vergleich zu den Werten vom Ende des 19. Jahrhunderts haben sich die Temperaturen in Österreich um 1,8°, fast doppelt so viel wie der globale Durchschnitt von 1° (vgl. ZAMG, 2022b).

Für eine Stadt wie Wien sind die Auswirkungen des Klimawandels oft für die Bevölkerung direkt spürbar, durch eine Änderung der Intensität und der Dauer der Sonneneinstrahlung. Sowohl die Anzahl der Sommertage (Tage mit einer Höchsttemperatur zwischen 25°C und 30°C) als auch der Hitzetage (Tage mit einer Höchsttemperatur von über 30°C) hat in den letzten 40 Jahren stetig zugenommen, sodass es im Jahr 2021 59 Sommertage und 24 Hitzetage gab (vgl. ZAMG, 2022a). Wenn diese Messwerte mit jenen aus 1980 verglichen werden (24 Sommertage und 4 Hitzetage), merkt man einen 2,5-fachen Anstieg der Sommertage und einen sechsfachen Anstieg der Hitzetage. Außer diesen Daten stellt die Untersuchung der klimatologischen Kenntage in Wien auch noch den Wert für die tägliche durchschnittliche Sonnenscheindauer zur Verfügung, ein Wert, der in den letzten Jahrzehnten eine zunehmende Entwicklung aufweist. Für die Periode 1981-1985 war der Wert der täglichen durchschnittlichen Sonnenscheindauer mit 1,75h deutlich weniger als der Wert für die Periode 2017-2021 von 2,18h (ebd.).

Die Bekämpfung dieses Phänomens wird zu einer zentralen Aufgabe für immer mehr Staaten der Welt. Sämtliche Langzeitstrategien und Maßnahmenpakete wurden auf unterschiedlichen Ebenen festgelegt und weiterentwickelt, wie zum Beispiel das Übereinkommen von Paris (vgl. VN, 2015), die Strategie für einen sauberen Planeten für alle (vgl. Europäische Kommission, 2018) oder die integrierte Klima- und Energiestrategie (vgl. BMNT, 2018). Diese setzten oft als Ziel die Reduktion der ausgestoßenen Treibhausgase, den Wechsel auf klimafreundliche und nachhaltige Mobilität sowie die Anwendung erneuerbarer Energiequellen. Die Maßnahmen, welche eingesetzt werden können, um diese Ziele zu erreichen, sind oft abhängig von deren Wirkungsebene, wobei es im städtischen Kontext spezifische und oft lokale Faktoren gibt, die die Klimawandeleffekte verstärken. Um diesen vorzubeugen, werden auch lokal angepasste Maßnahmenstrategien verlangt.

2.3. Stadtklima

Die ursprünglichen räumlichen Unterschiede entstanden dank eines seit dem 19. Jahrhundert beobachteten Phänomen, nämlich der Bildung von urbanen Hitzeinseln (englisch Urban Heat Islands - UHI). Mit der Zeit hat sich durch direkten und indirekten Einfluss der Menschen ein zweites Phänomen gebildet, der Klimawandel, welcher auf globaler Ebene zu klimatischen Veränderungen und Temperaturanstiegen geführt hat. Das Zusammenspiel dieser beiden Phänomene bewirkt rekordbrechende Temperaturen, die in den letzten Jahren in Städten überall auf der Welt gemessen werden.

Die gesamte Liste an Einflussfaktoren des Stadtklimas kann laut Kuttler (2009) in makroklimatische, sowie in mikro- und mesoklimatische eingeteilt werden. Zu der ersten Kategorie gehören die globale Breitenlage und die Klimazone, die Entfernung von großen Wasserkörpern sowie die Relief- und Topographieverhältnisse. Die mikro- und mesoklimatischen Faktoren sind folgende: Stadtgröße, Einwohnerzahl, Versiegelungsgrad, Art der ruralen und urbanen Flächennutzung, die Intensität der dreidimensionalen Strukturierung des Stadtkörpers, die Emissionsstärke gasförmiger und flüssiger Luftbeimengung und als letztes auch noch die Kühlung durch technische Prozesse.

2.3.1. Urbane Hitzeinseln – Urban Heat Island / UHI

Anthropogene Tätigkeiten in urbanen Räumen haben nicht nur einen Einfluss auf die natürliche Umwelt, sondern beeinflussen auch das lokale Klima durch die Bildung von urbanen Hitzeinseln. Howard (1833) hat dieses Phänomen zum ersten Mal im Jahr 1833 dokumentiert, indem er die Lufttemperaturen an Stationen in London und der Umgebung verglich. Allgemein beschreibt das Phänomen einen Temperaturunterschied zwischen dicht bebauten Gebieten und ihrer ländlichen Umgebung mit Unterschieden sowohl in den Tageshöchsttemperaturen als auch bei den nächtlichen Temperaturwerten. Zwischen urbane Räume und ihrer unmittelbaren ländlichen Umgebung können Temperaturunterschiede von 4° und 10° entstehen (vgl. Schönwiese, 1994, S.349). In Ausnahmefällen wurden auch Temperaturunterschiede von 15° gemessen (vgl. Kuttler, 2013, S.213). Untersuchungen haben gezeigt, dass aus einer Vielzahl von Einflussfaktoren hauptsächlich die Topographie und die Struktur der Stadt eine zentrale Rolle spielen. (vgl. Kuttler, 2009, S.204)

Bei einer vertieften Untersuchung von UHIs kann bemerkt werden, dass nicht nur eine UHI sich pro Stadt bildet, sondern dass sich mehrere Hitzeinseln in Städten bilden können. Merkmale der Räume, an denen sich diese Phänomene entwickeln, sind unter anderem ein hoher Versiegelungsgrad und eine dichte Bebauung (vgl. Henninger, 2011, S.64). Aus einer zeitlichen Perspektive betrachtet, könne UHI im gesamten Jahresverlauf beobachtet werden, allerdings mit deutlich unterschiedlichen Intensitäten. Für eine mitteleuropäische Stadt wird 80% der Zeit pro Jahr eine Form der urbanen Überwärmung bemerkt (vgl. Kuttler, 2006, S.394), obwohl es während des Tages zu Schwankungen in der Intensität kommt. Die Effekte gewinnen ab Nachmittag an Intensität und werden nach dem Sonnenuntergang am deutlichsten. (vgl. Henninger, 2011, S.66f). Eine Erklärung für diesen Verlauf ist die Wärmespeicherkapazität der bebauten Umgebung in Städten. In den ersten Stunden des Tages verschatten vor allem hohe Gebäude noch Oberflächen, und dadurch bleibt die Temperatur ähnlich wie im Umland, teilweise können die Temperaturen sogar niedriger sein und es bildet sich das „Urban Cool Island“ Phänomen (ebd.). Erst am Nachmittag, nachdem die Sonnenposition kleinere Schatten verursacht und mehrere Flächen erwärmt werden, fängt der UHI-Effekt sich zu verstärken.

Diese Effekte haben einen Einfluss sowohl auf das Leben städtische Bevölkerung, indem Manche Aspekte zu einem positiven und gewünschten Effekt führen, sowie höhere Temperaturen am Abend im Vergleich zum Umland, zu anderen aber Verlängerte Perioden hoher Temperaturen, die die Gesundheit bestimmter vulnerablen Bevölkerungsgruppen beeinflusst.

2.3.2. Urbaner Hitzevulnerabilitätsindex – Urban Heat Vulnerability Index / UHVI

Obwohl die Bildung von Hitzeinseln ein weit verbreitetes Phänomen ist, spielt dieser Effekt eine unterschiedliche Rolle für die Bevölkerung dieser Städte. Der Grad der Beeinträchtigung steht mit mehreren anderen Indikatoren in Verbindung, die zusammen den Hitzevulnerabilitätsindex bilden. Diese Thematik hat sich erst in den letzten Jahrzehnten entwickelt, mit den beiden Vorreiter Arbeiten von Wolf & McGregor (2009) und Reid (2009). Seit dann wurde der UHVI für sämtliche Städte berechnet, wie zum Beispiel: Sydney (Bodilis, Yenneti, und Hawken, 2018), Philadelphia (City of Philadelphia, 2019) und auch Wien (Bhattacharjee, 2019).

Wie im Kapitel 1.4 erläutert, ist Vulnerabilität ein komplexes Thema, welches sich als Merkmal einer Person oder Personengruppe beschreiben lässt, und die in dem Kontext dieser Untersuchung mit der Thematik der Hitze in Verbindung steht. Der UHVI ist das Ergebnis der

komplexen Kombination von Indikatoren und Merkmalen, die die Bevölkerung negativ beeinträchtigen und den Merkmalen, welche dieser Beeinträchtigung entgegenwirken.

Für die bei der Bildung des Indexes einbezogenen Merkmalen und Indikatoren werden folgende drei Klassen nach Wilhelmi und Hayden (2010) zugeteilt: Die Belastung, die Empfindlichkeit und die Anpassungsfähigkeit. Dabei entsteht der Hitzevulnerabilitätsindex als eine Funktion dieser drei Klassen.

Die Belastung wird durch gemessene Temperaturen dargestellt. Die Empfindlichkeit hingegen kann aus einer Vielzahl an Indikatoren zusammengebaut werden. Somit können Bevölkerungsbezogene Indikatoren, wie die Bevölkerungsdichte, der Anteil der jungen oder der alten Personen, der Stand der Armut, der höchste Bildungsgrad oder sogar der Migrationshintergrund berücksichtigt werden. Alternativ können auch Wohnraum bezogene Indikatoren berücksichtigt werden, wie die Wohndichte, den Ausstattungsgrad der Wohnung oder der Zugang zu sozialen oder freizeit-Angeboten. Die Letzte Komponente stellt der UHVI-Berechnung ist die Anpassungsfähigkeit, die durch Ausgleichsindikatoren gekennzeichnet wird, die oft eine Auswirkung auf die zuvor berechnete Belastung durch Hitze haben. Diese werden durch das Angebot an Grünräumen und an Wasseroberflächen im untersuchten Raum dargestellt (Bhattacharjee, 2019).

Der berechnete UHVI für weitere Detailanalysen angewendet werden in denen besonders Hitze-vulnerable Bereiche der Stadt in den Fokus kommen. Es können, anhand dieser Indikator Zielgebiete definiert innerhalb von denen die Bevölkerung von Hitze-Minderungsmaßnahmen am meisten benötigen würde. Besonders wichtig ist dabei die ein hoher Detailgrad in den Ausgangsindikatoren, um auch eine hohe Auflösung in der UNVI-Karte anbieten zu können.

2.4. Verschattung

Die städtischen Klimabedingungen weisen unterschiedlichste Ursachen auf, die gebündelt zu höheren Temperaturen führen und somit vulnerable Personengruppen oder sogar ganze Teilräume hoher Vulnerabilität stark negativ beeinflussen. Die direkte Sonneneinstrahlung, von der diese klimatischen Effekte abhängig sind, kann jedoch durch das Einsetzen von Verschattungselementen blockiert oder wenigstens ihre Intensität reduziert werden.

Wie im Kapitel 2.3.1 beschrieben, haben Gebäudehöhe und implizit auch Schattenwurf einen Einfluss auf die Hitzeinselbildung. Je mehr städtische Oberflächen im direkten Schatten liegen, desto geringer sind die direkten Hitzewirkungen. Es spielen jedoch nicht nur die Schatten, die durch Gebäuden erzeugt werden, eine Rolle. Bäume haben ebenfalls einen starken Effekt zur Minderung der direkten Hitzeinflüssen. Laut einer Untersuchung ist eine von der Sonne direkt beschienene Fläche um bis zu 15,2° wärmer als die Flächen, die im Baumschatten waren (vgl. Gillner et al., 2015). Diese Kühlfähigkeit der Bäume ist sowohl durch die Größe als auch die Dichte der Baumkrone erzeugt, wobei die Größe einen bedeutenderen Einfluss hat. Die Kühlungswirkung dieser wird in einem Anteil von ca. 80% von dem Schattenwurf bewirkt und die restlichen ca. 20% der Kühlungswirkung entsteht durch Evaporation. (vgl. Kuttler, 2011, S.7)

Ergänzend zu Bäumen gibt es eine ganze Vielfalt an möglichen Verschattungsmaßnahmen durch künstliche Materialien. Die Anwendung von Sonnenschirme, Planen oder sogar Vordächern kann an den Orten besonders sinnvoll sein, an denen Baumpflanzungen technisch schwierig sind (vgl. MKULNV, 2010, S.43).

Das Verhalten von Menschen im öffentlichen Raum ist durch den Einfluss von Hitze und vor allem von der direkten Sonneneinstrahlung deutlich beeinflusst. Wie die Verschattungsuntersuchung von Lee et al. (2020) gezeigt hat, bevorzugen Fußgänger:innen die Abschnitte des öffentlichen Raumes mit mehr Schatten, vor allem auf längeren Strecken. Diese Entscheidung basiert nicht auf biometeorologischen oder thermischen Faktoren, sondern hat laut der Studie mit sozio-demographischen Faktoren zu tun. Die Personengruppe, welche am meisten auf den verschatteten Bereich ausgewichen ist, waren ältere Frauen (edb.).

Diese Verschattungsbasierten Merkmalen deuten darauf Urbane Hitzeeffekte durch Verschattungsmaßnahmen verringert werden und dass die Zielgruppen dieser Maßnahmen ein bestimmter Anteil der Bevölkerung ist, des besonders Hitzevulnerabel ist.

Als nächstes werden verschiedene Strategien zur Hitzebekämpfung und zur Verschattung, sowohl aus der Wiener Fachliteratur, als auch aus Internationalen Beispielen.

2.5. Klimathematik in der Wiener Stadtentwicklung

Europäische Großstädte haben in den letzten Jahren und teilweise auch Jahrzehnten deutlich mehr Aufmerksamkeit auf den Klimawandel gerichtet. Von Zielsetzungen, die zu einer nachhaltigen und ausgewogenen Stadtentwicklung führen, über Strategien anhand derer sich die Städte gegen klimatische Auswirkungen aufrüsten können, bis hin zu Maßnahmenpaketen, die konkrete Lösungen für akute klimabedingte Probleme anbieten.

All diese Literatur kann oft ergänzend und überlappend wirken mit Handlungsleitfäden, die aufeinander aufbauen. Alternativ können sich Stadtplanungsbüros aus dem internationalen Vergleich inspirieren lassen und von anderen Städten neu entwickelte Ideen an den eigenen Planungskontext anpassen und weiterentwickeln.

Die Stadt Wien ist ein Vorreiter in der Klima- und Hitzethematik (KliP Wien – Klimaschutzprogramm, 1999-2009) und laufend entwickelt sie neue Literatur (KliP II, 2010-2021; Wiener Klima-Fahrplan 2022). Dieses Kapitel bietet einen komprimierten Überblick über die Wiener klimabezogene Fachliteratur des letzten Jahrzehnts. Es besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit mit der Literatúrauswahl, basierend auch auf Aspekten, die für diese Arbeit von besonderer Bedeutung sein können.

STEP 2025 – Stadtentwicklungsplan Wien (vgl. MA18, 2014)

- Verfasser: MA18
- In Auftrag von: Stadt Wien
- Erscheinungsdatum: 2014
- Wirkungsperiode: - mindestens 10 Jahre
- Zielsetzung: Weitreichender Strategieplan, der als Grundstein für die weitere Fachliteratur dient. Themen wie das der lebenswerten Stadt und der nachhaltigen Entwicklung werden oft angesprochen
- Detaillierungsebene: Sehr allgemein formulierte, gesamtstädtische Ziele und Lösungsansätze

- Beschreibung: Thematisch vielfältig und inhaltlich übergreifend, sämtliche Maßnahmen (auch mit dem Fokus auf Klimaschutz) werden benannt, durch deren Anwendung die klimatischen Effekte beurteilt.

STEP 2025 – Stadtentwicklungsplan Wien – Fachkonzept Grün- und Freiraum (vgl. MA18, 2015)

- Verfasser: MA18
- In Auftrag von: Stadt Wien
- Erscheinungsdatum: 2015
- Wirkungsperiode: Jahrzehnte
- Zielsetzung: Darin werden die Schwerpunkte und Ziele der Stadtentwicklung Wien im Bereich Grün- und Freiraum definiert, und im Weiteren stellt das Fachkonzept ein Instrumentarium für die erzielten Stadtentwicklungsziele zur Verfügung.
- Detaillierungsebene: Allgemein formulierte räumliche Grünraum-Typologien, mit generellen Beschreibungen
- Beschreibung: Thematisch vielfältig und inhaltlich übergreifend, sämtliche Maßnahmen (auch mit dem Fokus auf Klimaschutz) werden benannt; durch deren Anwendung die klimatischen Effekte beurteilt.

STEP 2025 – Stadtentwicklungsplan Wien – Fachkonzept öffentlicher Raum (vgl. MA18, 2018)

- Verfasser: MA18
- In Auftrag von: Stadt Wien
- Erscheinungsdatum: 2018
- Wirkungsperiode: Jahrzehnte
- Zielsetzung: Die Aufenthaltsqualität zu steigern und Ressourcen kosteneffizient einzusetzen.
- Detaillierungsebene: Übergreifende Ziele, die aber mit punktuellen Maßnahmen umgesetzt werden können.

- Beschreibung: Neben konkreten klimatischen Zielen werden auch Maßnahmen aufgezählt und deren Effizienz diskutiert.

Smart City Wien Rahmenstrategie – Die Wiener Strategie für eine nachhaltige Entwicklung (vgl. MA18, 2019)

- Verfasser: MA18
- In Auftrag von: Stadt Wien
- Erscheinungsdatum: 2019
- Wirkungsperiode: bis 2050
- Zielsetzung: Durch die größtmögliche Ressourcenschonung sowie soziale und technische Innovationen soll die hohe Lebensqualität dieser Stadt gesichert werden.
- Detaillierungsebene: Festlegung allgemeiner Maßnahmen, die aus gesamtstädtischer Ebene umgesetzt werden können. Ergänzend werden auch kleinräumige und ebenso punktuelle Ziele aufgezählt, unter denen manche zudem genau verortet sind und mit dem Umfeld in Zusammenhang stehen.
- Beschreibung: Eine ambitionöse Rahmenstrategie, die für viele Zielgebiete Erneuerungsansätze formuliert, um die Stadt unter anderem nachhaltiger, ressourcenschonender und klimafreundlicher zu machen. Der Klimawandel ist einer der großen Treiber, das gesetzte Ziel, um zum Beispiel den lokalen Effekten der UHI entgegenzusteuern.

Urban Heat Islands – Strategieplan Wien (vgl. Brandenburg et al., 2015)

- Verfasser: Christiane Brandenburg, Doris Damyanovic, Florian Reinwald, Brigitte Allex, Birgit Gantner und Christina Czachs
- In Auftrag von: MA 22
- Erscheinungsdatum: März 2022
- Wirkungsperiode: - mindestens 20 Jahre
- Zielsetzung: Die Reduktion des Wärmeinseleffektes auf die Stadt Wien durch Aufzeigen von konkreten Maßnahmen und deren potenziellen Effekten. Diese richten sich an

Planer:innen, Architekt:innen und an zuständige Verwaltungsbereiche und wollen bereits frühzeitig die Bildung von UHI vermeiden oder reduzieren.

- Detaillierungsebene: Teils auf Stadtteilebene und größtenteils als punktuelle Maßnahmen, die nach Themen gebündelt präsentiert werden.
- Beschreibung: Eine sehr detaillierte Auflistung von Maßnahmen, die die Bildung von UHI reduzieren sollen. Obwohl diese Maßnahmen punktuell sind, werden auch begleitende Erklärungen geliefert, die bei der Wahl der Anwendung dieser Maßnahmen behilflich sein sollen. Mithilfe eines Spinnennetzes – Spiderwebs - mit sechs Kategorien wird die Effektivität jeder Maßnahme gemessen, und es können dadurch alle Maßnahmen gegenseitig bezüglich ihrer Effektivität gemessen werden.

Urban Heat Vulnerability Assessment – of Vienna, Austria (vgl. Bhattacharjeel, 2019)

- Verfasser: Sagnik Bhattacharjee, ECOTEN Comfort s.r.o
- In Auftrag von: MA 20
- Erscheinungsdatum: Juli 2019
- Wirkungsperiode: 2015-2019 Periode der Datengrundlage - Prognose der Vulnerabilität ohne festen Zeithorizont
- Zielsetzung: Eine Hitze-Vulnerabilitätskarte für die Stadt Wien zu erzeugen nach den vom Klimarat festgelegten Indikatoren: Belastung, Empfindlichkeit und Anpassungsfähigkeit.
- Detaillierungsebene: Eine gesamtstädtische Untersuchung mit Aussagen auf Zählbezirkebene. Diese Daten stehen in dieser Form zur Verfügung. Es wäre möglich, auch noch genauere Daten liefern zu können, zum Beispiel auf Zählgebietebene, diese stehen aber nicht öffentlich zur Verfügung.
- Beschreibung: Eine Kombination von in GIS bearbeiteten Satellitenbildern mit sozio-demographischen Daten liefert eine Karte der Vulnerabilität von bestimmten sozialen Gruppen gegenüber der Hitze. Diese Karte dient als Grundlage für eine kleinräumige Analyse und für die Identifikation von Interventionsstandorten im städtischen Raum. Es wurden die Zählbezirke mit der höchsten Vulnerabilität aufgelistet, es werden aber

keine weiteren Schritte empfohlen und auch keine konkreten Maßnahmen, die anwendbar sein könnten.

Klimasensible Stadtentwicklung - Eine Analyse internationaler Projekte und Maßnahmen hitzeangepasster Stadtentwicklung mit Anregungen für Wien (vgl. Suitner et al., 2020)

- Verfasser: J.Suitner, J.Hofinger, F.Sparlinek, UIV Urban Innovation Vienna
- In Auftrag von: MA 18
- Erscheinungsdatum: Jänner 2020
- Wirkungsperiode: -
- Zielsetzung: Im Hinblick auf die durch den Klimawandel bedingte Hitzeentwicklung im Sommer wird eine Reihe von internationalen Beispielen untersucht, um mögliche Maßnahmen im Bereich der Baustruktur-, Grün- und Freiraumplanung zu identifizieren. Besonderer Fokus wird auf die Klimasensible Planung und Entwicklung von neuen Stadtgebieten gelegt.
- Detaillierungsebene: Untersuchte Maßnahmen auf Stadtteil Ebene, mit mehreren punktuellen Lösungsansätzen. Die Empfehlungen für die Wiener Klimaanpassung Strategie sind auf Stadtteilebene gedacht, mit Fokus auf Typisierung der Interventionsräume. Teilweise punktuelle architektonische Maßnahmen.
- Beschreibung: Nach einer Untersuchung internationaler Beispiele und Synthetisierung der aufgelisteten Klimaanpassungsmaßnahmen wird im Ausblick eine Serie von drei „Stellschrauben der städtischen Klimawandelanpassung“ präsentiert sowie aus dem Werkstattgespräch gewonnene Erkenntnisse kurz erläutert.

Wiener Hitzeaktionsplan –Für ein cooles Wien der Zukunft (vgl. Berndorfer, 2022)

- Verfasser: Sylvia Berndorfer, Johannes Lutter
- In Auftrag von: Stadt Wien
- Erscheinungsdatum: März 2022
- Wirkungsperiode: - bis 2040

- Zielsetzung: Diejenigen Maßnahmen festzulegen, dank derer der Überhitzung der Stadt vorgebeugt wird, und, in Akutfällen, die doch eintretende Hitze für alle Wiener:innen bewältigbar zu machen. Besonderer Fokus liegt dabei auch auf jenem Anteil der Bevölkerung, der als besonders vulnerabel gekennzeichnet wird. Auch bestimmte soziale Infrastrukturen wie Gesundheits-, Pflege- und Betreuungseinrichtungen sollen dank dieses Aktionsplans auf „den Ernstfall“ vorbereitet sein.
- Detaillierungsebene: Thematisch sehr spezifische Maßnahmen, die wenig mit dem räumlichen Maßstab verbunden, sondern an bestimmte Gruppen gerichtet sind. Teilweise auch punktuelle Maßnahmen beschrieben.
- Beschreibung: Ausgehend von der vulnerablen Bevölkerung, die detailliert aufgelistet wird, werden auch Maßnahmen empfohlen, die zum Schutz dieser Gruppen dienen sollen. Es werden hier besonders viele Themenbereiche der Stadtverwaltung angesprochen mit konkreten Aktionen, die durchzuführen sind, damit die Stadt vorbereitet sein kann, sich an den Extremhitzetagen um ihre vulnerable Bevölkerung kümmern zu können.

Wiener Klima-Fahrplan – Unser Weg zur klimagerechten Stadt (vgl. MA 20, 2022)

- Verfasser: Projektteam
- In Auftrag von: MA 20
- Erscheinungsdatum: März 2022
- Wirkungsperiode: - bis 2040
- Zielsetzung: Ziele wie Klimaneutralität und Klimaresilienz bis 2040 sind als besonders komplex zu betrachten und verlangen einen aktiven Wandel vieler Thematiken des städtischen Lebens. Dieses Dokument soll als begleitendes Handbuch zur Umsetzung der vorgenommenen Ziele dienen.
- Detaillierungsebene: Großräumige Ziele werden für unterschiedliche thematische Schwerpunkte festgelegt, und gewisse Umsetzungsstrategien in Form von „Hebeln“ werden in einem gewissen Detail behandelt
- Beschreibung: Ein themenübergreifendes Strategiedokument, welches eine solide Grundlage für die Klimastrategie der Stadt Wien darstellen soll, mit ausformulierten

Umsetzungsschritten und angestrebten Zielen. Es wird versucht, möglichst viele städtische Thematiken anzusprechen und Überlegungen für unterschiedliche Szenarien als Leitlinie anbieten zu können.

2.5.1. Strategien – Verschattungsmaßnahmen

Neben der Fachliteratur, die sich teilweise mit klimatischen Themen beschäftigen, wurde spezifisch nach Literatur gesucht, die gezielt die Thematik der Verschattung behandelt. In der bereits aufgezählten Literatur wird zu einem gewissen Ausmaß auch die Verschattung behandelt, als Maßnahme oder Lösungsvorschlag. Die allgemeine Thematik der intensiven Sonneneinstrahlung, gekoppelt mit dem Verschattungsangebot im öffentlichen Raum, wurde nicht explizit vorgefunden. Folgendes Dokument aus der Fachliteratur geht allerdings spezifisch auf die Schattentematik ein:

Wiener Schatten (vgl. MA 19, 2022)

- Verfasser: gaupenraub +/-
- In Auftrag von: MA 19
- Erscheinungsdatum: Juni 2022
- Wirkungsperiode: - offen
- Zielsetzung: Es soll Ideen Geben und Wiener:innen zu eigenen Projekten ermutigen
- Detaillierungsebene: Sehr genaue Beispiele von punktuellen Maßnahmen, teilweise sogar mit technischer Umsetzungshinweise
- Beschreibung: Eine Reihe von Verschattungsmaßnahmen, sowohl pflanzliche als auch textile, werden detailliert beschrieben. Es werden technische Umsetzungsmöglichkeiten angegeben und die Verschattungswirkung wird exemplarisch angedeutet. Diese Maßnahmen sind an sämtlichen Stellen im Raum gedacht, nicht nur für den öffentlichen. Hier werden neben Gehsteig auch noch Parklet, Schanigarte, Geschäfts- und Vereinslokal aufgezählt.

3. Methodische Umsetzung und Implementierung

In diesem Kapitel wird im ersten Schritt die Wiener urbane Hitzevulnerabilitätsindex-Karte (UHVI-Karte) erstellt, worin mehrere Datengrundlagen kombiniert und gewichtet zusammengebracht werden. Das Ergebnis ist eine einheitliche und aktuelle Darstellung der hitzevulnerablen Gebiete der Stadt. Nach der Erstellung der UHVI-Karte werden im Kapitel 3.2 die Ergebnisse mit den Wiener Wohngebietstypen (vgl. MA18, 2016) kombiniert, und es werden Zielgebiete ausgewählt, die unterschiedlichen Wohngebietstypen zugehören. Diese Zielgebiete sollen exemplarisch die unterschiedlichen Wohngebietstypologien darstellen, und anhand von diesen sollen Erkenntnisse über die Verschattungssituation gewonnen werden.

Für den zweiten Schritt der Analyse wird für jedes der ausgewählten Zielgebiete eine Verschattungsanalyse in ArcGIS Pro durchgeführt, wofür eine Reihe von städtischen Merkmalen in Form von 3D Modellen eingesetzt werden. Unter städtischen Merkmalen versteht man einerseits bauliche Merkmale wie Gebäude, naturräumliche Merkmale wie Bäume sowie Bodennutzungsmerkmale, wie Fahrbahn und Gehsteigabmessungen, Grün- und Parkflächen und Gewässerflächen. Gezielt wird dabei darauf, ein detailliertes Verschattungsbild zu generieren, um dadurch Orte zu identifizieren, die einen erhöhten Bedarf an Verschattungsmaßnahmen aufweisen.

3.1. Hitzevulnerabilitätsindex HVI

Für die Berechnung des HVI werden sämtliche Indikatoren kombiniert, die sowohl einzeln, aber auch in Kombination miteinander die Vulnerabilität der Bevölkerung gegenüber extremen Hitzephänomenen andeuten. Wie im Kapitel 2.3.2 erwähnt wurde, wurde für die Stadt Wien im Jahr 2018 eine Hitzevulnerabilitätskarte erstellt und der gesamte Prozess dokumentiert. Anhand dessen wird die folgende Berechnung der Hitzevulnerabilitätsindexe strukturiert, wobei einerseits aktuellere Satellitendaten und entsprechende Messtemperaturen angewendet werden und andererseits Datengrundlagen für die verwendeten Indikatoren herangezogen werden, die in der Gesamtfunktion der Hitzevulnerabilität eingebaut werden.

Da die Indikatoren-Konstellation nicht genau definiert ist, gibt es unterschiedliche Herangehensweisen zur Bildung der HVI. Eine häufig verwendete Art, die eine übersichtliche Struktur

für die Indikatoren gibt, ist jene, die Wilhelmi und Hayden (2010) mit folgender Formel beschrieben haben:

$$\text{Hitzevulnerabilität} = f(\text{Belastung}, \text{Empfindlichkeit}, \text{Anpassungsfähigkeit})$$

Der Weltklimarat (IPCC) hat seit seinem fünften Beurteilungsbericht eine ähnliche Zusammensetzung für die durch Hitze verursachte Vulnerabilität formuliert (vgl. IPCC, 2014b).

