



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

Urbaner Hitzeinseleffekt und altersspezifische Vulnerabilität - Eine Typisierung von Raumeinheiten in Wien

verfasst von / submitted by

NIKOLAUS TILLER, BSc

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree

of

Master of Arts (MA)

Wien, 2015 / Vienna, 2015

Studienkennzahl lt. Studienblatt/
degree of programme as it appears on
the student record sheet:

A 066 857

Studienrichtung lt. Studienblatt:
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Masterstudium Raumforschung und
Raumordnung UG2002

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Hans-Heinrich Blotevogel

Vorwort und Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen recht herzlich bedanken, die mich bei der Anfertigung dieser Arbeit unterstützt haben.

Zuerst möchte ich mich bei meinen Eltern, Christine und Heinz, für jegliche Unterstützung im gesamten Verlauf meiner Studienzeit bedanken, ohne deren Hilfe ein Studium nur schwer möglich gewesen wäre.

Außerdem bedanke ich mich bei meinem Betreuer Univ.-Prof. Dr. Hans-Heinrich Blotevogel für die inhaltliche Unterstützung sowie die durchgehende Betreuung dieser Masterarbeit.

Auch bei all meinen Studienkollegen, möchte ich mich neben einer tollen generellen Studienzeit, für spannende inhaltliche Diskussionen, Tipps sowie für die mentale Unterstützung bedanken.

Zu guter Letzt gilt mein herzlicher Dank auch noch all meinen Freunden, die mich ebenfalls während meiner Studienzeit beziehungsweise speziell beim Verfassen dieser Masterarbeit unterstützt haben.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Arbeit auf die zusätzliche Formulierung der weiblichen Form verzichtet. Ich möchte deshalb darauf hinweisen, dass die ausschließliche Verwendung der männlichen Form explizit als geschlechterunabhängig verstanden werden soll.

Kurzfassung

Der Klimawandel sowie der demografische Wandel sind von Entwicklungen betroffen, dessen zukünftige Trends die Raumplanung respektive die Stadtplanung in den nächsten Jahren und Jahrzehnten vor große Herausforderungen stellen werden. Der fortschreitende Urbanisierungsprozess forciert die Problematik dieser Entwicklungen weiter, da einerseits der urbane Hitzeinseleffekt durch diese anthropogene Entwicklung in Agglomerationsräumen verstärkt wird und andererseits die Vulnerabilität in Städten aufgrund der steigenden Anzahl der Stadtbevölkerung weiter zunimmt. Die Thematik dieser Masterarbeit setzt sich mit dem Phänomen des urbanen Hitzeinseleffektes auseinander, der in Zusammenhang mit älteren Bevölkerungsstrukturen gebracht wird, um die altersspezifische Vulnerabilität bezüglich thermischer Hitzebelastung in Wien räumlich zu ermitteln.

Im ersten theoretischen Teil der Arbeit wird das Phänomen der urbanen Hitzeinsel aufgearbeitet und mögliche Maßnahmen der Stadtplanung in Bezug auf eine Minderung des UHI-Effektes diskutiert. Nach der thematischen Aufarbeitung der Altersstruktur (Kapitel 3) erfolgt in Kapitel 4 und 5 der direkte Bezug demografischer und klimatologischen Entwicklungen zur Stadt Wien.

Nach einer räumlichen Analyse der Altersstruktur sowie von hitzebelasteten Gebieten in Wien, findet in Kapitel 6 eine Typisierung von Raumeinheiten statt, wobei im abschließenden Teil Zielgebiete definiert werden, die sowohl durch eine alte Bevölkerungsstruktur als auch durch eine hohe thermische Hitzebelastung charakterisiert sind. Aufgrund der intensiven Hitzebelastung sowie der hohen altersspezifischen Vulnerabilität sind dies jene Gebiete, die besonders von den Auswirkungen des urbanen Hitzeinseleffektes betroffen sind und somit aus planerischer Sicht einen besonderen Stellenwert einnehmen (sollten). Als eines der Hauptergebnisse bei der räumlichen Analyse von demografischen und klimatologischen Ausprägungen, kann die Verteilung der Stadt Wien generell als günstig bewertet werden, da keine Gebiete identifiziert werden konnten, die sowohl von stärkster thermischer Hitzebelastung als auch zugleich von höchster altersspezifischer Vulnerabilität gekennzeichnet sind. In einer weiteren räumlichen Analyse mit veränderten (weniger strengen) Eingabeparametern, konnten schließlich Zielgebiete definiert werden, die sowohl von Hitzebelastung als auch von alter Wohnbevölkerung betroffen sind. Diese Zielgebiete können je nach Priorität in A- und B- Zielgebiete eingeteilt werden, wobei bei A-Zielgebieten zwischen nächtlicher und tageszeitlicher Hitzebelastung differenziert werden kann. Methodisch deckt eine Literaturanalyse den theoretischen Teil der Arbeit ab, während die räumlichen Analysen und Visualisierungen im praktischen Teil der Arbeit mit dem Programm "ArcGis" durchgeführt wurden. Des Weiteren wurde das Prinzip der *Fuzzy-Logic* bei der Abgrenzung von "alter Bevölkerungsstruktur" angewendet, sowie zwei Experteninterviews durchgeführt.

Abstract

Climate change and demographic change are affected by developments which future trends will provide the spatial planning respectively the urban planning with major challenges in the coming years and decades. The accelerated urbanization process strengthens the problems of these developments. On the one hand the urban heat-island-effect is enhanced by these anthropogenic developments in agglomeration areas and on the other hand due to the increasing urban population the vulnerability in cities is going to increase.

The subject of this master thesis deals with the phenomenon of urban heat-island-effect, which is associated with older structures of population to determine the age specific vulnerability in terms of thermal heat-stress in the city of Vienna.

The theoretical part of the master thesis explains the phenomenon of urban-heat-island and discusses possible measures of urban planning in terms of a reduction of the UHI-effect

While chapter 3 includes a thematic explanation of the age-structure, chapters 4 and 5 make references to demographic and climatological developments in the city of Vienna.

After a spatial analysis of age-structures and areas of heat-stress in Vienna, Chapter 6 provides a definition of spatial areas to target spatial units which are characterized by an ancient population structure as well as by a high thermal heat-stress .

Due to the intense heat-stress and a high age-specific vulnerability, those areas which are particularly affected by the impact of the urban heat-island-effect, should assume a special significance from a planning point of view .

One of the main results of the spatial analysis of demographic and climatological characteristics is, that the statement can be made, that the City of Vienna is generally characterized by a favorable distribution, since no areas were identified with the strongest thermal heat-stress and at the same time of the highest age-specific vulnerability as well.

In a further spatial analysis with modified (less strictly) input parameters, target areas can be defined, which are affected by heat-stress and old resident population as well.

These target areas can be grouped, according to priority, in A- and B- target areas, which can be differentiated between nocturnal and diurnal heat-stress.

Methodically covers an analysis of the literature from the theoretical part of the thesis, while the spatial analysis and visualization in the practical part of the theses is carried out with the program "ArcGis". Apart from a conducted expert interview, furthermore, the principle of fuzzy logic in the definition of old population structure has been applied.

Inhaltsverzeichnis

KURZFASSUNG	I
ABSTRACT	II
1 EINLEITUNG	1
1.1 Thema der Arbeit	1
1.2 Relevanz des Themas	1
1.3 Problemstellung	3
1.4 Arbeitsziel	4
1.5 Methodik.....	4
1.5.1 Operationalisierung	4
1.5.1.1 Forschungsfragen.....	5
1.5.1.2 ArcGis.....	6
1.5.1.3 Fuzzy-Logic.....	7
2 URBANER HITZEINSELEFFEKT	9
2.1 Wissenschaftliche Einordnung.....	9
2.1.1 Klimawandel	10
2.1.2 Klimaschutz.....	11
2.1.3 Klimawandelanpassung	13
2.2 Stadtklima	13
2.2.1 Städtische Wärmeinsel - Urban Heat Island	20
2.2.1.1 Räumliche Ausprägung	24
2.2.1.2 Zeitliche Ausprägung	26
2.2.2 Wirkfolgen von urbaner Erwärmung	27
2.2.2.1 Hitzestress und Gesundheit	29
2.2.2.2 Hitzestress und Morbidität	30
2.2.2.3 Hitzestress und Mortalität	31
2.2.3 Nachweis des Hitzeinseleffektes	33
2.3 Klimawandelgerechte Stadtentwicklung	34
2.3.1 Ideales Stadtklima.....	35
2.4 Maßnahmen zur Reduzierung städtischer Wärmeinseln.....	36
2.4.1 Grün- und Freiflächen.....	38
2.4.1.1 Wasserflächen	41
2.4.1.2 Freiflächensicherung.....	41
2.4.1.3 Schaffung von Parks.....	42
2.4.1.4 Dachbegrünung.....	44
2.4.1.5 Fassadenbegrünung.....	46

2.4.2	Durchlüftung.....	47
2.4.2.1	Frischluffflächen und -schneisen	47
2.4.2.2	Bebauungsgrenzen.....	48
2.4.3	Beschattung.....	48
2.4.3.1	Bäume	49
2.4.3.2	Künstliche Materialien	49
2.4.4	Albedoerhöhung	50
2.4.5	Gezielte Siedlungsstruktur	51
2.4.6	Kommunikation und Information	53
3	ALTERSSTRUKTUR.....	55
3.1	Fertilität.....	56
3.2	Mortalität	57
3.3	Migration.....	58
3.4	Veränderung der Bevölkerungsstruktur.....	58
3.5	Auswirkungen.....	59
4	DIE STÄDTISCHE WÄRMEINSEL IN WIEN	61
4.1	aktuelles Klima	61
4.1.1	Sommertage	62
4.1.2	Hitzetage	64
4.1.3	Tropennächte.....	65
4.1.4	Hitzeperioden	65
5	ALTERSSTRUKTUR IN WIEN.....	68
5.1	Altersstruktur in den Zählbezirken.....	68
5.2	Altersstruktur in den Zählgebieten	71
6	TYPISIERUNG VON RAUMEINHEITEN	76
6.1	Einteilung Gebiete mit unterschiedlicher Ausprägung des UHI	76
6.1.1	Sommertage	77
6.1.2	Hitzetage	79
6.1.3	Warme Nächte.....	80
6.1.4	Tropennächte.....	81
6.1.5	Stark Hitzegefährdete Gebiete	83
6.2	Einteilung Gebiete mit hoher Altersstruktur.....	88
6.2.1	Alte Bevölkerungsstruktur	88
6.3	Überschneidung demografischer und klimatischer Gebiete.....	90
6.3.1	Älteste Bevölkerungsstruktur und höchste Hitzebelastung	90

6.3.2	Alte Bevölkerungsstruktur und hohe Hitzebelastung.....	92
6.3.2.1	Altersstruktur (Kategorie 6 und 7) und Hitzebelastung (Kategorie 6 und 7)	92
6.3.2.2	Altersstruktur (Kategorie 7) und Hitzebelastung (Kategorie 6 und 7)	94
6.3.2.3	Altersstruktur (Kategorie 6 und 7) und Hitzebelastung (Kategorie 7)	95
6.3.3	Alte Wohnbevölkerung und warme Nächte	97
6.3.4	Alte Wohnbevölkerung und heiße Tage	98
6.4	Definition Zielgebiete	100
6.4.1	A-Zielgebiete (nächtlicher Hitzestress)	100
6.4.1.1	Zielgebiet A1	101
6.4.1.2	Zielgebiet A2	102
6.4.1.3	Zielgebiet A3	104
6.4.2	A- Zielgebiet (Hitzestress hoher Tagestemperaturen).....	106
6.4.3	B-Zielgebiete	108
7	ZUSAMMENFASSUNG	109
8	HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN UND AUSBLICK.....	111
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	114
	TABELLENVERZEICHNIS	116
	LITERATURVERZEICHNIS.....	117

1 Einleitung

1.1 Thema der Arbeit

Diese Masterarbeit setzt sich mit zwei unterschiedlichen Themenbereichen auseinander, die im physiogeographischen und im humangeographischen Bereich verankert sind. Konkret werden der klimatologische Aspekt des urbanen Hitzeinseleffektes sowie der demografische Aspekt der Altersstruktur in Zusammenhang gebracht. Die räumliche Forschungsebene stellt das Wiener Stadtgebiet dar (Gemeindegrenzen).

Da neben kranken oder geschwächten Personen vor allem ältere Menschen besonders von den Auswirkungen des urbanen Hitzeinseleffektes betroffen sind, ist neben der räumlichen Verteilung von stark hitzebelasteten Gebieten auch jene der altersspezifischen Wohnbevölkerung von besonderem Interesse.

Der Anspruch dieser Arbeit ist es, urbane Hitzeinseln und Bevölkerungsstrukturen von vorwiegend älteren Personen in Wien zu lokalisieren und nach ihrer Intensität einzuordnen und abzugrenzen. Die Datengrundlage für die Hitzebelastung liefern einerseits Projekte, die von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) unter der Federführung der Magistratsabteilung 18 der Stadt Wien durchgeführt worden sind und andererseits ein ebenfalls von der ZAMG zur Verfügung gestellter Modelldatensatz über relevante Klimaindizes.

Datensätze der Stadt Wien (Magistratsabteilung 18 – Stadtentwicklung und Stadtplanung und Magistratsabteilung 23 – Wirtschaft Arbeit und Statistik) stellen die Grundlage für demografisch räumliche Typisierungen von älteren Personen dar.

Eine Überschneidung der räumlichen Ausprägungen des urbanen Hitzeinseleffektes mit der älteren Bevölkerungsstruktur soll anschließend eine Typisierung von Raumeinheiten, die in bestimmte Zielgebiete definiert werden, ergeben. Diese Zielgebiete sind somit jene Raumeinheiten im Wiener Stadtgebiet, die besonders hitzebelastete Gebiete mit Flächen in welchen eine hohe Konzentration von älterer Wohnbevölkerung herrscht, lokalisiert. Aufgrund der intensiven Hitzebelastung sowie der hohen Vulnerabilität sind dies jene Gebiete, die besonders von den Auswirkungen des urbanen Hitzeinseleffektes betroffen sind, und somit aus planerischer Sicht einen besonderen Stellenwert einnehmen (sollten).

Die Benennung des Titels lautet "Urbaner Hitzeinseleffekt und altersspezifische Vulnerabilität – Eine Typisierung von Raumeinheiten in Wien".

1.2 Relevanz des Themas

Die Thematik dieser Masterarbeit setzt sich mit dem Phänomen des urbanen Hitzeinseleffektes auseinander, der speziell für ältere Personen eine hohe Bedeutung hat, da diese besonders von

den Auswirkungen betroffen sind. Die Relevanz dieser Thematik ergibt sich aus verschiedenen Aspekten und Entwicklungen.

Es ist ein weltweites Phänomen, dass die Bevölkerung in urbanen Räumen gegenüber der ruralen deutlich zunimmt. So lebt laut Vereinten Nationen seit dem Jahr 2007 das erste Mal in der Menschheitsgeschichte die Mehrheit der globalen Wohnbevölkerung in Agglomerationsräumen. In Mitteleuropa ist dieses Phänomen weitaus stärker ausgeprägt als im weltweiten Durchschnitt, so leben hier bereits rund 75% der Menschen in urbanen Räumen. Der Trend der Verstädterung, der in Europa beziehungsweise in Österreich im Zuge der Industrialisierung begann, wird sich auch in weiterer Zukunft fortsetzen. Somit erhöht sich auch die Vulnerabilität bezüglich der Auswirkungen von urbanen Hitzeinseleffekten, da eine immer größere Anzahl von Menschen von diesem Phänomen betroffen sein wird.