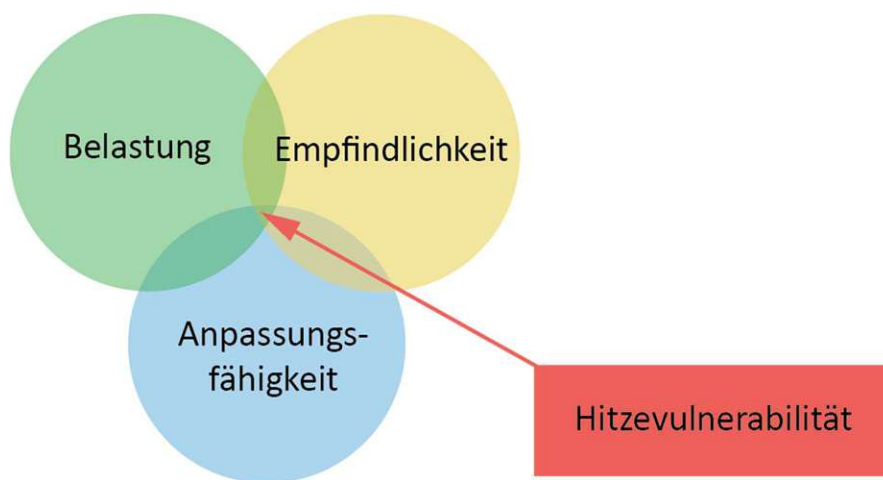


Abbildung 1. Hitzevulnerabilität als Funktion von Belastung, Empfindlichkeit und Anpassungsfähigkeit. Quelle IPCC, 2016b

In weiterer Folge wird jeder dieser drei Funktionsbestandteile aus einzelnen Indikatoren zusammengebastelt und letztendlich miteinander kombiniert.

Die technische Umsetzung erfolgt ausschließlich mit dem Programm ArcGIS Pro, und es werden Datensätze in unterschiedlichen Formaten angewendet: Shapefile, Rasterzellen und Tabellen. Es wurde ein Modell mit dem ArcGIS Pro Werkzeug: *Model Builder* erstellt, um den gesamten Rechenprozess einerseits anschaulich darzustellen und andererseits um den Arbeitsfluss zu erleichtern. Die Modellstruktur ist so konzipiert, dass das Modell auch für andere Datensätze anwendbar ist und somit in weiterer Folge auch für andere Räume und in anderen Zeitspannen angewendet werden kann. Es besteht aus einem Hauptmodell (Abbildung 3) und einem Submodell (Abbildung 2). Deren Arbeitsschritte werden in den nächsten Kapiteln erklärt.

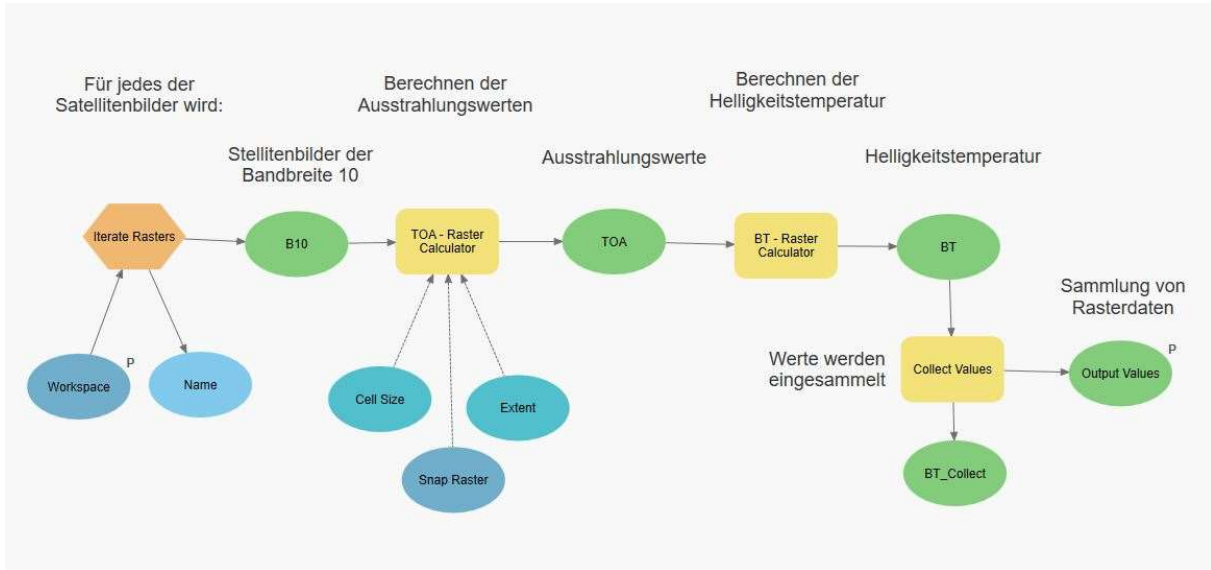


Abbildung 2: Model Builder – Submodell. Quelle: eigene Darstellung

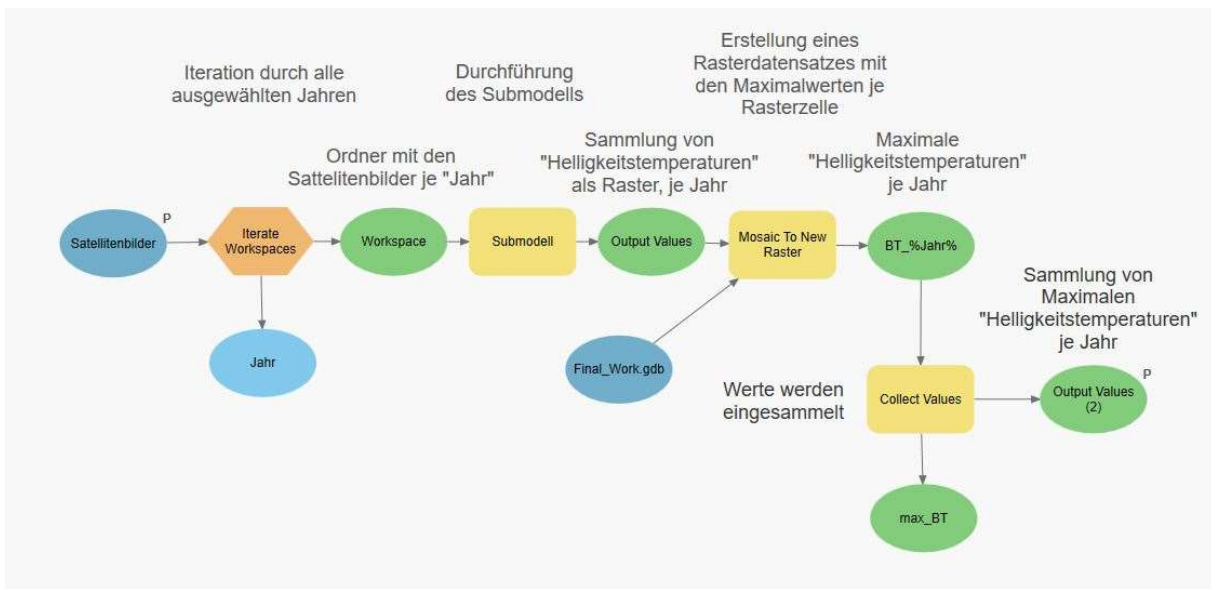


Abbildung 3: Model Builder – Hauptmodell. Quelle: eigene Darstellung

3.1.1. Modellkomponente „Belastung“

Unter Belastung versteht man den direkten Einfluss der Temperatur auf die untersuchte Fläche, wobei die negativen Auswirkungen von hoher Temperatur als bedeutender Faktor berücksichtigt werden. Die Bildung von urbanen Hitzeinseln trägt ebenfalls zu erhöhten

Belastungswerten bei. Im Rahmen dieser Arbeit wurde festgelegt, dass ausschließlich Temperaturwerte aus den Sommermonaten (Juni, Juli und August) für die weitere Analyse relevant sind – da Höchsttemperaturen zumeist in diesen Monaten gemessen werden. Außerdem wurde festgelegt, dass die Daten der letzten fünf Jahre ausreichend für die Analyse sind, um ein präzises Bild der Hitze in Wien zu bilden.

Es folgt eine Schritt-für-Schritt Erklärung der Vorgehensweise bei der Bildung der Modellkomponente „Belastung“:

- *Auswahl der Temperaturdaten*

Abhängig von dem Analyserahmen stehen sämtliche Temperaturgrundlagen zur Auswahl. Es wurden Satellitenbilder angewendet, die von den Satelliten Landsat 8 OLI/TIRS erstellt wurden und die auf der offiziellen Webseite des Amerikanischen Geologischen Dienstes (U.S. Geological Survey) öffentlich zur Verfügung gestellt werden. Diese Satelliten überfliegen den Wiener Raum einmal alle 7 Tage, und die erstellten Bilder haben eine Vielzahl von Bandbreiten. Die Bandbreite 10 stellt die Wellenlänge dar, die der Oberflächentemperatur entspricht und mit dieser Bandbreite wird in weiterer Folge gearbeitet.

Neben Satellitenbildern hätten auch lokalen Messdaten, zum Beispiel von der ZAMG oder sogar selbst erhobene Daten, angewendet werden können. Die getroffene Wahl wird dadurch begründet, dass Satellitenbilder kleinräumige Temperaturunterschiede genauer erkennbar machen als Messdaten, bei denen die Standorte der Messstellen entweder nicht dicht genug verteilt sind oder nur auf einen Teilraum beschränkt sein können.

Die hier angewandten Satellitenbilder entsprechen folgenden Kriterien: Nur Bilder der Bandbreite 10, in den Monaten Juni-August, in den Jahren 2018-2022, auf denen die Fläche Wiens zu einem sehr großen Anteil zu sehen ist. Außerdem wurde noch beachtet, dass hauptsächlich Bilder mit einem niedrigen Wolkenbedeckungsgrad angewendet wurden.

- *Ausstrahlungswerte - TOA / Top of Atmosphere*

In dem ersten Bearbeitungsschritt werden die rohen digitalen Werte geändert und zu Ausstrahlungswerten (oder auch „Top of Atmosphere - Werte“ auf Englisch) umgewandelt. Laut dem Handbuch des USGS zum Umgang mit Landsat 8 Daten, müssen die rohen Satellitenbilddaten bearbeitet werden, um an Temperaturwerte zu kommen. Der erste Schritt ist dabei eine Berechnung des so genannten Ausstrahlungswertes. Im selben Schritt werden die Satellitenbilder nur auf den relevanten Ausschnitt zugeschnitten. Die dafür angewendete Formel ist folgende:

$$TOA (L) = M_L * Q_{cal} + A_L$$

Dabei ist:

M_L = Bandspezifische multiplikative Umskalierungsfaktor (in den Metadaten der Satellitenbilder ablesbar)

Q_{cal} = Werte aus dem Satellitenbild entsprechend des Bandes 10

A_L = Bandspezifische additiver Umskalierungsfaktor (in den Metadaten der Satellitenbilder ablesbar)

Nach Einsetzen der spezifischen Werte sieht die Formel folgendermaßen aus:

$$TOA = 0,0003342 * „Band 10“ + 0,1$$

Dieser Prozess wird mittels dem Werkzeug [Raster berechnen](#) durchgeführt, und zwar iterativ für alle Satellitenbilder und stellt den ersten Abschnitt vom Submodell dar.

- *Helligkeitstemperatur - BT / Brightness Temperature*

Im zweiten Bearbeitungsschritt werden laut dem USGS Handbuch die im ersten Schritt berechneten Ausstrahlungsdaten in Temperaturdaten umgewandelt. Diese Daten entsprechen nicht den lokal messbaren Temperaturen, da die Temperaturminderungseinflüsse vom

Grünraum und von Gewässern noch davon abgezogen werden müssen. Dieses wird in einem späteren Schritt durchgeführt, bei der Berechnung der Anpassungsfähigkeit.

Die in diesem Schritt durchgeführte Berechnung erzeugt so genannte (am-Satellit-gemessene) Helligkeitsdaten, deren Werte in diesem Fall in Grad Celsius dargestellt werden. Für die Berechnung wird folgende Formel angewendet:

$$BT = (K_2 / (\ln (K_1 / L) + 1)) - 273,15$$

Dabei ist:

K_1 = Bandspezifische Thermal-Umwandlungskonstante (in den Metadaten der Satellitenbilder ablesbar)

K_2 = Bandspezifische Thermal-Umwandlungskonstante (in den Metadaten der Satellitenbilder ablesbar)

L = TOA (im vorigen Unterkapitel berechneter Wert)

-273,15 = Kelvin Absolutwert wird addiert, um das Ergebnis in Grad Celsius [°C] umzuwandeln.

Für die angewendeten Satellitenbilder sieht die Formel folgendermaßen aus:

$$BT = (1321,0789 / \ln ((774,8853 / TOA) + 1)) - 273,15$$

In ArcGIS Pro wird diese Berechnung mit dem Werkzeug *Raster berechnen* durchgeführt, iterativ für alle TOAs. Der zweite Teil des Submodells (Abbildung 2) enthält diesen Arbeitsschritt.

- *Zusammenführen aller Pixel-Maximalwerte pro Jahr*

Als nächstes werden die im vorigen Schritt erzeugten Rasterdaten jeweils nach dem Jahr kombiniert, sodass für jedes Jahr eine neue Rasterdatei entsteht, in der immer die Maximalwerte für jedes Pixel ausgewählt werden. Somit erzeugt dieser Schritt 5 Rasterdaten mit den Höchsttemperaturwerten je Pixel pro Jahr. Durch diese Kombination mehrerer Daten wird ein einheitliches Bild für jedes Jahr erzeugt. Da mehrere Raster zusammengeführt werden, können eventuelle Datenlücken oder mögliche Darstellungsfehler behoben werden. Es entsteht somit

ein Hitzebild pro Jahr. Dadurch kann man auch die Verschiebung unterschiedlicher Hot-Spots (lokale Höchsttemperaturen) verfolgen.

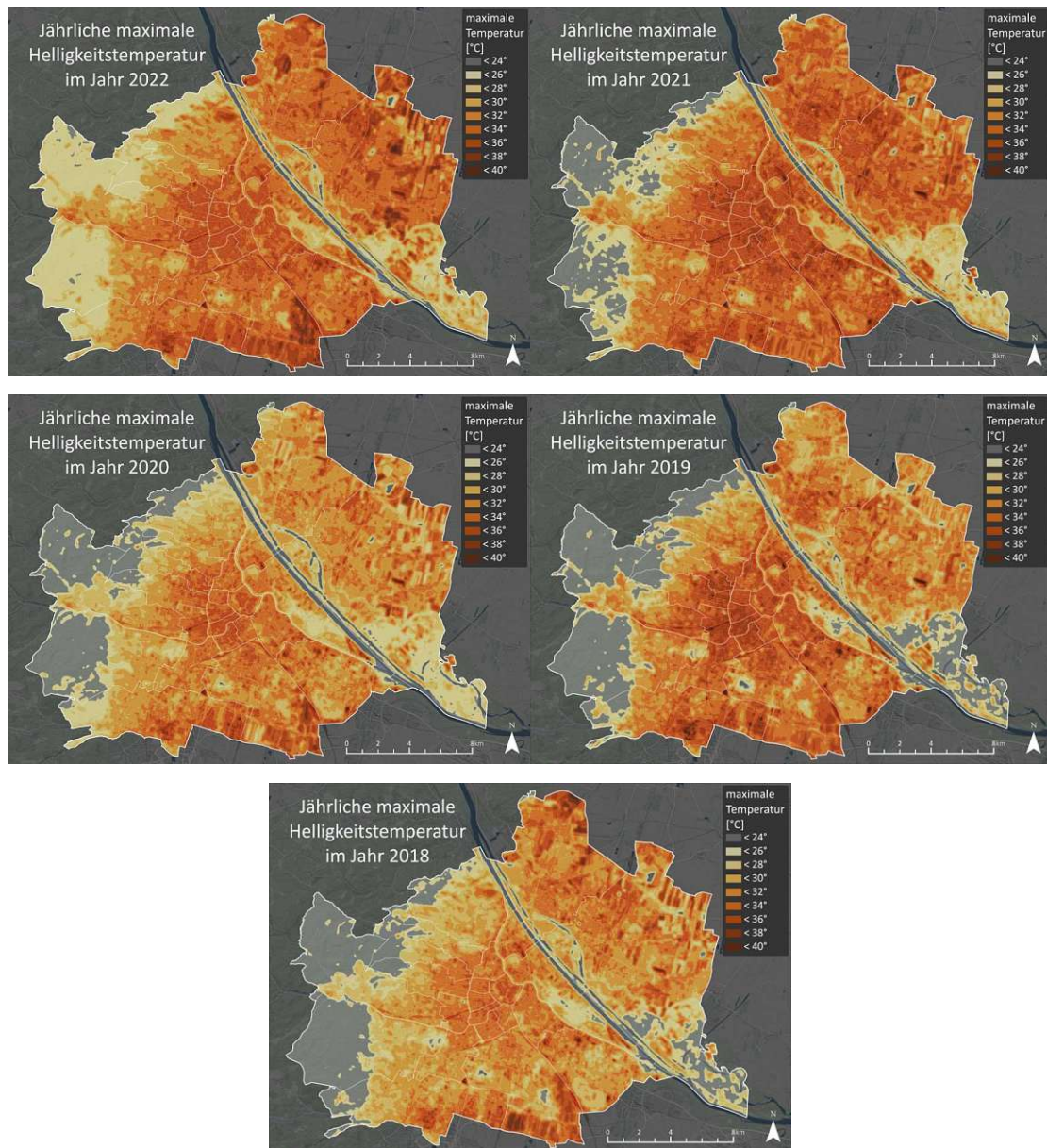


Abbildung 4: Jährliche maximale Helligkeitstemperaturen 2018-2022. Quelle: USGS, BEV, eigene Darstellung

Prinzipiell ist der tatsächliche Temperaturunterschied zwischen den Jahren nicht ausschlaggebend für diese Untersuchung, da für die nachfolgende Analyse nicht die genaue Temperatur von Bedeutung ist, sondern die räumliche Verteilung der Temperatur.

Im ArcGIS wird dieser Schritt mit Hilfe des Werkzeugs *Raster berechnen* durchgeführt, mit der Einstellung maximal. In einem iterativen Prozess werden für jedes Jahr alle vorhandenen BT Rasterdaten kombiniert, wobei für jede Rasterzelle immer der vorhandene Maximalwert

ausgewählt wird. Durch die Kombination mehrerer Datensätze können individuelle Ungenauigkeiten ausgebessert werden. Als Ergebnis entstehen 5 maximal Helligkeitstemperatur-Datensätze (maximal BT), die in Abbildung 4 zu sehen sind. Die Anwendung des im Model-Builders erzeugten Haupt- und Submodells ist folgende. Nach der Durchführung der BT Wert-Berechnung im Submodell werden die Ergebnisse mittels *Werte sammeln* gesammelt. Nach dem vollständigen Durchlauf des Submodells durch die Bearbeitung aller Satellitenbilder für dieses ausgewählte Jahr wird die Berechnung im Hauptmodell weitergeführt. Somit wird die sich aus dem Submodell ergebende Rastersammlung im Hauptmodell mit Hilfe des Werkzeugs *Rasterfunktion berechnen* (*Mosaic to Neu Raster* auf Englisch) ein Raster mit den Maximalwerten erzeugt. Dieser Prozess wird iterativ für jedes der 5 Jahre durchgeführt.

Würde man die Ergebnisse dieses Analyseschrittes bereits auswerten, würde man bemerken, dass sich die höchsten Temperaturwerte sehr oft auf landwirtschaftlichen Flächen befinden. Allgemein würde die Kombination der Helligkeitswerte mit Vegetationsdaten folgen, die einen die Temperatur abmindernden Effekt haben. Dieser Schritt wird jedoch erst bei der Kombination von Belastungs-, Empfindlichkeits- und Anpassungsfähigkeitsdaten durchgeführt.

- *Anzahl an Hitzetagen im Jahr als Multiplikator*

Die zuvor erzeugten Raster mit Maximalwerten werden in dem nächsten Schritt zu einem einzigen durchschnittlichen Raster für die letzten 5 Jahre erzeugt. Da sich aber die Werte der untersuchten Jahre nicht nur durch die räumliche Verteilung der Hitzepunkte unterscheiden, sondern auch durch den allgemeinen klimatischen Charakter, werden die Jahresmaximalwert-raster nach der Anzahl an Hitzetagen (Temperatur ist höher als 30°C) gewichtet. Die Anzahl an Hitzetagen wird von der ZAMG 2022 öffentlich zur Verfügung gestellt. Da die Gesamtanzahl an Hitzetage für das Jahr 2022 noch nicht festgelegt wurde, werden die Tempertaturwerte für das Jahr 2022 nur bis Anfang September aus folgender Quelle übernommen (vgl. Timeand-date, 2022).

Jahr	Anzahl der Hitzetage (Temperatur ist > 30°C)
2018	37
2019	38

2020	21
2021	24
2022 (bis 01.09.2022)	26

Tabelle 1: Anzahl der Hitzetage pro Jahr in Wien. Quelle: ZAMG, 2022

- Erzeugen eines einheitlichen gewichteten Wertes

Für die Kombination der 5 Jahresmaximaltemperaturen werden die Raster mit einem Gewichtungsfaktor aus Tabelle 1 multipliziert, und der Endraster wird mittels folgender Formel berechnet:

$$T_{avg} = \frac{\sum_{i=2018}^{2022}(T_{max} \times D_{heat})_i}{\sum_{i=2018}^{2022}(D_{heat})_i}$$

Dabei ist:

T_{max} = Rasterdatensatz mit den Maximaltemperaturen von Landsat 8 für jeden Haushalt übernommen

D_{heat} = Anzahl der Hitzetage pro Jahr (siehe Tabelle 1)

T_{avg} = Mittlerer gewichteter Datensatz für die letzten 5 Jahre (2018 – 2022)

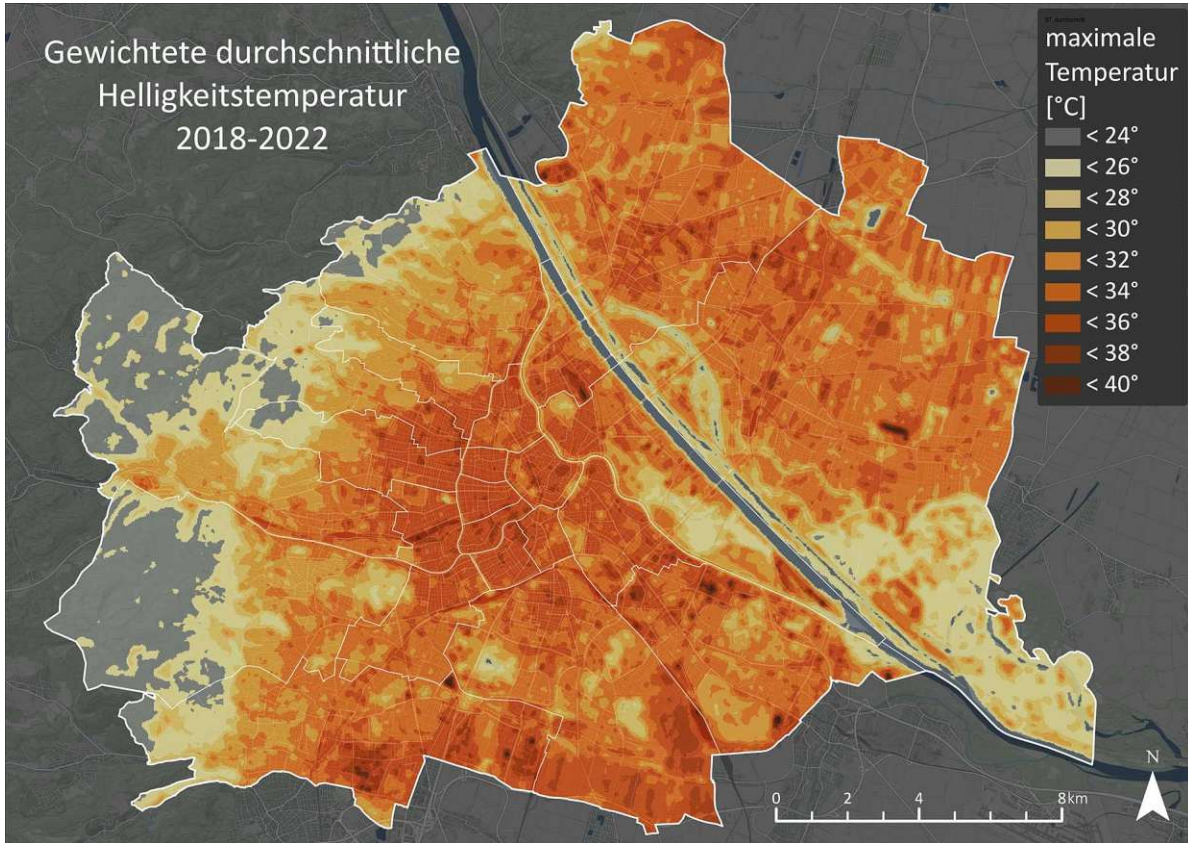


Abbildung 5: Gewichteter Durchschnitt der BT-Temperatur. Quelle: USGS, BEV, eigene Darstellung

- *Umwandlung ins Belastungsindex - EI / Exposure Index*

Um Berechnungen mit den anderen Indikatoren durchführen zu können, werden die Temperaturwerte normalisiert, und es entsteht eine Rasterdatei. Dieser entstandene Datensatz wird als Belastungsindex bezeichnet, und dessen räumlich verteilten Werte erstrecken sich von 0 - keine Belastung bis 1 – sehr hohe Belastung.

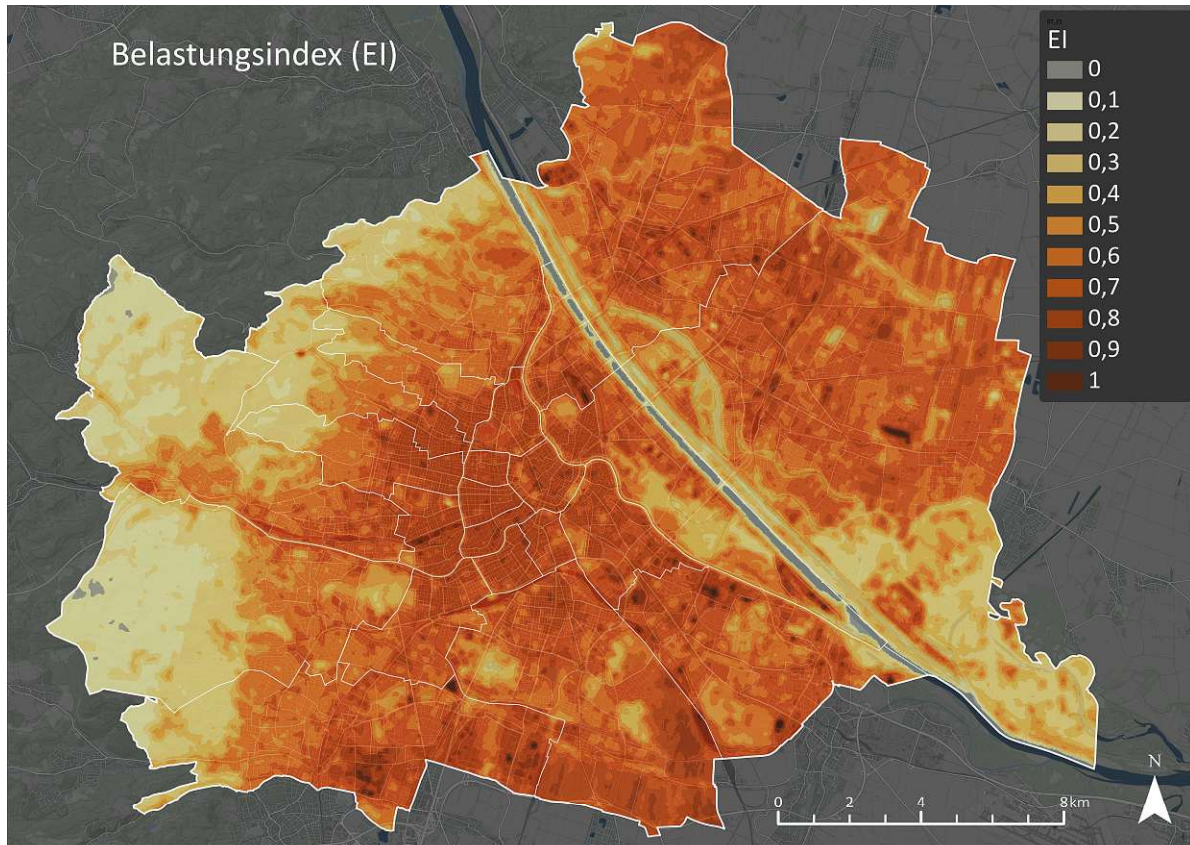


Abbildung 6: Belastungsindex – EI. Quelle: BEV, eigene Berechnung und Darstellung

3.1.2. Modellkomponente „Empfindlichkeit“

Wie im Kapitel 2.3.2 beschrieben, stellt die Empfindlichkeit den Teil des Hitzevulnerabilitätsindexes der sozialen und demographischen Merkmale der Menschen im untersuchten Raum dar. Die unterschiedlichen Datengrundlagen, die dafür angewendet werden, bilden zusammen den Empfindlichkeitsindex (Englisch Sensitivity Index – SI), der dann in weiterer Folge zu der Formel zur Berechnung des HVI hinzugenommen wird.

In Rahmen dieser Arbeit werden ausschließlich diejenigen Merkmale berücksichtigt, die auch in der Berechnung des HVI von Bhattacharjee (2019) Anwendung finden, damit das Ergebnis dieser Indexbildung mit dieser HVI-Karte vergleichbar bleibt. Die hierfür angewendeten Daten sind Bevölkerungsdaten basierend auf dem 250m x 250m Raster von Statistik Austria. Die Daten enthalten Werte für das Jahr 2020 und sind nach Altersgruppen aufgeteilt.

- *Junge Bevölkerung*

Die Altersgruppe der jungen Personen (0 - 14 Jahre) wird von der IPCC als eine von zwei Altersgruppen mit einer besonders hohen Hitzevulnerabilität gekennzeichnet (vgl. IPCC, 2014b).

Die im Datensatz enthaltenen Werte, die der Gesamtanzahl an Personen dieser Altersgruppe je Rasterzelle entsprechen, werden normalisiert, um daraus einen Indexwert zu erhalten, welcher ähnlich zu den anderen berechneten Werten direkt in der weiteren Berechnung angewendet werden kann. Je höher der Indexwert ist, desto höher ist die Anzahl der jungen Bevölkerung. Die graphische Darstellung des Indexes für die Bevölkerungsvulnerabilität für Personen in der Altersgruppe 0 - 14 Jahre sieht folgendermaßen aus:

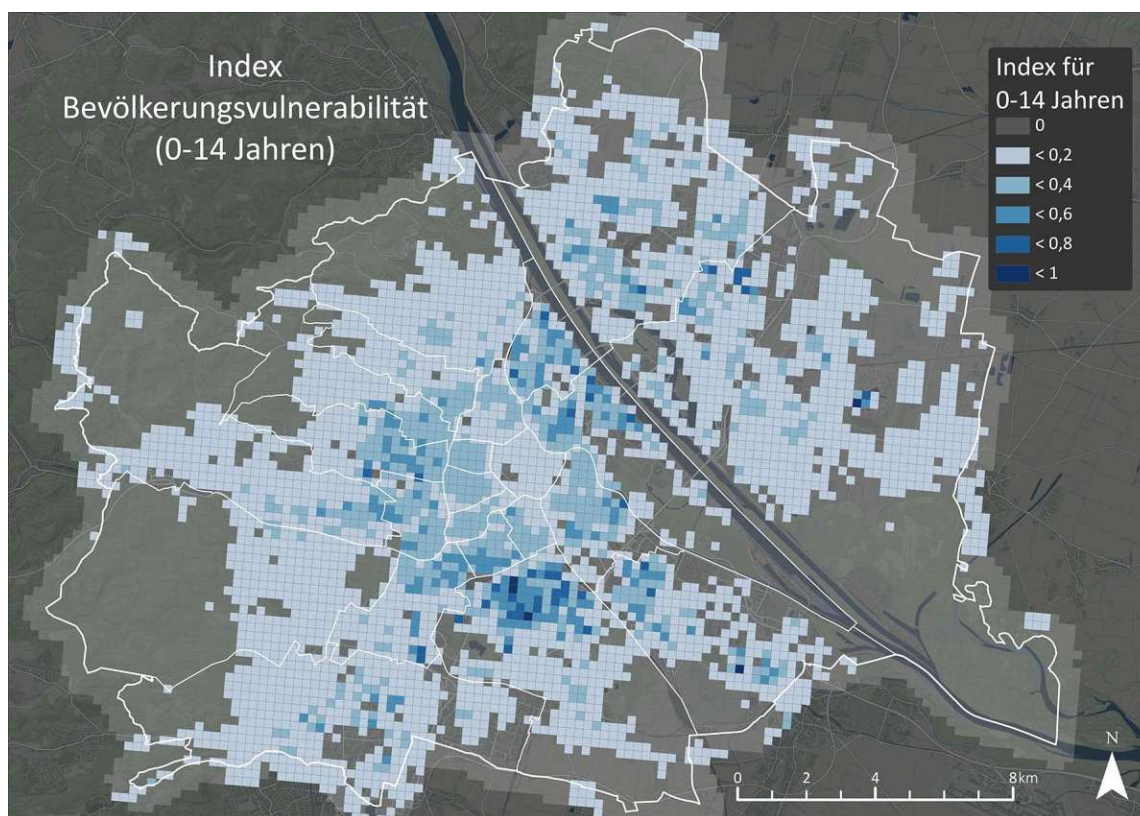


Abbildung 7: Index Bevölkerungsvulnerabilität - Junge Bevölkerung (0-14 Jahre). Datenstand 2020. Quelle: Statistik Austria BEV, eigene Darstellung

- *Ältere Bevölkerung*

Die Altersgruppe der älteren Personen (älter als 65 Jahre) wird von der IPCC als eine von zwei Altersgruppen mit einer besonders hohen Hitzevulnerabilität gekennzeichnet, gemeinsam mit der Gruppe an jungen Personen (vgl. IPCC, 2014b).

Ähnlich zu der Berechnung des Index der Bevölkerungsvulnerabilität der jungen Bevölkerung wir auch der Index für die älteren Bevölkerungsgruppen mit einem Alter von über 65 Jahren berechnet. Die Normalisierung der Werte schafft dabei eine einheitliche Berechnungsgrundlage. In beiden Fällen ist der genaue Wert der Altersgruppe weniger relevant. Viel wichtiger ist dabei der Zusammenhang zwischen den unterschiedlichen räumlichen Werten, denn daraus lassen sich räumliche Muster der Vulnerabilität herauslesen. Folgende Karte entspricht dieser räumlichen Verteilung.

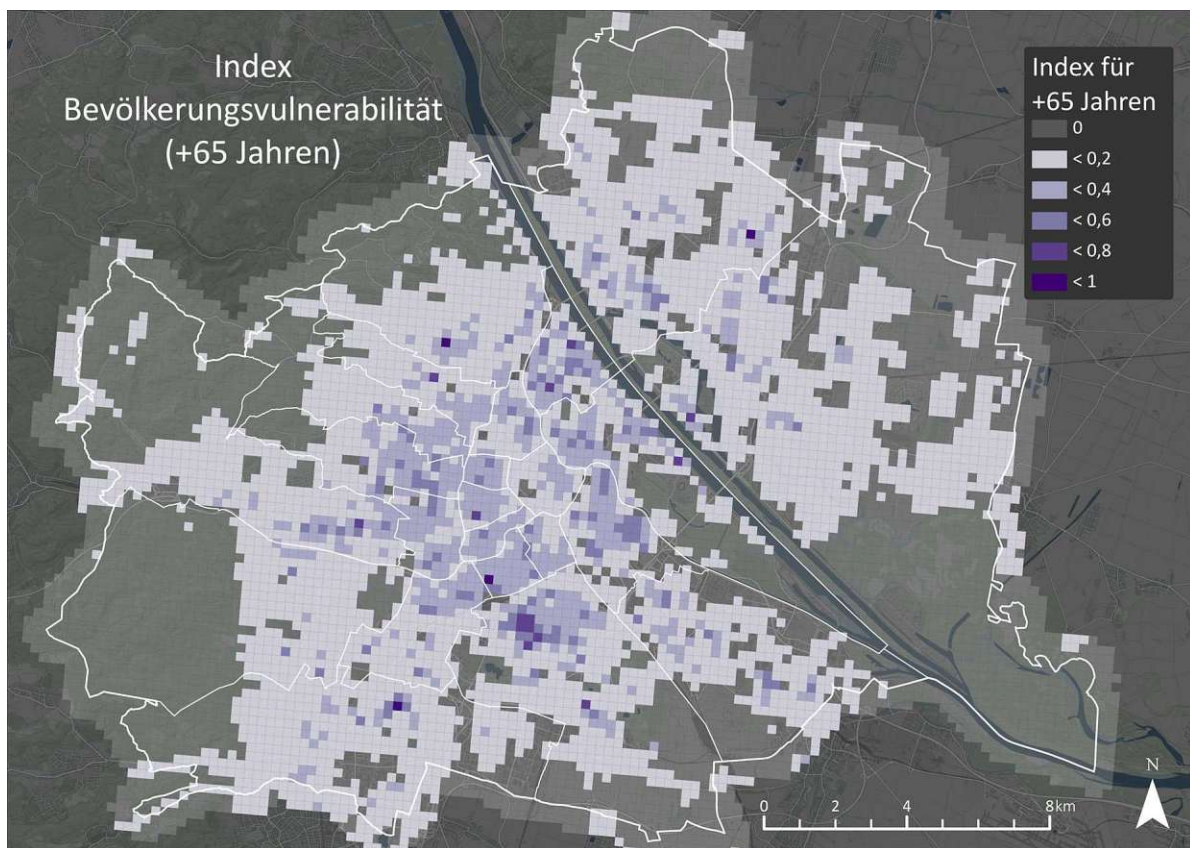


Abbildung 8: Index Bevölkerungsvulnerabilität - ältere Bevölkerung (über 65 Jahre). Datenstand 2020 Quelle: Statistik Austria, BEV, eigene Darstellung

- *Empfindlichkeitsindex – SI / Sensitivity Index*

Für die Berechnung des Empfindlichkeitsindexes werden die beiden soeben berechneten Indexe der Bevölkerungsvulnerabilität addiert, und der sich ergebende Werteraster wird erneut normalisiert, sodass der Ergebnistraster nur Werte zwischen 0 und 1 enthält.

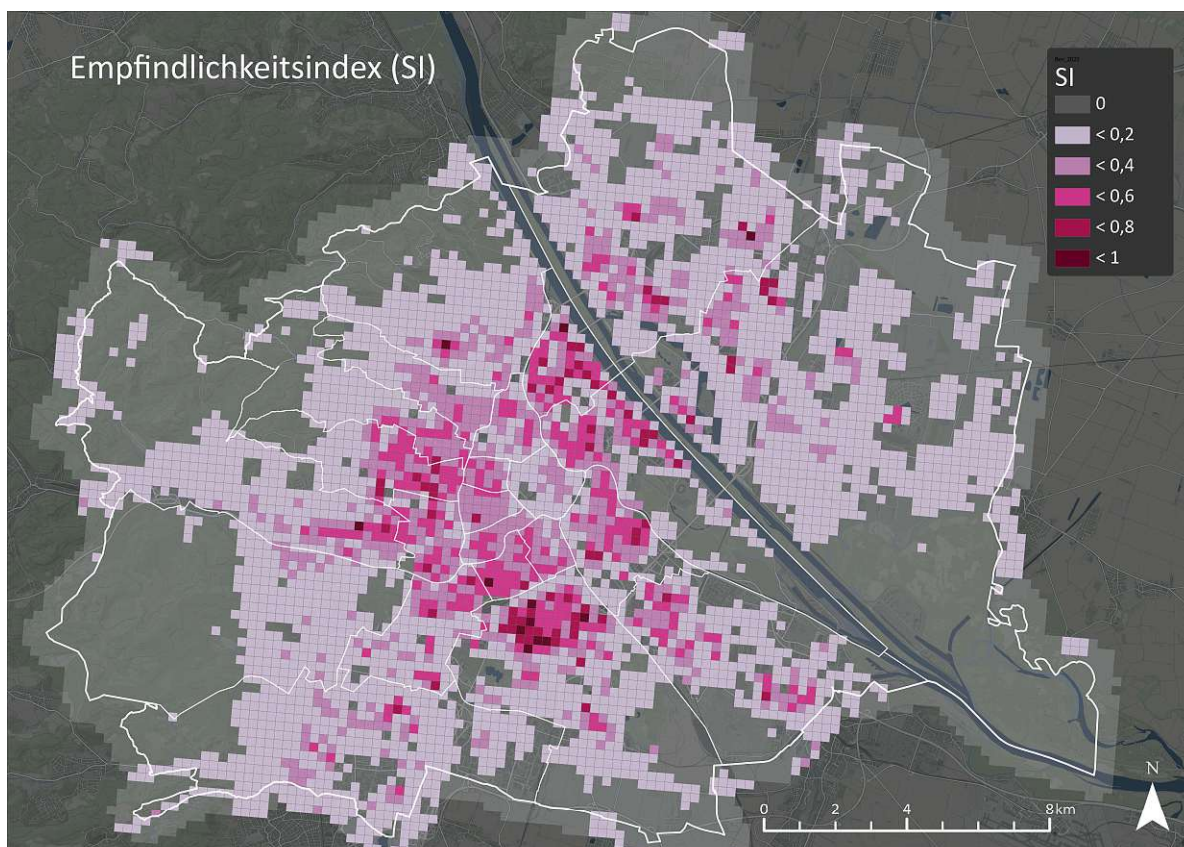


Abbildung 9: Empfindlichkeitsindex – SI. Quelle: BEV, eigene Berechnung und Darstellung

3.1.3. Modellkomponente „Anpassungsfähigkeit“

Das dritte Element, welches den UHVI bildet, ist die Anpassungsfähigkeit, welche der Kombination von Belastung und Empfindlichkeit entgegensteuert. Basierend auf physikalischen Merkmalen, wie Vegetation und Gewässer, trägt die Anpassungsfähigkeit zu mehreren Aspekten bei. Einerseits ergänzt sie die aus Satellitenbildern erzeugten Helligkeitstemperaturen (Kapitel 3.1.1), welches in weiterer Folge zur Berechnung der tatsächlichen Oberflächentemperatur führt. Andererseits führt sie zur Reduktion der Vulnerabilität der Bevölkerung durch die

räumliche Nähe dieser zu diesen Merkmalen. In dieser Arbeit werden zwei Indikatoren der Anpassungsfähigkeit berücksichtigt, nämlich der Erweiterte Vegetationsindex (englisch Enhanced Vegetation Index - EVI) und der Normalisierter Differenzwasserindex (englisch Normalized Difference Water Index - NDWI). Durch diese begrenzte Auswahl an Indikatoren bleibt das Ergebnis vergleichbar mit dem aus der MA20 Studie über den städtischen Hitzevulnerabilitätsindex (2019).

- *Erweiterter Vegetationsindex - EVI / Enhanced Vegetation Index*

Der Vegetationsindex von MODIS gibt die räumlichen Verteilungen der Vegetation sowie die Merkmale davon anhand von Satellitenbildern wieder. Der EVI ist eine spezifische Form dieses Indexes, die vor allem durch eine bessere Reduktion der atmosphärischen Effekte zu einer detaillierten Wiedergabe der Vegetation auf den Satellitenbildern führt (vgl. Huet und Justice, 1999, S. 11).

Die folgende Berechnung des EVI basiert auf Satellitenbildern vom Satelliten Sentinel2 (Datenbeschreibung im Anhang), die auf der Internetseite der USGS öffentlich zur Verfügung stehen. Da laufend neue Bilder zur Verfügung gestellt werden, werden für die folgende Berechnung die neusten Datensätze ausgewählt, die jedoch möglichst geringe Sichtbeeinträchtigungen durch Wolken aufweisen. Somit werden die Daten, die dem Satellitenüberflug vom 05.08.2022 entsprechen, angewendet, wobei nur die Bänder 2, 4 und 8 zur Anwendung kommen. Wegen der Satellitenflugbahn braucht man 2 nebeneinanderliegende Satellitenbilder um die gesamte Fläche der Stadt Wien analysieren zu können. Laut Huet et al.(2002) lautet die Formel für EVI folgendermaßen:

$$EVI = G \times (NIR - Rot) / (NIR + C1 * Rot - C2 * Blau + L)$$

Dabei ist:

NIR den nah-infrarot Satellitenbild-Band darstellt (Band 8 bei Sentinel2 Bilder)

Rot den roten Satellitenbild-Band darstellt (Band 4 bei Sentinel2 Bilder)

Blau den blauen Satellitenbild-Band darstellt (Band 2 bei Sentinel2 Bilder)

G ist der Gewinnfaktor (laut MODIS-EVI Algorithmus entspricht der Wert 2,5)

C1 und **C2** sind Koeffizienten für den Aerosolwiderstand (laut MODIS-EVI Algorithmus entsprechen die Werte 6 für C1 und 7,5 für C2)

L ist ein Anpassungswert für den Vegetationsfaktor (laut MODIS-EVI Algorithmus entspricht der Wert 1)

Somit sieht die Formel folgendermaßen aus:

$$EVI = 2,5 * (Band\ 8 - Band\ 4) / ((Band\ 8 + 6 * Band\ 4 - 7,5 * Band\ 2))$$

Die im GIS-Programm durchgeführte Berechnung liefert eine Rasterdatei, auf der die aus Pixeln bestehenden Vegetationsmerkmale mit unterschiedlichen Werten dargestellt werden. Das fertige Produkt, welches Werte zwischen 0 und 1 enthält, wird auf Abbildung 10 grafisch dargestellt.

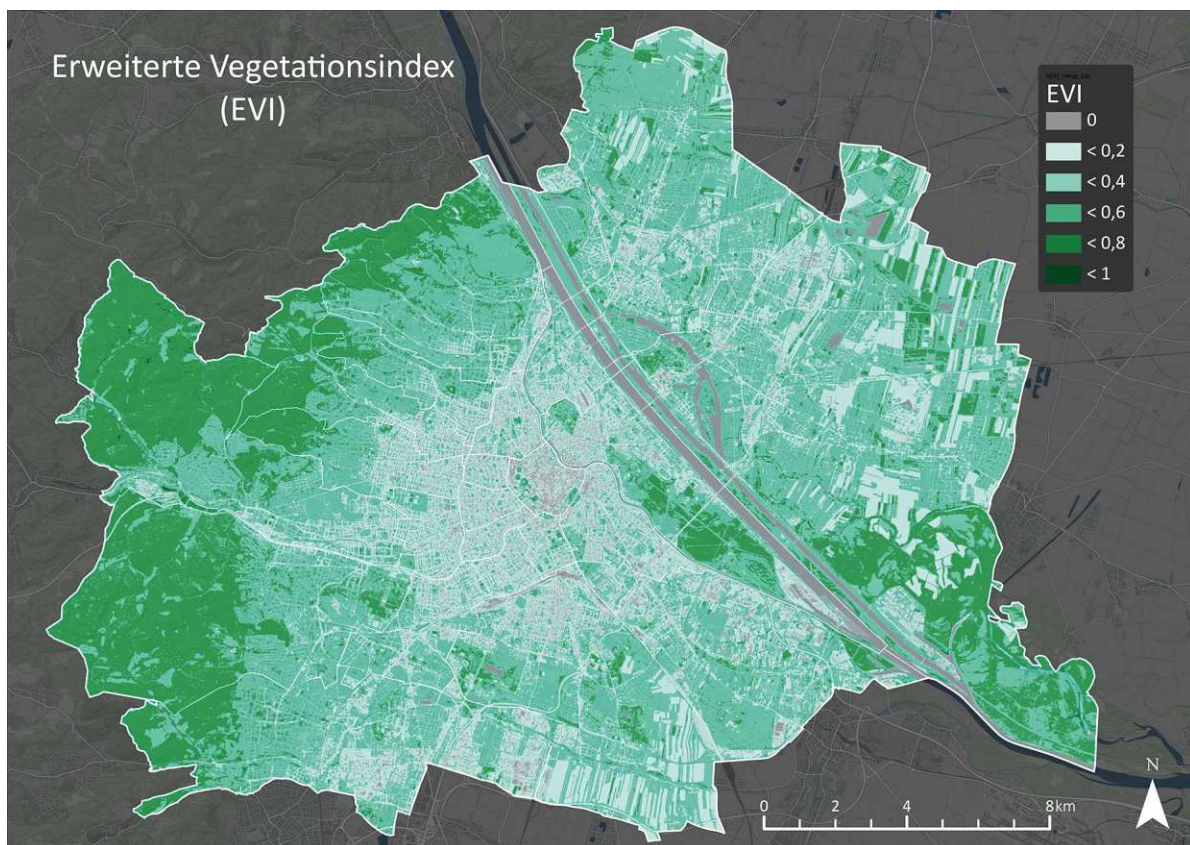


Abbildung 10: Erweiterte Vegetationsindex - EVI. Quelle: BEV, USGS, eigene Berechnung und Darstellung

- *Normalisierter Differenzwasserindex– NDWI*

Als zweiter Bestandteil für die Berechnung der Anpassungsfähigkeit wird der Normalisierte Differenzwasserindex (auf Englisch Normalized Difference Water Index – NDWI) angewendet. Dieser Index wird ebenfalls durch die Anwendung von Satellitenbildern berechnet, bietet aber als Ergebnis eine Rasterdatei, die für alle Wasseroberflächen einen Indexwert liefert. Somit wirkt dieser Index komplementär zu dem EVI, der nur die Vegetation untersucht. Für die Berechnung davon wird folgende Formel angewendet (vgl. Gao, 1996):

$$NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$$

Dabei ist:

NIR den nah-infrarot Satellitenbild-Band darstellt (Band 8 bei Sentinel2 Bilder)

SWIR den kurzwellen-infrarot Satellitenbild-Band darstellt (Band 3 bei Sentinel2 Bilder)

Die folgende Karte zeigt die kartografische Darstellung des Ergebnistrasters mit Pixelwerten zwischen 0 und 1.

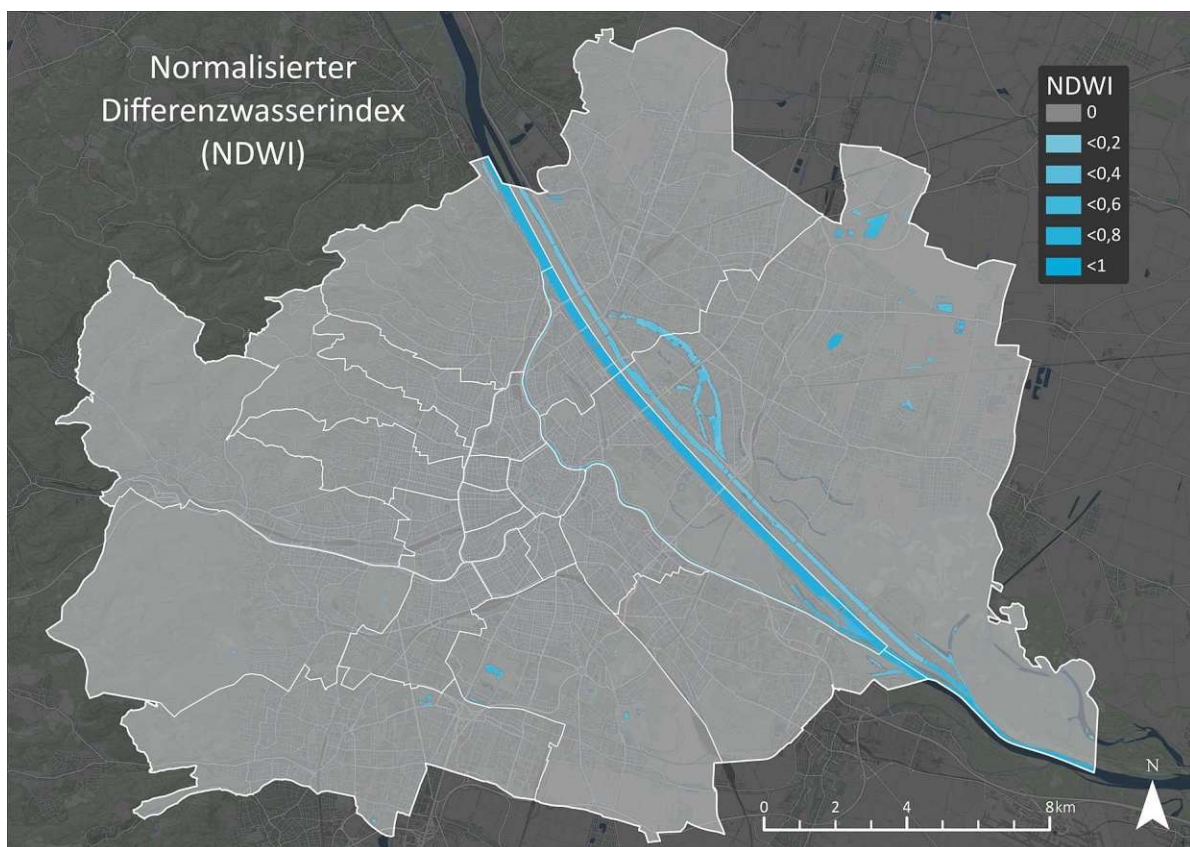


Abbildung 11: Normalisierter Differenzwasserindex – NDWI. Quelle: BEV, USGS, eigene Berechnung und Darstellung

- *Anpassungsfähigkeitsindex – ACI / Adaptive Capacity Index*

Für die Bildung des ACI werden die beiden Rasterdatenschichten aus den vorigen Schritten addiert. Da EVI für Wasseroberflächen nur Pixelwerte von 0 ausweist und der NDWI nur für diese Flächen Werte hat, und somit ein Pixelwert von 0 für die restlichen Oberfläche aufweist, ergibt eine Addition der beiden Rasterschichten ebenfalls nur Werte zwischen 0 und 1. Das fertige Bild des Anpassungsfähigkeitsindexes sieht folgendermaßen aus:

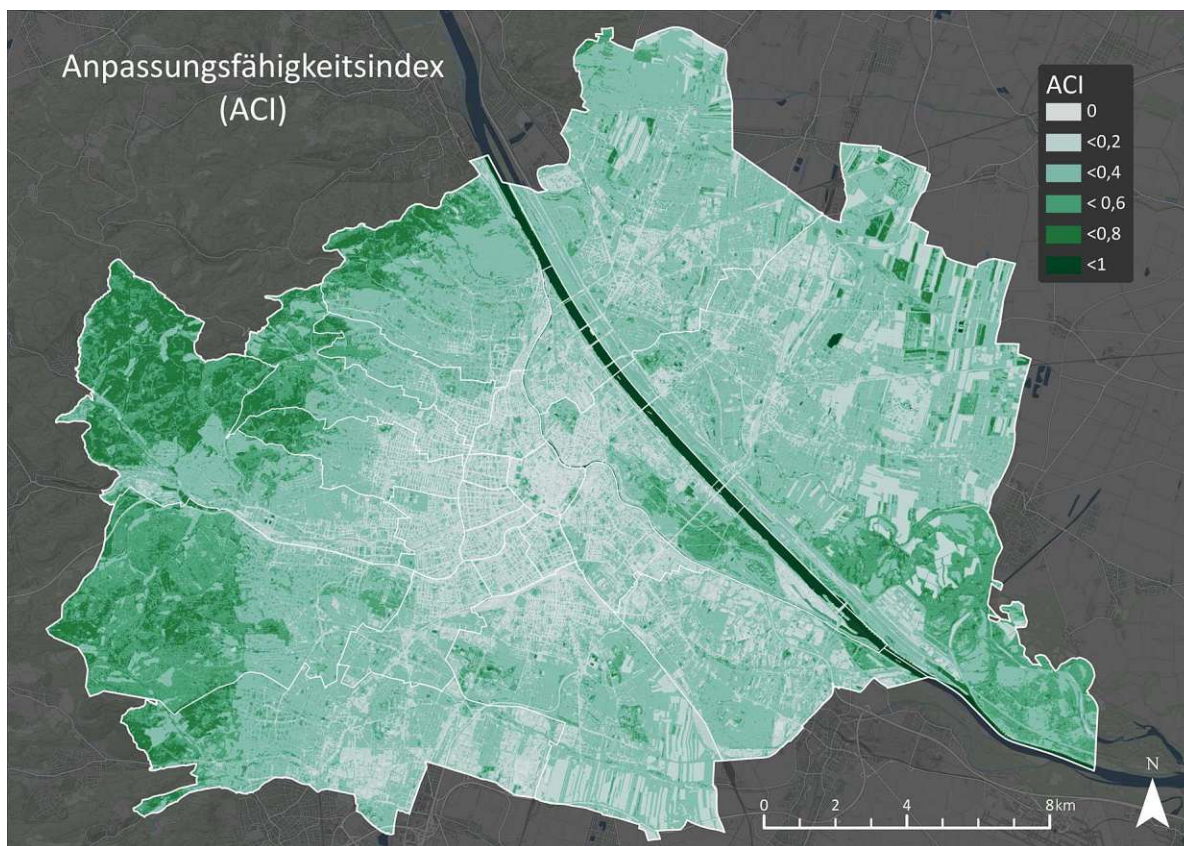


Abbildung 12: Anpassungsfähigkeitsindex - ACI. Quelle: BEV, USGS, eigene Berechnung und Darstellung

3.1.4. Wiener urbane Hitzevulnerabilitätsindex – UHVI / *Urban Heat Vulnerability Index*

Aus der Kombination der drei erzeugten Indikatoren wird der Hitzevulnerabilitätsindikator gebildet. Dieser kombiniert klimatische, bauliche und sozio-demographische Elemente, um ein aktuelles und klares Bild zu ergeben, auf dem die innerstädtischen Unterschiede ablesbar sind und anhand von denen auch weitere Analysen entstehen können und Entscheidungen getroffen werden können. Die Kombination dieser drei Indikatoren wird in der Literatur auf mehrere Arten beschrieben, wobei für diese Arbeit die Methode aus der Vulnerabilitätsindexkarte für

Wien (vgl. Bhattacharjee, 2019) angewendet wird, um eine vergleichbare Basis herzustellen. Dabei wird folgende Formel angewendet:

$$UHVI = EI * SI - ACI$$

Durch die Multiplikation des Sensibilitätsindex mit dem Belastungsindex wirken die sozio-demografischen Faktoren als ein Multiplikator, der nicht nur zu dem klimatisch bewirkten EI hinzugezählt wird, sondern diesen Index und dessen Extremwerte noch stärker akzentuiert. Der ACI, dessen Werte Ausgleichseffekte durch Vegetation und Gewässer darstellen, wird von der Multiplikation subtrahiert, und als Ergebnis erhält man einen städtischen Hitzevulnerabilitätsindex. Darstellerisch sieht die Kombination der drei Karten folgendermaßen aus:

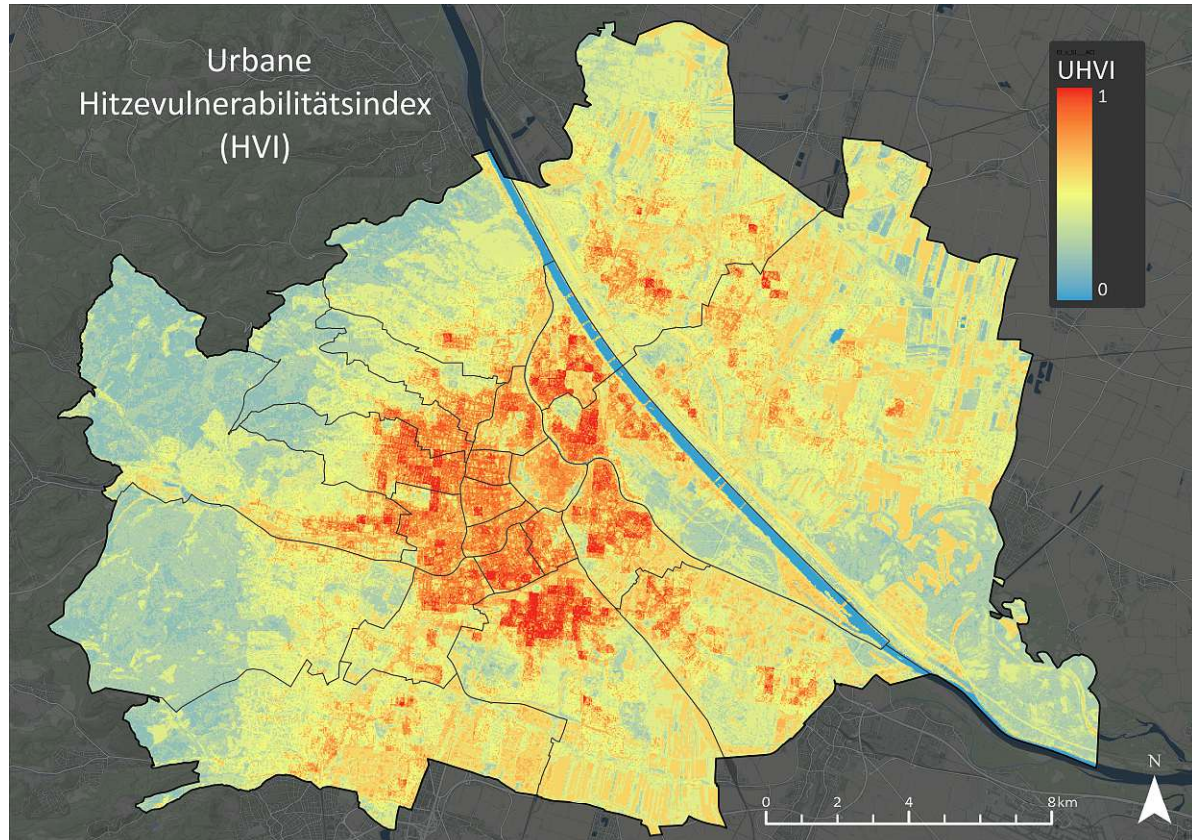
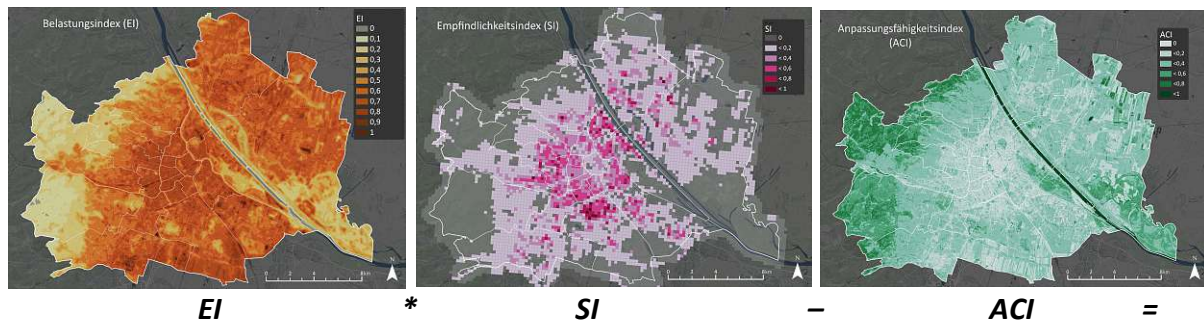


Abbildung 13: Urbane Hitzevulnerabilitätsindex – UHVI. Quelle: BEV, eigene Berechnung und Darstellung

Auf der Kartendarstellung des UHVI sind Merkmale der Stadt Wien deutlich erkennbar, mit vegetationsreichen Zonen wie der Wiener Wald und die Lobau in bläulichen Tönen und mit den innerstädtischen bebauten Flächen in unterschiedlichsten Tönen von Rot bis Gelb. Die sozio-demographischen Merkmale haben einen deutlichen Einfluss auf den Index, und die Größe der Rasterzellen, auf Basis welcher die Daten verfügbar sind, verursacht räumliche Gefälle bei den UHVI Werten. Beispiel dafür sind vor allem in Gebieten mit einem hohen SI Wert und daher auch einem hohen Hitzevulnerabilitätsindex, wie zum Beispiel mehrere Bereiche im Zehnten Wiener Gemeindebezirk, wo die Rasterstruktur der Bevölkerungsdaten deutlich erkennbar ist. Um räumlich genauere Ergebnisse darstellen zu können, müssten die groben 250m x 250m Rasterdaten durch räumlich differenzierte Datensätze ersetzt werden.