Ein weiterer essenzieller Aspekt, der die Relevanz des Themas unterstreicht, ist der demografische Wandel, der sich in vielen Bereichen unserer Gesellschaft auswirken wird. Diese nachhaltige Änderung der Bevölkerungsstruktur hat zur Folge, dass aufgrund des steigenden Anteils von älteren Personen eine größere Anzahl stärker von den Auswirkungen des urbanen Hitzeinseleffekts (UHI) betroffen sein wird.

Diese Schlussfolgerung ist damit zu begründen, dass vor allem alte Personen aus gesundheitlicher Betrachtungsweise besonders von Hitzestress betroffen sind. Verschiedene Studien belegen erhöhte Mortalitätsrisiken älterer Personen durch Hitze in Deutschland, Frankreich, Italien sowie in den USA (vgl. JAHN et al., 2013, S.11). Als drastisches Beispiel kann der Hitzesommer 2003 herangezogen werden, der in Europa zusätzlich mindestens 25.000 Sterbefälle verursachte. Die WHO (2004) veröffentlichte, dass in Europa im Sommer 2003 rund 35.000 Menschen mehr gestorben sind als im durchschnittlichen Mittel, während eine französische Studie von ROBINE (et al., 2007) sogar von rund 70.000 resultierenden Todesfällen aus der damaligen Hitzewelle in Europa ausgeht. In Wien kommt HUTTER (2007) nach seinen Untersuchungen auf 180 Todesfälle, die der damaligen Hitzeperiode geschuldet wurde. Dieser drastische Sommer von 2003 hatte zur Folge, dass einige Länder wie Italien oder Frankreich Hitzepläne beziehungsweise Hitzefrühwarnsysteme erstellten um für diesbezügliche Auswirkungen in Zukunft besser vorbereitet zu sein.

Agglomerationsräume sind besonders von Hitzewellen betroffen, da aufgrund der spezifischen Stadtstruktur wärmere Temperaturen resultieren können. Durch den fortschreitenden Klimawandel werden die Ausprägungen des UHI weiter verstärkt. Sowohl die Durchschnittstemperatur, als auch die durchschnittliche Anzahl von Sommer- und Hitzetagen sowie die Nachttemperaturen

werden in vielen Teilen Europas laut unterschiedlichen Szenarien zunehmen, wobei Wien von diesem Trend nicht ausgenommen ist.

Zusammenfassend lässt sich somit feststellen, dass die generelle Zunahme von Personen, die in Städten wohnhaft sind und der demografische Wandel die Vulnerabilität bezüglich Auswirkungen von Hitzebelastungen ansteigen lässt. Zusätzlich zu diesen beiden Trends werden sich Hitzeperioden in weiterer Zukunft vor allem aufgrund des fortschreitenden Klimawandels weiter verschärfen, welche Großstädte wie Wien vor besondere Herausforderungen stellen wird.

1.3 Problemstellung

Es gibt weitreichende Untersuchungen, die entweder den urbanen Hitzeinseleffekt oder demografische Prozesse erforschen, allerdings beschäftigten sich bisher nur wenige Fragestellungen damit beide Aspekte parallel zu berücksichtigen. Es ergibt sich aufgrund der kurz beschriebenen Trends die Problemstellung, dass räumliche Hitzeinseln und Bevölkerungsstrukturen in der Stadt gemeinsam lokalisiert werden müssten, um anschließend gezielte Maßnahmen in den jeweiligen Problembereichen setzen zu können. Aufbauend darauf stellt sich die Frage wie zukünftig prognostizierende Entwicklungen dieser beiden Aspekte im Wiener Stadtgebiet aussehen werden.

Diese Masterarbeit befasst sich damit, die Aspekte des urbanen Hitzeinseleffektes sowie der altersspezifischen Bevölkerungsstruktur kombiniert zu betrachten. Der Anspruch dieser Arbeit ist es, urbane Hitzeinseln in Wien zu lokalisieren und nach ihrer Intensität einzuordnen beziehungsweise abzugrenzen. Die Datengrundlage dazu liefern verschiedene Projekte, die von der ZAMG unter der Federführung der MA-18 (SISSI/ SCOPUS-I) absolviert worden sind. Des Weiteren sollen ebenfalls räumliche Typisierungen von älteren Personen lokalisiert und abgegrenzt werden. Die Datengrundlage dazu wird von den Wiener Magistratsabteilungen 18 und 23 zur Verfügung gestellt. Eine Überschneidung dieser beiden Datensätze soll schließlich eine Typisierung von Raumeinheiten ergeben, die besonders heiße Gebiete mit Regionen in denen eine hohe Konzentration von älterer Wohnbevölkerung herrscht, lokalisiert. Konkret werden demografische Daten auf unterschiedlichen räumlichen Maßstabsebenen (Zählbezirke, Zählgebiete und Baublöcke) ausgewählt, welche schließlich nach unterschiedlichen Altersindizes interpretiert analysiert und visualisiert werden. Aufgrund der intensiven Hitzebelastung sowie der hohen Vulnerabilität, sind dies jene Gebiete, die besonders von den Auswirkungen des urbanen Hitzeinseleffektes betroffen sind und somit aus planerischer Sicht einen besonderen Stellenwert einnehmen.

1.4 Arbeitsziel

Der Schwerpunkt dieser Masterarbeit liegt auf der Lokalisation von Raumeinheiten in Wien, die sowohl eine alte Bevölkerungsstruktur als auch eine hohe Hitzebelastung aufweisen. Konkret werden demografische Daten auf unterschiedlichen räumlichen Maßstabsebenen ausgewählt und nach unterschiedlichen Altersindizes interpretiert analysiert und visualisiert. Klimatologische Auswertungen erfolgen basierend auf von der ZAMG zur Verfügung gestellten Modelldatensätze.

Besonders interessant sind jene Gebiete die sowohl stark von Hitze betroffen sind, als auch jene in denen eine vorwiegend alte Bevölkerungsstruktur vorherrschend ist. Das Arbeitsziel ist es somit, Zielgebiete zu definieren, die sowohl eine hohe Altersstruktur aufweisen, als auch stark von thermischen Belastungen betroffen sind. Das Ergebnis der unterschiedlichen Überschneidungen stellt schließlich die Einteilung von "A-" und "B-Zielgebieten" dar. "A-Zielgebiete" sind diejenigen Gebiete, die am Stärksten von den Aspekten Hitzebelastung hoher Altersstruktur betroffen sind, während "B-Zielgebiete" eine Stufe darunter einzuordnen sind und somit einen nicht ganz so hohen Stellenwert einnehmen.

1.5 Methodik

Die methodische Vorgehensweise beruht auf einer vorgeordneten Literatur- und Dokumentenanalyse, die den theoretischen Teil der Arbeit abdecken soll. In diesem primären Part erfolgt eine wissenschaftliche Einordnung in die allgemeine Thematik, sowie eine Aufarbeitung der theoretischen Grundlagen des urbanen Hitzeinseleffektes sowie zur altersspezifischen Bevölkerungsstruktur. Der Zusammenhang zwischen Hitzebelastung und deren Auswirkung die menschliche Gesundheit wird in den Kapiteln 2.2.2.1 bis 2.2.2.3 aufgearbeitet.

Im praktischen Teil erfolgt eine Analyse, Interpretation sowie Aufbereitung und Visualisierung von demografischen und klimatologischen Daten, welche mit dem Programm „ArcGis“ durchgeführt wurden. Die wichtigsten methodischen Schritte werden in Kapitel 1.5.1.2 erläutert.

Bei der Abgrenzung beziehungsweise der Definition einer alten Bevölkerungsstruktur wurde die Methodik der "Fuzzy-Logic" (siehe Kapitel 1.5.1.3) verwendet. In Kapitel 6.3 erfolgen die Lokalisation sowie die Visualisierung der Typisierung von Raumeinheiten in welchen thermische und demografische Aspekte überschritten werden um Zielgebiete zu erhalten.

1.5.1 Operationalisierung

Zur Operationalisierung der Thematik können drei Hauptforschungsfragen formuliert werden, welche in weitere Nebenfragen unterteilt werden. Die Hauptfragen stellen den roten Faden im Rahmen dieser Masterarbeit dar.

Die erste Frage deckt dabei den theoretischen Teil ab, während sich die nächste Frage auf die praktische räumliche Analyse bezieht. Die letzte Frage bewegt sich auf der normativen Ebene und soll Handlungsempfehlungen beinhalten.

1.5.1.1 Forschungsfragen

(1) Wie sieht eine optimale Stadtstruktur aus, um dem Hitzeinseleffekt bestmöglich gegenzu-steuern?

- Welche Maßnahmen geben die unterschiedlichen Theorien/Auffassungen zur Stadtentwicklung bezüglich der Minderung des Hitzeinseleffekts vor?
- Welche Maßnahmen ergeben Synergieeffekte mit anderen Zielen der Stadtplanung?
- Welche anderen Ziele der Stadtplanung stehen im Widerspruch zu Maßnahmen zur Minderung des Hitzeinseleffekts?

(2) Welche Gebiete in Wien sind sowohl stark hitzegefährdet und weisen zudem eine alte Bevölkerungstruktur auf?

- Hinsichtlich welcher Parameter/Klimaindizes können Hitzebelastungen sinnvoll definiert und abgegrenzt werden?
- Hinsichtlich welcher Parameter/Indizes können "alte Bevölkerungsstrukturen" sinnvoll definiert und abgegrenzt werden?
- Wo können stark hitzegefährdete Gebiete in Wien lokalisiert werden?
- Wo können "alte Bevölkerungsstrukturen" in Wien lokalisiert werden?

(3) Welche Maßnahmen können in Gebieten mit hoher Vulnerabilität sowie starker Hitzegefährdung getroffen werden?

- Welche konkreten stadtplanerischen Maßnahmen können in den Problemgebieten innerhalb bestehender und geplanter Siedlungsflächen gesetzt werden?

Die weitere methodische Vorgehensweise zur Überschneidung demografischer und klimatologischer Aspekte im praktischen Teil setzt sich aus fünf wesentlichen aufeinanderfolgenden Schritten zusammen:



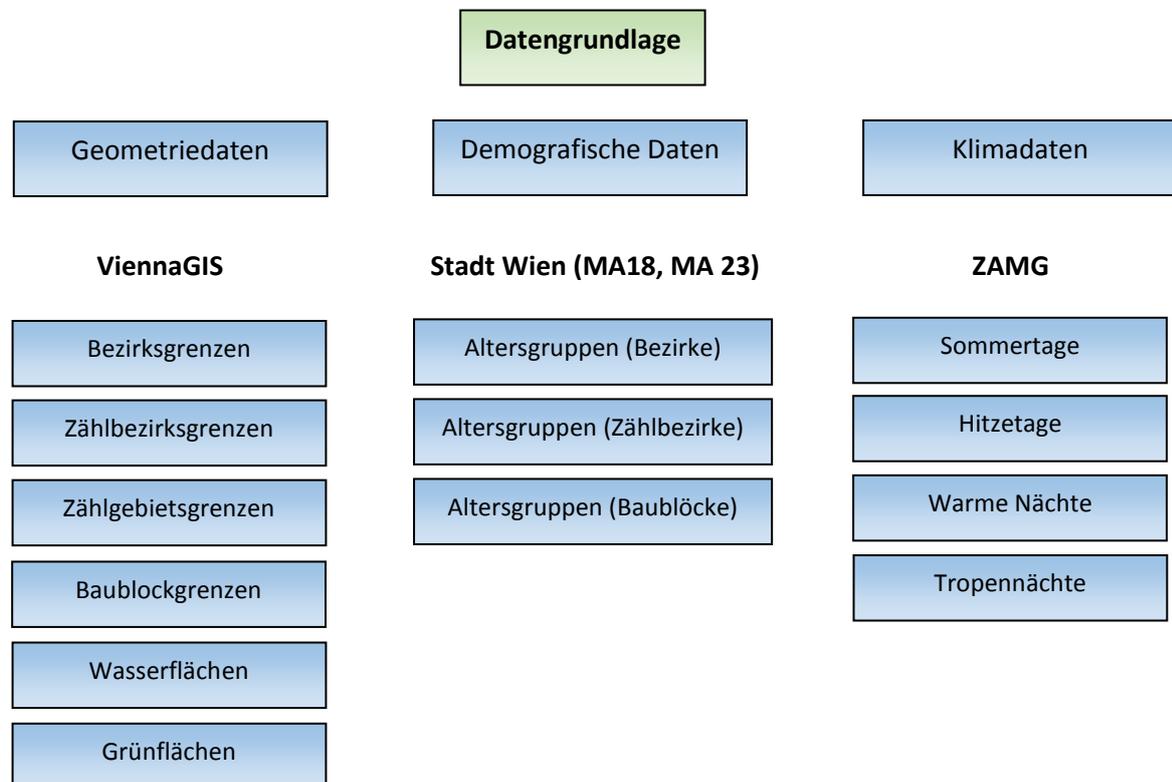
Die Datenaufbereitung bei den demografischen Daten beinhaltet verschiedene Berechnungen in Excel (z.B. *Fuzzy-Werte*).

Bei der Datenaufbereitung der klimatischen Daten erfolgte in einem ersten Schritt die Umwandlung der NC-Files in Rasterdaten um eine räumliche Darstellung zu ermöglichen.

Im nächsten Schritt wurden die verschiedenen Datensätze in das gleiche Bezugssystem transferiert. Den bereits verknüpften Geometriedaten erfolgte die Zuweisung in das Koordinatensystem *MGI-Austria-Lambert*. Die klimatischen Rasterdaten wurden anschließend anhand von markanten Punkten an den Geometriedaten georeferenziert.

1.5.1.2 ArcGis

Nun werden die wichtigsten Schritte im "ArcGis" erläutert. Die Datengrundlage ist in folgendem Schema dargestellt:



Die erforderlichen Daten wurden von ViennaGis (Geometriedaten), der Stadt Wien (demografische Daten) beziehungsweise von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (Klimadaten) zur Verfügung gestellt.

Nach der Datenaufbereitung erfolgte die Bearbeitung einer *Object-ID* um die demografischen Daten nach der Dateneingabe mit den Geometriedaten zu verknüpfen („join“).

Die Datenanalyse beinhaltet in erster Linie eine zweckmäßige Kategorisierung der demografischen sowie der klimatischen Datensätze. Bei der Einteilung wurden jeweils sieben verschiedene Kategorien verwendet. Kategorie eins steht dabei für die geringste Ausprägung (jüngste Altersstruktur sowie geringste Hitzebelastung) während Kategorie sieben die höchste Ausprägung (höchste Altersstruktur beziehungsweise die stärkste Hitzebelastung) impliziert.

Um die Objektivität bei der Kategorisierung möglichst hoch zu halten, wurde darauf geachtet, dass sich der Median in Kategorie vier (durchschnittliche Ausprägungen bei Altersstruktur und Hitzebelastung) befindet. Außerdem wurden sowohl „natural breaks“ als auch die Umsetzung in möglichst gleich große Intervalle der jeweiligen Kategorien berücksichtigt.

Den Hauptschritt bei der Analyse stellten schließlich die räumlichen Überschneidungen dar.

So wurden alle Ausprägungen der Kategorie sieben der Klimaindizes (Sommer- Hitzetage, warme Nächte und Tropennächte) miteinander verschnitten um Gebiete mit der höchsten Hitzebelastung zu erhalten.

Diese wurden abschließend mit Gebieten der Kategorie sieben der Altersstruktur überschritten.