Nach der Berechnung werden die erhaltenen Werte erneut normalisiert, damit der UHVI nur Werte zwischen 0 und 1 enthält und dadurch zu anderen Vulnerabilitätsindexberechnungen vergleichbar ist. In der Abbildung 14 ist die UHVI-Karte von Wien aus dem Jahr 2019 dargestellt, aus der Studie von Bhattacharjee (2019). Hier wurden die Indikatoren für die Bildung des SI nicht auf Rasterbasis einbezogen, sondern auf Zählbezirk-Ebene.

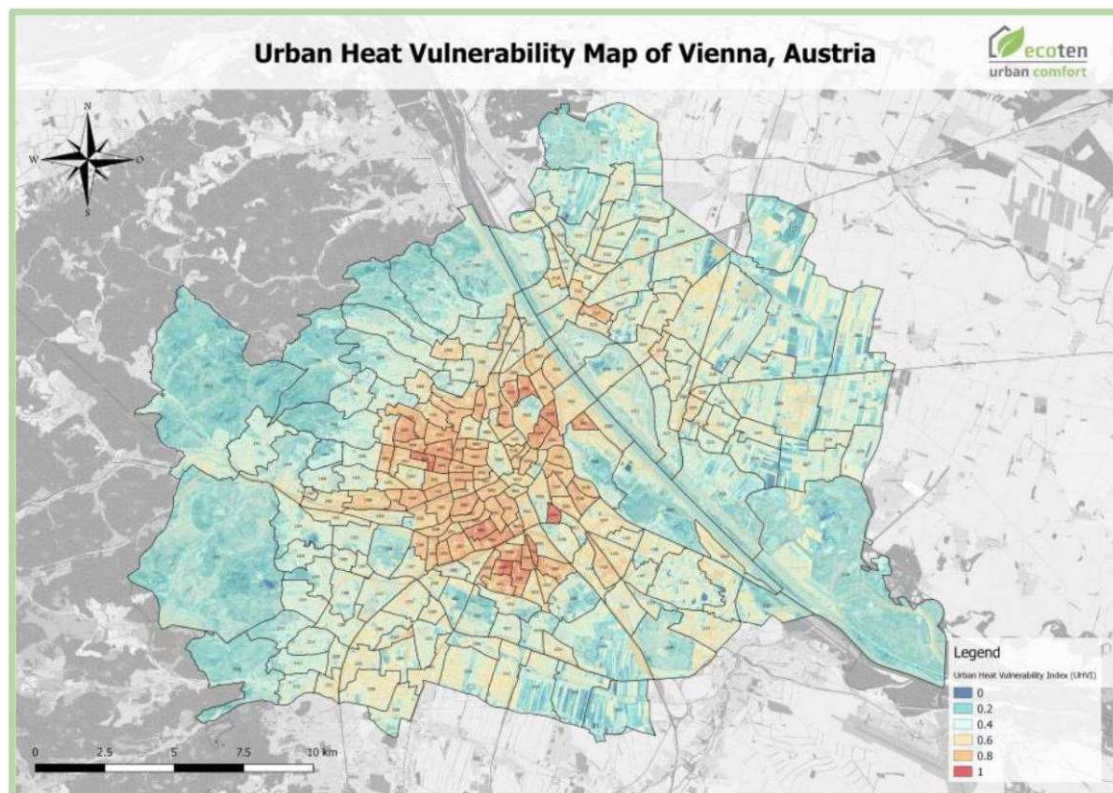


Abbildung 14: UHVI – Quelle: ecoten, Stadt Wien, Bhattacharjee 2019

3.1.5. Wohngebietstypen

Die sich aus dem Kapitel 3.1.4 ergebende Karte der Wiener Hitzevulnerabilität weist eine hohe Variation des Vulnerabilitätsindex im städtischen bebauten Raum auf. Dieser Raum wird auch von weiteren baulichen Merkmalen gekennzeichnet, die in dieser Untersuchung noch nicht berücksichtigt wurden, aber in laut Henninger (2011, S.66f) ebenfalls als ein wesentliches Merkmal betrachtet werden. Die Typologie der Bebauung kann durch unterschiedliche Merkmale kategorisiert werden, wie z.B. Gebäudehöhe, Geschößhöhe, Kubatur, Dachausführung, Baumaterial, energetische Wertigkeit und Lebensdauer, nur um einige Merkmale aufzuzählen. Dabei spielt auch der Abstand zwischen den Gebäuden eine Rolle auf den Hitzeinseleffekt. Dieses Zusammenspiel zwischen Gebäude und Nebenfläche ist auch in der für diese Analyse ausgewählten räumlichen Typologie relevant, nämlich der Wohngebietstypologie, wobei hauptsächlich die Bauperiode, die Geschößflächenzahl und die Anzahl der Wohnungen je Gebäude ausschlaggebende Faktoren waren. Wie auch die Benennung andeutet, bezieht sich diese Typologie nur auf Gebäude mit Wohnnutzung. Auch gemischte Nutzungen werden berücksichtigt solange die Wohnnutzung ebenfalls präsent ist (vgl. MA18, 2016).

Diese im Jahr 2016 entwickelte räumliche Gliederung findet auf Wiener Zählgebiet-Ebene statt (1364 Zählgebiete) und gliedert den Raum in 13 Wohngebietstypen. Abbildung 15 entspricht der kartografischen Darstellung davon.

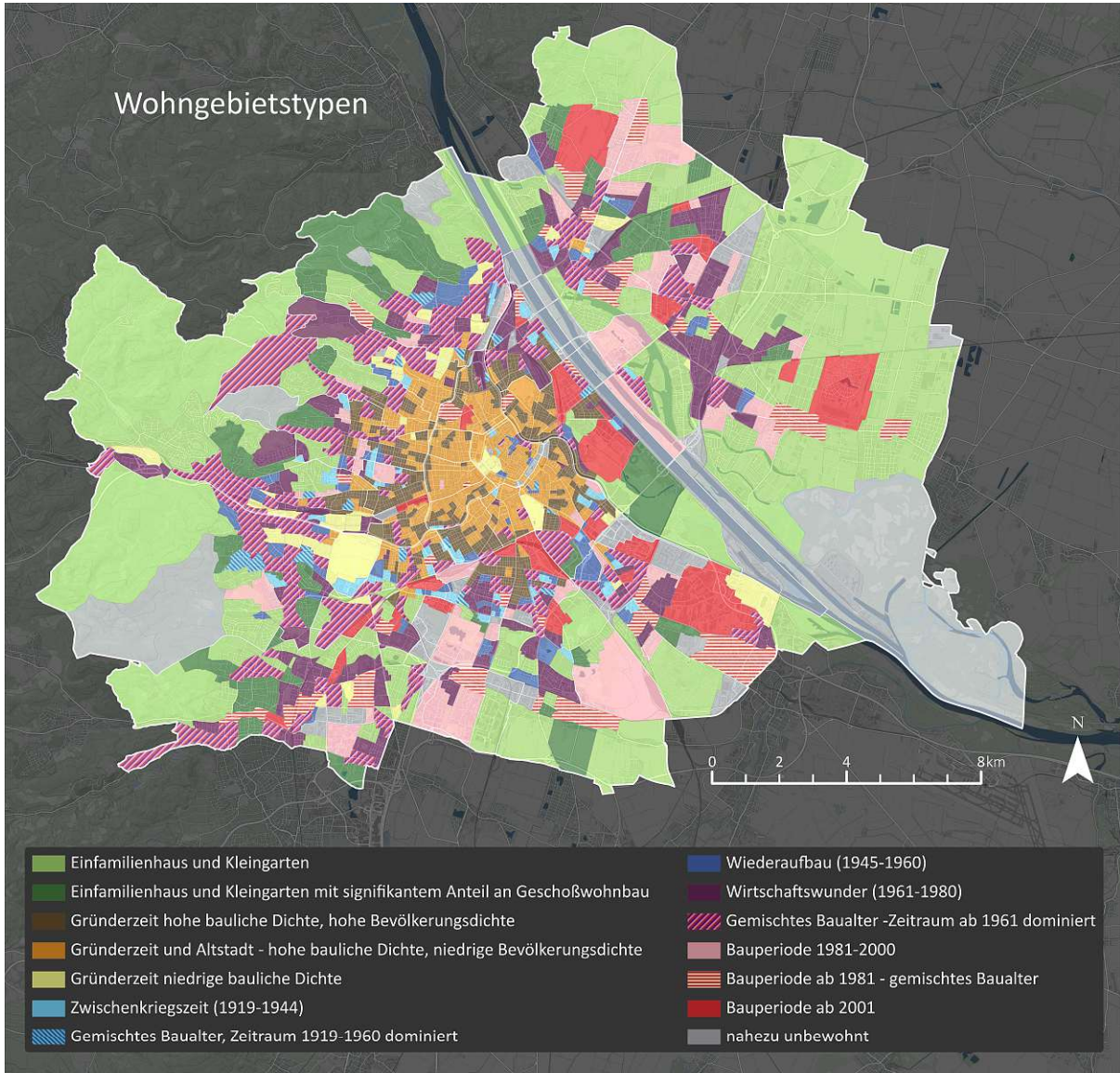


Abbildung 15: Kartografische Darstellung der Wohngebietstypen 2016 - Zählgebiete. Quelle: BEV, MA18, eigene Darstellung

Um die Darstellung der Wohngebietstypen noch detaillierter zu machen, wird in der Abbildung 16 auf die Datengrundlage der Realnutzungskategorien 2021 zugegriffen, anhand derer nur Gebäude mit Wohn- oder Mischnutzung zu den 13 Gebietstypen zugewiesen werden. Dadurch werden sowohl unbebaute Flächen nicht dargestellt, und andererseits werden auch die nicht als Wohnnutzung gekennzeichneten Bauten dunkel hinterlegt.

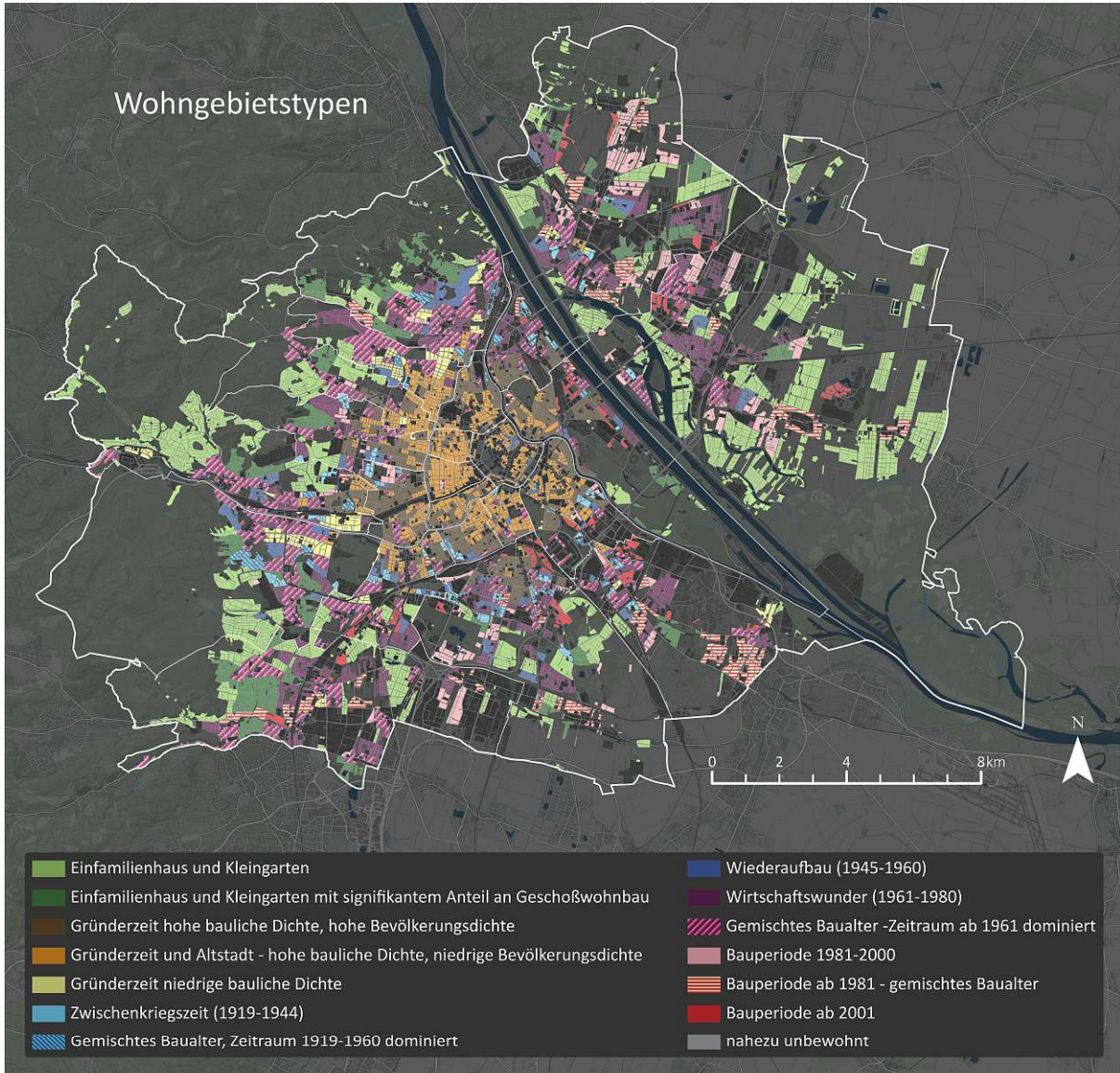


Abbildung 16: Kartographische Darstellung der Realnutzungskategorie Wohn- und Mischnutzung nach Wohngebietstypen.
Quelle: BEV, MA18, MA41, eigene Darstellung

3.2. Zwischenergebnis Hitzevulnerabilitätsindex und Auswahl Zielgebiete

Wie bereits am Anfang des dritten Kapitels angedeutet, dient eine UHVI-Karte als Grundlage für sämtliche weiterführende Untersuchungen. Die räumliche Verteilung der vulnerablen Bereiche der Stadt wird untersucht, um einerseits ein besseres Verständnis der klimatisch vulnerablen Gegebenheiten zu gewinnen, und andererseits hilft diese auf unterschiedlichen Ebenen der Stadtplanung bei der Bekämpfung der städtischen Hitze.

Je detaillierter die UHVI-Karte ist, desto leichter wird es für den Nutzer oder die Nutzerin dessen, räumlich schlüssige Erkenntnisse zu gewinnen und daraus weitere Maßnahmen ableiten zu können. Der Detaillierungsgrad kann sowohl durch die Größe der Einheiten, die zur Bildung des Indexes beigetragen haben, als auch durch die Auflösung der Satellitenbilder beeinflusst werden. Satellitenbilder stehen in unterschiedlichen Auflösungsgraden zur Verfügung, und mit fortschreitender Generation der Satelliten werden die aufgenommenen Bilder reicher an Details. Dies kann beispielsweise zwischen den unterschiedlichen Landsat Satelliten erkannt werden, deren Produkte mit jeder neuen Generation detailreicher und genauer sind (vgl. USGS, 2019).

Die im Rahmen dieser Arbeit angewandten Satellitenbilder haben eine Auflösung von 30mx30m beziehungsweise 10mx10m, was als eine hohe räumliche Genauigkeit betrachtet werden kann. Die Bevölkerungsdaten, die zur Anwendung kamen, haben eine Rasterzellen-größe von 250mx250m, was deutlich gröber ist als die Körnung der Satellitenbilder, jedoch klein genug ist für eine weiterführende Analyse auf Wiener Zählgebietsebene.

3.2.1. Zwischenergebnis urbaner Hitzevulnerabilitätsindex

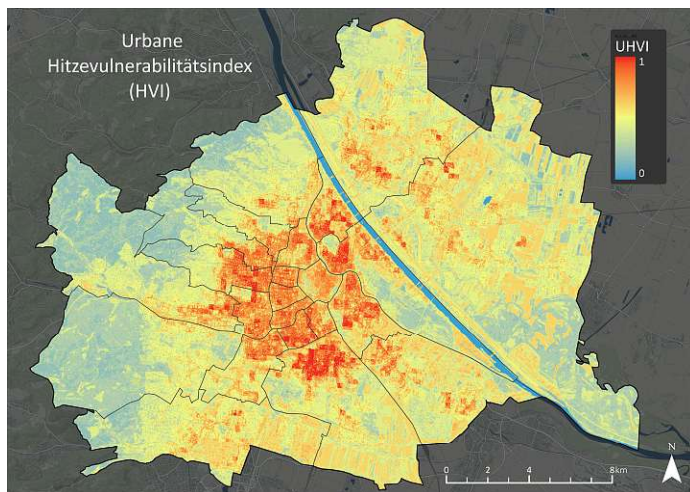


Abbildung 17: UHVI. Quelle: BEV, eigene Berechnung und Darstellung

Die aus dem Kapitel 3.1.4 resultierende UHVI-Karte bietet eine detaillierte Ansicht der Vulnerabilitätssituation in der Stadt mit einer Genauigkeit, die von dem Detaillierungsgrad der Ausgangsdaten abhängig ist. Der Grad der Genauigkeit schwankt zwischen der niedrigsten und der höchsten Auflösung der Daten. Das bedeutet, dass ein Unterschied zwischen 10m x 10m

Zellen und 250m x 250m Zellen auch grafisch (Abbildung 17) bemerkbar ist.

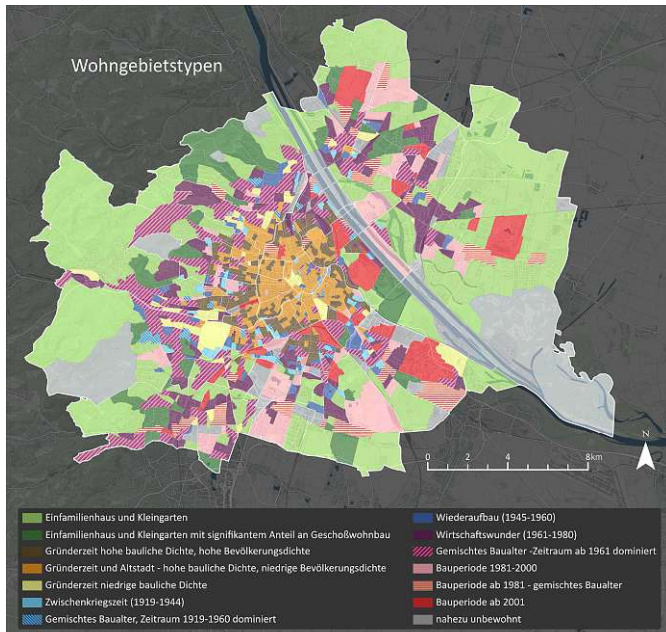


Abbildung 18: Berechnung eines mittleren UHVI Wertes je Zählgebiet.
 Quelle: BEV, MA18, eigene Darstellung

Um eine der gestellten Forschungsfragen behandeln zu können, nämlich die Untersuchung des UHVI nach Stadt-raumtypen, werden die im Kapitel 3.1.5 festgelegten Gebietstypen mit den Vulnerabilitätswerten kombiniert, sodass einheitliche UHVI-Werte je räumlicher Einheit entstehen. Durch die Kombination der beiden Datensätze wird jedes der 1368 Zählgebiete mit einem UHVI-Wert verbunden, der als Mittelwert der UHVIs innerhalb dieser räumlichen Einheit gilt. Diese Berechnung geschieht

mit Hilfe des GIS-Programmes durch die Anwendung des Werkzeugs *Zusammenfassen (innerhalb)*. Die graphische Darstellung dieser Berechnung ist in der Abbildung 19 zu sehen.

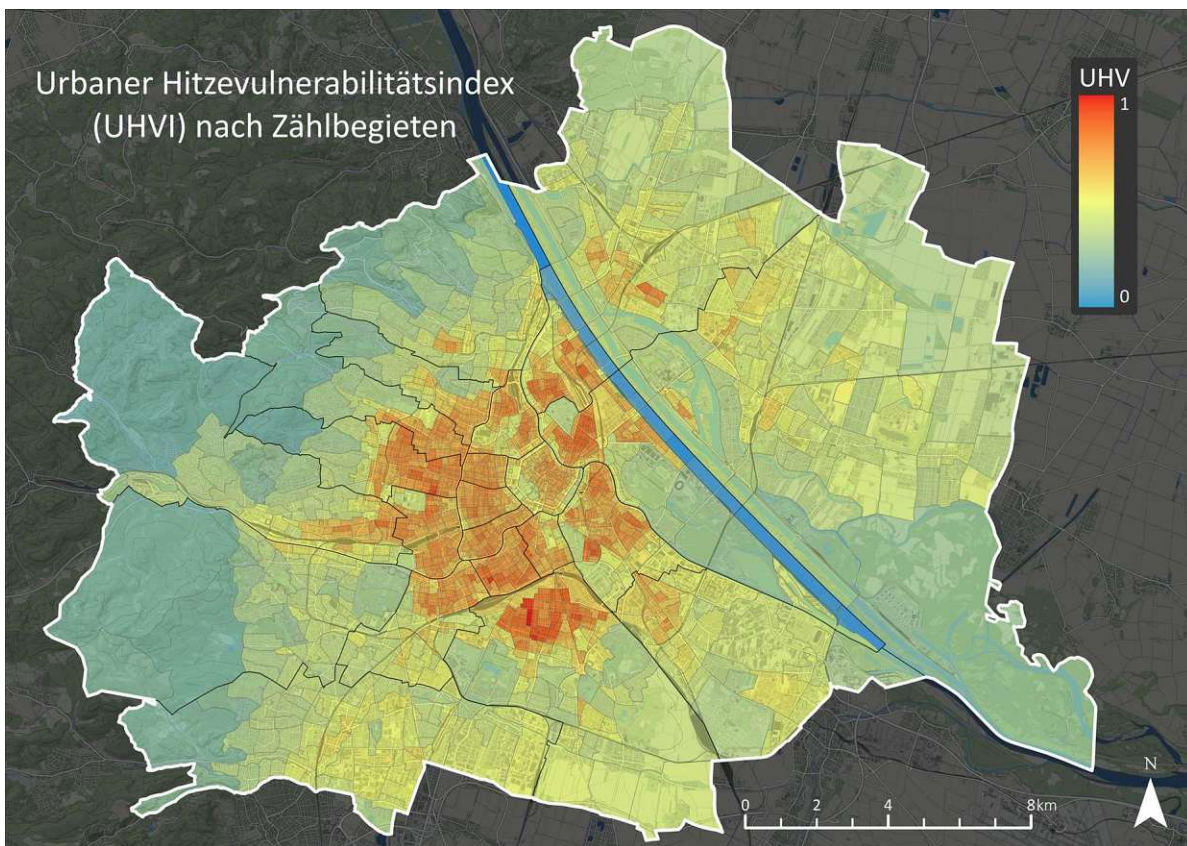


Abbildung 19: UHVI nach Zählgebieten. Quelle: BEV, eigene Berechnung und Darstellung

Um ein besseres Verständnis für die auf der oberen Karte dargestellten Daten zu gewinnen, wird als erstes die räumliche Verteilung untersucht. Es kann bemerkt werden, dass Zählgebiete, die vom Stadtzentrum weiter entfernt liegen, eine größere Fläche haben. Dadurch entsteht der Effekt, dass ein Mittelwert aus mehreren Zellen entstehen wird, im Vergleich zu einer kleinen Zelle. Somit kann es sein, dass manche Zählgebiete eine oder mehrere hohe Wertigkeiten anhand der Rasterdatenanalyse haben, diese aber bei der Berechnung des UHVI Wertes je Zählgebiet mit mehreren Zellen, die deutlich niedrigere UHVI-Werte haben, einen Mittelwert bilden. Dadurch ergeben sich Zählgebiete mit einem niedrigen UHVI. Deshalb kann angemerkt werden, dass je kleiner die räumliche Einheit ist, desto genauer können sehr lokale Hitzevulnerabilitätseffekte berücksichtigt und modelliert werden. Die Limitierung dabei ist die Rasterzellendichte. Je mehr Details die Ausgangsdatensätze liefern, desto genauer wird die räumliche Verteilung des UHVI. Falls die räumlichen Einheiten kleiner als die Rasterzellen der Daten sind, können grobe Fehler entstehen. In Rahmen dieser Arbeit wurde darauf geachtet, dass diese Fehler vermieden werden.

Die Verteilung der hohen Werten (auf der Abbildung 19 in Rot-Tönen dargestellt) deutet darauf hin, dass hauptsächlich die dicht bebauten Gebiete der Stadt einen erheblichen Vulnerabilitätswert haben, wie zum Beispiel große Teile der inneren Bezirke (1-9), aber auch Gebiete im 10. Bezirk und außerhalb des Westgürtels.

In weiterer Folge werden tabellarische Auswertungen der UHVI Werte durchgeführt, um einerseits die genauen kleinräumigen Standorte aufzulisten, an denen am meisten Maßnahmen zur Minderung der Hitzeeffekte erforderlich wären. Andererseits wird für jede Gebäudetypologie das Zählgebiet mit dem Höchstwert aufgelistet, um eine Übersicht über Vulnerabilitäten je Wohngebietstypologie zu erstellen. Außerdem wurde eine graphische Übersicht der UHVI-Werte in Form eines Streudiagramms erstellt, welches auf Graphik 1 zu sehen ist. Die vertikale Achse stellt den UHVI-Wert dar und die horizontale Achse den Bezirk, in dem sich der Zählbezirk befindet.



Graphik 1: Streudiagramm

- *Untersuchung der Zählbezirke mit dem höchsten UHVI Wert*

Die untere Tabelle enthält Daten über die 10 Zählgebiete mit den höchsten UHVI-Werten.

Rank	Bezirk	Zählbezirk	Zählgebiet	UHVI	Wohngebietstyp
1	10	1007	10072	0,992	Gemischtes Baualter -Zeitraum ab 1961 dominiert
2	10	1010	10104	0,958	Gemischtes Baualter -Zeitraum ab 1961 dominiert
3	5	503	5039	0,951	Gründerzeit hohe bauliche Dichte, hohe Bevölkerungsdichte
4	10	1006	10063	0,937	Gründerzeit hohe bauliche Dichte, hohe Bevölkerungsdichte
5	16	1610	16108	0,930	Gründerzeit hohe bauliche Dichte, hohe Bevölkerungsdichte
6	10	1002	10024	0,898	Gründerzeit hohe bauliche Dichte, hohe Bevölkerungsdichte
7	10	1010	10102	0,888	Zwischenkriegszeit (1919-1944)
8	10	1005	10052	0,886	Gründerzeit hohe bauliche Dichte, hohe Bevölkerungsdichte
9	10	1005	10054	0,886	Bauperiode ab 1981 - gemischtes Baualter
10	3	304	3045	0,883	Gründerzeit hohe bauliche Dichte, hohe Bevölkerungsdichte

Tabelle 2: Zählgebiete mit dem höchsten UHVI

Ergänzend zu der oberen Tabelle dient diese Karte als visuelle Hilfe, um die Zählbezirke mit den höchsten Wertigkeiten untersuchen zu können.