In weiteren Analyseschritten erfolgten zusätzliche Überschneidungen von räumlichen Ausprägungen der Altersstruktur mit Gebieten, die von urbaner Erwärmung betroffen sind.

Abschließend wurden die Überschneidungsgebiete graphisch aufbereitet und dargestellt sowie in A- und B-Zielgebiete unterteilt.

1.5.1.3 Fuzzy-Logic

Das Prinzip der Fuzzy-Logic wurde gewählt um die Repräsentativität bei der Abgrenzung der Altersstruktur zu erhöhen. Das primäre Ziel ist es, die Problematik der scharfen Abgrenzung beim biologischen Alter hinsichtlich der Definition in „alt“ und „jung“ zu berücksichtigen.

Um Personen als „alt“ zu klassifizieren, können je nach Thematik verschiedene Schwellenwerte herangezogen werden. Oft wird dabei die Grenze zwischen „alt“ und „jung“ mit dem biologischen Alter von 65 Jahren festgesetzt, was vor allem für sozialökonomische Fragestellungen eine häufig verwendete Abgrenzung darstellt.

In der Thematik bezüglich Vulnerabilität von thermischer Belastung in Zusammenhang mit dem Alter gestaltet sich eine sinnvolle Klassifizierung als schwierig. Würde man hier ausschließlich das

biologische Alter von beispielsweise 65 Jahren heranziehen, so würde dies einen eindeutigen Zusammenhang zwischen Repräsentationsfähigkeit der Daten hinsichtlich der abzubildenden Information unterstellen, der in der Praxis in dieser vereinfachten Form nicht gegeben ist. (65= alt, 64= jung) (vgl. STADT WIEN, 2006).

Um die Komplexität bei der Altersabgrenzung zu berücksichtigen, wurde das Modell der *Fuzzy-Logic* angewendet, welches es ermöglicht eine scharfe Grenze durch einen kontinuierlichen Übergangsbereich flexibler und somit realistischer zu gestalten. Dies erfolgt mit der Gewichtung des jeweiligen Alters nach einem bestimmten Schlüssel, welcher in Kapitel 5.2 in konkreter Form beschrieben wird.

Um die Repräsentativität beziehungsweise die Vergleichbarkeit der alten Wohnbevölkerung zu erhöhen, wurden der *relative Fuzzy-Wert* sowie der *absolute Fuzzy-Wert* berechnet. Eine Kombination dieser beiden Werte ergibt schließlich den *Fuzzy-Gesamt-Wert*, der für die Überschneidungen mit den klimatischen Datensätzen verwendet wurde. Wie diese Werte genau berechnet wurden, wird ebenfalls in Kapitel 5.2 erläutert.

2 Urbaner Hitzeinseleffekt

2.1 Wissenschaftliche Einordnung

Der urbane Hitzeinseleffekt ist ein bereits länger bekanntes Phänomen, das erstmals im Jahr 1833 dokumentiert wurde, als HOWARD (1833) Lufttemperaturen an Stationen in London und dessen Umland auswertete.

Der urbane Hitzeinseleffekt befindet sich im Forschungsspektrum der Stadtklimatologie, welche Veränderungen des Klimas durch urbane Strukturen untersucht. Konkret ist somit der Zusammenhang durch anthropogene Tätigkeiten und durch Bebauung verursachte Auswirkungen wie Straßen oder Gebäuden auf das vorherrschende lokale Klima zentraler Forschungsgegenstand in der Stadtklimatologie. Somit kann die Thematik im Spannungsfeld der Physio- und Humangeographie eingeordnet werden, da sowohl meteorologische als auch anthropogene Einflüsse das Phänomen des urbanen Hitzeinseleffekts bestimmen. Da sich der Effekt der urbanen Erwärmung auf die Aktionsräume des Menschen auswirkt, beschäftigen sich auch Bereiche der Stadt-, Siedlungs- und Bevölkerungsgeographie sowie die Raum- respektive die Stadtplanung mit diesem Forschungsgegenstand.

Weitere Schnittstellen bezüglich dieser Thematik betreffen Wissenschaften zur Soziologie (Stadtforschung), Ökologie (z.B. Ökologische Studien zur Umweltforschung), den Wirtschaftswissenschaften (z.B. Immobilienentwicklung verschiedener Stadtteile) sowie zu den Bauwissenschaften (z.B. Architektur). Bezüglich des Zusammenhangs zwischen thermischer Belastung und der menschlichen Gesundheit kann die Human-Biometeorologie, die sich mit den Auswirkungen von Klima, Wetter und Witterung sowie auch der Luftqualität auf den menschlichen Organismus auseinandersetzt, als adäquate Fachdisziplin herangezogen werden (vgl. JENDRITZKY, 1992).

Die Bedeutung der Human-Biometeorologie nimmt dabei in der angewandten Stadtklimatologie eine immer größere Bedeutung ein (vgl. KUTTLER, 1999).

Da im Rahmen dieser Masterarbeit der räumliche Aspekt im Vordergrund steht, kommt der Raumordnung aufgrund ihrer koordinierenden und sektorübergreifenden Funktion eine entscheidende Rolle zu. Dementsprechend gilt es klimatologische Fragestellungen mit Konzepten zur Siedlungs- und Freiraumentwicklung, sowie generellen Neubau- und Sanierungsprojekten bestmöglich abzustimmen. Konkret kann die Stadtplanung im Bereich der Freiflächensicherung, einer intelligenten vorausschauenden Planung der Siedlungsentwicklung, die klimatologische Aspekte impliziert, sowie einer adäquaten Bebauungsstruktur, ihren Beitrag leisten. Außerdem können gezielte punktuelle Maßnahmen (z.B. Beschattungen, Dachbegrünungen, etc.,...) in etwaigen „Problemgebieten“ gesetzt werden. Das Ziel der Stadtplanung muss es somit sein, in Abwägungsprozessen bei räumlichen Fragestellungen die thermische Komponente ebenso zu

berücksichtigen wie Interessen aus anderen relevanten Bereichen, um nachhaltige Strukturen schaffen zu können.

Dies betrifft unter anderem Handlungsmaßnahmen, die sowohl in den Bereich der Klimawandelanpassung als auch der "mitigation" fallen, was in den folgenden Kapiteln 2.1.2 und 2.1.3 näher erläutert wird.

2.1.1 Klimawandel

Im Rahmen dieser Arbeit stellen zukünftige Veränderungen des Klimas eine wichtige Rahmenbedingung dar, da das ursprünglich hausgemachte Phänomen des urbanen Hitzeinseleffektes durch den fortschreitenden Klimawandel beeinflusst wird.

Zukunftsszenarien in Mitteleuropa prognostizieren zunehmende Temperaturen, was sich auch auf die Ausprägungen der städtischen Überwärmung auswirken wird. Hinsichtlich der weltweiten Durchschnittstemperaturen war 2014 das wärmste Jahr seit globalem Aufzeichnungsbeginn (1880), der Juli 2015 ging sogar als heißester Monat aller Zeiten in die klimatologische Messgeschichte ein.

Im wissenschaftlichen Kontext beschäftigt sich vor allem die Klimaforschung mit Aspekten des Klimawandels, der als Veränderung des Klimas über einen längeren Zeitraum bezeichnet wird. Die derzeitige Periode der überwiegenden Warmzeiten und tendenziellen Erwärmung in der Nähe der Erdoberfläche wird als Holozän bezeichnet. Grundsätzlich wird zwischen einem natürlichen und einem anthropogen beeinflussten Klimawandel differenziert. Der natürliche Klimawandel umfasst vor allem das astronomische Zusammenspiel von Erde und Sonne (Milankovic-Zyklen) während im anthropogen beeinflussten Klimawandel primär der Mensch für spezifische Modifikationen in der atmosphärischen Zusammensetzung von Treibhausgasen verantwortlich gemacht wird. Konkret wird eine Verstärkung des natürlichen Treibhauseffektes, vor allem durch Verbrennungsprozesse fossiler Brennstoffe hervorgerufen. Agglomerationsräume nehmen dabei sowohl als verursachender als auch als betroffener Akteur eine besondere Stellung in der Klimawandeldebatte ein.

Global gesehen werden mit dem Klimawandel unterschiedliche aber teils drastische Auswirkungen verbunden. Diese Wirkfolgen betreffen die Wasserverfügbarkeit, Ökosysteme, den Meeresspiegelanstieg, sowie Zunahmen der Extremereignisse wie Starkniederschlägen, Hitzewellen und Dürren.

Gemäß dem „Intergovernmental Panel on Climate Change“ (2014) müssen die globalen Treibhausgasemissionen bis 2050 um 50 Prozent im Vergleich zum Niveau von 1990 verringert werden, um einen Temperaturanstieg von mehr als 2°C zu verhindern.

Weil klimarelevante Fragestellungen als interdisziplinär angesehen werden müssen, da die verschiedensten Fachbereiche von dieser Thematik betroffen sind, gestaltet sich auch die Abgrenzung im wissenschaftlichen Kontext als vielfältig. Der Klimawandel beeinflusst und verändert den Lebensraum nachhaltig. Da sich die Raumordnung mit der Gestaltung des Lebensraums und der darin stattfindenden Aktivitäten beschäftigt, ist sie als wesentlicher Akteur angehalten, sich mit den Folgen der Klimaveränderung auseinanderzusetzen. In urbanen Räumen ist primär die Stadtplanung für räumliche Entwicklungsprozesse verantwortlich.

Die Leitfrage, die dabei stets im Hintergrund steht ist, welchen Beitrag die Raumplanung bezüglich des Klimawandels leisten kann. Dementsprechend ist in urbanen Räumen vorwiegend die Stadtplanung gefordert mit den zu erwartenden Auswirkungen umzugehen und sinnvolle Maßnahmen zu setzen.

Das Phänomen der urbanen Erwärmung wird durch den fortschreitenden Klimawandel weiter verstärkt, was bedeutet, dass Städte besonders von den Folgen, wie Hitzewellen, betroffen sein werden.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen dem Klimawandel und räumlicher Planung besteht im betrachteten Zeithorizont (vgl. STOCK und WALKENHORST, 2012, S. 13). Während sich räumliche Planungen eher mit kurzen Zeiträumen bis zu einem oder zwei Jahrzehnten auseinandersetzen, betrifft der Klimawandel weitaus längere Zeitspannen. Maßnahmen in der Raumentwicklung bezüglich dieser Thematik sind aufgrund der langfristigen Veränderungen schwierig einzuplanen, hinzukommt, dass Zukunftsszenarien mit gewissen Unsicherheiten verbunden sind.

Im Umgang mit dem Klimawandel wird zwischen den zwei verschiedenen Dimensionen oder Handlungssträngen, "mitigation" (Minderung) und "adaptation" (Anpassung) unterschieden.

2.1.2 Klimaschutz

Bei der Mitigation ist das Ziel, dem anthropogenen Treibhauseffekt in dessen Ursache gegenzusteuern, was sich vor allem in Richtung Senkung der CO₂-Emissionen widerspiegelt. Konkret wurde in der Klimapolitik das „2°C-Ziel“ festgelegt, welches besagt, dass die durchschnittliche globale Erwärmung gegenüber der vorindustriellen Situation 2°C nicht überschreiten darf. Dieser Schwellwert gilt als Limit, der bei Überschreiten ein Kippen des globalen Klimas, durch Selbstverstärkungsprozesse verursacht, hervorrufen könnte (vgl. GÄLZER, 2001). Dadurch in Gang gesetzte irreversible Vorgänge könnten schließlich aus anthropogener Sicht nicht mehr umgekehrt werden. Um dieses Ziel zu erreichen wurde ein Schwellenwert von 450 ppm für den CO₂-Anteil errechnet, mit dem das „2°C-Ziel“ gerade noch erreicht werden könnte. (vgl. IPCC, 2014)

Im Bereich der Mitigationsmaßnahmen werden Strategien zur Senkung der Treibhausgasemissionen, zur Steigerung der Energieeffizienz, zu Umstellungen auf Ökonomie und zur Forcierung

erneuerbarer Energieträger angestrebt. Im Wesentlichen soll der anthropogene Klimawandel eingeschränkt werden, was Koordinierungsmaßnahmen verschiedener Politikfelder wie Klima, Energie, Wasserbewirtschaftung, Landwirtschaft, Wohnen, Tourismus und Verkehr erfordert.

Grün- und Freiräume weisen beispielsweise die Eigenschaft auf, eine sinkende Wirkung des Kohlendioxidgehaltes in der Luft zu haben. Des Weiteren verhindern bestehende Grünflächen im Vergleich zu Siedlungs- oder Verkehrsflächen nachgelagerte CO₂-Emissionen.

Ein direkter Beitrag zum Klimaschutz in der räumlichen Planung wird vielfach durch eine Förderung von CO₂-mindernden Maßnahmen bei Raum- und Siedlungsstrukturen geleistet (vgl. BIRKMANN, 2009, S. 2f). Auch unter dem Aspekt der Ökomobilität werden die Bereiche Wohnen, Arbeiten, Bildung, Erholung und Versorgung so verknüpft, dass möglichst kurze Wege und somit wenige Emissionen entstehen. Dem Ausbau örtlicher ÖPNV-Netze kommt somit ebenfalls eine wichtige Bedeutung zu. Für ein besseres Klima sorgen außerdem Begrünungs- und Bepflanzungsmaßnahmen. Nicht zu vergessen ist der Einsatz erneuerbarer Energieträger, die durch die zusätzliche Flächeninanspruchnahme unter anderem auf die Leistung der Raumordnung angewiesen sind. Nachgefragte Formen sind vor allem die Wasserkraft, Wind-, Sonnenenergie und die Biomasse. Der Beitrag der Raumordnung beinhaltet hier in erster Linie die Flächenvorsorge für Standorte von erneuerbaren Energien.

Speziell in der Klimawandelthematik wird eine potentielle zukünftige Gefahr für den Menschen und dessen Raumentwicklung gesehen. Direkte Folgeerscheinungen der Klimaveränderung stellen somit ein gewisses Gefahrenpotential dar, da Prozesse in Gang gesetzt werden, die drastische und irreversible Auswirkungen auf den Siedlungsraum des Menschen haben könnten. In diesem Kontext sind vor allem Naturkatastrophen wie Hochwässer, Starkniederschlagsereignisse, gravitative Massenbewegungen, der Anstieg des Meeresspiegels, Hitzewellen sowie Dürren zu erwähnen.

Durch eine vorausschauende Gestaltung des Raumes im Rahmen von Maßnahmen auf örtlicher sowie auch auf überörtlicher Ebene soll das Gefahrenpotential durch Naturgefahren reduziert werden. Konkrete raumplanerische Anwendungsbereiche betreffen beispielsweise hochwasserangepasste Flächenwidmungspläne, entsprechende Abflusswege und Rückhalteräume bei Starkniederschlägen, Gefahrenkarten vor Massenbewegungen in Siedlungsgebieten und Freiraumerhaltungszonen für Frischluftschneisen zur Kühlung bei Hitzewellen.

Der Handlungsstrang der Mitigation spielt für das Phänomen des urbanen Hitzeinseleffekts eine beträchtliche übergeordnete Rolle. Der ursächlich hausgemachte UHI-Effekt wird durch den voranschreitenden Klimawandel weiter verstärkt, wobei generell Agglomerationsräume in den mittleren Breiten besonders davon betroffen sind.

2.1.3 Klimawandelanpassung

Die Klimawandelanpassung hat das Ziel auf bereits unvermeidbare Folgen des Klimawandels zu reagieren. Dieser Ansatz bezieht sich somit auf Konzepte, Strategien und Maßnahmen die unvermeidbare Folgen des Klimawandels betreffen, also jene Auswirkungen die selbst bei einem utopischen Stopp aller CO₂-Emissionen eintreffen würden. Verschiedene wissenschaftliche Studien zeigen beispielsweise, dass selbst, wenn alle weltweiten Emissionen der Treibhausgase gestoppt werden würden, eine weitere Temperaturerhöhung nicht aufzuhalten wäre (vgl. *FRIEDLINGSTEIN und SOLOMON, 2005*).

Ziel der Klimawandeladaption ist es, die Vulnerabilität der negativen Auswirkungen des Klimawandels zu reduzieren. In Agglomerationsräumen ist die stärkere Erwärmung aufgrund der speziellen Stadtstruktur eine wesentliche Folgeerscheinung des Klimawandels, welche zu den sogenannten Hitzeinseln führt. In dieser Problematik ist unter anderem die Stadtplanung angehalten Maßnahmen zu setzen, die dem Handlungsstrang der Klimawandelanpassung zuzuordnen sind. Grün- und Freiräume haben hier die Eigenschaft als „Durchlüftungszonen“ zu dienen, CO₂ zu speichern und durch Verdunstung natürliche Abkühlung zu schaffen.

Weitere Maßnahmen, die der Klimawandelanpassung im Zuge der Reduzierung des urbanen Hitzeinseleffektes zugeordnet werden können, sind Handlungen die Albedomaximierungen, Beschattungen und Dach- und Gebäudebegrünungen betreffen. Zudem weisen bestimmte Stadt- und Gebäudestrukturen sowie geringe Baudichten abkühlende Eigenschaften auf.

Es ist wichtig die beiden Handlungsstränge der Mitigation und Adaption nicht konträr zu sehen, sondern entsprechende Maßnahmen als komplementär zu betrachten (vgl. *ZUVELA-ALOISE, 2013*). Eine genauere Erläuterung von Maßnahmen der Stadtplanung zur Minderung von urbanen Wärmeinseln erfolgt in Kapitel 2.4.

2.2 Stadtklima

Der Begriff Stadt kann je nach Forschungszugang unterschiedlich abgegrenzt und definiert werden. Geläufige Abgrenzungen einer Stadt können die administrativen Grenzen, über die Verfügbarkeit des Stadtrechtes sowie über gewisse Schwellenwerte, wie beispielsweise der Einwohnerzahl festgelegt werden. In Bezug auf den urbanen Hitzeinseleffekt beziehungsweise in weiter übergeordneter Perspektive ist allerdings die Bebauung ein entscheidendes Kriterium bei der Abgrenzung beziehungsweise der Definition von Stadt.

Das Stadtklima ist ein lokales Klima, das in urbanen Siedlungsräumen auftritt, und sich von jenem der nicht bebauten Umgebung unterscheidet. Die regionale Klimasituation unterliegt somit Veränderungen fast aller klimatischen Parameter, welche durch das spezifische Klima in einer

Stadt hervorgerufen wird. Speziell größere Städte sind aufgrund der anthropogen geschaffenen Bebauungsweise durch lokalklimatische Veränderungen und lufthygienische Modifikationen von einem eigens adaptierten Stadtklima betroffen. (vgl. HENNINGER, 2001, S.63)

Das Stadtklima kann als *"...ein mit der Bebauung in Wechselwirkung stehendes Mikro- und Mesoklima, das zusätzlich durch technisch produzierte Abwärme und anthropogene atmosphärische Spurenstoffe modifiziert wird"* definiert werden (KUTTLER, 2009, S. 193).

Das Stadtklima kann in eine lufthygienische (chemische und physikalische Qualität) sowie in eine thermische Komponente (gesamte Energetik) auf gesplittet werden, wobei eine Koppelung über den urbanen Luftmassenaustausch erfolgt.

Im Rahmen dieser Masterarbeit steht aufgrund des gewählten Themas die thermische Komponente im Vordergrund, während die lufthygienische Komponente nicht näher behandelt wird.

Der thermische Wirkungskomplex des Stadtklimas umfasst alle meteorologischen Parameter, die sich thermophysiologisch auf den Menschen auswirken und wird schließlich in Kapitel 2.2.1 näher erläutert.

Die urbanen Differenzen des Stadtklimas zur natürlichen ruralen Umgebung ergeben sich vor allem durch die dreidimensional stark versiegelte Reliefstruktur, erhöhte anthropogene Luftbeifügungen sowie dem geringeren Vegetationsanteil.

Aufgrund des Wandels des globalen Klimas verändern sich auch lokale Gegebenheiten des spezifischen Klimas von urbanen Räumen, wodurch auch von einem Stadtklimawandel gesprochen werden kann, der sich vor allem in Auswirkungen auf den Wärmehaushalt widerspiegelt.

Das Klima in der Stadt trägt zu einem wesentlichen Teil zur Lebensqualität der Bevölkerung bei, so wirken sich heiße Tage und Nächte auf die Gesundheit sowie die Leistungsfähigkeit des Menschen aus, wobei vor allem ältere und kranke Personen von Hitzeperioden besonders betroffen sind.

Nun sollen die Ursachen, die das Klima der Stadt beeinflussen, erläutert werden, welche in folgender Tabelle 1 veranschaulicht werden. Je nach Maßstabsebene bestimmen folgende Einflussfaktoren das Klima in Städten.

Tabelle 1: Einflussfaktoren des Stadtklimas – Datengrundlage: KUTTLER, 2009, S. 197, eigene Darstellung;

Maßstabsebene	Einflussfaktoren
Makroklimatisch	Globale Breitenlage/Klimazone
	Entfernung zu großen Wasserkörpern (z.B. Meeren)
	Relief- und Topographieverhältnisse
Mikro- und Mesoklimatisch	Stadtgröße
	Einwohnerzahl
	Versiegelungsgrad
	Art der urbanen und ruralen Flächennutzungen
	Intensität der dreidimensionalen Strukturierung der Stadtkörper
	Emissionsstärke gasförmiger, fester und flüssiger Luftbeimengungen
	Abwärme aus technischen Prozessen

Auf der Makroskala bestimmen die globale Breitenlage beziehungsweise die Klimazone, die Entfernung zu großen Wasserkörpern, sowie die Relief- und Topographieverhältnisse in welcher der urbane Siedlungsraum liegt, die klimatischen Rahmenbedingungen. Dieses vorherrschende Makroklima wird jedoch von Einflussgrößen, die sowohl im mikro- also auch im mesoskaligen Bereich liegen, modifiziert. Dazu zählen vor allem die Stadtgröße, die Einwohnerzahl, der Versiegelungsgrad, die Art der urbanen und ruralen Flächennutzungen, die Intensität der dreidimensionalen Strukturierung der Stadtkörper, die Emissionsstärke gasförmiger, fester und flüssiger Luftbeimengungen sowie die Abwärme aus technischen Prozessen. (vgl. KUTTLER, 2009, S.197ff)

Das Stadtklima ist somit aufgrund menschlicher Eingriffe wie Bebauung oder Co₂-Ausstoß hausgemacht, was sich in unterschiedlichen Auswirkungen im Vergleich zum nicht bebauten Umland auf mikro- und mesoskaliger Ebene widerspiegelt.

Aufgrund dieser eben erwähnten Charakteristika, die in urbanen Räumen vorherrschen, kommt es zu Veränderungen unterschiedlicher meteorologischer Einflussgrößen, die in Strahlung, Temperatur, Wind, Luftfeuchtigkeit, Niederschlag und eine "sonstige Kategorie" untergliedert werden können. Obwohl das "typische Stadtklima" in vielen Städten eindeutig nachweisbar ausgeprägt ist, können die Intensität sowie die Folgewirkungen der unterschiedlichen Einflussgrößen nicht als allgemeingültig angesehen werden. Dies liegt daran, dass jede Stadt unterschiedliche Rahmenbedingungen aufweist, was sowohl mit den unterschiedlichen klimatischen Voraussetzungen als auch mit den jeweils individuell geographischen und urbanen Gegebenheiten zu begründen ist.

In der nachfolgenden Tabelle 2 erfolgt eine detaillierte Aufgliederung der meteorologischen Einflussgrößen in konkrete messbare Parameter. Diese werden in verallgemeinerter Form am Beispiel der westeuropäischen Stadt veranschaulicht und die Veränderungen der jeweiligen Parameter zum nicht bebauten Umland eingeschätzt. Alle blau dargestellten Größen zeigen sich dabei in sinkenden Veränderungen gegenüber dem unbebauten Umland, während alle rot illustrierten Modifikationen eine jeweilige Erhöhung darstellen.

Tabelle 2: Charakteristika des Stadtklimas einer westeuropäischen Stadt – Datengrundlage: KUTTLER, 2013, S.213, eigene Darstellung;

Meteorologische Einflussgröße	Konkrete Parameter	Veränderungen gegenüber unbebautem Umland
Strahlung	Globalstrahlung	Bis - 10%
	Gegenstrahlung	Bis + 10%
	UV- Strahlung	
	-) im Sommer	Bis zu - 5%
	-) im Winter	Bis zu -30%
	Albedo	+ -
Temperatur	Sonnenscheindauer	
	-) im Sommer	Bis zu -8%
	-) im Winter	Bis zu - 10%
	Sensibler Wärmestrom	Bis zu + 50%
	Wärmespeicherung im Untergrund und in Bauwerken	Bis zu +40%
Wind	-) Jahresmittel	Rund + 2°Celsius
	-) Winterminima	Bis zu +10°Celsius
	-) in Einzelfällen	Bis zu +15°Celsius
	-) Geschwindigkeit	Bis zu -20%
Luftfeuchtigkeit	-) Böigkeit (Geschw./Richtung)	Stark variierend erhöht
	Relativ	Bis -10%
	Absolut	Variabel
Niederschlag	Nebel	Weniger
	Regen	?
	Schnee	Weniger
Sonstiges	Tauabsatz	Weniger
	Luftverunreinigungen	Mehr
	Bioklima	Bis zu 10 Tage länger
	Vegetationsperiode	
	Dauer der Frostperiode	Bis -30%
	Verdunstung	Weniger
Heiztage	-10%	

Nach KUTTLER (2013, S. 212ff) können die Differenzen der Klimaparameter im Vergleich zum Umland folgendermaßen erläutert werden:

Die Strahlung wird in die Parameter Globalstrahlung, Gegenstrahlung, UV-Strahlung im Winter und Sommer, Albedo sowie Sonnenscheindauer im Winter und im Sommer aufgesplittet.

Die Globalstrahlung fällt aufgrund der städtischen Dunstglocke im Vergleich zum unbebauten Umland um bis zu 10% schwächer aus, wobei dieser Einfluss heutzutage wesentlich geringer ist, also zu Zeiten des Beginns der Industrialisierung. Die atmosphärische Gegenstrahlung erreicht einerseits aufgrund der wärmeren Stadtatmosphäre, andererseits durch erhöhte Spurenstoffkonzentrationen eine stärkere Absorption und Reemission infrarotaktiver Gase und Partikel, um bis zu 10% erhöhte Werte im Vergleich zum Umland. Die UV-Strahlung wird infolge der verschmutzten Stadtatmosphäre ausgefiltert, was speziell in den Wintermonaten zu stark reduzierten Werten (um bis zu 30%) führt.

Im Sommer wird die Differenz im Vergleich zum unbebauten Umland hingegen nur mit einer bis zu 5% geringeren UV-Strahlung bewertet.

Die Albedo hängt von Farbe, Struktur und Ausrichtung zur Sonne ab und kann demzufolge höher (z.B. in mediterranen Städten in denen helle Häuser und Dächer vorherrschend sind) aber auch niedriger im Vergleich zum nicht bebauten Umland (z.B. helle Ackerflächen) ausfallen. Die Diskrepanz des Rückstrahlungsvermögens zwischen Stadt und Land hängt demzufolge somit auch stark von der Flächennutzung und somit der dadurch beeinflussten Albedo des Umlands ab.

Sowohl im Winter als auch im Sommer ist die Sonnenscheindauer in urbanen Räumen kürzer als im Umland. Dies ist vor allem auf die Bebauung zurückzuführen, da Straßenschluchten aufgrund von hohen Bauwerken einer stärkeren Beschattung ausgesetzt sind. Aufgrund des niedrigeren Sonnenstandes im Winter erreicht die Differenz der Sonnenscheindauer im Vergleich zum Umland in urbanen Räumen in dieser Jahreszeit einen Wert um bis zu minus 10 Prozent (im Sommer bis zu minus 8 Prozent). Generell gilt, je dichter beziehungsweise höher eine Stadt bebaut ist, desto stärker fällt auch die Beschattung aus, was demzufolge auch eine kürzere Sonnenscheindauer zur Folge hat.

Ein weiterer Aspekt, der die Sonnenscheindauer in urbanen Räumen reduzierend beeinflusst ist, dass der verstärkte Ausstoß von Emissionen zur Bildung einer städtischen Dunstglocke führen kann, sowie die dadurch erhöhte Existenz von Kondensationskernen, die eine Wolkenbildung forcieren.

Bei der meteorologischen Einflussgröße der Temperatur muss zwischen den unterschiedlichen Wärmeströmen, der Lokalisation des Messpunktes, beziehungsweise der zeitlichen Messperiode differenziert werden.

Eine wesentliche Diskrepanz ergibt sich bei dem Parameter des sensiblen Wärmestroms, der in urbanen Bereichen bis zu 50% höher als im angrenzenden Umland sein kann. Dieser Effekt ist auf eine geringere relative Luftfeuchtigkeit in bebauten Gebieten zurückzuführen wodurch der Wärmetransport des latenten Wärmestroms geringer ausfällt, während sich der sensible Wärmestrom erhöht. Vereinfacht formuliert führt fehlende Verdunstungskälte in Städten zu höheren Temperaturen, die im Jahresmittel mit in etwa 2°C, bei den Winterminima mit 10°C sowie in Einzelfällen bis zu 15°C Differenz im Vergleich zum Umland betragen können.

Ein wesentlicher Aspekt, der Temperaturdifferenzen im Vergleich zum unbebauten Umland hervorruft, sind die thermischen Eigenschaften im Untergrund beziehungsweise in Bauwerken. Asphaltoberflächen sind beispielsweise im Vergleich zu natürlichen Böden (trockener Lehmboden) durch eine dreimal so hohe Wärmeleitfähigkeit, einen dreimal so hohen Wärmeeindringungskoeffizienten sowie eine doppelt so hohe Temperaturleitfähigkeit gekennzeichnet. Dementsprechend kann die Wärmespeicherung in Städten um bis zu 40% höher ausfallen als im Vergleich zum unbebauten Umland.

Beim Klimaelement Wind kann zwischen Böigkeit und generellen Windgeschwindigkeiten unterschieden werden. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit ist in Städten generell geringer als im nicht bebauten Umland, was mit der erhöhten Rauigkeit durch Bebauung begründet werden kann. Dieser Effekt hat weiters zur Folge, dass der Luftaustausch in urbanen Räumen reduziert wird, was in schlechterer Luftqualität sowie Überwärmungen in Straßenschluchten resultieren kann, da die Luftmassen nicht oder nur in geringer Intensität abgeführt werden. Bei autochthonen Wetterlagen, bei denen der UHI besonders stark ausgeprägt ist, ist die übergeordnete Windgeschwindigkeit sehr gering. Die Böigkeit ist mikroklimatisch vor allem von der Bauungsstruktur und der Windrichtung abhängig und variiert dementsprechend stark. Aufgrund von Trichter- und Sogwirkungen durch hohe Gebäude kann die Böigkeit jedoch in bestimmten kleinräumigen Bereichen oft stark erhöht ausfallen.