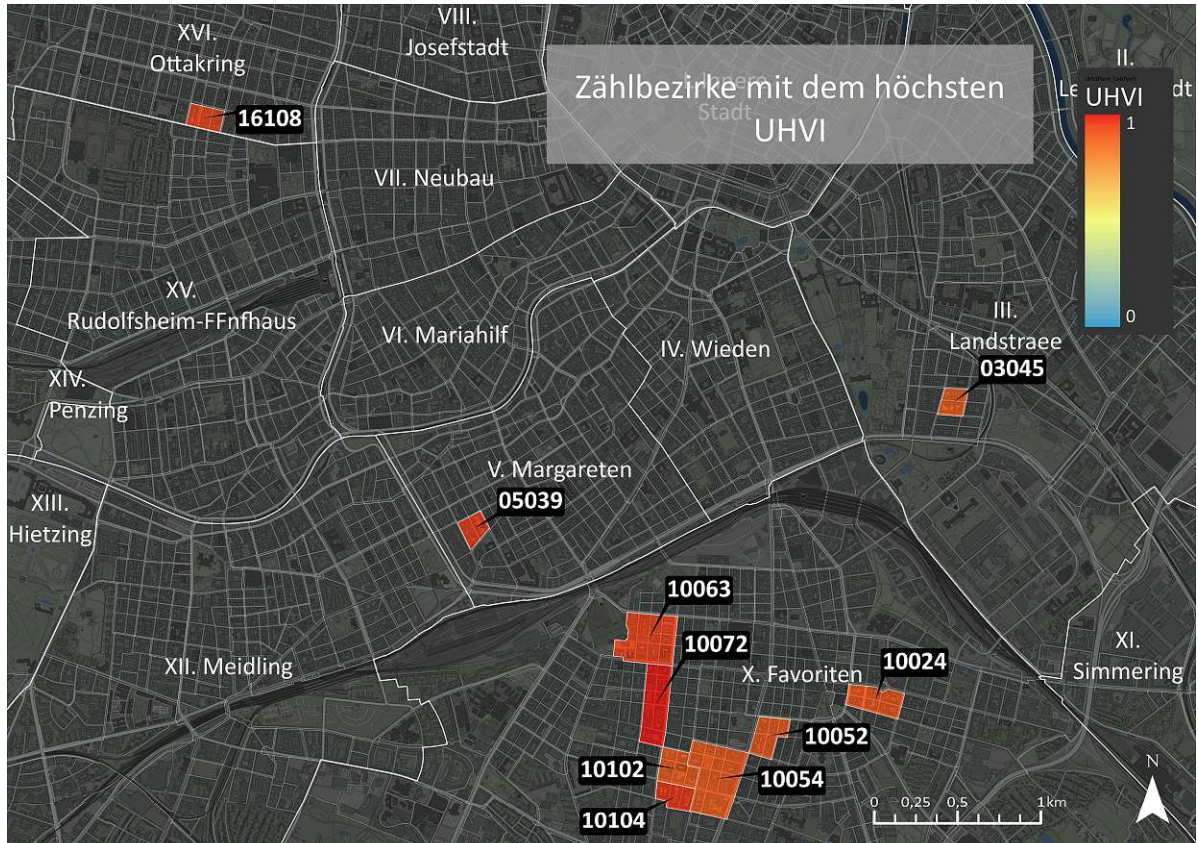


Abbildung 20: Zählgebiete mit dem Höchsten UHVI

Es können einige Schlussfolgerungen und Erkenntnisse aus dieser Analyse gewonnen werden, anhand von denen die nächsten Analyseabschnitte zu planen sind. Beim Betrachten der Abbildung 20 wird die räumliche Aufteilung der 10 besonders vulnerablen Flächen viel deutlicher. Ein solches Gebiet mit einer hohen Vulnerabilität ist der zehnte Bezirk und vor allem der Bereich zwischen dem Wiedner Gürtel und der A23 Autobahn. Sieben der zehn Gebiete mit dem höchsten UHVI befinden sich hier. Nicht nur, dass sich diese 7 Gebiete im selben Bezirk befinden, sondern diese sind auch relativ nah aneinander, und 6 dieser sogar direkt aneinander angrenzend. Die restlichen drei Gebiete befinden sich jeweils in einem anderen Bezirk, und zwar eines im dritten Bezirk, genauer betrachtet in Fasanviertel, ein anderes im fünften Bezirk, in der Nähe zum Margaretner Gürtel und ein letztes im 16. Bezirk bei der Gablenzgasse. Diese drei Gebiete scheinen auf dieser Kartendarstellung sehr isoliert zu sein, jedoch kann man auf der Abbildung 20 erkennen, dass alle diese 3 zu größeren Bezirksteilen mit einer hohen Vulnerabilität gehören.

Bei der Untersuchung der Wohngebietstypen (Tabelle 2) erkennt man, dass nur vier der 14 Typen zu finden sind. Außerdem ist ebenfalls zu erkennen, dass sechs der zehn Zählgebiete zu der Gebietstypologie „Gründerzeit hohe bauliche Dichte, hohe Bevölkerungsdichte“ gehören. Bereits die große Frequenz dieser Typologie auf der Top 10 Liste deutet auf passende Zielgebiete für Verschattungsmaßnahmen des öffentlichen Raumes innerhalb von und angrenzend zu dieser Gebietstypologie. Durch Faktoren wie hohe bauliche Dichte und hohe Bevölkerungsdichte kann auch angenommen werden, dass diese Gebiete einen hohen Anteil an vulnerabler Bevölkerung enthalten.

Die beiden Zählgebieten mit den höchsten UHVI Werten entsprechen der Wohntypologie „Gemischtes Baualter -Zeitraum ab 1961 dominiert“ und befinden sich beide im selben Bezirk. Diese Typologie entspricht einer durchmischten Gebäudestruktur, die aber hauptsächlich nicht von Altbauten dominiert ist. Wegen der Bebauungsperiode ist es oft auch wichtig festzulegen, welche Art von baulicher Struktur es sein wird, ob eine geschlossene Blockrandbebauung oder eine eher lokale Gebäudestruktur.

Die beiden anderen Typologien, die jeweils nur einmal in der Tabelle 2 aufgezählt werden, sind „Zwischenkriegszeit (1919-1944)“ und „Bauperiode ab 1981 - gemischtes Baualter“. Die erste der beiden weist auf eine Typologie hin, die hauptsächlich in den Zwischenkriegsjahren des vorigen Jahrhunderts entstand und somit einerseits den damaligen Planungsprinzipien entspricht, andererseits aber möglicherweise die damaligen Vorgaben des öffentlichen Raumes befolgt. Die zweite der beiden Typologien ist eine der 14, die für besonders neue Bautypen gedacht ist. Dabei fließen bereits neuere Prinzipien zur Planung und Gestaltung des öffentlichen Raumes ein.

- *Untersuchung nach dem höchsten UHVI-Wert je Wohngebietstyp*

Eine zweite statistische Auswertung der 1368 Zählgebiete untersucht sie anhand der Wohngebietstypologie. Diese 14 Typologien werden alle mehrmals im städtischen Gebiet wiederholt, wobei sowohl die Bebauungsstruktur als auch deren freiräumliche Gestaltung zu deren UHVI-Wert führen. Dieser Wert ist in bestimmten Typologien deutlich höher als in anderen,

wobei die Tabelle Nummer 3 jeweils das Zählgebiet enthält, mit der höchsten Vulnerabilitätswertigkeit.

Rank	Bezirk	Zählbezirk	Zählgebiet	UHVI	Wohngebietstyp
1	10	1007	10072	0,992	Gemischtes Baualter -Zeitraum ab 1961 dominiert
3	5	503	5039	0,951	Gründerzeit hohe bauliche Dichte, hohe Bevölkerungsdichte
7	10	1010	10102	0,888	Zwischenkriegszeit (1919-1944)
9	10	1005	10054	0,886	Bauperiode ab 1981 - gemischtes Baualter
21	10	1007	10071	0,839	Wirtschaftswunder (1961-1980)
47	2	204	2045	0,815	Gründerzeit und Altstadt - hohe bauliche Dichte, niedrige Bevölkerungsdichte
58	15	1501	15010	0,808	Wiederaufbau (1945-1960)
62	5	503	5030	0,806	Gemischtes Baualter, Zeitraum 1919-1960 dominiert
74	7	704	7049	0,796	Bauperiode 1981-2000
556	16	1601	16011	0,636	Gründerzeit niedrige bauliche Dichte
586	11	1102	11026	0,625	Bauperiode ab 2001
718	15	1505	15050	0,565	nahezu unbewohnt
742	23	2302	23023	0,555	Einfamilienhaus und Kleingarten
923	10	1011	10111	0,479	Einfamilienhaus und Kleingarten mit signifikantem Anteil an Geschoßwohnbau

Tabelle 3: Zählgebiete mit dem höchsten UHVI je Wohngebietstyp

Als ergänzendes Instrument zu der oben liegenden Tabelle dient die Abbildung 21 auf der die Zählgebiete mit dem höchsten UHVI-Wert je Wohngebietstyp dargestellt werden.

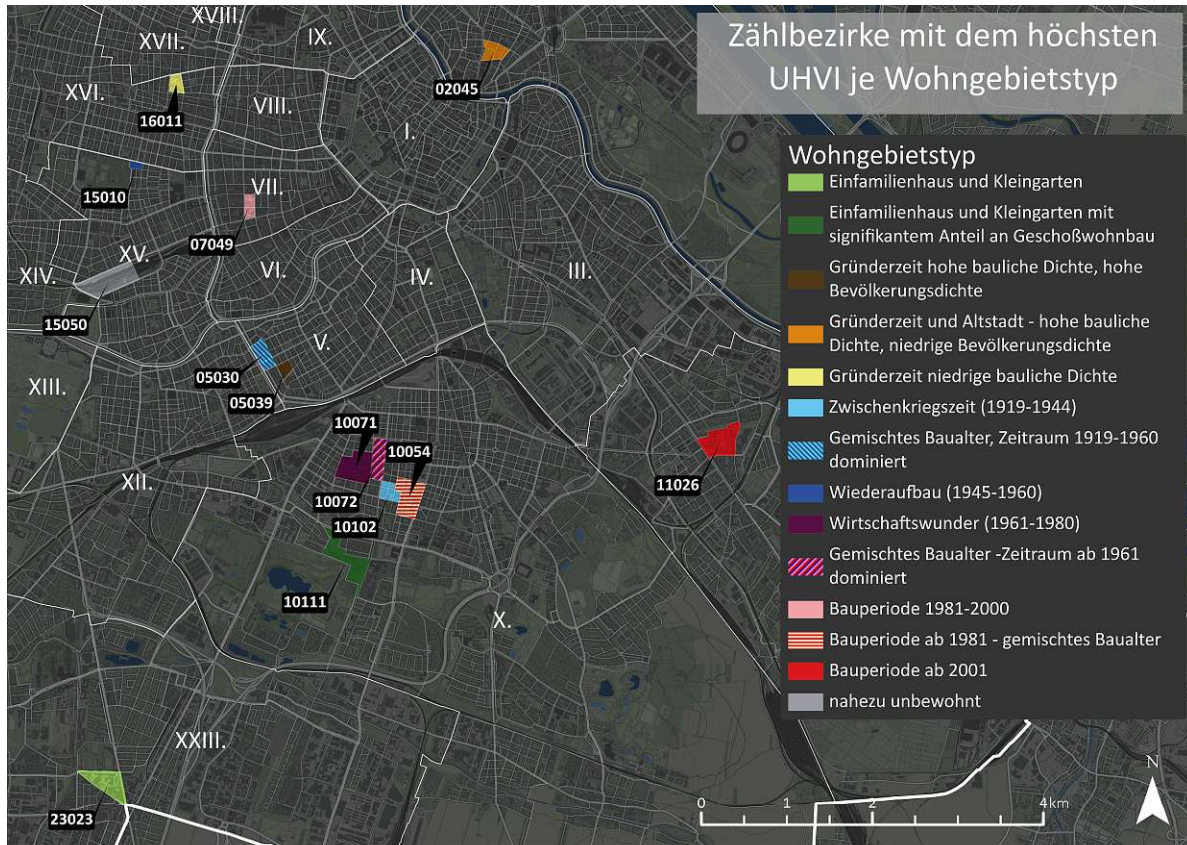


Abbildung 21: Zählbezirke mit dem höchsten UHVI je Wohngbietstyp

Für die Interpretation der obigen Tabelle und Karte werden die Wohngbietstypen sowohl nach deren Stelle im Ranking als auch deren Standort auf der Karte untersucht. Somit kann man aus der Tabelle erkennen, dass die Höchstwerte der ersten 9 von 14 Typen einen Wert von fast 0,8 oder höher haben. Diese ersten 9 Gebietstypen entsprechen fast allen Gebietstypen mit Mehrfamiliengebäuden und haben auch eine mittlere bis hohe Bevölkerungsdichte.

Die einzigen Gebietstypen, deren bauliche Substanz ebenfalls hauptsächlich durch Mehrfamilienwohnungen gekennzeichnet ist, haben ihre Zählgebiete mit dem maximalen UHVI auf den nächsten Positionen, nämlich 10 und 11. Hier erkennt man aber einen deutlichen Sprung im gesamtheitlichen Ranking der Zählgebiete. Wo die Raumeinheiten mit dem höchsten UHVI für die ersten neun Raumtypen einen Rang zwischen 1 und 74 haben, ist der Rang des nächsten Gebietstyp-Maximalwert erst 556. Dieser deutliche Sprung in der Position kann mit der niedrigen baulichen Dichte zusammenhängen - „Gründerzeit niedrige bauliche Dichte“ oder auch mit den soziodemographischen Merkmalen solcher Gebiete.

Das Zählgebiet aus der Tabelle 3 von der Gebietstypologie „Bauperiode ab 2001“ hat ebenfalls einen niedrigeren maximal UHVI, nämlich 0,625 und befindet sich auf dem Rang 586. Für diese Typologie von Gebietstypen können einerseits sozio-demographische Merkmale ausschlaggebend sein, aber auch neuere Planungsüberlegungen und das Mitbedenken von klimatischen Aspekten könnten eine Auswirkung auf den UHVI-Wert haben.

Außer diesen bereits angesprochenen Gebietstypen gibt es noch drei, die folgendermaßen zu beschreiben wären: Gebiete, die „nahezu unbewohnt“ sind, passen thematisch schwer in die Thematik der Hitzevulnerabilität. Wegen ihrer heterogenen Art können Zählgebiete mit dieser Typologie unterschiedlichste räumliche Strukturen aufweisen, von naturbelassenen Grünflächen wie die Lobau bis hin zu Industriegebieten und Eisenbahntrassen. Das eine gemeinsame Merkmal ist die sehr niedrige Wohnbevölkerung darin, und obwohl auch diese Gebiete einer Hitzeuntersuchung unterzogen werden sollten, müssen andere Indikatoren berücksichtigt werden.

Die letzten beiden Wohngebietstypen bestehen hauptsächlich aus Einfamilienhäusern und entsprechen dadurch einer niedrigeren Einwohner:innendichte. Der maximale UHVI ist für die eine Typologie 0,555 und für die andere 0,479. Das bedeutet, dass im Vergleich zu anderen Typologien diese beiden Hitzebekämpfungsmaßnahmen weniger akut brauchen.

Allgemein zu der räumlichen Verteilung dieser Höchstwerte können folgende Erkenntnisse gesammelt werden: Fünf der ersten neun Typologie-Maximalwerte befinden sich im 10. Bezirk, drei weitere befinden sich entlang des Westgürtels, im fünften und siebenten Bezirk und einer befindet sich im zweiten Bezirk. Die restlichen Zählgebiete aus der Tabelle 3 befinden sich in den Außenbezirken.

Diese Arbeit bezweckt nicht, Hintergründe für die räumliche Verteilung des UHVI zu forschen und zu erklären, sondern zielt darauf ab, in einem ersten Abschnitt diese Gebiete mit UHVI-Höchstwerten zu identifizieren und in einem zweiten Abschnitt diese mittels einer detaillierten 3D-GIS Analyse zu untersuchen.

3.2.2. Auswahl der Zielgebiete

Wie am Anfang des dritten Kapitels erläutert, beruht diese Arbeit auf einer zweistufigen Untersuchung des Stadtklimas. In dem ersten Schritt, der methodisch in Kapitel 3.1 beschrieben wurde, wurde eine stadtübergreifende urbane Hitzevulnerabilitätsindex-Analyse durchgeführt, und es wurden diejenigen Zählgebiete identifiziert, welche die höchste Vulnerabilität gegenüber urbaner Hitze aufweisen. Ergänzend wurden diese 1364 Zählgebiete nach der Gebietstypologie unterschieden, um die wohngebietstypologischen Unterscheidungen erkennbar zu machen.

In dem zweiten Schritt wird für ausgewählte Zählgebiete eine Detailuntersuchung durchgeführt. Hier geht es um eine Verschattungsanalyse mittel 3D GIS-Werkzeugen, um innerhalb der ausgewählten Gebiete Elemente des öffentlichen Raumes zu identifizieren, die besonders lange in der direkten Sonneneinstrahlung sind und die von Verschattungsmaßnahmen profitieren würden.

Um diesen zweiten Schritt durchführen zu können, werden Zielgebiete ausgewählt, an denen diese Analyse durchgeführt wird. Die Auswahl beruht auf den Ergebnissen der im Kapitel 3.1. durchgeführten Methode. Um Handlungsempfehlungen je Gebietstypologie formulieren zu können, braucht es wenigstens eine Verschattungsanalyse je Typologie, wobei auch der tatsächliche UHVI eine Rolle spielt. Es werden somit Verschattungsanalysen für die Zählgebiete mit dem maximalen Vulnerabilitätswert je Gebietstypologie durchgeführt und nur für die ersten vier davon. Es fällt außerhalb des Rahmens dieser Arbeit, alle Typen zu untersuchen und für alle Zählgebiete die Analysen durchzuführen. Die Entscheidung ist auf nur vier Zählbezirke gefallen, da diese ersten vier Tabelleneinträge aus Tabelle 2 auch zu den Top 10 UHVI Werten aus Tabelle 3 gehören und somit eine besonders hohe Vulnerabilität haben, im Vergleich zu den anderen.

3.3. GIS-gestützte Verschattungsanalyse

Die im Kapitel 2.4 angedeuteten Merkmale der Verschattung können in einer analytischen Form auch quantifizierbar gemacht werden. Durch die Anwendung von 3D GIS Anwendungen

könne öffentlich Räume digital nachgebaut werden und der Verschattungseffekt kann in diesem Modell präzise simuliert werden.

ArcGIS Pro bietet, als eine der führenden GIS-Anwendungen, eine breite Palette an Werkzeugen, die unter anderem zur Interpretation, Bearbeitung und Darstellung von Daten mit einem räumlichen Bezug dienen. Diese Werkzeuge sind nicht nur auf den 2-dimensionalen Raum limitiert, sondern stehen auch für dreidimensionale Datensätze zur Verfügung. Visuelle Themen wie Beleuchtung und Verschattung sowie Sichtachsen sind nur einige der Themen, die in eigenen Arbeitspaketen dem Nutzer oder der Nutzerin zur Verfügung stehen. Ein solches Arbeitspaket, die [Verschattungsanalyse](#) (englisch - [Shadow Impact Analysis](#)), wurde im Jahr 2017 entwickelt und nachträglich im Jahr 2022 erweitert. Ausgehend von einem Höhenmodell und einigen 3D Merkmalen kann die Verschattungsdauer für eine gewünschte Periode und Zeitdauer simuliert werden. Das Ergebnis dieses Arbeitsschrittes ist eine Rasteroberfläche mit Werten, die der Verschattungsdauer entsprechen. Durch dieses Ergebnis, welches in weiteren Analysen verwendet werden kann, unterscheidet sich dieses Werkzeug von anderen Schattenwurf Werkzeugen aus ArcGIS Pro, deren Anwendung eher als visuelles Hilfsmittel dient und weniger als analytische Grundlage.

Eine andere Form von Verschattungsuntersuchung, die in diesem GIS-Programm als Werkzeug zur Verfügung steht, ist die Berechnung der [Sonneneinstrahlung\(Fläche\)](#) ([Area Solar Radiation](#)) welche, durch die Untersuchung von digitalen Oberflächenmodellen (DOM) zu einem besonders detaillierten Verschattungsmodell führen kann. Dank dem DOM müssen einerseits keine weiteren 3D Merkmale ins Modell eingesetzt werden (wie Bäume oder Gebäude) und andererseits wird ein sehr detailreiches Bild der Verschattung erzeugt. Ein Nachteil davon ist im Fall dieser Arbeit die Verfügbarkeit von aktuellen Daten. Der von der Stadt Wien zur Verfügung gestellte Datensatz stammt aus dem Jahr 2007 und trotz seiner hohen Auflösung von 50 cm entsprechen die heutigen Merkmale des öffentlichen Raumes nicht mehr denen aus dem Jahr 2007. Vor allem Bäume und neue Verschattungsmaßnahmen bleiben dadurch auf dem Stand 2007. Deshalb ist dieses GIS-Werkzeug nicht zur Anwendung gekommen, sondern es wurde die 3D-Objektbasierte Verschattungsanalyse bevorzugt.

In den nächsten Unterkapiteln folgt eine Durchführung der Methode der Verschattungsanalyse mittels GIS, mit Erklärungen zu den einzelnen Schritten und mit Begründungen für die

getroffenen Entscheidungen. Dieses Beispiel wird für das Zählgebiet 10072 – das Zählgebiet mit dem höchsten UHVI-Wert - durchgeführt.

3.3.1. Vorbereitung der zur Anwendung kommenden Daten



Abbildung 22: Zählgebiet 10071. Quelle: BEV, eigene Darstellung

Alle Datenschichten, die im Rahmen dieser Analyse angewendet werden, müssen vor der Anwendung entsprechend vorbereitet werden. Die graphische Darstellung des ausgewählten Zielgebietes wird in Abbildung 22 wiedergegeben. Es kann hier bemerkt werden, dass die Abgrenzungen der räumlichen Einheiten meistens entlang von Straßenabschnitten stattfinden, es fallen jedoch die räumlichen Merkmale der entgegenliegenden Straßenseite weg.

Da aber bei der Verschattungsanalyse jeweils ein Zählgebiet untersucht werden soll, werden auch die räumlichen Merkmale der direkten Umgebung dargestellt. Durch diese großzügigere Betrachtung werden auch öffentliche Räume berücksichtigt, die genau an der Grenze zwischen Zählgebieten liegt.

Außerdem werden auch 3D Merkmale benötigt, die angrenzen, um deren Schatten mitberücksichtigen zu können und somit ein realitätsnäheres Bild zu erstellen. Deshalb besteht jedes

Zielgebiet aus dem ausgewählten Zählgebiet und einem 30 Meter Puffer nach außen (Abbildung 23). Die Wahl der Pufferbreite wurde anhand von einer typischen Straßenbreite getroffen, 30 Meter ist ausreichend, um die Straßen-segmente und die gegenüber liegenden Gebäude am Rande des Zielgebiets mitberücksichtigen zu können.

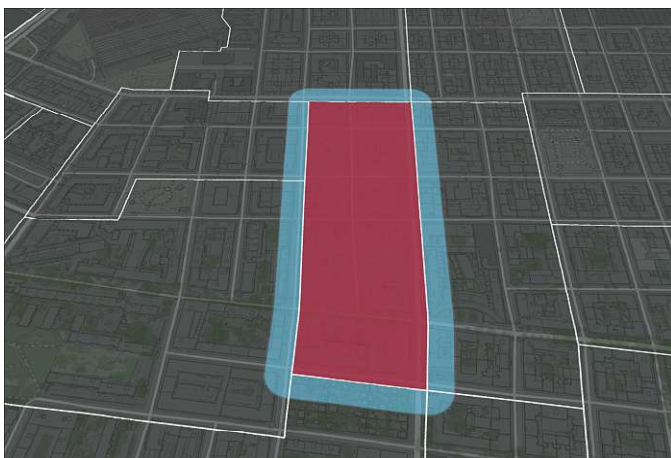


Abbildung 23: Pufferung des Zielgebiets. Quelle: BEV, eigene Darstellung

Ein wichtiges Merkmal jeder Darstellung in GIS ist die Projektion mit visuell drastisch unterschiedlichen Ergebnissen zwischen diesen. Für die Durchführung der Verschattungsanalyse müssen alle angewendeten Datenschichten dieselbe Projektion haben, und im Rahmen dieser Arbeit wurde die Projektion MGI Austria GK M34 angewendet.

Neben den unterschiedlichen 2D und 3D Datenschichten spielt natürlich auch das angewandte Geländemodell eine wichtige Rolle. Je mehr Details dieses enthält, desto genauer wird die Verschattungsanalyse sein. Wie in Tabelle A (im Anhang) angemerkt wird dafür das Digitale Höhenmodell der Stadt Wien angewendet, welches öffentlich zur Verfügung steht und mit einem Genauigkeitsgrad von 1 Meter Schichtenlinien ausreichend genau ist. Außerdem kommen folgende Datenschichten zur Anwendung:

- *Flächen-Mehrweckkarte - FMZ*

Die Flächen-Mehrweckkarte ist eine digitale Stadtkarte, die die kleinräumige Bodennutzung für die Stadt Wien anzeigt. Diese digitale Grundlage steht ebenfalls von der Stadt Wien online zur Verfügung. Durch die Unterscheidung der Verschattungsoberflächen, vor allem die im öffentlichen Raum, können mit Hilfe dieser Grundlage die Ergebniswerte der Analyse danach aufgeteilt werden. Dadurch können Maßnahmen in unterschiedlichen Bereichen analysiert werden, wie zum Beispiel die Verbreiterung des Gehsteiges, die Änderung der Parkraumverfügbarkeit bei der Fahrstreifenreduktion sowie bei naturräumlichen Überlegungen.



Abbildung 24: Flächen-Mehrweckkarte. Quelle: BEV, MA41, eigene Darstellung

Um die FMZ-Karte in der Verschattungsanalyse anwenden zu können, muss diese erstens auf das relevante Zielgebiet (mit Puffer) zugeschnitten werden, und es sollen ausgewählte FMZ-Nutzungen entfernt werden, die nicht den öffentlichen Raum darstellen. Dazu gehören die Nutzungen: Gebäude, Mauer, Innenhof und andere. Obwohl dieser Entfernungsschritt auch am Ende der

Analyse stattfinden kann, hat die Reduktion der Fläche einen beschleunigenden Effekt auf die Dauer der Verschattungsanalyse. Für einen darstellerischen Zweck muss dieser zweidimensionale Datensatz in einen dreidimensionalen umgewandelt werden. Die Karte 24 stellt den FMZ-Ausschnitt für das Zählgebiet 10072 und den 30m Puffer dar.

- *Baumkataster*

Das Verschattungsmodell besteht aus drei wesentlichen Bestandteilen. Einerseits die Lichtquelle, zweitens die räumlichen Elemente, welche den Schatten erzeugen, und als drittes die Oberfläche, auf die der Schatten fällt. Als räumliches Merkmal, welches einen Schatten erzeugt, können unterschiedlichste 3D Merkmale angewendet werden, die als statische Datensätze zur Verfügung stehen, oder es können auch eigene Merkmale erzeugt und eingeblendet werden. Der Baumkataster ist ein solcher Datensatz, der flächendeckend für die gesamte

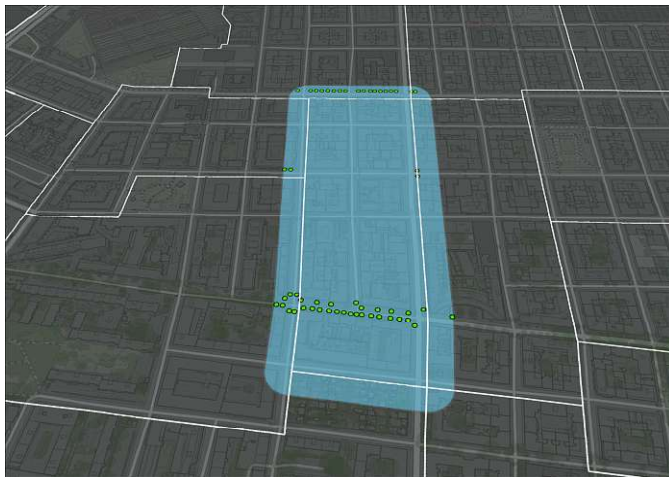


Abbildung 25: Baumkataster 2D. Quelle: BEV, MA42, eigene Darstellung

Stadt Wien Bäume im öffentlichen Raum verortet. Wie auf der Abbildung 25 zu erkennen ist, wird für jeden Baum der genaue Standort räumlich festgehalten. Daraus sind bereits erste gebietsbezogene Merkmale ablesbar, wie Straßenabschnitte mit Baumreihen, aber auch Unterbrechungen in den Baumreihen oder sogar deren allgemeine Abwesenheit.

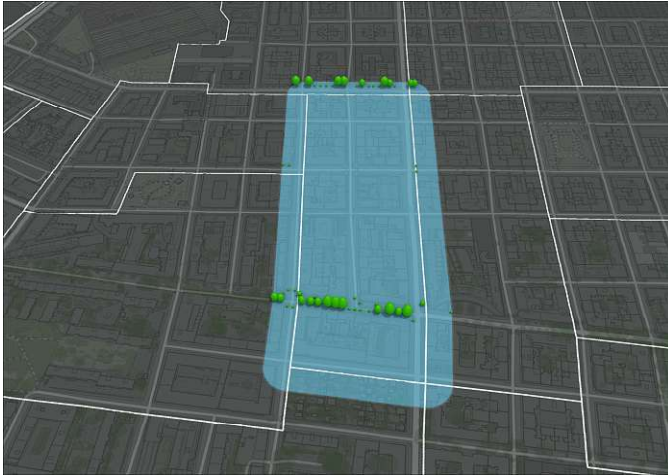


Abbildung 26: Baumkataster 3D. Quelle: BEV, MA42, eigene Darstellung

Die im Baumkataster-Datensatz enthaltenen Informationen werden laufend von der Magistratsabteilung 42 – Wiener Stadtgärten gewartet und regelmäßig erneuert, um die aktuelle Situation möglichst genau wiedergeben zu können. Es sind Informationen zur Höhe und zu dem Kronendurchmesser der Bäume angegeben sowie zur Baumart. Aus diesen Informationen kann der Baumbestand aus dem öffentlichen

Räum dreidimensional nachgebaut werden. Für die Verschattungsanalyse werden vereinfachte Baummodelle verwendet, wobei nicht zwischen den unterschiedlichen Baumarten unterschieden wird, sondern nur nach der Höhe. Diese Entscheidung wurde getroffen, da die Zuweisung von detaillierten Modellarten zu einer deutlichen Erhöhung der Analyse-Vorbereitungszeit geführt hätte. Die vereinfachte Form der Baummodelle erlaubt es, individuelle Baummerkmale zu vernachlässigen und eher von einem volumetrischen Betrachtungspunkt die Analyse durchzuführen.