Bei der Luftfeuchtigkeit kann zwischen Absoluter und Relativer unterschieden werden. Die relative Luftfeuchtigkeit ist aufgrund ihrer Temperaturabhängigkeit in urbanen Räumen generell höher als in ruralen Gebieten, was zu einem Großteil direkt auf den UHI-Effekt, also auf wärme Temperaturen im Stadtgebiet zurückzuführen ist.

Betrachtet man den Parameter des Wasserdampfdruckes, so zeigt sich ein komplexeres Bild, das über das Jahr gemittelte mitteleuropäische Städte nicht so trocken erscheinen lässt, wie es folglich Modifikationen des urbanen Wasserhaushaltes erwartet werden könnte (vgl. HENNINGER, 2011, S. 81).

Im Winter ist die Differenz des Wasserdampfdruckes zwischen Umland und Stadt kaum ausgeprägt (vgl. MAYER et al., 2003). Bei der absoluten Luftfeuchtigkeit spielen anthropogene Wasserdampfemissionen aus Industrie, Kühltürmen, dem Verkehr, beziehungsweise von Haushalten nur eine untergeordnete Rolle (vgl. HENNIGER, 2011, S.82).

Bezüglich Nebelbildungen in Städten wirken sich die Effekte der Luftverschmutzung folglich der erhöhten Anzahl an potentiellen Kondensationskernen, sowie der höheren Temperaturen aufgrund der ansteigenden Taupunkttemperatur gegenteilig aus. Zeigen ältere Untersuchungen zur Nebelbildung in Städten noch ein erhöhtes Auftreten von Nebeltagen (vgl. LEE, 1987; SACHWEH und KÖPKE, 1995), so kommen neuere Studien zu dem Ergebnis einer Umkehr bezüglich der Häufigkeit von Nebeltagen (vgl. SACHWEH, 1997).

In Städten mit geringer Luftverschmutzung überwiegt somit der Effekt der urbanen Erwärmung, was eine geringere Anzahl an Nebeltagen zur Folge hat.

Es kann nicht einheitlich beurteilt werden, ob in Städten eine Erhöhung oder eine Verringerung der Niederschläge festzustellen ist, was vor allem mit unterschiedlichen Prozessen und komplexen Wechselwirkungen begründet werden kann. (vgl. HENNIGER, 2011, S.82)

Niederschlag in Form von Schnee ist in urbanen Räumen generell seltener, was zum Einen mit den höheren Temperaturen in der Stadt erklärt werden kann. Zum anderen führt die schnellere Verschmutzung von Schnee in urbanen Räumen zu einer niedrigeren Albedo, was den Schmelzvorgang erhöht und somit zu einer niedrigeren Schneedeckenanzahl in Stadtgebieten führt.

In Tabelle 2 wurde eine weitere Kategorie in „Sonstiges“ unterteilt, in welcher unter anderem Luftverunreinigungen eingeordnet wurden, welche in urbanen Räumen höher ausfallen als in ruralen Gebieten. Die Vegetationsperiode fällt in Städten um bis zu zehn Tage länger aus, während die Frostperiode um bis zu 30% verkürzt ist, was beides dem allgemeinen Temperaturunterschied zwischen Stadt und „Land“ geschuldet ist. Dementsprechend ist in Städten auch die Anzahl an Heiztagen niedriger als in ruralen Gebieten.

Der Klimawandel beeinflusst zudem praktisch alle relevanten Parameter, die bei der Charakterisierung des Stadtklimas von Bedeutung sind, was sich allgemein in einer Verschärfung des urbanen Hitzeinseleffekts äußern wird.

Tabelle 2 veranschaulicht somit die Unterschiede des Stadtklimas im Vergleich zu deren unbebauten Umland, wobei die Veränderungen von Stadt zu Stadt aufgrund der individuell differenzierten Rahmenbedingungen unterschiedlich stark ausgeprägt sind. Aufgrund dessen ist es essentiell, konkrete Grundlagenforschung der Auswirkungen des Klimas in einer Stadt zu betreiben, um in weiterer Folge gezielte Maßnahmen gegen negative Folgeerscheinungen setzen zu können.

Alle angeführten Klimaelemente, die das spezielle Stadtklima charakterisieren haben im Prinzip auch einen Einfluss auf das Phänomen der urbanen Hitzeinsel. Vor allem den Einflussgrößen, Wärmespeicherung im Untergrund und in den Bauwerken, Lufttemperatur, Wind, Luftfeuchtigkeit sowie der Albedo kommen aus Sicht der urbanen Erwärmung eine besondere Bedeutung zu. Eine genauere Erläuterung zum Phänomen der Urban Heat Island erfolgt im nachstehenden Kapitel 2.1.1.

2.2.1 Städtische Wärmeinsel - Urban Heat Island

Während das Stadtklima durch alle meteorologischen Größen definiert ist, bezieht sich der Urban-Heat-Island-Effekt in erster Linie auf die Temperatur beziehungsweise auf die differenzierten Wärmeströme, die aber wiederum von den wesentlichen Klimaelementen beeinflusst werden.

Wie bereits im vorigen Kapitel erläutert wurde, kann das Stadtklima in eine thermische und luft-hygienische Komponente unterteilt werden. Das Phänomen der städtischen Wärmeinsel fällt demzufolge in den Bereich des thermischen Wirkungskomplexes einer Stadt und betrifft vor allem die meteorologischen Parameter Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit sowie kurz- und langwellige Strahlung.

Das Phänomen der urbanen Hitzeinsel ist ein wesentlicher Effekt, der mit dem Stadtklima einhergeht, und meint inselartig ausgebildete Überwärmung(en), die von einem kühleren Umland umgeben wird/werden. Nach KUTTLER (2006, S. 389) beschreibt der Begriff der städtischen Wärmeinsel *"...eine sich vom kühleren Umland abhebende, meist inselartig auftretende Überwärmung deren Intensität durch die horizontale positive Temperaturdifferenz ($\Delta t = t_{\text{Stadt}} - t_{\text{Umland}}$) zwischen Stadt und Umland angegeben oder durch einen streckenbezogenen horizontalen Temperaturgradienten ($t \Delta_{\text{Stadt} - \text{Umland}} / \Delta x_{\text{Stadt} - \text{Umland}}$) beschrieben wird"*.

Vereinfacht formuliert wird unter dem Urban Heat Island Effekt somit der Temperaturgradient zwischen der urbanen und der ruralen Umgebung verstanden, wobei hier die räumliche und zeitliche Maßstabsebene (Jahres- und tageszeitlicher Verlauf) berücksichtigt werden muss. So können die Temperaturen in urbanen Räumen etwa zwischen 4° und 10° höher als in umliegenden ländlichen Räumen liegen. (vgl. SCHÖNWIESE, 1994, S.349), wobei in Extremfällen sogar Temperaturdiskrepanzen von bis zu 15° auftreten können (vgl. KUTTLER, 2013, S.213). Diese oft erhöhten Temperaturen sind auf die unterschiedlich starke Ausprägung der einzelnen Bestandteile der Energiebilanz zurückzuführen, wobei vor allem die Topographie sowie die Struktur der Stadt eine entscheidende Rolle spielen. (vgl. KUTTLER, 2009, S. 204)

Auf räumlicher mikroskaliger Ebene ist die Bezeichnung der Hitzeinsel eigentlich nicht präzise, da sich in Städten meist mehrere Hitzeinseln bilden, was den Begriff des Hitzearchipels eher recht-

fertigen würde, welcher sich in der Fachliteratur allerdings nicht durchsetzen konnte (vgl. KUTTLER, 2006, S.389). Dies zeigt sich beispielsweise bei der räumlichen Ausprägung von Hitzetagen im Wiener Stadtgebiet, die durch eine Vielzahl kleinräumiger Hitzeinseln gekennzeichnet ist, was in Kapitel 6.1.2 veranschaulicht und erläutert wird.

Aufgrund des fortschreitenden globalen Klimawandels prognostizieren unterschiedliche Klimaszenarien einen Anstieg der weltweiten Durchschnittstemperatur, wobei Agglomerationsräume durch UHI- bedingte bereits erhöhte Temperaturen besonders von den Auswirkungen betroffen sein werden.

Der Effekt einer Hitzeinsel in urbanen Räumen entsteht vor allem aufgrund der erhöhten Wärmekapazität bedingt durch thermische Eigenschaften von Baumaterialien wie Beton, Asphalt, Stahl, Glas sowie der geringeren Verdunstung folglich der hohen Flächenversiegelung. Außerdem trägt erhöhte produzierte Abwärme des Menschen in Agglomerationsräumen zur urbanen Erwärmung bei und verstärkt dieses Phänomen. Mesoskalige Einflüsse, die das Stadtklima modifizieren und sich auf die urbane Erwärmung auswirken, können in meteorologische, geographische und urbane Faktoren differenziert werden, welche nun in nachfolgender Tabelle 3 angeführt werden (vgl. HENNINGER, 2011, S. 67ff):

Tabelle 3: :Art der Einflussfaktoren auf das Stadtklima – Datengrundlage: HENNINGER, 2011, S.67ff, eigene Darstellung;

Art der Einflussfaktoren	Parameter
Meteorologisch	Autochthone Wetterlagen
	Bedeckungsgrad
	Windgeschwindigkeit
	Atmosphärische Schichtung
Geographisch	Topographie
	Entfernung zu großen Wasserkörpern
	Seehöhe
Urban	Einwohnerzahl
	Bebauungsdichte
	Grad der Versiegelung/Flächennutzung
	Stadtstruktur
	Emissionsstärke

Folgende Einflussfaktoren werden nun hinsichtlich der jeweiligen Parameter in kurzer Form erläutert.

Meteorologische Einflussfaktoren:

a) Autochthone Wetterlagen: Während strahlungsintensiver und austauscharmer Wetterlagen ist die urbane Erwärmung besonders stark ausgeprägt.

b) Bedeckungsgrad: Dichte Bewölkung während des Tagesverlaufes führt zu einem geringeren Strahlungs- und somit auch Wärmeinput, wodurch die Wärmeinselintensität abgeschwächt wird. Dies wirkt sich auch auf einen geringeren Temperaturgradienten zum Umland in der Nacht aus, da eine entsprechend geringere Wärmeabgabe der Stadtkörper einen reduzierten UHI-Effekt erzeugt. Bei Bewölkung in der Nacht erhöht sich allerdings die atmosphärische Gegenstrahlung, was die Temperaturen weniger stark abkühlen lässt.

c) Windgeschwindigkeiten: Bei hohen Windgeschwindigkeiten vermischen sich die räumlichen Temperaturunterschiede schneller, bei Windstille ist der UHI-Effekt somit wesentlich stärker ausgeprägt. Hinzu kommt, dass bei Wind der Windchill-Effekt respektive der Hitzeindex das fühlbare Wärmeempfinden reduziert, also höhere Temperaturen als nicht so heiß wahrgenommen werden.

d) Atmosphärische Schichtung: Eine erhöhte Wärmeinselintensität tritt vor allem bei stabilen Wetterlagen auf, während diese bei labilen Schichtungen geringer ausfällt. Begründet werden kann dies damit, dass bei labilen Wetterlagen die Überwärmung auf weitaus mächtigere Luftschichten entfällt und sich somit vertikal gesehen in größere Höhen auswirkt. Der Einfluss des UHI-Effektes bezieht sich dann zwar vertikal auf höhere Luftschichten, die Intensität in bodennahen Bereichen fällt durch diese erhöhte Abgabe jedoch geringer aus.

Geographische Einflussfaktoren

a) Topographie: Naturräumliche Gegebenheiten wie Hang-, Tal-, Becken- oder Kessellagen beeinflussen das Klima und wirken sich verstärkend beziehungsweise mildernd auf das lokale Klima und somit auch auf den UHI-Effekt aus. Hier spielt vor allem der Luv- und Leeeffekt eine entscheidende Rolle, zudem wirken sich Durchlüftungsströmungen vom Umland auf die Stadt und somit auf den UHI-Effekt dementsprechend aus.

b) Entfernung zu großen Wasserkörpern: Die Entfernung zu großen Wasserkörpern bestimmt die übergeordneten klimatischen Rahmenbedingungen und prägt Städte eher maritim oder kontinental. Zudem beeinflussen große Wasserkörper die allgemeine Luftfeuchtigkeit und haben somit Auswirkungen auf Verdunstungsprozesse sowie auf die Art der Hitze (z.B. Schwüle).

c) Seehöhe: Ebenfalls ein wesentlicher Einflussfaktor ist die Seehöhe. Hochgelegene Städte sind aufgrund der vertikalen Temperaturabnahme generell kühler als Niedergelegene. Zudem nimmt die absolute Luftfeuchtigkeit mit der Höhe im Allgemeinen ab.

Urbane Einflussfaktoren:

a) Einwohnerzahl: Die Einwohnerzahl kann in direkte Abhängigkeit zur Intensität des Wärmeinsel effekts gesetzt werden, was allerdings nicht bedeutet, dass nur große Städte mit vielen Einwohnern von urbaner Erwärmung betroffen sind. Außerdem ist dieser Zusammenhang keinesfalls linear, da die Stadtgröße beziehungsweise die Einwohnerzahl nur einer von vielen Faktoren ist, die den UHI-Effekt beeinflussen.

Folgende Abbildung veranschaulicht den Zusammenhang zwischen Einwohnerzahl und der Ausprägung beziehungsweise der Intensität von urbaner Überwärmung. Die Abhängigkeiten der maximalen Wärmeinselintensität von der Einwohnerzahl wurden dabei von diversen Städten in Nordamerika, Westeuropa, Korea und Japan zusammengefasst.

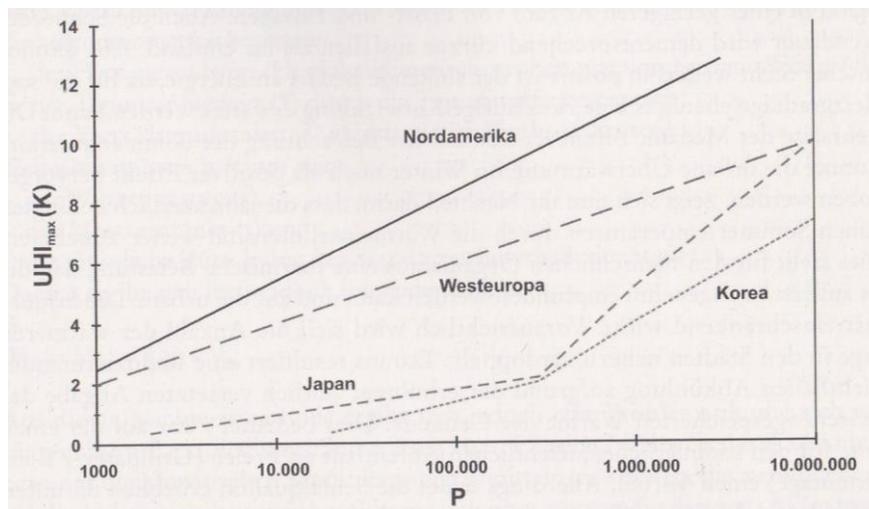


Abbildung 1: Abhängigkeiten von UHI und Einwohnerzahl - (Quelle: HENNINGER, 2011, S.69)

Wie Abbildung 1 veranschaulicht, lässt sich eine direkte Proportionalität zwischen der Einwohnerzahl und der Bildung von urbaner Erwärmung bilden. Nach dieser Graphik von HENNINGER (2011, S.69) ist bei Städten in Nordamerika dieser Zusammenhang am Stärksten ausgeprägt, gefolgt von Städten aus Westeuropa.

So wird die maximale Wärmeinselintensität (UHI_{max}) bei westeuropäischen Städten mit etwa 1.000.000 Einwohnern mit einer Temperaturerhöhung von rund 7°C eingeschätzt.

b) Bebauungsdichte: Bei der Bebauungsdichte muss zwischen zwei Ausprägungen differenziert werden: Einerseits ist in dichten Siedlungsstrukturen der UHI stärker ausgeprägt, da eine große Anzahl von Baukörpern zu einer erhöhten Wärme- und Speicherkapazität führt. Zudem kann sich eine hohe Bebauungsdichte negativ auf die Durchlüftung oder die Versickerung von Regenwasser auswirken, was Abkühlungsprozesse reduziert. Andererseits spielt auch die hervorgerufene Horizonterscheinung eine wichtige Rolle, da sich der zu berechnende *sky-view-factor* (Himmels-

sichtfaktor) indirekt proportional auf die Intensität urbaner Erwärmung auswirkt (vgl. BLANKENSTEIN und KUTTLER, 2004). Eine hohe Beschattung von Stadtkörpern untereinander, wirkt sich somit indirekt proportional auf den UHI-Effekt aus.

c) Versiegelungsgrad: Der Versiegelungsgrad beschreibt das Verhältnis von versiegelter zu Gesamtfläche in einer Raumeinheit. Durchschnittliche Werte von deutschen Städten weisen einen Versiegelungsgrad von etwa bis zu 0,6 auf, während es allerdings in Innenstadtbereichen oder reinen Industriegebieten zu nahezu flächendeckender Versiegelung kommen kann, was Werte bis zu 1 ergeben. Ein hoher Wert bedeutet einerseits eine erhöhte Wärmespeicherkapazität der bebauten Flächen und wirkt sich andererseits auf die Transpiration aus, da Niederschlagswasser sofort in die Kanalisation abgeführt wird und somit der Prozess der Verdunstung nicht möglich gemacht wird. Fehlende Verdunstungskälte wirkt sich somit auf einen erhöhten UHI- Effekt aus.

d) Stadtstruktur: Fasst man den Begriff der Stadtstruktur weiter, so könnte man darin auch den Versiegelungsgrad oder die Bebauungsdichte unterordnen. Weitere Gegebenheiten, die auf die Ausprägung urbaner Erwärmung Einfluss nehmen, sind die Heterogenität der Stadtstruktur sowie die Dreidimensionalität und Ausrichtung der Gebäudestruktur und damit verbunden auch die durchschnittlichen Gebäudehöhen. Eine weitere wesentliche Bedeutung hat zudem die Art der verwendeten Baumaterialien in Städten, die durch unterschiedliche physikalische (vor allem thermische und hydrologische) Eigenschaften gekennzeichnet ist, was sich in weiterer Folge entscheidend auf urbane Erwärmung auswirkt.

e) Emissionsstärke: Je höher die Abwärme aus Luftbeimengungen ist, desto stärker ist auch der Einfluss auf urbane Erwärmung(en). Fühlbare und latente Abwärme aus technischen Prozessen von Industrie, Haushalten oder Verkehr spielen dabei eine essenzielle Rolle. Ein gegenteiliger Effekt von Emissionen ist die dadurch erhöhte Anzahl von Kondensationskernen, was zu einer schnelleren Wolkenbildung in Stadtgebieten führen kann und sich somit gegenteilig auf die Intensität des urbanen Hitzeinseleffekts auswirkt, da der Strahlungsinput dadurch abgeschwächt wird.

2.2.1.1 Räumliche Ausprägung

All diese oben erwähnten Einflussfaktoren bestimmen die Intensität und die Ausprägung des UHI-Effektes. Da jede Stadt andere Voraussetzungen und Rahmenbedingungen aufweist, differiert auch der UHI-Effekt von Stadt zu Stadt.

Betrachtet man eine Stadt auf mesoskaliger Ebene so wird diese aufgrund der meist wärmeren Temperaturen, die im Vergleich zum Umland vorherrschen, als urbane Hitzeinsel bezeichnet.

Vergrößert man die räumliche Maßstabsebene und betrachtet die Stadt im mikroskaligen Bereich so ergeben sich unterschiedliche Gebiete mit höheren und niedrigeren Temperaturen,

oder anders formuliert, kristallisieren sich mehrere Hitzeinseln heraus. Generell gilt, dass dicht bebaute und stark versiegelte Stadtteile eher von erhöhten Temperaturen betroffen sind, als Gebiete mit geringer Versiegelung und lockerer Bauweise, was sich im zeitlichen Verlauf allerdings erst speziell in der zweiten Tageshälfte beziehungsweise in der Nacht manifestiert.

Die städtische Wärmeinsel ist während windstiller nächtlicher Strahlungswetterlagen, sogenannten autochthonen Wetterlagen am Stärksten ausgeprägt, welche vor allem in Hochdruckgebieten auftreten (vgl. HENNINGER, 2011, S. 64). Diese austauscharmen atmosphärischen Verhältnisse haben zur Folge, dass die Temperaturunterschiede zwischen Stadt und Umland am Höchsten sind, wobei diese nicht exakt konform mit der Bebauung einhergehen, da aufgrund des Kaltluftzuschusses aus dem Umland je nach Stadtstruktur die überwärmten Bereiche vermischt werden. (vgl. HENNINGER, 2011, S. 64)

Neben der horizontalen Temperaturverteilung in einer Stadt, die sich nicht exakt mit der Bebauung deckt, weist auch die vertikale Temperaturglocke Unregelmäßigkeiten in ihrer Verteilung auf. Die vertikale Abfolge der Temperaturverteilung unterteilt WANNER (vgl. 1986) in drei Niveaus innerhalb der urbanen Atmosphäre.

Bodenwärmeinsel: ist deckungsgleich mit den bebauten Flächen und wird durch die Oberflächentemperaturen der vorherrschenden Strukturen bestimmt.

Stadthindernisschichtwärmeinsel: ist nur bedingt konform mit der bebauten Oberfläche und bezieht sich auf den Bereich zwischen Bodenoberfläche und mittlerer Dachhöhe.

Stadtgrenzschichtwärmeinsel: ist nur selten beziehungsweise kaum deckungsgleich mit der bebauten Oberfläche und erstreckt sich bis an die freie Atmosphäre, wobei die Ausbreitung durch das übergeordnete Windfeld bestimmt wird.

Die unterschiedlichen Ausprägungen der jeweiligen Schichten werden von den aktuell vorherrschenden Witterungsverhältnissen bestimmt. Generell gilt, dass sich die Grenzschichten umso stärker vermischen je höher die Windgeschwindigkeiten ausgeprägt sind. Umgekehrt kann die urbane Atmosphäre bei autochthonen Wetterlagen ziemlich präzise in die jeweiligen Schichten abgegrenzt werden.

Für den Menschen in Bezug auf seine Lebensqualität und Gesundheit ist vor allem die Bodenwärmeinsel beziehungsweise die Stadthindernisschichtwärmeinsel von essenzieller Bedeutung, da diese im generellen humanen Aktionsraum liegt, während die Stadtgrenzschichtwärmeinsel in dieser Thematik nur eine untergeordnete Rolle spielt.

2.2.1.2 Zeitliche Ausprägung

Wie bei der räumlichen Ausprägung unterliegt auch der zeitliche Verlauf des UHI-Effektes von Stadt zu Stadt gewissen Abweichungen. Dennoch sollen nun kurz die typischen Charakteristika bezüglich der zeitlichen Ausprägung erläutert werden.

Die urbane Wärmeinsel ist generell im kompletten Jahresverlauf, wenn auch in unterschiedlicher Intensität, zu beobachten. Untersuchungen in mitteleuropäischen Städten sind zu dem Ergebnis gekommen, dass urbane Überwärmungen (im Vergleich zum unbebauten Umland) in bis zu 80% der Jahresstunden auftreten (vgl. KUTTLER, 2006, S.394).

Wie bereits erläutert ist der urbane Hitzeinseleffekt während strahlungsintensiver Wetterlagen besonders stark ausgeprägt, was mit einer engen Koppelung an bestimmte Tages- und Jahreszeiten einhergeht. Als charakteristisch für mitteleuropäische Städte ist, dass die Intensität der städtischen Wärmeinsel im Jahresverlauf in den Sommermonaten (Juni, Juli, August) sowie im Tagesverlauf in der zweiten Nachthälfte am Stärksten ausgeprägt ist. Im Tagesgang verhält sich der Temperaturverlauf einer Stadt zudem grundsätzlich moderater als jener im Umland, was vor allem damit zu begründen ist, dass sich urbane Räume nach Sonnenuntergang weniger stark abkühlen.

Zwischen etwa 11:00 und 14:00 Uhr ist die städtische Wärmeinsel ganzjährig kaum beziehungsweise nur sehr schwach ausgeprägt, in einigen Fällen kann sich zu dieser Tageszeit sogar eine sogenannte "urban cool island" ausbilden. (vgl. HENNINGER, 2011, S.66)

Dies ist damit zu begründen, dass infolge der komplexen urbanen Baustruktur die einfallende solare Strahlung die bodennahen Luftschichten ungleichmäßiger erwärmt als das Oberflächenrelief der ruralen Umgebung. Des Weiteren kommt hinzu, dass sich die Referenzfläche der Strahlung von Straßen- auf Dachniveau vertikal nach oben verschiebt. Ebenfalls tragen ein erhöhter Schattenwurf, der den Strahlungsinput an bestimmten Stellen vermindert, sowie die größere Wärmespeicherkapazität in künstlichen Materialien dazu bei, dass der UHI-Effekt am Vormittag respektive am frühen Nachmittag nur geringfügig ausgeprägt ist, beziehungsweise sich sogar umkehren kann. Ab den späteren Nachmittagsstunden tritt die urbane Erwärmung ein, die sich letztendlich nach dem Sonnenuntergang weiter verstärkt, wenn es in angrenzenden ruralen Gebieten zu einer schnelleren Abkühlung kommt und in der Stadt die gespeicherte Wärme der künstlichen Materialien an die (urbane) Umgebung abgegeben wird. (vgl. HENNINGER, 2011, S.66f)

So sind im Umland größere Temperaturdiskrepanzen zwischen Tag und Nacht existent, als diese in städtischen Gebieten bestehend sind, was ursächlich auf den typischen zeitlichen Verlauf des UHI-Effektes im Tagesgang zurückzuführen ist.

Steuerungsgrößen

In diesem Kapitel wurde der UHI-Effekt bezüglich Entstehung, Ursachen und Folgen erläutert. Aus stadtplanerischer Sicht ist es essenziell in weiterer Zukunft auf die Entwicklungen in diesem Zusammenhang zu reagieren. Dafür ist es aber notwendig die Steuerungsgrößen, die den Stadtklimaeffekt in Abhängigkeit von Größe und Bebauungsstruktur beeinflussen genau zu kennen. Diese können wie folgt nach HENNINGER (2011, S.72) zusammengefasst werden:

- Bebauungsdichte
- Thermisches Verhalten der urbanen Oberflächen und Baukörper
- Hydrologisches Verhalten der urbanen Oberflächen und Baukörper
- Oberflächenrauigkeit
- Verhältnis von bebauten zu nicht bebauten Flächen
- Abwärme- und Wasserdampfemissionen
- Freisetzung anthropogener Luftverunreinigungen

Diese anthropogen beeinflussbaren Steuerungsgrößen wirken sich auf die urbane Erwärmung aus und stellen somit etwaige Spielräume für Adaptionenmaßnahmen dar.

2.2.2 Wirkfolgen von urbaner Erwärmung

Das Phänomen der urbanen Erwärmung hat unterschiedliche Auswirkungen auf viele Bereiche unserer Gesellschaft, wobei diese sowohl in positive als auch in negative Folgen beurteilt werden können.

Im Winter hat der UHI-Effekt den Vorteil, dass die höheren Stadttemperaturen eine kürzere Frostperiode bewirken und somit auch die Anzahl von Frost- und Eistagen in einer geringeren Häufigkeit auftreten als im Umland. Durch den fortschreitenden Klimawandel wird dieser Effekt noch weiter verstärkt. Aus ökonomischer Sicht hat die dadurch ebenfalls rückläufige Entwicklung der Heizgradtage positive Effekte, da der Bedarf an Energie reduziert wird, was in weiterer Folge auch aus ökologischer Sicht Vorteile mit sich bringt.

Im Sommer wird urbane Erwärmung hingegen als problematisch angesehen, da steigende Sommertemperaturen für den menschlichen Organismus eine erhöhte Belastung darstellen, was sich negativ auf die Gesundheit sowie auf die Lebensqualität auswirken kann. So belegen zahlreiche Studien einen statistisch positiven Zusammenhang zwischen erhöhter Wärmebelastung und Mortalitäts- und Morbiditätsraten (vgl. KUTTLER, 2005, S.63). Als drastisches Beispiel kann der Hitzesommer 2003 herangezogen werden, der in Europa zusätzlich mindestens 25.000 Sterbefälle verursachte. Die WHO (2004) veröffentlichte, dass in Europa im Sommer 2003 rund 35.000

Menschen mehr gestorben sind als im durchschnittlichen Mittel. Eine französische Studie von ROBINE (et al., 2007) geht sogar von rund 70.000 resultierenden Todesfällen aus der damaligen Hitzewelle in Europa aus. In Wien geht HUTTER (2007) nach Untersuchungen von 180 Todesfällen aus, die direkt aufgrund der Hitzeperiode verursacht wurden.

Der fortschreitende Klimawandel sowie der UHI-Effekt werden laut unterschiedlicher Szenarien zu einer weiteren Erhöhung der Temperaturen in Städten in Mitteleuropa führen. Wie die Szenarien konkret für Wien aussehen, wird in Kapitel 4 behandelt.

Neben der prognostizierten Zunahme von heißen Tagen spielt der Anstieg von warmen Nächten aus gesundheitlicher Sicht eine wesentliche Rolle, da durch die fehlende Abkühlung die nächtliche Erholung nicht mehr gegeben ist.

Aus wirtschaftlicher Sicht haben erhöhte urbane Sommertemperaturen zur Folge, dass die Gebäudeklimatisierung und somit der Energiebedarf im Sommer in den letzten Jahren angestiegen ist. Dieser Trend wird sich in Zukunft weiter verstärken womit das Einsparungspotential im Winter zumindest kompensiert werden könnte.

Aufgrund des erhöhten Kühlbedarfs im Sommer kommt es außerdem zu steigender anthropogen produzierter Abwärme durch Kühlgeräte und Klimaanlage, was in weiterer Folge zu einer positiven Rückkoppelung der ohnehin schon hohen Temperaturen führt.

Ebenfalls auf die Wirtschaft wirken sich Hitzeperioden insofern aus, dass die Arbeitsproduktivität des Menschen aufgrund der thermischen Belastung sinkt. Neben Folgen auf den menschlichen Organismus und die Ökonomie sind auch noch viele andere Bereiche und Branchen von den Auswirkungen städtischer Wärmeinseln betroffen, wodurch vor allem Politik und Stadtplanung nicht nur angehalten sind mit diesen Herausforderungen umzugehen, sondern auch entsprechende adäquate Maßnahmen zu setzen.