Ein deutlicher Mangel, der durch die alleinige Anwendung des Baumkatasters für die Darstellung der Bäume im Zielgebiet entsteht, ist die fehlende Darstellung der Bäume, die sich auf privaten Flächen befinden. Für eine genauere Abbildung der Verschattung des öffentlichen Raumes müssten auch Bäume, die sich auf Privatflächen befinden, digitalisiert werden, vor allem die, die sich in der Nähe von öffentlichen Flächen befinden. Da diese Daten in dem Fall der Stadt Wien in keinem Register zur Verfügung stehen, müssten die Bäume individuell anhand von Begehungen oder mittels anderer Datensätze wie Satellitenbilder oder Punktdatenwolken modelliert werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurden diese Bäume arbeitsvolumenbedingt komplett vernachlässigt.

- *Gebäudemodell*

Ein zweites räumliches Element, welches in der Verschattungsanalyse den schattenspendenden Merkmalen zugewiesen wird, sind die Gebäude. Viele Details von Gebäuden spielen eine wichtige Rolle bei der Modellierung der Verschattung. Dabei zählen nicht nur volumetrische Merkmale wie die Höhe oder die Form und Größe des Dachs und die Anzahl von Balkonen, sondern auch Material-spezifische Kennwerte, wie zum Beispiel die Transparenz im Fall von Glas-Fassaden oder Spiegelungseffekte unterschiedlicher Materialien. Obwohl diese Material-spezifischen Kennwerte von Bedeutung sind, können diese bei dieser Art von GIS-Analyse nicht berücksichtigt werden.

Im Rahmen dieser Arbeit kommt das Gebäudemodell der Stadt Wien zur Anwendung, welches in einem Detaillierungsgrad von LOD 2.1 öffentlich zur Verfügung steht. Dieser Detaillierungsgrad entspricht einem Modell, welches eine realitätsnahe Dachform hat, dessen unterschiedliche Auskragungen wie Balkone und Vordächer jedoch nicht im Modell berücksichtigt werden



Abbildung 27: Gebäudemodell. Quelle: BEV, MA41, eigene Darstellung

(vgl. Luebke et al., 2007). Die Abbildung 27 stellt das Gebäudemodell für das Zielgebiet samt Pufferraum und angrenzende Gebäude dar. Für die korrekte Darstellung der Gebäude müssen Platzierungseinstellungen durchgeführt werden, wobei Teil dieser auch die Projektion und die absolute oder relative Höhe im Modell sind.

- *Übersicht gesamtes 3D Modell*

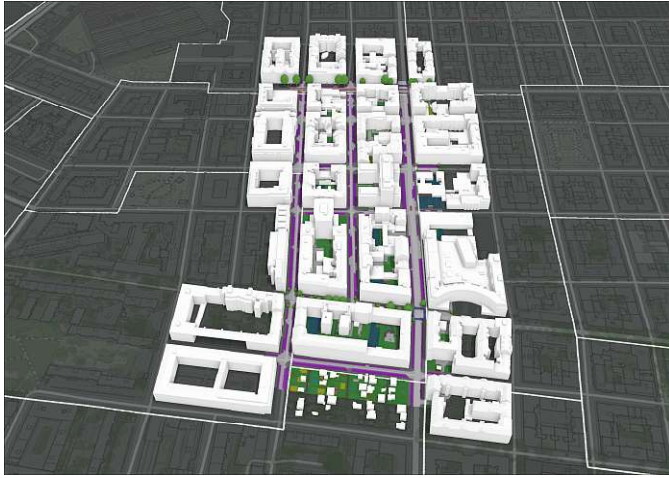


Abbildung 28: Kombinierte Darstellung der Datengrundlagen für die Verschattungsanalyse. Quelle: BEV, MA41, eigene Darstellung

Die Abbildung 28 zeigt die kombinierte Darstellung der angewandten Datengrundlagen auf dem Zielgebiet und der unmittelbaren Umgebung davon zugeschnitten. Somit wird der öffentliche Raum nach den Nutzungen der unterschiedlichen Flächen aufgeteilt, und es werden die Schatten der Gebäude und der öffentlich liegenden Bäume berücksichtigt. Spezifische Baumformen sowie

Gebäudeauskragungen und Materialeffekte werden vernachlässigt. Außerdem werden noch weitere Verschattungselemente vernachlässigt wie städtische Möbelstücke, Zäune und sogar mögliche Verschattungsmaßnahmen, wie Planen und Markisen. Alle diese tragen zwar ebenfalls zur Verschattung bei, sie stehen aber nicht in einem digitalen Datenstand zur Verfügung und müssten individuell modelliert werden.

3.3.2. Durchführung der Shade Impact Analysis

Nach der Dateneinsammlung und Datenaufbereitung, die methodisch in Kapitel 3.3.1 beschrieben wurden, werden die Datenberechnungen durchgeführt, die Teil der Verschattungsanalyse sind. Diese Analyse wird grob in zwei Schritte aufgeteilt:

- *Schritt 1: Erzeugung der Sonnenumlaufbahn*

Für die Durchführung der Analyse wird ergänzend zu den schattenerzeugenden Merkmalen und zu der Oberfläche, auf die der Schatten fällt, auch noch eine Lichtquelle gebraucht. Diese Lichtquelle simuliert den Effekt der Sonne und wird durch die Festlegung von Parametern erzeugt. Für die in dieser Arbeit durchgeführte Analyse wird nicht nur eine Lichtquellenposition, sondern gleich mehrere erzeugt, deren Abfolge den Sonnenverlauf am Himmel simuliert. Für

die Erzeugung der Bahn werden Datum und Uhrzeit festgelegt, sowie das Intervall, in welchem die Verschattung gemessen wird.



Abbildung 29: Sonnumlaufbahn. Quelle: BEV, MA41, MA42, eigene Darstellung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Intervall von einer halben Stunde ausgewählt, in dem die Verschattung gemessen wird. Außerdem wurde als Datum der 21.06.22 ausgewählt, als Tag, an dem die Sonne in der nördlichen Hemisphäre auf dem höchsten Punkt am Himmel ist. Für die Dauer der Verschattung wurde das Intervall von 10 bis 16 Uhr ausgewählt. Diese Einstellungen

haben als Ergebnisse eine Serie von Lichtquellen, die in der Abbildung 29 in Form von gelben Kugeln zu sehen sind. Die Anzahl dieser ist 13, entsprechend den 13 Zeitpunkten, nach denen jeweils Intervalle von 30 Minuten eingehalten wurden.

- *Schritt 2: Berechnung der Verschattung*

Durch die Anwendung des ArcGIS Pro Werkzeugs *Schatten Berechnen* wird die Dauer der Verschattung auf eine Oberfläche berechnet. Abhängig von der Dauer der simulierten Sonneneinstrahlung und von dem Betrachtungsintervall können unterschiedlichste Situationen simuliert werden, mit unterschiedlicher Genauigkeit. Das Ergebnis davon ist ein Sonneneinstrahlungsraster, dessen Werte der Verschattungsdauer entsprechen und dessen Rasterzellengröße von einem weiteren Merkmal des Werkzeugs abhängt, der Panelbreite. Mit einer kleineren Panelbreite entsteht ein genaueres Bild der Verschattung, es wird aber die Modellberechnungsdauer deutlich erhöht. Auch das räumliche Ausmaß des untersuchten Gebiets beeinflusst die Berechnungsdauer und benötigt eine erhöhte Leistungsstärke des Rechners.

Für die in dieser Arbeit durchgeführte Verschattungsanalyse wurde eine Panelbreite von 1 ausgewählt. Um ein besseres Verständnis über diesen Parameter gewinnen zu können, wurde noch eine weitere Verschattungsanalyse für denselben Raum und mit denselben Merkmalen, aber mit einer Panelbreite von 2 durchgeführt. Ausschnitte aus den beiden Ergebnistrastern sind auf den Abbildungen 31 und 32 zu sehen.

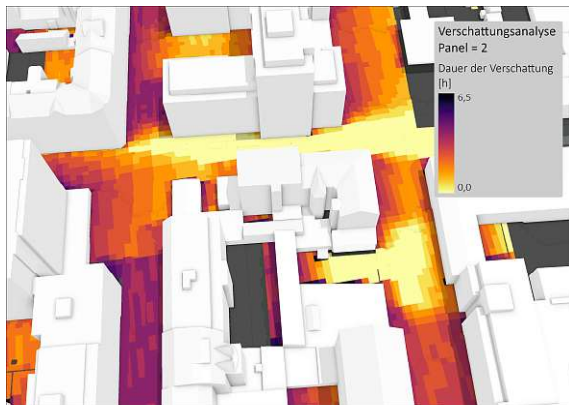


Abbildung 31: Detail Verschattungsanalyse, Panelbreite:2
Quelle: MA41, eigene Berechnung und Darstellung

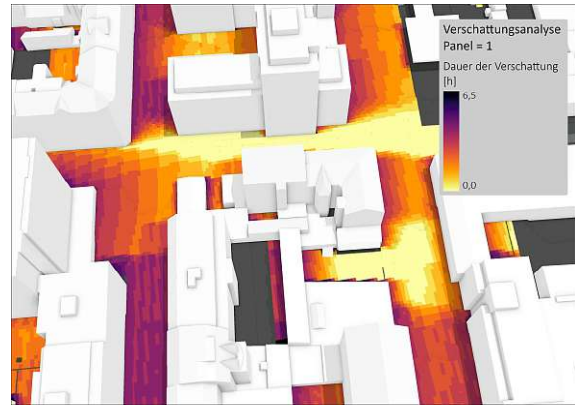


Abbildung 30: Detail Verschattungsanalyse, Panelbreite.1
Quelle: MA41, eigene Berechnung und Darstellung

Durch die Ausführung der Schattenanalyse wird eine Rasterebene erzeugt, deren Werte der Verschattungsdauer entsprechen. Dieses Ergebnis kann sowohl zur visuellen Darstellung der Verschattungssituation angewendet werden (siehe Abbildung 32) als auch zur weiteren analytischen Untersuchung des Raumes. Es können Teile des öffentlichen Raumes identifiziert werden, die sich unter besonders langer Hitzeeinstrahlung befinden, und für die die Einsetzung von Verschattungsmaßnahmen als mögliche Zielgebiete ausgewählt werden können. Außerdem können diese Verschattungswerte nach der Nutzung des öffentlichen Raumes räumlich abgegrenzt werden, um dafür gezielte Handlungsmaßnahmen ableiten zu können.

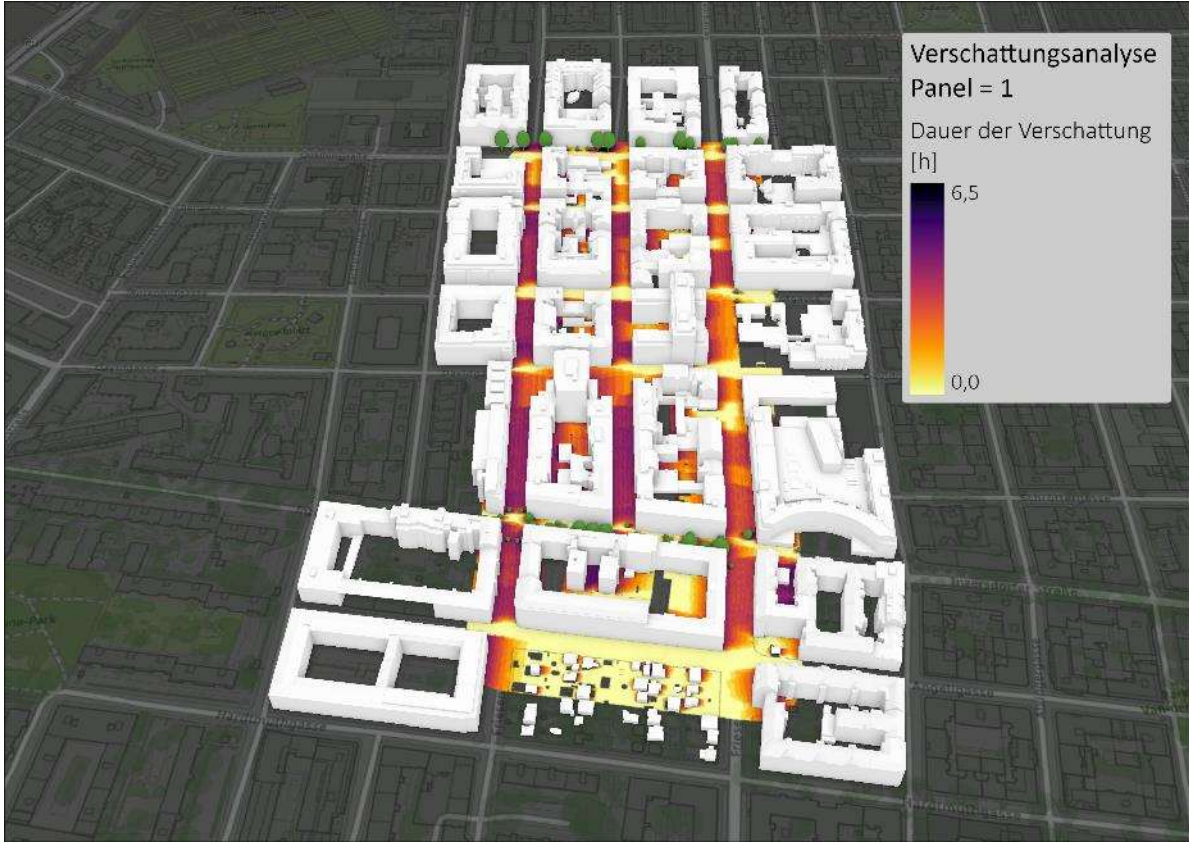


Abbildung 32: Ergebnistraster der Verschattungsanalyse. Quelle: MA41, MA42, eigene Berechnung und Darstellung

Um die Genauigkeit des simulierten Raumes überprüfen zu können, wurde das Modell an ausgewählten Stellen mit einem Bild des tatsächlichen Ortes verglichen. Die Abbildungen 33 und

34



stellen so einen Vergleich dar.

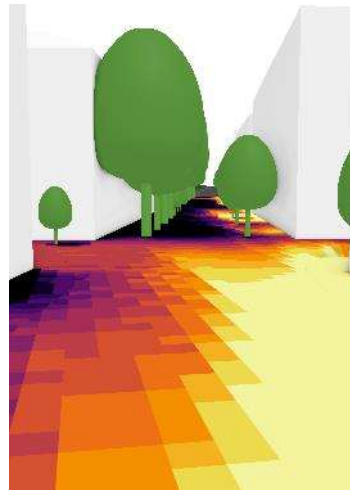


Abbildung 33: Inzersdorfer Straße, Verschattungsanalyse Zielgebiet 1. Quelle: MA41, MA42, eigene Berechnung und Darstellung

Abbildung 34: Inzersdorfer Straße, Quelle: Google Maps

4. Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

Ausgehend von den erforschten Grundlagen aus dem Kapitel 2 und anhand der im Kapitel 3 beschriebenen Methodik wurde die Verschattungsanalyse für vier Zielgebiete in Wien durchgeführt. Wie bereits im Kapitel 3.2.2 argumentiert, wurden diese vier Zielgebiete ausgewählt, da sie den höchsten UHVI für ihre Wohngebietstypologie aufweisen. Eines der Ziele dieser Arbeit ist es, basierend auf den Ergebnissen der Verschattungsanalyse, Schlussfolgerungen zu ziehen und Handlungsempfehlungen zu formulieren, die für alle Zählbezirke einer Gebietstypologie zutreffen. In den nächsten Unterkapiteln werden die Ergebnisse der Verschattungsanalysen der vier Zielgebiete ausgewertet.

4.1. Zielgebiet 1: Zählgebiet 10072

Laut dem Ergebnis der urbanen Hitzevulnerabilitätsanalyse, dessen visuelle Darstellung im Kapitel 3.2.1 zu sehen ist, hat dieses Wiener Zählgebiet den höchsten UHVI-Wert. Es befindet sich im 10. Wiener Gemeindebezirk und besteht aus neun Baublöcken, die gemeinsam mit dem dazugehörigen öffentlichen Raum auf eine Fläche von 7,1ha kommen. Es erstreckt sich

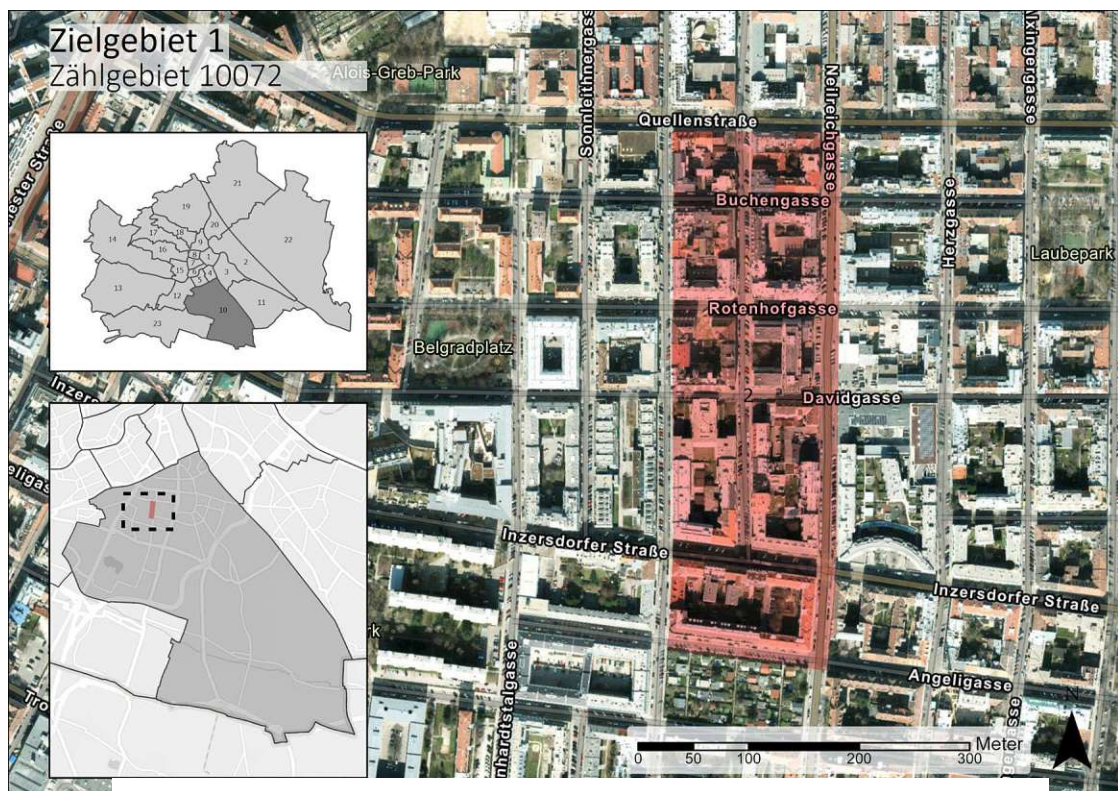


Abbildung 35: Zielgebiet 1 – Übersicht, Lage. Quelle Google Maps, BEV, eigene Darstellung

zwischen der Quellenstraße im Norden, der Neilreichgasse im Osten, dem Friesenplatz im Süden und der Fernkorngasse im Westen. Abbildung 34 liefert eine Übersicht der Umgebung.

4.1.1. Ergebnisse der Verschattungsanalyse

Das Ergebnis der durchgeführten Verschattungsanalyse ist auf der Abbildung 35 graphisch dargestellt. In weiterer Folge wird auf einige Schlüsselmerkmale eingegangen, um daraus Erkenntnisse formulieren zu können.

Die Ausrichtung der Straßen in einem orthogonalen Raster gliedert die Straßen in zwei Ausrichtungen: Ost-West und Nord-Süd. Die Nord-Süd-ausgerichteten Straßen weisen laut Verschattungsanalyse einen hohen Verschattungswert im Vergleich zu den Ost-West Straßen auf, trotz einer niedrigen Baumanzahl entlang dieser Straßen. Diese Situation ergibt sich aus einer Kombination zwischen der Straßenbreite von ca. 13m und der Gebäudehöhe, die in diesem Gebiet von durchschnittlich 18m ist. Bei den Ost-West-ausgerichteten Straßen hingegen ist die Verschattung deutlich geringer, vor allem auf der nördlich liegenden Straßenseite. Auf Straßenabschnitten mit bestehenden Baumreihen, wie zum Beispiel auf der Inzersdorfer Straße (Abbildung 36), kann bemerkt werden, dass der Verschattungsgrad höher ist.

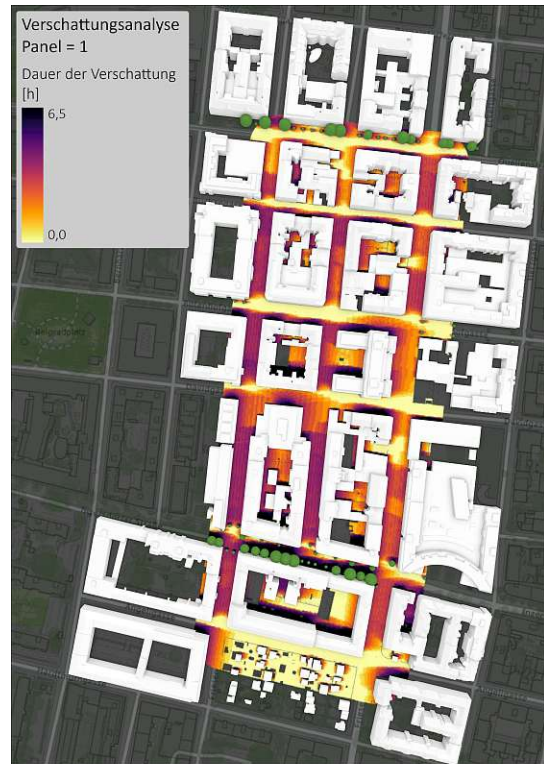


Abbildung 36: Zielgebiet 1 - Verschattungsanalyse.
Quelle: MA41, MA42, eigene Berechnung und Darstellung

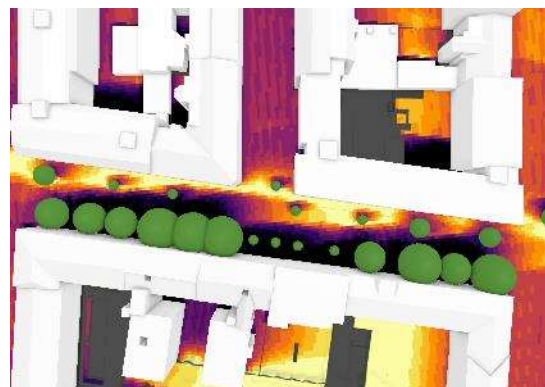


Abbildung 37: Zielgebiet 1 - Inzersdorfer Straße. Quelle: MA41, MA42, eigene Berechnung und Darstellung

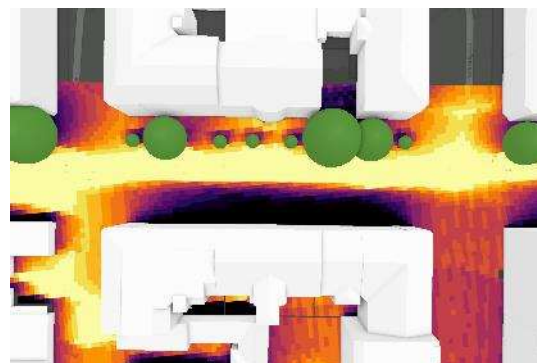


Abbildung 38: Zielgebiet 1 - Quellenstraße. Quelle: MA41, MA42, eigene Berechnung und Darstellung

Einen deutlichen Unterschied macht die Straßenseite aus, auf der sich die Bäume befinden. Ein direkter Vergleich kann zwischen der Inzersdorfer Straße (Abbildung 36) und der Quellenstraße (Abbildung 37) gemacht werden: Auf der ersten sind Bäume auf beiden Straßenseiten vorzufinden, jedoch mit einer deutlich größeren Höhe auf der Südseite. Auf der zweiten wurden die Bäume ausschließlich auf der Nordseite gepflanzt. Man kann erkennen, dass auf der Quellenstraße weniger Flächen eine hohe Verschattungsdauer haben, Flächen, die aber nicht für Fußgänger:innen gedacht sind.

Straßenkreuzungen weisen ein anderes Verschattungsmuster auf als Straßensegmente zwischen Kreuzungen, und dieses entsteht vor allem durch fehlende Verschattungslösungen im Kreuzungsbereich, aber auch durch die erhöhte Entfernung zwischen Gebäuden. Kreuzungen wie die zwischen der Neilreichgasse und der Davidgasse oder zwischen der Karmarschgasse und Rotenhofgasse (Abbildung 38) befinden sich zu einem erhöhten Grad unter direkter Sonneneinstrahlung. Daher wären an diesen Stellen Verschattungsmaßnahmen besonders geeignet.

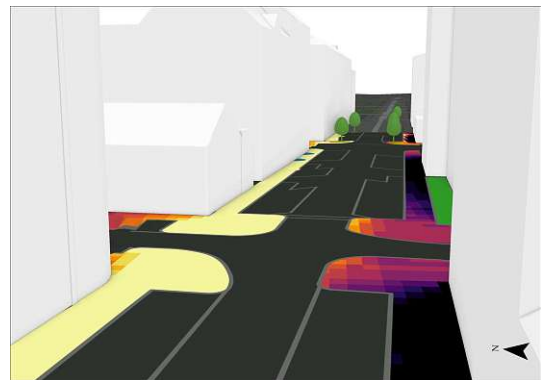


Abbildung 39: Zielgebiet - Kreuzung. Quelle: MA41, MA42, eigene Berechnung und Darstellung

4.1.2. Gebietstypologische Merkmale und allgemeine Handlungsempfehlungen

Dieses Zählgebiet gehört zu der Wohngebietstypologie „Gemischtes Baulter – Zeitraum ab 1961 dominiert“, welches sich dadurch charakterisiert, dass die Mehrheit der Gebäude Mehrfamilienhäuser sind, von denen mehr als 50% ein Errichtungsdatum zwischen 1961 und 2011 haben (vgl. MA18, 2016). In Zählgebieten dieser Typologie wohnen 16% der Bevölkerung Wiens, wobei 12,8% der Zählgebiete Wiens sind von dieser Art (ebd.). Von der räumlichen Verteilung her kommt diese Typologie in fast allen Bezirken vor, und allgemein umfasst sie ein größeres Spektrum an möglichen Merkmalen.

Trotz der großen räumlichen Streuung von Zählgebieten dieser Typologie wird anhand der durchgeführten Verschattungsuntersuchung versucht, Handlungsempfehlungen zu

formulieren, die für Zählgebiete dieser Typologie anwendbar sind. Diese beziehen sich einerseits auf die zentrale Rolle der Straßenorientierungen bei der Auswahl von Umsetzungsstellen von Verschattungsmaßnahmen. Es sollen möglichst Ost-West ausgerichtete Straßen ausgewählt werden, und falls Bäume als Verschattungsmaßnahmen ausgewählt werden, sollen diese auf der südlichen Straßenseite angebracht werden, da der Langzeiteffekt auf den gesamten Straßenraum so viel markanter ist. Für kurzfristige Verschattungsmaßnahmen oder als Ergänzungsmaßnahme bis die Bäume auf der Südseite ausreichend groß sind, sollten Interventionen auf der nördlichen Straßenseite stattfinden. Außerdem sollen Verschattungsmaßnahmen an Kreuzungen von besonders breiten Straßen angedacht werden.

4.2. Zielgebiet 2: Zählgebiet 5039

Das zweite Zielgebiet ist auch das einzige, welches sich nicht im zehnten, sondern im fünften Wiener Gemeindebezirk befindet. Umschlossen ist dieses Zählgebiet durch die Straßen: Brandmayergasse im Nord-Westen, Siebenbrunnengasse im Süd-Osten, die Johannagasse im Westen und die Einsiedlergasse im Osten. Mit seiner geringen Fläche von nur 2,3ha besteht das Zählgebiet, aus zwei Baublöcken. Die Ausrichtung der meisten Straßen ist orthogonal und

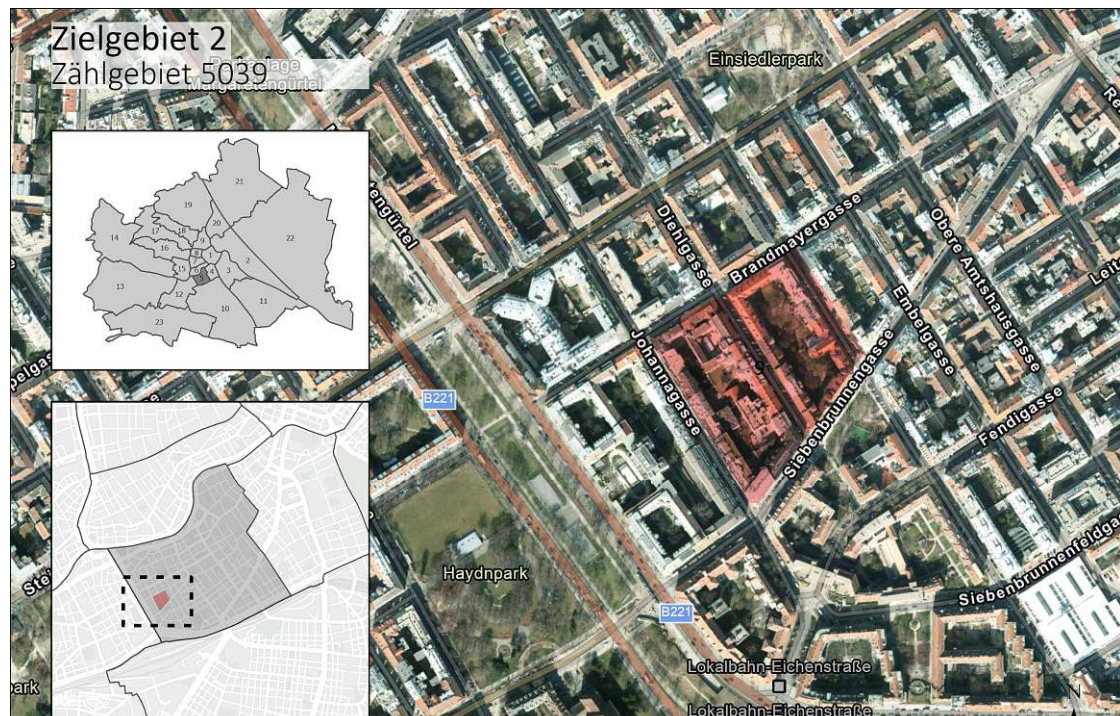


Abbildung 40: Zielgebiet 2 – Übersicht, Lage Quelle: Google Maps, BEV, eigene Darstellung

folgt der Rasterstruktur der Umgebung. Die Siebenbrunnengasse steht jedoch nicht in einem rechten Winkel zu den Straßen, die sie quert, sondern bildet einen Winkel von 70° dazu. Die Straßen, die nach dem Rastermuster verlegt sind, haben eine Ausrichtung, die gegenüber dem Nordmeridian einen Winkel von 30° beziehungsweise 120° aufweisen. Die Siebenbrunnengasse steht in einem Winkel von 140° zum Nordmeridian.