Zusammenfassend werden die wichtigsten Wirkfolgen des urbanen Hitzeinseleffekts im urbanen Raum nochmals in folgender Tabelle dargestellt:

Tabelle 4: Potentielle Wirkfolgen von urbaner Erwärmung – Datengrundlage: GREIVING, 2011, S.12, eigene Darstellung;

Menschliche Gesundheit	Steigender thermischer Komfort (Winter) Sinkender thermischer Komfort (Sommer) Hitzebedingte Morbidität Hitzebedingte Mortalität
Energie	Steigender Energiebedarf durch Kühlung Steigender Energiebedarf (Wasseraufbereitung) Sinkender Heizbedarf
Wasserhaushalt	Steigender Wasserbedarf im Sommer Veränderung des Grundwasserspiegels
Technische und soziale Infrastruktur	Klimatisierungen von Gebäuden Steigender Bedarf von Einsatzkräften bei Hitzestress
Transport und Verkehr	Steigende Kosten durch Instandhaltung Veränderte Ansprüche an Transportdienstleistungen
Freiräume und Grünflächen	Steigender Bedarf an Kaltluftentstehungsgebieten Steigender Bedarf an Erholungsflächen Veränderte Ansprüche an Freiflächen (z.B. Schattenplätze, Wasserflächen) Erhöhter Pflegebedarf (künstliche Bewässerung) Veränderung der Eignung von Flora und der Biodiversität
Tourismus	Veränderung der touristischen Saison

Aufgrund der Thematik im Rahmen dieser Arbeit sind vor allem die Wirkfolgen betreffend der menschlichen Gesundheit von großer Relevanz. Aus Tabelle 4 wird ersichtlich, dass die Auswirkungen auch Einflüsse auf viele andere Bereiche betreffen.

2.2.2.1 Hitzestress und Gesundheit

Klimatische Bedingungen sowie Abläufe von Wetter und Witterung stehen in engem Zusammenhang mit dem menschlichen Wohlbefinden. So stellen witterungsbedingte Extrema wie Kälte oder Hitze eine große Belastung für den menschlichen Organismus und die allgemeine Gesundheit dar.

Spätestens nach dem Hitzesommer 2003, der Zigtausend Todesfälle in Europa forderte, sind die Aspekte Gesundheit und Hitze zum Gegenstand verschiedenerer Forschungen geworden.

Dass die menschliche Gesundheit durch thermische Belastungen negativ beeinflusst wird, ist unbestritten und wird durch eine Vielzahl von epidemiologischen Studien belegt (vgl. JAHN et al., 2013; ROBINE et al., 2007; WHO, 2004).

Unter allen klimatischen Risikofaktoren stellen nach KLINENBERG (1999) und SHERIDAN und KALKSTEIN (2004) erhöhte Außentemperaturen als diejenigen mit der höchsten Letalität dar, wobei dies besonders für Regionen der mittleren geographischen Breite eine hohe Relevanz hat.

Zudem haben viele Länder die Gefahr von Hitzestress erkannt und mit der Ausarbeitung von Vorsorge- und Hitzeplänen entsprechend auf die Zunahme von thermischer Belastung reagiert.

Hitzestress wirkt prinzipiell belastend auf Lebewesen aller Art so sind Menschen genauso wie auch Fauna und Flora von den Auswirkungen betroffen.

Auf den Menschen hat Hitzestress vor allem Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit, die psychische Belastbarkeit, die Schlafqualität, das allgemeine Wohlbefinden, sowie auf Morbidität und Mortalität. So konnten in mehreren Studien erhöhte Morbiditäts- und Mortalitätsraten aufgrund von Hitze nachgewiesen werden (vgl. JAHN et al., 2013; ROBINE et al., 2007; WHO, 2004), wobei erhöhte Sterberaten während beziehungsweise kurz nach Hitzewellen von 7% bis 60% ermittelt werden konnten. Die Auswirkungen von Hitzewellen auf die Gesundheit sind abhängig von der Intensität, der Dauer sowie des zeitlichen Auftretens im Jahr. Die erste Hitzeperiode im Jahr ist mit drastischeren Folgen verbunden als spätere Ereignisse. (vgl. MARKTL et al., 2010)

Hitzestress wirkt allerdings unterschiedlich auf verschiedene Bevölkerungsgruppen. Als besonders gefährdet gelten gesundheitlich bereits geschwächte Personen, Menschen die der Hitze besonders ausgesetzt sind (z.B. Schwerarbeiter im Freien), Sportler (körperliche Belastung), Kleinkinder, sowie ältere Bevölkerungsgruppen. Zudem weisen auch Frauen eine höhere Signifikanz bezüglich der Mortalität auf als Männer (vgl. MARKTL et al., 2010 und HUTTER et al., 2007).

Ein weiterer Einflussfaktor, der die Vulnerabilität von Hitzestress auf den Menschen prägt, ist der soziale Status. Sozial und ökonomisch Benachteiligte leben eher in Substandardwohnungen, die aufgrund schlechterer Wohnverhältnisse stärker vom Hitzestress betroffen sind. Fehlende Klimatisierungen der Aufenthaltsräume sowie isolierte Lebensweisen älterer Personen sind weitere Risikofaktoren für hitzebedingte Folgen auf die Gesundheit.

Der Zusammenhang zwischen Hitzestress und Morbidität wird in folgendem Unterkapitel näher erläutert.

2.2.2.2 Hitzestress und Morbidität

Generell kann sich der Mensch an seine Umgebungstemperaturen anpassen, so reguliert der Körper durch die Produktion von Schweiß sowie durch verstärkte Durchblutung von Haut und Muskeln die Temperatur im Körper.

Ist die thermische Belastung zu hoch, beziehungsweise der Körper schon geschwächt, so können bei Hitzestress allerdings verschiedene Krankheitsbilder auftreten:

Hitzekrämpfe: Verursacht werden Hitzekrämpfe durch einen hohen Salz- und Wasserverlust, welcher durch starkes Schwitzen hervorgerufen wird. Dieser Hitzeschaden äußert sich durch muskuläre Krämpfe, die bei hohen körperlichen Anstrengungen während heißer Umgebungstemperaturen auftreten können.

Hitzeerschöpfung: Wie bei Hitzekrämpfen ist auch bei der Hitzeerschöpfung der Flüssigkeits- und Salzverlust durch erhöhtes Schwitzen die Ursache. In weiterer Folge kann es auch zur Verdickung des Blutes kommen. Symptome sind Schwindel, Übelkeit und Kopfschmerzen, wobei diese in schlimmeren Fällen auch bis zur Bewusstlosigkeit führen können.

Hitzekollaps: Durch die Erweiterung der Blutgefäße im Körper und das Absinken des Blutdrucks kann es aufgrund einer geringeren Durchblutung des Gehirns zur Bewusstlosigkeit kommen.

Hitzschlag: entsteht wenn die körpereigene Wärmeabgabe unzureichend ist und infolge dessen die Körpertemperatur stark ansteigt (circa 40°C). Symptome sind Krämpfe, Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit, beschleunigte Atmung und Herzschlag, der bis zur Bewusstlosigkeit und zu bleibenden Schäden oder sogar zum Tod führen kann.

2.2.2.3 Hitzestress und Mortalität

Dass eine Korrelation zwischen Hitzestress und Mortalität besteht ist unbestritten, allerdings gestaltet sich die Operationalisierung dieser als schwierig.

Methodisch gesehen am Einfachsten ist es die Anzahl von überdurchschnittlichen Todesfällen während beziehungsweise kurz nach Hitzewellen statistisch herauszuarbeiten.

Eine andere Möglichkeit ist es den Zusammenhang von Sterblichkeit und Tagen mit Hitzestress statistisch auf Signifikanz zu prüfen.

Bei beiden Varianten ergeben sich aber verschiedene Problematiken. Einerseits ist die Sterblichkeit generell keine gleichbleibende Konstante, außerdem ist es schwierig Mortalität ausschließlich thermischen Belastungen zuzuordnen. Des Weiteren ist Hitzestress auch an Todesfällen mitbeteiligt, die primär auf schweren Grunderkrankungen und altersbedingten Beeinträchtigungen beruhen. Zudem gestaltet es sich oft als schwierig die Ätiologie eines Todesfalls genau zuzuordnen. Dies betrifft unter anderem die Problematik des sogenannten „Harvesting-effect“ („Ernteeffekt“) worunter man den hitzebedingten vorzeitigen Tod von Menschen, die hoher Wahrscheinlichkeit nach ohnehin bald verstorben wären, versteht. Aufgrund dieses Effektes folgt nach einer kurzen Periode erhöhter Mortalität eine Zeitspanne von wenigen Tagen in der die Mortalität unter die durchschnittliche Basismortalität fällt, was die hitzebedingte Übersterblichkeit allerdings nicht kompensieren kann (vgl. Eis et al., 2010).

Noch schwieriger gestaltet sich die Frage, ab wann man von Tagen mit Hitzestress spricht. Folgende Tabelle veranschaulicht dabei eine mögliche Einteilung der Belastungsstufen nach der physiologischen äquivalenten Temperatur, die zur Kennzeichnung von Wärmebelastung herangezogen werden kann.

Tabelle 5: Thermisches Empfinden und Thermophysiologische Belastungsstufe – Datengrundlage: MARKTL et al., 2010, eigene Darstellung;

PET	Thermisches Empfinden	Thermophysiologische Belastungsstufe
< 4°C	Sehr kalt	Extreme Kältebelastung
4°C	Kalt	Starke Kältebelastung
8°C	Kühl	Mäßige Kältebelastung
13°C	Leicht kühl	Schwache Kältebelastung
18°C	Behaglich	Keine thermische Belastung
23°C	Leicht warm	Schwache Wärmebelastung
29°C	Warm	Mäßige Wärmebelastung
35°C	Heiß	Starke Wärmebelastung
41°C	Sehr heiß	Extreme Wärmebelastung

Eine Studie von MARKTL (et al., 2010) zeigt deutlich erhöhte Mortalitätsraten an Tagen mit mäßiger, starker und extremer Wärmebelastung. In der höchsten Belastungsklasse (> 41°C) ist die Sterblichkeitsrate in Wien sowohl bei Männern als auch bei Frauen um 13 Prozent höher.

Weitere Ergebnisse dieser Studie belegen, dass der Zeitpunkt während einer Hitzewelle einen großen Einfluss auf Mortalitätsraten hat. So ist am ersten Tag einer Hitzewelle die Mortalität nur mit 2,6% erhöht, es erfolgt ein Anstieg der Sterblichkeitsrate in den folgenden Tagen, die schließlich ab dem sechsten Tag mit 15,6% ihren Höhepunkt erreicht und danach wieder sinkt.

Generell wurde in dieser Studie auch belegt, dass die erste Hitzewelle im Jahr stärkere Auswirkungen auf die Mortalität hat als darauf folgende. Dies könnte mitunter auf die Annahme zurückzuführen sein, dass die während des Sommers eintretende Wärmeakklimatisation eine entscheidende Rolle spielt. (vgl. KOPPE und JENDRITZKY, 2005)

Nach Ergebnissen einer Studie von HUTTER et al. (2007) ergab sich an Hitzetagen in Wien zwischen 1998 und 2004 ein signifikant erhöhtes Mortalitätsrisiko von 1,13. Die erhöhte Sterblichkeit war dabei in allen Altersgruppen ersichtlich jedoch nur bei der Altersgruppe der über 65-jährigen signifikant. Außerdem ergab diese Studie, dass die Risikoerhöhung bei Frauen höher war als bei Männern.

Prognose:

Projektionen bezüglich der zukünftigen Entwicklung von hitzebedingter Mortalität gestalten sich schwierig, einerseits aufgrund der Problematik der Abgrenzung beziehungsweise der genauen Zuordnung von Sterbefällen durch Hitze, andererseits weil diesbezügliche Einflussfaktoren ebenfalls mit Unsicherheiten verbunden sind. Dies betrifft sowohl Projektionen über die Entwicklung von Hitzestress, als auch beispielsweise die Anpassungsfähigkeit der Bevölkerung betreffend klimatischer Veränderungen sowie allgemein demografische und speziell altersspezifische Entwicklungen.

Unter der Prämisse eines exponentiellen Zusammenhangs zwischen Wärmebelastung und Mortalität kann Schätzungen zufolge für Deutschland innerhalb des Zeitraumes 2071 – 2100 ein jährlicher Anstieg der hitzebedingten Mortalität um etwa 5000 zusätzliche Todesfälle erwartet werden (vgl. EIS et al., 2010).

Laut HUTTER (et al., 2007) hat eine durchschnittliche Erwärmung von 1°C eine bis zu 6% höhere Sterberate zur Folge.

2.2.3 Nachweis des Hitzeinseleffektes

Auf den ersten Blick erscheint die Messbarkeit von urbaner Erwärmung relativ simpel, da bloß der Temperaturgradient zwischen Stadt und Land ermittelt werden muss.

Bei genauerer Betrachtung gestaltet sich der wissenschaftlich saubere Nachweis von urbaner Erwärmung aber als weitaus diffiziler.

Nach LOWRY (1977) müssen neben dem Witterungstyp sowie dem Messzeitpunkt und der räumlichen Zuordnung des Standorts innerhalb einer Stadt, drei weitere Einzelkomponenten bekannt sein um valide Messergebnisse zu erhalten. Diese sind:

- der Hintergrundwert (H- globalklimatisch, großräumig vorgegebene Wirkgröße)
- der Topographiewert (T- durch Topographie bestimmt)
- der Verstädterungswert (V- stadttypische Einflussgrößen)

Nun ergibt sich daraus allerdings die Problematik, dass die klimatischen Modifikationen, die ausschließlich auf urbane Faktoren zurückzuführen sind nicht exakt operationalisiert werden können.

Dies könnte nach LOWRY (1977) weiter nur gelöst werden, wenn man einen sogenannten "Präurbanwert" (Messwert, der an dem gleichen Ort zur gleichen Wetterlage vor jeglicher urbaner Bebauung geherrscht hat) kennen würde, was jedoch in den seltensten Fällen möglich ist.

Allerdings wäre selbst mit dem Wissen eines seriösen Präurbanwertes kein hundertprozentig valides Ergebnis gegeben, da sich im Laufe der Zeit die klimatischen Rahmenbedingungen verändert haben, was speziell in den letzten Jahren und Jahrzehnten aufgrund des Klimawandels eine nicht außer Acht zulassende Komponente darstellt.

Zur Ermittlung beziehungsweise Einschätzung von stadtklimatischen Effekten wie jener der urbanen Erwärmung wird in der Praxis auf numerische Modellsimulationen, Regressionsanalysen (Veranschaulichung und Veränderung meteorologischer, geographischer und urbaner Faktoren in gewissen Zeitreihen) oder Geländemessungen (Vergleich ruraler und urbaner Standorte) zurückgegriffen.

Verschiedene Analysen in mehreren Städten ergaben, dass der Hitzeinseleffekt im Winter verschwindend gering ist, während dieser im Sommer stärker ausgeprägt ist und im Schnitt bei etwa 2°C-3°C angesiedelt ist. In größeren Städten ist im Sommer auch ein Temperaturgradient von 4°C-6°C im Vergleich zum Umland möglich.

Im Kapitel 4 wird schließlich der UHI-Effekt bezogen auf die Stadt Wien erläutert.

2.3 Klimawandelgerechte Stadtentwicklung

Das Klima ändert sich und dies hat auch speziell Auswirkungen auf urbane Räume.

Städte sind dabei sowohl als Verursacher als auch als Betroffene besonders von dieser Thematik betroffen. Demzufolge sind Mitigations- und Adaptionsmaßnahmen gefragt, die diesen Großteils negativen Entwicklungen gegensteuern sollen.