4.2.1. Ergebnisse der Verschattungsanalyse

Die Abbildung 40 liefert einen graphischen Überblick über das Ergebnis der Verschattungsanalyse dieses Zielgebietes. Der Maßstab dieser Darstellung entspricht dem aus der Abbildung mit den Ergebnissen der Verschattungsanalyse des Zielgebiets 1 (Abbildung 35). Durch den Vergleich dieser beiden Darstellungen kann man eine Vielzahl an Unterschieden zwischen den beiden Zielgebieten erkennen. Neben den allgemeinen räumlichen Merkmalen, die im vorigen Unterkapitel aufgezählt wurden, kann noch erkannt werden, dass dieses Zielgebiet eine proportional größere Anzahl an Bäumen hat und dass die Entfernung zwischen gegenüberliegenden Gebäuden hier einheitlich bei ungefähr 13m liegt.

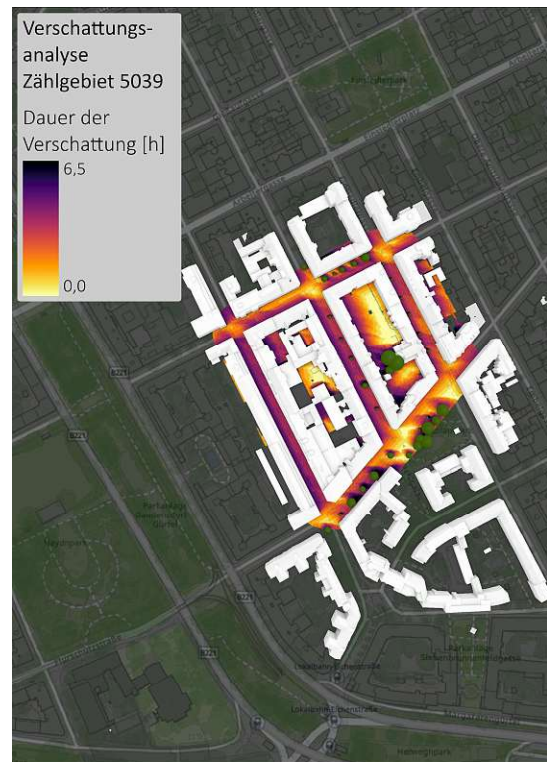


Abbildung 41: Zielgebiet 2 - Verschattungsanalyse.
Quelle: MA41, MA42, eigene Berechnung und Darstellung

Die Werte der Verschattungsdauer sind in diesem Zielgebiet einheitlicher verteilt, und es können keine Straßenabschnitte identifiziert werden, entlang derer die Verschattungsdauer besonders gering ist. Da die Gebäudehöhe hier ähnlich mit der aus dem Zielgebiet 1 ist und in beiden Zielgebieten Straßen mit einem ähnlichen Baumbestand und einer ähnlichen Straßenbreite zu finden sind, können Unterschiede zwischen den Verschattungsdauern primär durch die Ausrichtung der Straßen erklärt werden.

Wenn man die Situation mancher Gehsteige aus dem Gebiet betrachtet, zeigt die Verschattungsanalyse recht hohe Verschattungsdauerwerte entlang vieler davon, mit einem etwas höheren Wert auf dem westlichen Gehsteig. Hier spielt die Ausrichtung der Straßen erneut eine Rolle. Wenn es aber eine Situation gibt mit zwei Straßen, die nicht nur ähnliche Merkmale haben, sondern auch die gleiche Ausrichtung, kann die Platzauswahl von Bäumen einen Un-



Abbildung 42: Zielgebiet 2 - Gehsteig Diehlgasse.
Quelle: MA41, MA42, eigene Berechnung und Darstellung

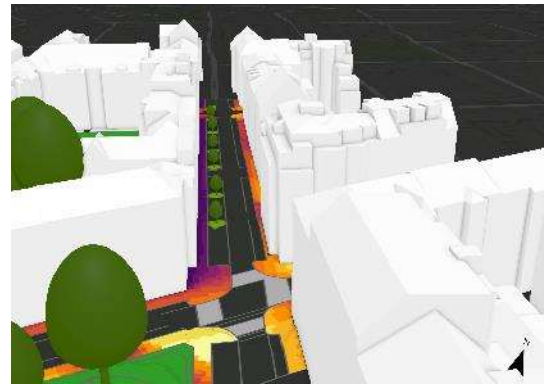


Abbildung 43: Zielgebiet 2 - Gehsteig Einsiedlergasse.
Quelle: MA41, MA42, eigene Berechnung und Darstellung

terschied machen. Auf der Diehlgasse (Abbildung 41) wurde die Baumreihe auf der östlichen Straßenseite gepflanzt, und auf der Einsiedlergasse (Abbildung 42) wurde diese hingegen auf der westlichen Seite gepflanzt. Von den beiden Abbildungen kann man erkennen, dass die Verschattungsdauer auf dem westlichen Gehsteig auf beiden Straßen gleich ist. Der östliche Gehsteig hingegen weist punktuell größere Verschattungsdauern auf, die durch die Verschattung der Baumkronen bewirkt werden. Zu erwähnen ist noch, dass die meisten Bäume auf dieser Straße eine Höhe von maximal 5 Metern und einen Kronendurchmesser von maximal 3 Metern haben. Der Effekt einer verbesserten Verschattung könnte einerseits durch größere Baumkronen erzielt werden, oder durch die Ergänzung der noch kleinen Bäume mit anderen Verschattungsmaßnahmen.

Eine spezifische Stelle, an der weitere Verschattungsmaßnahmen anzubringen wären, ist die Arbeitergasse, auf der nördlichen Gehsteigseite, da hier ein größerer Bereich mit mangelnder Verschattung sichtbar ist. Längere Straßenabschnitte mit reduzierter Verschattung können das Verhalten des Fußgängers / der Fußgängerin beeinflussen, welches dann einen Einfluss auf die gesamte Straßenseite haben kann. Für manche Aktivitäten im öffentlichen Raum werden schattigere Alternativen bevorzugt (vgl. Lee et al., 2020).

4.2.2. Gebietstypologische Merkmale und allgemeine Handlungsempfehlungen

Die Wohngebietstypologie, zu der dieses Zählgebiet gehört, heißt „Gründerzeit - hohe bauliche Dichte, hohe Bevölkerungsdichte“ und hat folgende Merkmale: die Mehrheit der Gebäude im Zählgebiet sind Mehrfamilienhäuser, deren Anteil an vor 1919 erbauten 3 oder Mehrfamilienwohnungen über 50 % ist (vgl. MA18, 2016). Alternativ kann dieser Anteil zwischen 30% und 50% sein, muss aber eine relative Mehrheit darstellen. Zu den bis jetzt aufgezählten Merkmalen, die zur allgemeinen Beschreibung von Gründerzeitbauten dient, sind noch folgende Merkmale für die Typologie relevant: Die Nettogeschosßflächenzahl ist größer oder gleich 2 und die Einwohnerdichte ist über 425 Einwohner:innen pro Hektar.

Anhand der Merkmale dieser Gebietstypologie kann bemerkt werden, dass eine hohe Personenzahl in diesen dicht bebauten Gebieten wohnt. Daher muss der öffentliche Raum besonders leistungsfähig gemacht werden, und das nicht nur aus einem planerischen, sondern einem raumklimatischen Standpunkt. Bei Verschattungsmaßnahmen auf schmalen Straßen mit hohen Gebäuden muss die Ausrichtung der Straße in Betracht gezogen und anhand von dieser passende Verschattungsmaßnahmen eingesetzt werden. Es ergibt sich aus der Analyse dieses Zielgebiets, dass bei schmalen Straßen mit einer Nord-Süd Ausrichtung, Verschattungsmaßnahmen nur einen bedingten Verschattungsmehrwert bringen, im Vergleich zu Maßnahmen auf Straßen mit Orientierungen, die senkrecht zum Nordmeridian liegen. Außerdem sind Straßenkreuzungen besonders sonneneinstrahlungsempfindlich, die aber durch gezielte Maßnahmen verschattet werden können. Es wurden in den letzten Jahren viele Straßenkreuzungen Fußgänger:innen-freundlicher umgestaltet. Die Thematik der Sonneneinstrahlungsminde- rung ist in diesen Bereichen noch nicht durchgängig behandelt.

4.3. Zielgebiet 3: Zählgebiet 10102

Das dritte Zielgebiet befindet sich, ähnlich wie das erste Zielgebiet, im zehnten Bezirk und grenzt sogar direkt daran an. Es ist ein kompaktes Gebiet von ca. 4,2ha, welches aus fünf Baublöcken besteht. Folgende Straßen umschließen dieses Zählgebiet: Angeliggasse im Norden, Van-der-Nüll-Gasse im Osten, die Troststraße im Süden und die Neilreichgasse im Westen. Sowohl die Straßen innerhalb des Gebiets als auch die außerhalb angrenzenden verlaufen nach einem orthogonalen Raster, wobei der Raster um 5° zu der Nord-Süd Achse gedreht ist.

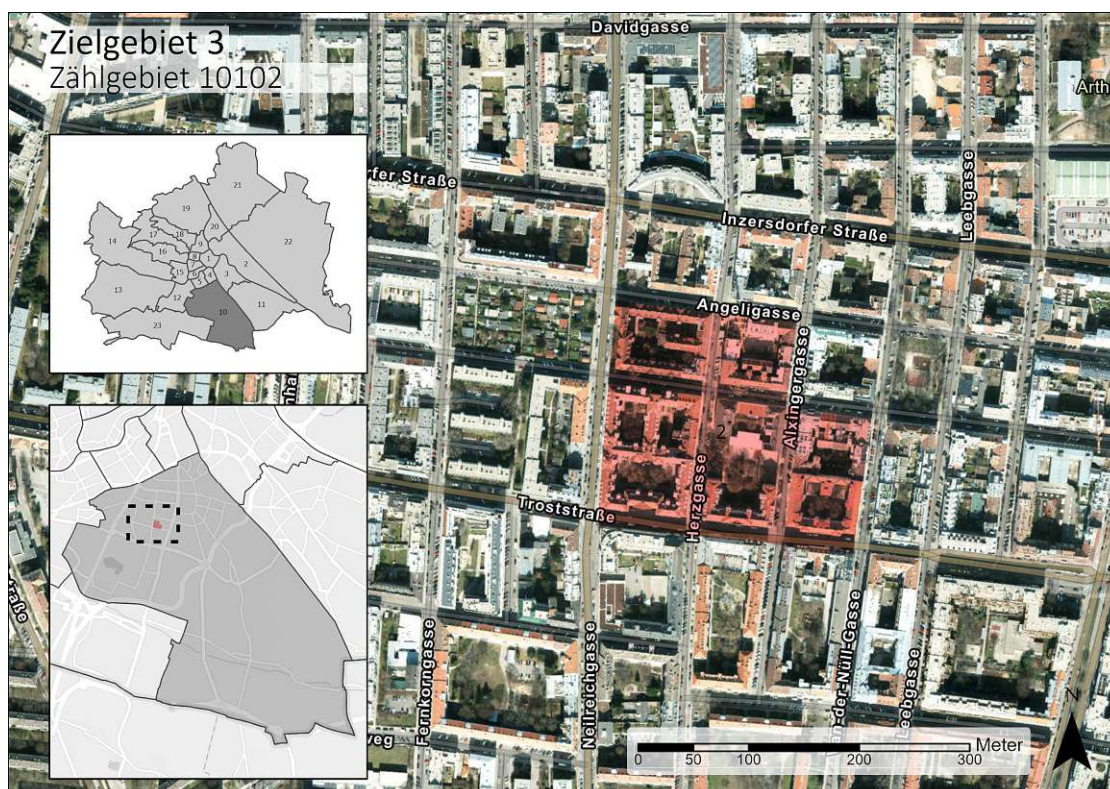


Abbildung 44: Zielgebiet 3 – Übersicht, Lage. Quelle: Google Maps, BEV, eigene Darstellung

4.3.1. Ergebnisse der Verschattungsanalyse

Die Verschattungsanalyse liefert ein klares Bild der schattigen Zonen und implizit auch das Bild der Zonen, die unter verlängerter Sonneneinstrahlung leiden. In der Abbildung 43, welche die graphische Darstellung des Ergebnisses ist, können folgende Merkmale erkannt werden: Als erstes kann der Unterschied an Verschattungsdauer zwischen Ost-West- und Nord-Süd-

ausgerichteten Straßen erkannt werden. Die Nord-Süd Straßen haben größtenteils einen einheitlichen und relativ hohen Verschattungsdauerwert von ca. 3 Stunden. Dieser Wert wird in diesem Gebiet jedoch nur auf Straßen mit einer durchschnittlichen Gebäudehöhe von 18m erzeugt. An der nord-westlichen Ecke des Verschattungsrasters, bei der Kreuzung Neilreichgasse-Angeligasse werden deutlich kürzere Schattenperioden gemessen, und auch entlang der Neilreichgasse bis zur ersten Ecke mit der Hardtmutgasse. In dem Bereich sind einerseits die Gebäude weiter voneinander entfernt, und außerdem ist die Höhe der Gebäude westlich von diesem Straßenabschnitt viel niedriger. Diese Kombination führt dazu, dass der gesamte Straßenbereich in einer Zone mit verlängerter Sonneneinstrahlung ist.

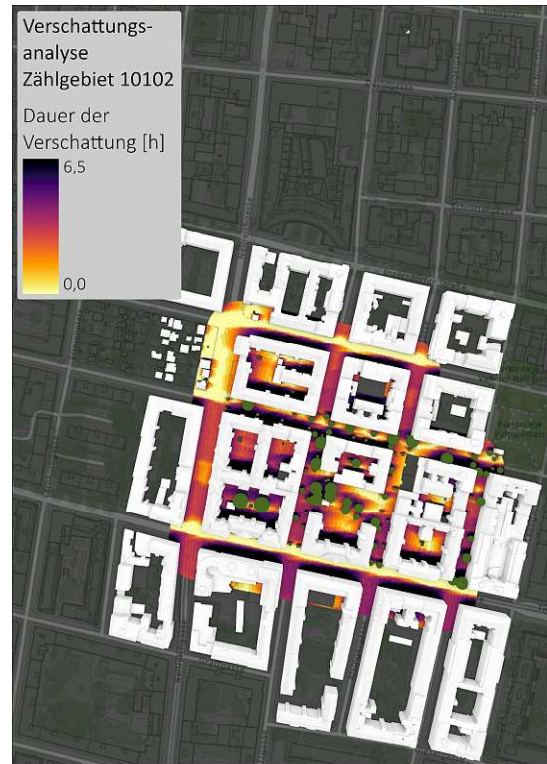


Abbildung 45: Zielgebiet 3 - Verschattungsanalyse.
Quelle: MA41, MA42, eigene Berechnung und Darstellung

Ein weiteres Merkmal, welches dank der Darstellung des Analyserasters ans Licht kommt, sind die Auswirkungen von Verschattungsmaßnahmen an Kreuzungen. Zur Verdeutlichung der Situation kann ein direkter Vergleich zwischen zwei Kreuzungen im Gebiet gemacht werden, wobei die Straßenbreiten, Straßenausrichtung und Gebäudestruktur sehr ähnlich sind. Diese beiden Straßenkreuzungen wären einerseits Herzgasse mit Hardtmuthgasse (Abbildung 45)

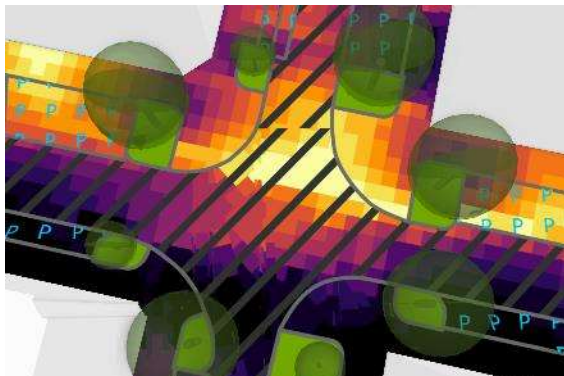


Abbildung 47: Zielgebiet 3 - Kreuzung mit Verschattungsmaßnahmen. Quelle: MA41, MA42, eigene Berechnung und Darstellung

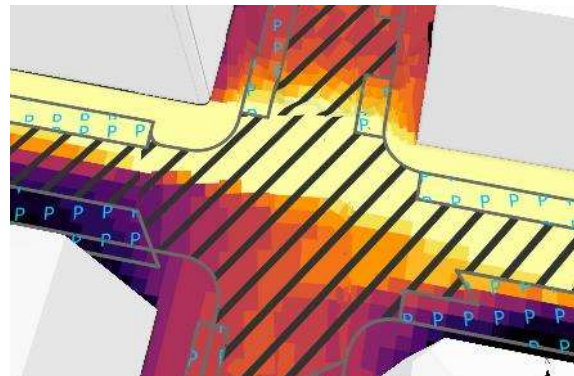


Abbildung 46: Zielgebiet 3 - Kreuzung ohne Verschattungsmaßnahmen. Quelle: MA41, MA42, eigene Berechnung und Darstellung

und andererseits Herzgasse mit Angeligasse (Abbildung 46). Die Fahrbahnflächen werden schraffiert dargestellt, und die Parkplätze werden mit einem flächigen Muster mit dem Buchstaben „P“ gekennzeichnet. Die großen Unterschiede zwischen den beiden Straßenkreuzungen sind einerseits die vorhandenen Verschattungsmaßnahmen und andererseits die Gestaltung der Gehsteige an der Kreuzung. Im linken Bild können die Effekte der Bäume auf die Verschattungsdauer entlang des nördlich liegenden Gehsteiges erkannt werden. Durch die Kombination von Bäumen und einer größeren Gehsteigbreite bei Kreuzungen kann eine Straßenüberquerungsmöglichkeit geschaffen werden, die die Fußgängerin oder den Fußgänger vor einer verlängerten direkten Sonneneinstrahlung schützt.

4.3.2. Gebietstypologische Merkmale und allgemeine Handlungsempfehlungen

Dieses Zählgebiet ist von der Wohngebietstypologie „Zwischenkriegszeit und Zweiter Weltkrieg (1919-1949)“ und hat folgende Merkmale: die Mehrheit der Gebäude im Zählgebiet sind Mehrfamilienhäuser, die im Ausmaß von über 50% in der Periode 1919-1944 gebaut wurden (vgl. MA18, 2016). Nur 4% der Wiener Zählgebiete gehören zu dieser Typologie, und knapp 80.000 Einwohner:innen wohnen in diesen Zählgebieten.

Anhand der Verschattungsuntersuchung aus dem vorigen Unterkapitel können folgende allgemeine Empfehlungen formuliert werden: Die Straßenausrichtung spielt eine große Rolle, wobei Ost-West ausgerichtete Straßen den höchsten Bedarf für Verschattungsmaßnahmen haben, vor allem auf der nördlichen Straßenseite. Bei besonders breiten Straßen und an Stellen mit einer niedrigen Bebauung entstehen ebenfalls besonders gut geeignete Interventionsstellen. Für die Gestaltung von Kreuzungen kann die passende Einsetzung von Verschattungsmaßnahmen einen deutlichen Unterschied für Fußgänger:innen ausmachen.

4.4. Zielgebiet 4: Zählgebiet 10054

Das Zielgebiet, welches nach den aus dem Kapitel 3.2.2. ausgewählten Kriterien an vierter Stelle ist, ist das Zählgebiet Nummer 10054, welches sich so wie die Zielgebiete 1 und 3 im zehnten Gemeindebezirk Wiens befindet und sogar an das Zielgebiet 3 angrenzt. Abgegrenzt

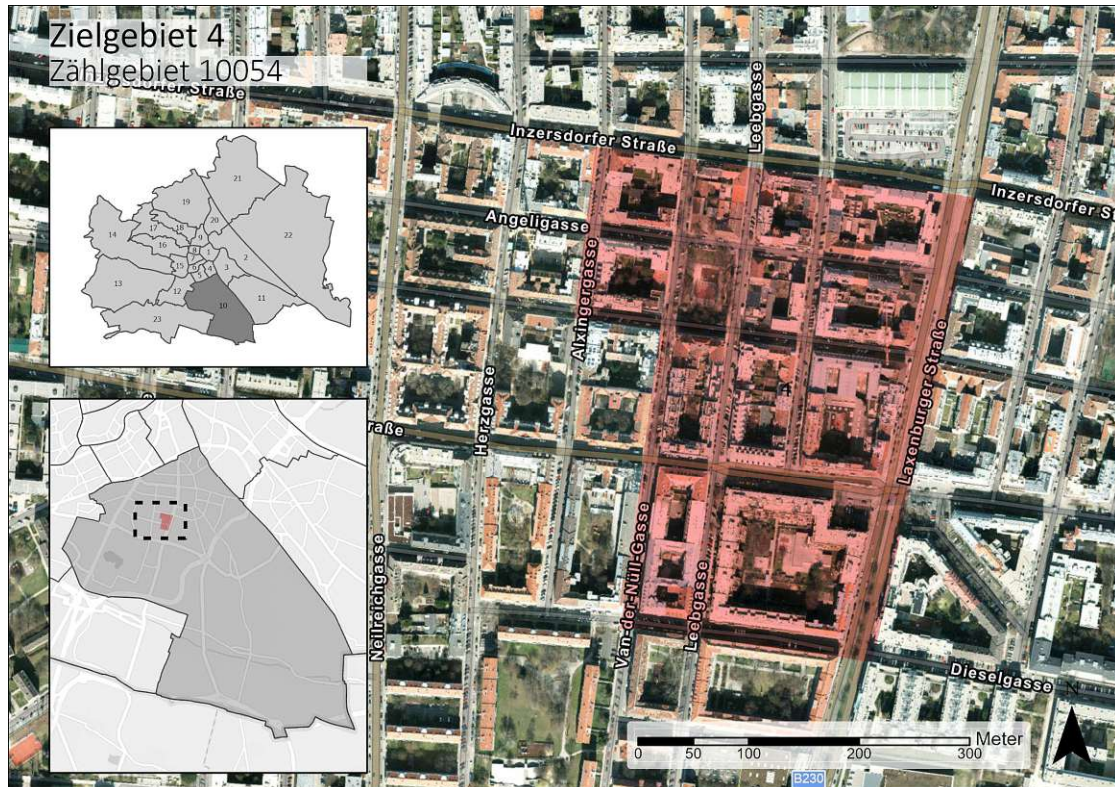


Abbildung 48: Zielgebiet 4 – Übersicht, Lage

wird dieses Gebiet von der Inzersdorfer Straße im Norden, der Laxenburger Straße im Osten, der Dieselgasse im Süden und der Van-der-Nüll-Gasse beziehungsweise der Alxingergasse im Westen. Abbildung 47 verschafft einen Überblick über dieses Gebiet, welches aus 13 Baublöcken besteht und eine Fläche von 11,9ha hat. Die Struktur der Straßen folgt einem Rastermuster mit einer Orientierung, die nur um wenige Grad von einer Nord-Süd Ausrichtung abweicht. Eine Straßenbahntrasse verläuft entlang der Inzersdorfer Straße und der Laxenburger Straße, und es befindet sich eine Straßenbahnhaltestelle auf der Troststraße, an der Ecke dieser beiden Straßen. Zu erwähnen ist noch, dass ein Baublock aus dem Gebiet einen Park enthält, am Paltramplatz.

4.4.1. Ergebnisse der Verschattungsanalyse

Die für dieses Zielgebiet durchgeführte Verschattungsanalyse ist auf Abbildung 48 graphisch dargestellt. Es zeigt die Situation in einem größeren Gebiet im Vergleich zu den bisher untersuchten Gebieten. Von der Bebauung her wird dieselbe Blockrandbebauung vorgefunden, und die durchschnittliche Gebäudehöhe ist bei ca. 17m. Die Straßenbreite und der Abstand zwischen den Gebäuden im nord-westlichen Bereich sind recht einheitlich, doch

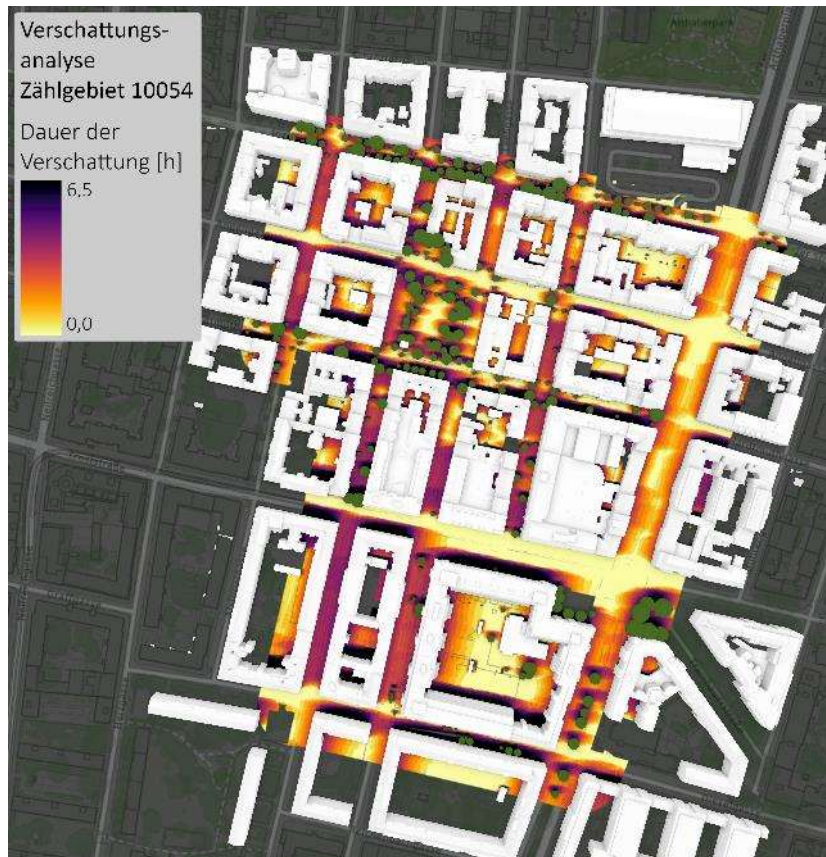


Abbildung 48: Zielgebiet 4 - Verschattungsanalyse. Quelle: MA41, MA42, eigene Berechnung und Darstellung

die beiden Straßen, auf denen sich die Straßenbahntrasse befindet, haben einen deutlich breitere Querschnitt. Somit ist der Abstand zwischen gegenüberliegenden Gebäuden auf der Troststraße 18m und 28m auf der Laxenburger Straße, im Vergleich zu einer durchschnittlichen Entfernung von 13m auf den anderen Straßen. Diese unterschiedlichen Straßenbreiten sorgen für ein unterschiedliches Verschattungsmuster und verlangen speziell angepasste Verschattungsmaßnahmen. Auf der Abbildung 49 ist ein Detail aus der Verschattungsanalyse dargestellt, auf der Troststraße im Bereich rund um die Straßenbahnhaltestelle der Linien 11 und O. Hier erkennt man die Straßenbahnschienen als

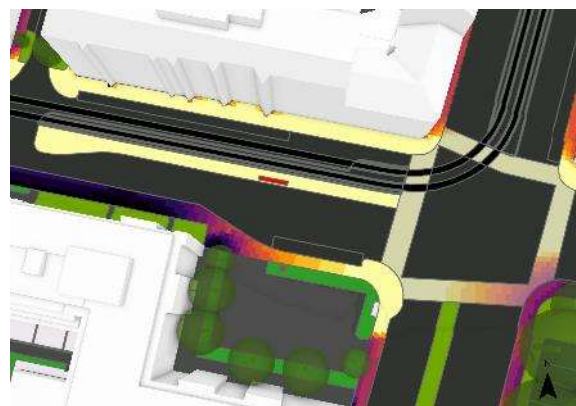


Abbildung 49: Zielgebiet 4 - Straßenbahnhaltestelle Troststraße. Quelle: MA41, MA42, eigene Berechnung und Darstellung

schwarze Linien dargestellt, und die Verkehrsflächen wurden auf durchsichtig gestellt. Man erkennt, dass die gesamte Haltestelleninsel der Straßenbahn in der ständigen Sonneneinstrahlung steht. Wegen der großen Entfernung zu dem Nachbargebäude im Süden aber auch der niedrigeren Gebäudehöhe entsteht diese Situation, in der ÖV-Stationen, die als Verkehrsinseln ausgeführt wurden, die Verschattungsdauer besonders schlecht ist. Oft sind ÖV Haltestellen auch mit bedeckten Stationseinrichtungen vorgesehen. Diese werden in der Abbildung mit einem roten Rechteck dargestellt. Es wird ersichtlich, dass diese kleine bedeckte Stationseinrichtung nicht ausreichend ist, um Schatten an genügend ÖV-Nutzer:innen zu spenden.

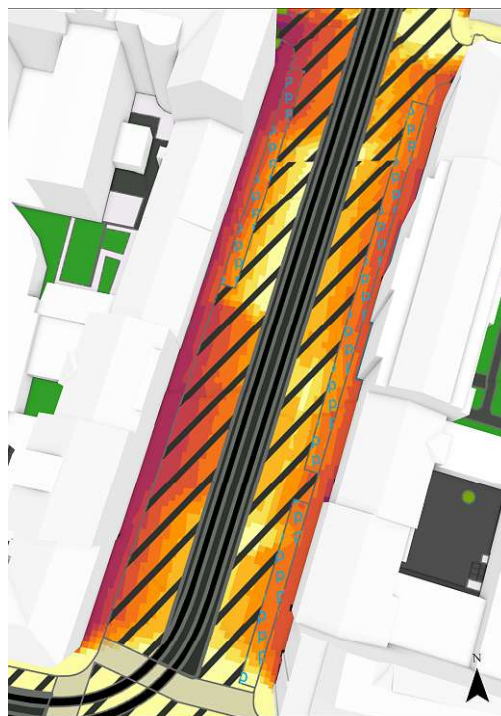


Abbildung 50: Zielgebiet 4 - Straße mit Straßenbahntrasse. Quelle: MA41, MA42, eigene Berechnung und Darstellung

Eine weitere Verschattungssituation, die in diesem Gebiet vorzufinden ist, ist der besonders breite Straßenquerschnitt entlang der Laxenburger Straße. Mit einer Breite von bis zu 28m besteht der Straßenquerschnitt aus zwei Gehsteigen, zwei Parkspuren, vier Fahrspuren und einer zentralen Fläche, die in manchen Abschnitten eine Straßenbahntrasse enthält (Abbildung 50) und in anderen ein zentraler Grünstreifen mit Bäumen ist (Abbildung 51). Wegen der Straßenausrichtung sind die Gehsteige beider Straßenseiten in den Straßenabschnitten gleichmäßig und relativ gleich untereinander verschattet. Den Unterschied erkennt man bei dem Verschattungsgrad der zentralen Verkehrsfläche, die in der ersten Abbildung deutlich höher ist als in der zweiten. Obwohl dieser zentrale Bereich nicht direkt von Fußgänger:innen genutzt werden kann, soll man bei einer möglichen Umgestaltung der Straße oder bei anderen ähnlich breiten Querschnitten bedenken, dass diese zentralen Flächen nur durch zentral angebrachte Verschattungsmaßnahmen vor ständiger Sonneneinstrahlung geschützt werden können.



Abbildung 51: Zielgebiet 4 - Straße mit zentraler Baumreihe. Quelle: MA41, MA42, eigene Berechnung und Darstellung

4.4.2. Gebietstypologische Merkmale und allgemeine Handlungsempfehlungen

Die Wohngebietstypologie, zu der dieses Zählgebiet gehört, heißt „Bauperiode ab 1981 – gemischtes Baualter“ und hat folgende Merkmale: die Mehrheit der Gebäude im Zählgebiet sind Mehrfamilienhäuser, deren Anteil an von 1981 bis 2011 erbauten 3 oder Mehrfamilienwohnungen über 50 % ist (vgl. MA18, 2016). In Zählgebieten dieser Typologie wohnen 5,4% der Bevölkerung Wiens, wobei 2,5% der Zählgebiete Wiens von dieser Art sind.

Die aus diesem Gebiet gesammelten Erkenntnisse ergänzen sich teilweise mit den gesammelten aus den bereits behandelten Zielgebieten. Spezifisch beziehen sich die Handlungsempfehlungen anhand dieser Gebietstypologie auf besonders breite Straßenquerschnitte und deren Gestaltung. Es können Einrichtungen für Fußgänger:innen sein, an denen noch angemessene

Verschattungsmaßnahmen fehlen, oder mögliche Straßen-Zentralflächen bei deren Umgestaltung oder Aktivierung auch Verschattungsmaßnahmen ein Thema sein sollten.

4.5. Allgemeine Gebietstyp-unabhängige Handlungsempfehlungen

Die exemplarischen Verschattungsanalysen der Zielgebiete aus den Unterkapiteln 4.1 bis 4.4 hatte als Ziel nicht nur die Untersuchung von ganz spezifischen räumlichen Gegebenheiten, sondern sollten zur Formulierung von allgemeinen Gebietstyp-bezogenen Handlungsempfehlungen führen. Man kann jedoch aus den für die vier Zielgebiete formulierten Handlungsempfehlungen erkennen, dass diese nicht Gebietstyp-exklusiv sind. Man kann sogar behaupten, dass die Handlungsempfehlungen einer Gebietstypologie für mehrere der anderen Typologien anwendbar sind.

Die Begründung für die hohe Ähnlichkeit zwischen den Handlungsempfehlungen je Gebietstypen hängt mit 2 grundlegenden Merkmalen der durchgeführten Analyse zusammen. Als erstes muss erwähnt werden, dass die Analyse eines einzigen Zählgebietes je Typologie schwer zu Typologie-eigenen Handlungsempfehlungen führen kann. Eine Vielzahl an räumlichen Einheiten derselben Typologie hätte möglicherweise mehrere gemeinsame Merkmale ersichtlich gemacht. Als zweites sollte die räumliche Einteilung nach Wohn-Gebietstypen für eine Verschattungsanalyse kritisch hinterfragt werden. Diese Gebietstypen haben sich als passend für die räumliche Gliederung des UHVI ergeben (aus dem Kapitel 3.2), dank sowohl ihrer demographischen als auch ihrer Bausubstanz-bezogenen Merkmale. Für eine Verschattungsanalyse würde hingegen eine andere räumliche Gliederung passender sein. Diese müsste von Merkmalen definiert werden, die durch den Schatten beeinflussbar sind, aber auch umgekehrt, die den Schatten beeinflussen.

Anhand dieser angedeuteten Überlegungen und basierend auf den durchgeführten Verschattungsanalysen wird ein neues Forschungsziel formuliert, welches folgendermaßen klingt:

Anhand welcher räumlichen Merkmale kann eine verschattungsanalytische Gliederung des öffentlichen Raumes entstehen?

Um diese räumlichen Merkmale identifizieren zu können, werden die gewonnenen Erkenntnisse aus den durchgeführten Verschattungsanalysen zusammengeführt, gruppiert und

generalisiert. Somit entsteht folgende Auflistung an verschattungsanalytisch relevanten räumlichen Merkmalen:

Als Erstes werden allgemeine Merkmale des öffentlichen Raumes und dessen direkter Umgebung behandelt. Diese Kombination folgender Merkmale führt zu komplexen Situationen im öffentlichen Raum. Daher werden sie individuell behandelt unter Angabe spezifischer Kombinationsmöglichkeiten. Diese sind:

Die Ausrichtung gegenüber der Nord-Süd-Achse. Aus allen vier Verschattungsanalysen hat sich herausgestellt, dass die Ausrichtung ein ausschlaggebender Faktor ist. Der Unterschied zwischen Nord-Süd und Ost-West ausgerichteten Straßen ist so drastisch, dass dieses Merkmal zu klaren Mustern führt. Bei Nord-Süd-ausgerichteten Straßen ist die Verschattungsdauer auf beiden Straßenseiten sehr ähnlich. Abhängig von den anderen Merkmalen könnte sogar der Fall sein, dass der gesamte Straßenraum für eine signifikante Dauer verschattet wird. Anders ist es bei Ost-West-Straßen, wo die südliche Straßenseite fast konstant verschattet wird und die Nördliche prinzipiell gar nicht, außer es findet eine Kombination von mehreren Merkmalen statt. Die Abbildung 52 stellt die Orientierung der Wiener Straßen dar, auf der zu erkennen ist, dass die meisten Straßen nach einem bestimmten Muster und Ausrichtung sind.

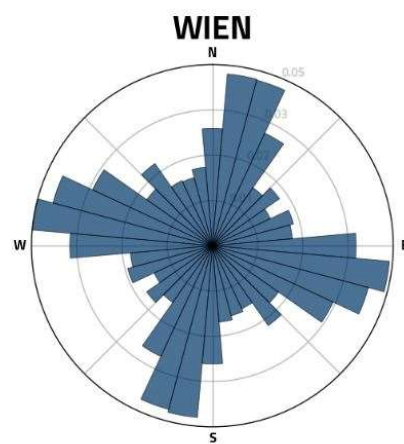


Abbildung 49: Orientierung von Straßen. Quelle: rixx.de

Die Gebäudehöhe. Die Größe der Verschattung, die durch ein Gebäude erzeugt wird, steht in direkter Verbindung mit der Höhe dieses Gebäudes. Je höher das Gebäude, desto größer wird die im Schatten liegende Fläche. In den Hitze-Spitzenzeiten befindet sich diese Fläche auf der Nordseite des Gebäudes, teilweise auf der Nord-Ost und Nord-West Seite. Für eine durchschnittliche Gebäudehöhe von 18 Meter, wie die aus den untersuchten Gebieten war ausreichend, um den, auf der Nordseite sich befindenden Gehsteig bis zu einer Breite von 2 Meter ganzheitlich zu beschatten. Für die Ost- und West-Seite des Gebäudes wird eine Teilverschattung gemessen, die ähnlich von der Höhe des Gebäudes abhängig ist, dessen

Verschattungsdauer kürzer ist als auf der Nordseite. Gebäudehöhe spielt hier isoliert nur eine limitierte Rolle, da mit dem Verlauf der Sonne am Himmel immer nur eine der beiden Seiten des Gebäudes verschattet wird, unabhängig von der Gebäudehöhe. Jedoch kann die Kombination von großen Gebäudehöhen und einer schmalen Straßenbreite dazu führen, dass die Verschattung durch gegenüberliegende Straßenseiten sich ergänzen und zu einer viel längeren Verschattungsdauer führen kann.

Die Entfernung zwischen gegenüberliegenden Gebäuden. Dieser Abstand beinhaltet sowohl die Breite der Straße als auch die Entfernung der Gebäude zur Grundstücksgrenze. Allgemein wurde bemerkt, dass bei einer kleinen Entfernung mehr des öffentlichen Raumes verschattet wird, vor allem durch Kombinationseffekte von Schatten gegenüberliegenden Gebäuden. Dieses Merkmal steht auch in Verbindung mit der Gebäudehöhe und der deutliche Unterschied wird durch die Orientierung der Straße gemacht. Schmale Nord-Süd ausgerichtete Straßen haben eine wesentlich bessere Verschattung als breitere und bei schmalem Ost-West ausgerichtete Straßen, mit hohen Gebäuden auf der Südseite kann die Verschattung bis auf den gegenüberliegenden Gehsteig reichen. Die durchschnittliche Entfernung in den Zielgebieten ist ca. 13 Metern, welche die bei Nord-Süd ausgerichteten Straßen zu einer Verschattung des gesamten Straßenraumes geführt hat, jedoch nur für eine begrenzte Dauer. Bei besonders breiten Straßen, auf Plätzen oder anderen großen öffentlichen Orten mit einer großen Gebäudeentfernung hat dieser Faktor wenig Bedeutung, da die Verschattungseffekte von gegenüberliegenden Gebäuden zu weit voneinander entfernt sind, um sich gegenseitig zu ergänzen. In diesen Fällen haben die vorherigen Merkmale eine größere Bedeutung.

Die bereits vorhandene Verschattungsmaßnahmen. Die Elemente des öffentlichen Raumes, die zu einer Verschattung dessen führen, spielen natürlich eine große Rolle. Diese können besonders vielfältig sein, mit unterschiedlichen Formen, Größen, Zwecken, Wirkungsdauern und Dynamiken. Bei der Verschattungsanalyse wurden nur Bäume berücksichtigt, wobei man diese auch nach weiteren Merkmalen einteilen kann, wie zum Beispiel Baumalter, Baumart und Kronengröße.

Ergänzend wurden noch weitere Merkmale identifiziert, die nur für bestimmte Elemente des öffentlichen Raumes zutreffend sind. Das erste Element, welches behandelt wird, ist den

Straßensegmenten, also der meist einheitliche Abschnitt zwischen zwei Straßenkreuzungen. Hier wird auf besonders lange Straßenabschnitte ohne Verschattungsunterbrechungen geachtet. Verlängerte Perioden von Sonneneinstrahlung ohne Schattenintervalle haben negative Auswirkungen auf Nutzer:innen des öffentlichen Raumes (vgl. Lee et al., 2020) Ein weiteres Merkmal bezieht sich auf vorhandene Verschattungsmaßnahmen, vor allem Baumreihen. Spezifisch geht es hier darum, welche Größe sie haben und auf welcher Straßenseite es diese gibt. Anhand von dem kann entschieden werden, ob weitere Maßnahmen in Kombination mit den bereits vorhandenen umzusetzen sind.

Allgemein gehören auch noch Merkmale berücksichtigt werden, die sich mit der Nutzung und der Funktion von Gebäuden und vor allem der Erdgeschosszone in Verbindung stehen. Diese können entweder als eine Datenschicht in der Analyse eingefügt werden oder als Teil der nachträglichen Interpolation der Ergebnisse mitberücksichtigt werden.

Für Straßenkreuzungen gibt es auch bestimmte Merkmale, die für die Untersuchung relevant sind. Hier spielt vor allem die Straßenbreite eine Rolle. Straßenüberquerungen stellen einen Abschnitt ohne Verschattungsmaßnahmen für den/die Fußgänger:in dar. Mit größerer Breite verlängert sich der Weg für Fußgänger:innen. Wegen möglichen Wartezeiten bei einer Straßenkreuzung kann sich diese, bereits lange Periode mit direkter Sonneneinstrahlung verlängern. Um das vorzubeugen, können diese Teile des öffentlichen Raumes so gestaltet werden, dass sie eine Verschattungsangebot schaffen.

5. Schlussfolgerung und Ausblick

5.1. Schlussfolgerung

In dieser Arbeit hat sich der Autor vorgenommen, eine Reihe von GIS-Analysen durchzuführen, in denen er spezifische Stadtklima untersucht. Durch den zur Verfügung stehenden Daten beschränkt, sowie auf die Anwendung der festgelegten Programme, Werkzeuge und Analysemethoden limitiert, wurden die zwei Analyseschritte erfolgreich durchgeführt und deren Ergebnisse sind in der Arbeit enthalten. Das entwickelte Instrumentarium ist sowohl technisch robust als auch flexibel genug, um die Analyseschritte mehrfach durchführen zu lassen für unterschiedliche Standorte oder Indikatoren.

Bei einer Betrachtung der ursprünglichen vier Forschungsfragen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

Für die erste Frage hat sich die Antwort aus der Literaturrecherche ergeben. Die komplexen Zusammenwirkungen zwischen Stadtklima, UHI und Klimawandel schaffen bereits ein Ambiente, in dem der Mensch möglichen extremen Temperaturen ausgesetzt ist. Die Sonneneinstrahlung ist dabei diejenige, die diese Temperaturen punktuell konzentriert. Sie verändert das Bewegungsverhalten der Menschen im öffentlichen Raum und beeinflusst disproportional bestimmte vulnerable Gruppen. Da aber die Funktionen des öffentlichen Raumes für alle Nutzer:innen ein möglichst gleiches Ausmaß an Sicherheit anbieten müssen, soll sowohl die Hitzevulnerabilität auf einer Stadtteilebene als auch die Verschattung auf einer kleinräumigen Ebene den angesprochenen Grad an Sicherheit anstreben.

Im Kontext der zweiten Frage wurde im Kapitel 3.1 die Hitzevulnerabilität mittels GIS-Analyse vorgestellt und auch gleich für den Wiener Raum durchgeführt. Trotz der niedrigen Zahl an berücksichtigten Indikatoren, die hierfür angewandt wurden, hat sich ein räumlich detailliertes und schlüssiges Bild des UHVI ergeben.

Um die dritte Frage beantworten zu können wurde ein weiteres Instrument entwickelt, welches durch Anwendung einer 3D GIS Verschattungsanalyse und unter Einbeziehung sämtlicher räumlichen Datensätze ein digitales Bild der Verschattungssituation liefert. Durch Interpretation dessen werden Problemzonen festgelegt, an denen Verschattungsmaßnahmen eingesetzt werden sollen. Trotz des großen Datenvolumens und des relativ kleinen möglichen

Analyseraums liefert diese Analyse analytisch messbare Werte für die Verschattung sowohl des Istzustandes als auch der eingesetzten Maßnahmen.

Was diese Arbeit nicht geschafft hat, war, Gebietstyp-spezifische Handlungsempfehlungen zu formulieren. Anstelle dieser wurden allgemeinere Handlungsempfehlungen formuliert. Der Grund dafür ist die Gebietstypologien-auswahl. Die getroffene Auswahl hat sich eher aus Bewohner- und Bebauungsdichten ergeben. Sie sind ideal für die Hitzevulnerabilitätsanalyse, dienen aber in der Verschattungsanalyse weniger. Besser wäre gewesen, sich für die 3D Analyse auf andere Raumtypen zu basieren. Dafür hätte man eine eigene Raumtypisierung entwickeln sollen, anhand von folgenden Merkmalen: Straßenbreite (Abstand zwischen den gegenüberliegenden Gebäuden), die Gebäudehöhe und Baumbestand. Eine Schwäche dieser Methode ist, dass Feinheiten des öffentlichen Raumes nicht dargestellt werden können, wie zum Beispiel Auskragungen, Baumformen und Stadtmobiliar, Zäune, Bäume auf privaten Flächen, usw. Man kann sagen, dass das Modell nur so genau ist, wie die angewandten Daten. Für eine bessere Genauigkeit des Modells müssen räumliche Merkmale individuell ergänzt werden.

5.2. Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurde angestrebt, ein Instrumentarium zu schaffen, welches der Stadt Wien zur Verfügung stehen kann, um die Auswirkungen von zukünftigen klimatischen und hitzebedingten Einwirkungen vermeiden zu können. Es wurden zwei unterschiedliche GIS-Analysen durchgeführt, dessen Ergebnisse auf verschiedene Ebenen einwirken, und zum Schluss wurde eine Serie an Handlungsempfehlungen formuliert. Um diese Instrumente auch systematisch von der Stadtplanung anwendbar machen zu können, müssen noch weitere Anpassungen daran gemacht werden. Die durch diese Arbeit gewonnenen Erkenntnisse sollten bei der Weiterentwicklung der Instrumente berücksichtigt werden.

Bei der Berechnung des UHVI wurden aktuelle und möglichst detaillierte Datensätze angewendet, um ein möglichst genaues Bild darzustellen. Man könnte den Vulnerabilitätsindex noch genauer abbilden, indem noch weitere sozio-demographische Aspekte berücksichtigt werden. Diese können mit den bereits angewandten Daten mitberücksichtigt werden, oder diese sogar ersetzen.

Um die Verschattungsanalyse weiterzuentwickeln, können weitere Elemente des öffentlichen Raumes modelliert werden, damit ein genaueres Bild entstehen kann. Außerdem spielt die Thematik der räumlichen Gliederung eine große Rolle. Erst beim Auswerten der Verschattungsanalysen wurde ersichtlich, dass die hier ausgewählte räumliche Gliederung nach Wohngebietstypen nicht zu einem Handlungsempfehlungen-Paket je Gebietstyp führen kann. Es muss eine neue räumliche Gliederung anhand der identifizierten Merkmale aus dem Kapitel 4.5 entstehen. Nach der Auswahl von Raumtypen kann die Verschattungsanalyse erneut durchgeführt werden, eventuell sogar auf einer anderen Ebene. Daraus können spezifische Handlungsempfehlungen entstehen, passend zu den hierfür gebildeten räumlichen Typen.

Eine weitere Fähigkeit der GIS-gestützten Verschattungsanalyse wäre das Modellieren von neuen Verschattungsmaßnahmen, um deren Einfluss auf das ausgewählte Zielgebiet quantifizierbar und messbar zu machen und um dieses untersuchen zu können. Als Verschattungsmaßnahme könnten sowohl Bäume als auch andere Konstruktionen berücksichtigt werden und bei den Ergebnissen können verschiedene Standorte simuliert werden, sodass Verständnis gewonnen wird, welchen Einfluss die Verschattungsmaßnahmen tatsächlich haben werden.

Die Möglichkeiten, diese Analyseschritte noch weiterzuentwickeln sind vielfältig und die Anwendbarkeit des gesamten Instrumentariums ist für den Autor gegeben. Die Planung des öffentlichen Raumes muss alle möglichen Einflussfaktoren berücksichtigen und dafür braucht es alle verfügbaren Instrumente.

Abkürzungsverzeichnis

ACI	Adaptive Capacity Index- Anpassungsfähigkeitsindex
BT	<i>Brightness Temperature</i> – Helligkeitstemperatur
EI	<i>Exposure Index</i> – Belastungsindex
EVI	<i>Enhanced Vegetation Index</i> - Erweiterte Vegetationsindex
FMZ	Flächen-Mehrzweckkarte
GIS	Geographisches Informationssystem
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> – Weltklimarat
NDWI	<i>Normalized Difference Water Index</i> - Normalisierte Differenzwasserindex
ÖV	Öffentlicher Verkehr
SI	<i>Sensitivity Index</i> – Empfindlichkeitsindex
TOA	<i>Top Of Atmosphere</i> – Ausstrahlungswerten
UHI	<i>Urban Heat Island</i> – Urbane Hitzeinsel
UHVI	<i>Urban Heat Vulnerability Index</i> – Urbaner Hitzevulnerabilitätsindex
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

Quellen:

Berndorfer S. (2022): Wiener Hitzeaktionsplan –Für ein cooles Wien der Zukunft Online Verfügbar unter: <https://www.wien.gv.at/umwelt/coolswien/hitzeaktionsplan.html> zuletzt verfügbar am 31.08.2022

Birkmann, J., Böhm, H.R., Buchholz, F., Büscher, D., Daschkeit, A., Ebert, S., Fleischhauer, M., Frommer, B., Köhler, S., Kufeld, W. and Lenz, S., (2013): Glossar Klimawandel und Raumentwicklung.

Bhattacharjee S. (2019): Urban Heat Vulnerability Assessment of Vienna, Austria. Herausgegeben von Magistrat der Stadt Wien

BMSGPK (2021): 5047/AB XXVII. GP – Anfragebeantwortung. Online verfügbar unter: https://www.parlament.gv.at/PAKT/VHG/XXVII/AB/AB_05047/imfname_933722.pdf zuletzt geprüft am 09.08.2022

BNMT (2018): #mission2030. Die österreichische Klima- und Energiestrategie. Hg. v. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus und Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Wien.

Brandenburg, C., Damyanovic D., Reinwald F., Brigitte Alex, Birgit Gantner und Christina Czachs (2015): Urban Heat Islands Strategieplan Wien. Herausgegeben von Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung. Online verfügbar unter: <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/uhi-strategieplan.html> zuletzt geprüft am 10.08.2022

City of Philadelphia. Online verfügbar unter: <https://www.phila.gov/2019-07-16-heat-vulnerability-index-highlights-city-hot-spots>. Zuletzt geprüft am 14.10.2022

Bodilis, C.; Yenneti, K.; Hawken, S. (2018): Heat Vulnerability Index for Sydney. City Futures Research Centre, UNSW Sydney. Dataset. Online verfügbar unter: <https://cityfutures.adu.unsw.edu.au/cityviz/heat-vulnerability-index-sydney/> zuletzt geprüft am 14.10.2022).

Europäische Kommission (2018): Ein sauberer Planet für alle. Eine Europäische strategische, langfristige Vision für eine wohlhabende, moderne, wettbewerbsfähige und klimaneutrale Wirtschaft. Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52018DC0773&from=EN> zuletzt geprüft am 08.08.2022

Frotzbacher, M. (2018): Wer hat Zugang zur Grünen Stadt?: Eine GIS-gestützte Analyse zur Erreichbarkeit von öffentlichen Grünflächen in Wien aus Sicht vulnerabler Bevölkerungsgruppen. Diss. Wien

Gillner, S., Vogt, J., Tharang, A., Dettmann, S., & Roloff, A. (2015): Role of street trees in mitigating effects of heat and drought at highly sealed urban sites. *Landscape and Urban Planning*, 143, 33-42.

Gao, B. (1996): "NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space" (PDF). *Remote Sensing of Environment*. 58 (3): 257–266. Bibcode:1996RSEnv..58..257G. doi:10.1016/S0034-4257(96)00067-3. Retrieved August 5, 2021.

Henninger, S. (2011): *Stadtökologie*. Schöningh Verlag, Paderborn.

Howard, L. (1833): *The Climate of London, Deduced from Meteorological Observations*. Volume 2, London.

Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E. P., Gao X., Ferreira L. G. (2002): Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83. 195-213 doi:10.1016/S0034-4257(02)00096-2

Huete, A.R.; Justice, C. (1999): MODIS vegetation index (MOD13) algorithm theoretical basis document. Ver. 3.

Hupfer, P. und Kutter, W. H. (2006): *Witterung und Klima – eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie*. Wiesbaden: Teubner. S. 371-432.

IPCC (2014a): Emergent risks and key vulnerabilities. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*

IPCC (2014b): *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

KBU (2017): *Urbanisierung und Bodenschutz. Warum zwei Prozent für den Boden die Welt bedeuten*. Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt. Verfügbar online: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/kbu_urbanisierung_und_bodenschutz_august_2017.pdf zuletzt überprüft am 14.10.2022

Kuttler, W. (2009): *Klimatologie*. UTB 3099, Ferdinand Schöningh, Paderborn, München, Wien, Zürich, 260 S

Kuttler, W., 2011. Klimawandel im urbanen Bereich.: Teil 2, Maßnahmen. *Environmental Sciences Europe*, 23, S.21.

Kuttler, W. (2013): *Klimatologie*. 2. aktualisierte und ergänzte Auflage, UTB 3099, Schöningh-Verlag, Paderborn, 306 S

Lee, L.S.H., Cheung, P.K., Fung, C.K.W. et al. (2020): Improving street walkability: Biometeorological assessment of artificial-partial shade structures in summer sunny conditions. *Int J Biometeorol* 64, 547–560. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01840-9>

Luebke D., Reddy M., Cohen J., Varshney A., Watson B., Huebner R. (2003): *Level of Detail for 3D Graphics*. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, ISBN 1-55860-838-9.

MA 18 – Stadtentwicklung und Stadtplanung Wien (2014): STEP2025 – Stadtentwicklungsplan 2025 Wien. Wien. MA 18. Online verfügbar unter: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/strategien/step/step2025/> zuletzt überprüft am 02.09.2022

MA 18 - Stadtentwicklung und Stadtplanung Wien (2015): STEP 2025 - Fachkonzept Grün- und Freiraum. Wien: MA 18. Online verfügbar unter: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/strategien/step/step2025/fachkonzepte/gruen-freiraum/index.html> zuletzt geprüft am 02.09.2022

MA18 – Stadtentwicklung und Stadtplanung (2016): *Wohngebietstypen 2016 - Beiträge zur Stadtentwicklung* 42. Online Verfügbar unter: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.wien.gv.at%2Fstadtentwicklung%2Fstudien%2Fpdf%2Fb008485.pdf&psig=AOvVaw0lORRH1Kn2XbTiOBX-yYY0&ust=1664226714851000&source=images&cd=vfe&ved=0CAOQ3YkBahcKEwiov-ni7bD6A-hUAAAAAHQAAAAAQBA>

MA 18 – Stadtentwicklung und Stadtplanung Wien (2018): STEP 2025 – Fachkonzept öffentlicher Raum. Wien: MA 18.

MA 18 – Smart City Rahmenstrategie (2019): Die Wiener Strategie für eine nachhaltige Entwicklung: MA 18. Online verfügbar unter: <https://smartcity.wien.gv.at/strategie/> zuletzt geprüft am 02.09.2022 zuletzt gesehen war 02.09.2022

MA19 (2022): Wiener Schatten, Wien ISBN 978-3-903003-58-3. Online verfügbar unter: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/architektur/oeffentlicher-raum/wiener-schatten.html> zuletzt geprüft am 10.09.2022

MA20 (2022): Wiener Klimafahrplan – Unser Weg zur klimagerechten Stadt. Online verfügbar unter: <https://www.wien.gv.at/spezial/klimafahrplan/> zuletzt geprüft am 31.08.2022

MA22 (2015): Urban Heat Islands (UHI) - Strategieplan Wien.

MKULNV (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) (2010): Handbuch Stadtklima - Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel, Essen.

Mohamed A., Odindi J. & Mutanga O. (2017): Land surface temperature and emissivity estimation for Urban Heat Island assessment using medium- and low-resolution space-borne sensors: A review, *Geocarto International*, 32:4, 455-470, DOI: 10.1080/10106049.2016.1155657 Online Verfügbar unter: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10106049.2016.1155657> zuletzt geprüft am 08.08.2022

Reid, C. (2009): Mapping community determinants of heat vulnerability. *Environ Health Perspect.* 2009 Nov; 117(11): 1730-1736

Schönwiese, CD. (1997): Globale Klimaänderungen aufgrund des anthropogenen Treibhauseffektes und konkurrierender Einflüsse. In: Gehr, P., Kost, C., Stephan, G. (eds) *CO2 - Eine Herausforderung für die Menschheit*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-60545-1_1

Stadt Wien (2022a): Bevölkerungsmonitoring Wien. Online verfügbar unter: <https://wien1x1.at/bevoelkerungsmonitoring/> zuletzt geprüft am 08.08.2020

Suitner J., Hofinger J., Sparlinek F. und UIV Urban Innovation Vienna (2020): Klimasesible Stadtentwicklung - Eine Analyse internationaler Projekte und Maßnahmen hitzeangepasster Stadtentwicklung mit Anregungen für Wien. Online verfügbar unter: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/studien/b008568.html> zuletzt geprüft am 31.08.2022

UNDESA (United Nations, Department of Economic and Social Affairs), Population Division. (2019a): *World Population Prospects 2019: Highlights*. ST/ESA/SER.A/423. New York: United Nations. https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf

UNDESA (United Nations, Department of Economic and Social Affairs), Population Division. (2019b): *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)*. New York: United Nations.

UNDESA (United Nations, Department of Economic and Social Affairs), Population Division. (2022). *World Population Prospects 2022: Summary of Results*. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3.

USGS (2019): Landsat8 (L8) Data Users Handbook. Online verfügbar: <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-data-users-handbook> zuletzt geprüft am 05.10.2022

VN (2015): The Paris agreement. Online Verfügbar unter: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> zuletzt geprüft am 08.08.2022

Wilhelmi, O.V.; Hayden, M.H. (2010) Connecting people and place: A new framework for reducing urban vulnerability to extreme heat. Environ. Res. Lett., 5, 14021.

Wolf, T.&McGregor, G. (2009). The development of a heat wave vulnerability index for London, United Kingdom. Weather. Clim. Extrem. 2013, 1, 59–68.

ZAMG (2022a): Klimatologische Kenntage in Wien 1955 bis 2021. Online Verfügbar unter: <https://www.wien.gv.at/statistik/lebensraum/tabellen/eis-hitze-tage-zr.html> zuletzt geprüft am 08.08.2022

ZAMG (2022b): Informationsportal Klimawandel. Wien: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. Online verfügbar: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimavergangenheit/neoklima/lufttemperatur> zuletzt geprüft am 14.10.2022

INTERNETLINK:

Timeanddate (2022): Past Weather in Vienna, Vienna, Austria. Online Verfügbar unter: <https://www.timeanddate.com/weather/austria/vienna/historic?month=5&year=2022> zuletzt geprüft am 26.08.2022

Anhang

Anhang A: Datentabelle

Name	Quelle	Format
Analyseschritt 1: Urbane Hitzevulnerabilitätsindex-Karte		
Landsat8 Satellitenbilder – Band 10	USGS	Rasterdaten 30m x 30m
Sentinel2 Satellitenbilder – Band 2, 3, 4, 8		Rasterdaten 10mx10m
Bezirksgrenzen Wien	Stadt Wien, data.gv.at	Shapefile: Polygone
Zählbezirksgrenzen Wien		Shapefile: Polygone
Zählgebiete Wien		Shapefile: Polygone
Realnutzungskarte Wien 2021		Shapefile: Polygone
Gebietstypen Wien 2016		Tabelle. Auf Zählgebiete
Demographische Daten	Statistik Austria	Rasterdaten 250mx250m
Analyseschritt 2: Verschattungsanalyse		
Flächenmehrzweckskarte	Stadt Wien, data.gv.at	Shapefile: Polygone
Baukataster		Shapefile: Punktdaten
Gebäudemodell (Generalisiertes Dachmodell)		Polygone mit Detaillierungsgrad LOD 2.1
Geländemodell (DGM) – Dreiecksvermischung des Geländemodells Wien		Rasterdaten in 1 Meter Abstufungen