Das Leitbild der klimawandelgerechten Stadtentwicklung zielt darauf ab resiliente, also dem Klimawandel mindernde sowie den unvermeidbaren Folgen des Klimawandels widerstandsfähige Raumstrukturen zu schaffen (vgl. BMVBS, 2009).

Maßnahmen, die der Planung einer klimawandelgerechten Stadt entsprechen, sind nach KUTTLER (vgl. 2009, S. 216):

- **Hochverdichtete, kompakte Bauweise mit optimaler Wärmedämmung und Verschattungsmöglichkeiten**

Ziel ist es vor allem einen niedrigen Energieverbrauch zu erzielen sowie die CO₂-Emissionen zu senken. Eine hochverdichtete Bebauungsweise kann vor allem dem Handlungsstrang der Mitigation zugeordnet werden. Was das Phänomen der urbanen Erwärmung betrifft, so erhöht eine hochverdichtete Bebauungsweise generell die Speicherkapazität von Wärme was sich vor allem im Sommer in den Nachtstunden in einer erhöhten Wärmeabgabe und somit der verstärkten Herausbildung von Hitzeinseln widerspiegelt.

Ein weiterer Effekt von hochverdichteter Bauweise ist, dass es zu höheren Verschattungen kommt, wodurch in bestimmten Bereichen ein geringerer Wärmeinput eintritt, was einen reduzierenden Effekt von urbaner Erwärmung zur Folge hat.

- **Stadt der kurzen Wege und optimale Anbindung an Personenverkehr**

Primäres Ziel ist es, den motorisierten Individualverkehr zu reduzieren um so CO₂-Emissionen zu senken, was ebenfalls dem Handlungsstrang der Mitigation entspricht. Bezüglich des urbanen Hitzeinseleffektes wirken sich niedrigere CO₂-Emissionen insofern aus, dass die produzierte anthropogene Abwärme die Ausprägungen des UHI verringert.

- **Unterbindung/Reduzierung des suburbanen Wachstums**

Durch diese Maßnahme soll die Flächenvergrößerung urbaner Areale vermieden werden um die Sicherstellung der ruralen Kaltluftproduktion zu gewährleisten, was eine essenzielle und sehr wichtige Handlung darstellt um den UHI-Effekt zu reduzieren. Besonders in Wien ist die Kaltluftzufuhr über den Wienerwald in die Stadt eine bedeutende Gegebenheit um thermische Belastungen etwas zu regulieren. Des Weiteren wirken sich unversiegelte Flächen generell vermindert auf den UHI-Effekt aus, da die Wärmespeicherkapazität von natürlichen Oberflächen meist geringer ist als bei Baukörpern. Außerdem wird der Prozess der Verdunstungskühlung eher beibehalten.

- **Bodennahe Durchlüftung garantieren**

Bei dieser Maßnahme geht es um die Sicherstellung von Luftleitbahnen aus dem urbanen Umland um den Transport kühler Luftmassen sicherzustellen. Primäre Aufgabe der Raumplanung ist es geeignete Luftleitbahnen zu eruieren und diese nachhaltig von Bebauung freizuhalten.

- **Urbane Dachbegrünung (Dach, Fassade, ebenerdig)**

Durch urbane Dach- Fassaden oder ebenerdige Begrünungen können verschiedene wichtige Prozesse bewerkstelligt werden. Positive Effekte ergeben sich durch die unterschiedliche Wärmespeicherkapazität im Vergleich von versiegelten Flächen, zudem wird durch erhöhte Verdunstungsvorgänge eine natürliche Kühlung erzielt.

- **Verwendung von Pflanzen mit nur geringer Emission an biogenen Kohlenwasserstoffen.**

Durch eine gezielte Auswahl von Pflanzen kann die Ozonkonzentration gesenkt werden.

2.3.1 Ideales Stadtklima

Die Verbesserung des Stadtklimas durch planerische Eingriffe, die sowohl die thermische als auch die lufthygienische Komponente berücksichtigen, sollte von der Vorstellung geprägt sein, ein ideales Stadtklima zu schaffen (vgl. KUTTLER, 2009, S.212)

Ein ideales Stadtklima definiert MAYER (1989, S.52) wie folgt:

„...ein räumlich und zeitlich variabler Zustand der Atmosphäre in urbanen Bereichen bei dem sich möglichst keine anthropogen erzeugten Schadstoffe in der Luft befinden, und den Stadtbewohnern in Gegend (charakteristische Länge: ca. 150 m, charakteristische Zeit: ca. 5 Minuten) eine möglichst große Vielfalt an Atmosphärenzuständen (Vielfalt der urbanen Mikroklimata) unter Vermeidung von Extremen (z.B. extreme Wärmebelastung) geboten wird.“

Gerade bei bereits bestehenden Städten kann die Vorstellung zur Erreichung eines idealen Stadtklimas realistischer Weise nicht umgesetzt werden. Diese Forderung kann theoretisch nur für Neugründungen von Städten erfüllt werden, wenn in der Planungsphase Stadtklimatologen in enger Abstimmung mit den verantwortlichen Entscheidungsträgern zusammenarbeiten würden (vgl. KUTTLER, 2009, S.212).

Bei bereits bestehenden Siedlungsräumen ist die Schaffung eines idealen Stadtklimas somit nicht möglich, jedoch kann durch gezielte Maßnahmen versucht werden stadtklimatische Umweltverbesserungen zu erreichen, die einem idealen Stadtklima möglichst nahe kommen, um zumindest ein „tolerables Stadtklima“ zu erreichen.

Des Weiteren setzte sich MAYER (vgl. 1989) in seiner Arbeit zum Ziel, Handlungsempfehlungen für die Stadtplanung zu geben, wobei er den Hitzeinseleffekt (neben der Luftqualität) als die größte Problematik beurteilte. MAYER (ebd.) kam in weiterer Folge zu dem Schluss, dass man sich dem Ideal des „idealen Stadtklimas“ respektive des „tolerablen Klimas“ nur unter der Prämisse genauer Grundlagenforschungen (z.B. lufthygienische Messungen, Untersuchungen im Windkanal, numerische Simulationsberechnungen,...) annähern könne.

2.4 Maßnahmen zur Reduzierung städtischer Wärmeinseln

In diesem Kapitel werden die konkreten Handlungsmöglichkeiten der Stadtplanung diskutiert, um dem urbanen Hitzeinseleffekt und den voraussichtlichen zukünftigen Entwicklungen dieses Phänomens gegenzusteuern. In Städten heißerer Klimazonen ist der Umgang mit Hitzestress im Städtebau ein Thema, das weit in die Geschichte zurückgeht. Vorwiegend weiße oder helle Oberflächen, sowie enge Gassen dominieren das städtebauliche Gesamtbild. Aufgrund der prognostizierten Entwicklungen des Klimas in Europa generell sowie der Trends in urbanen Räumen wie Wien, sind auch Städte in diesen Klimazonen immer mehr angehalten, sich mit dem Thema der urbanen Erwärmung nicht nur auseinander zu setzen, sondern auch gezielte Maßnahmen auszuarbeiten und in weiterer Folge zu realisieren.

Maßnahmen sollen einerseits die Vulnerabilität gegenüber Klimaänderungen verringern, andererseits die Resilienz erhöhen. Um nachhaltige Maßnahmen verwirklichen zu können, die der

thermischen Belastung gegensteuern, ist es ein wichtiger Aspekt der Stadtplanung, Synergien mit anderen Zielen der Stadtentwicklung zu schaffen. Als gutes Beispiel kann hier der Erhalt beziehungsweise die Schaffung von Grünräumen erwähnt werden. Neben der klimatischen Funktion weisen diese auch soziale, kulturelle, ökologische, Orientierungs- und Naherholungsfunktionen auf. Weitere positive Eigenschaften haben Grün- beziehungsweise Freiräume für den Hochwasserschutz, wenn diese in Retentionsräumen lokalisiert sind.

Allerdings gilt es in der Stadtentwicklung auch Wechselwirkungen, Nebeneffekte und Konfliktpotentiale mit anderen Zielen zu ermitteln, diese aufeinander abzustimmen und letztendlich bestmöglich zu bewältigen (vgl. BECK et al., 2011, 4f).

Da sich die Problematik der thermischen Hitzebelastung praktisch nur auf die Sommermonate bezieht, muss bei Maßnahmen zur Minderung von Hitzestress auch auf etwaige Auswirkungen in den restlichen Jahreszeiten geachtet werden. So würde zum Beispiel eine permanente Maximierung der Albedo durch helle Oberflächenanstriche dazu führen, dass der Wärmeinput auch im Winter stark reduziert werden würde, was sich unter anderem in einem höheren Heizbedarf widerspiegeln würde.

Weiters ist nach der Art der thermischen Belastung (trockene Hitze vs. feucht-heiße Witterung) zu differenzieren, um adäquate Maßnahmen setzen zu können.

Bei trockener Hitze, die vorwiegend bei autochthonen Wetterlagen auftritt, hat die Stadtplanung durchaus Möglichkeiten durch lokale Maßnahmen gegenzusteuern, während bei der sogenannten „schwülen“ Hitze, aufgrund des makroskaligen Charakters, kaum Möglichkeiten für Planungsaktivitäten auf Stadtebene zur Minderung bestehen (vgl. HOLST und MAYER, 2010).

Eine essenzielle Maßnahme bei starker solarer Strahlung ist es, sowohl Beschattung als auch lüftungswirksame Handlungen in den hitzebelasteten Gebieten sicherzustellen. Damit soll erreicht werden, dass jene überwärmten Gebiete mit kühlerer Umlandluft versorgt werden, um einen Temperaturrückgang in den „Problemgebieten“ zu erzielen. Es besteht dabei die Möglichkeit entsprechende Minderungsmaßnahmen ausschließlich objektbezogen durchzuführen oder auch flächenwirksam umzusetzen wobei letztere Variante generell vorzuziehen ist (vgl. KUTTLER, 2011, S.2).

Flächenbezogene Maßnahmen sollen die Energiebilanz sowie den CO₂-Haushalt der städtischen Grenzschicht beeinflussen um positive Auswirkungen auf Stadtteil- beziehungsweise Stadtquartierebene zu erzielen (vgl. ebd.).

Nachfolgend werden die wichtigsten Maßnahmen zur Reduktion urbaner Hitzeinseln erläutert.

2.4.1 Grün- und Freiflächen

Grünräume haben sowohl bezüglich der thermischen als auch der lufthygienischen Komponente eine entscheidende Bedeutung für das Stadtklima.

Des Weiteren weisen Grünflächen auch wichtige andere Funktionen (ökologische, soziale, Erholungs- und Orientierungsfunktion) auf und stellen somit einen generellen Mehrwert für die Stadtbevölkerung dar.

Eine der wichtigsten Maßnahmen, die gegen urbane Erwärmung gesetzt werden kann, ist eine entsprechende Freiraum- beziehungsweise Grünraumplanung zu betreiben. Versiegelte Flächen verschärfen den urbanen Hitzeinseleffekt, während Grün- oder Wasserflächen eine ausgleichende Wirkung erzielen.

Bezüglich der Problematik von Hitzebelastung in Städten haben Grünräume vor allem zwei wesentliche Bedeutungen: Erstens haben Grünräume aufgrund der (meist) niedrigeren Wärmekapazität eine kühlere Wirkung, da sie sich nicht so stark aufheizen wie versiegelte Flächen und zweitens ist das Potential der Evapotranspiration höher als bei künstlichen Oberflächenstrukturen (Beton, Asphalt,...), da das Wasser länger im System verbleibt. Somit ist die Temperatur durch erhöhte Verdunstungsprozesse über Grünräumen generell niedriger als über versiegelten Flächen.

Verallgemeinerungen beziehungsweise Quantifizierungen bezüglich der Einordnung der genauen Wirksamkeit von Grünräumen bezüglich der thermischen Komponente gestalten sich hingegen als äußerst schwierig. Dies liegt vor allem daran, dass „Grünraum“ einen zu weit gefassten Begriff darstellt, der im Prinzip alle Arten von nicht bebauten Oberflächenstrukturen impliziert. Unterschiedliche Arten von Grünräumen weisen allerdings divergente Eigenschaften bezüglich verschiedener Parameter (Albedo, Wärmekapazität, Abflussverhalten, etc...) auf, die sich klimatisch unterschiedlich auf die Umgebung auswirken. Entscheidende Faktoren bei der Wirksamkeit von Grünräumen sind vor allem die Größe, der Aufbau, die Zusammensetzung des Vegetationsbestandes, sowie die Versorgung mit Wasser (vgl. KUTTLER, 2010, S.379). Generell gilt, dass die Oberflächentemperaturen niedriger sind, je stärker eine Fläche begrünt ist (vgl. ebd.). Zudem haben größere Grünanlagen auch räumlich weitreichendere Auswirkungen als Kleinere.

Dies bedeutet, dass nicht nur die Quantität von Grünflächen im Stadtgebiet eine Rolle spielt, sondern auch die Qualität (Art der Grünfläche) einen ganz entscheidenden Faktor darstellt. Ausschlaggebend ist dabei primär inwieweit Grünflächen (günstige) Veränderungen in der Strahlungs- und Wärmebilanz im Vergleich zu bebauten Oberflächenstrukturen hervorrufen.

Bereits einfache Grasflächen bewirken, je nach vorhandenem Wasser, positive bioklimatische Effekte, die jedoch bei Sträuchern und schattenspendenden Bäumen höher ausfallen. Abgese-

hen von Qualität und Quantität von Grünräumen haben auch topologische Rahmenbedingungen einen wesentlichen Einfluss auf den urbanen Hitzeinseleffekt. Hierbei spielt vor allem die Aufteilung und Anordnung von Grünflächen, sowie etwaige zusammenhängende Korridore eine entscheidende Rolle.

Im Wesentlichen haben Grünräume zwei positive Effekte bezüglich der Minderung von thermischen urbanen Hitzebelastungen, nämlich das erhöhte Potential an Evapotranspiration sowie niedrigere Oberflächentemperaturen, folglich der divergenten Wärmekapazität im Vergleich zu künstlich verwendeten Materialien bei Bebauung.

Evapotranspiration:

Der Effekt der Evapotranspiration hat eine generelle Klimaverbesserung zur Folge und wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst.

Die Evapotranspiration ist in direkter Proportionalität von Lufttemperatur und Sonneneinstrahlung abhängig. Das bedeutet, je höher Sonneneinstrahlung und Lufttemperatur ausfallen, umso größer ist auch die potentielle Evapotranspiration. Die Folge von erhöhten Verdunstungsprozessen geht mit dem dafür benötigten Energieaufwand einher, der für die Erwärmung der Atmosphäre nicht mehr zur Verfügung steht.

Ein weiterer Einflussfaktor der Evapotranspiration ist die relative Luftfeuchtigkeit. Je niedriger diese ausfällt, desto höher ist die Verdunstung. Das bedeutet, dass in trockenen Gebieten mehr Feuchte in Form von Wasserdampf an die Atmosphäre abgegeben wird, als in Regionen mit bereits hoher relativer Luftfeuchtigkeit. Beträgt die relative Luftfeuchtigkeit hundert Prozent so bedeutet das ein Erreichen des Kondensationsniveaus, was den Vorgang der Verdunstung umkehren lässt (Kondensation).

Weiters beeinflusst der Wind die Vorgänge der Evapotranspiration. Dabei gilt, dass je stärker Windbewegungen ausfallen, sich auch Verdunstungsprozesse erhöhen.

Ein weiterer wesentlicher Punkt ist die Bodenfeuchte. Nur wenn diese vorhanden ist, können Verdunstungsprozesse stattfinden. Das bedeutet, dass bei längeren Trockenperioden, die oft mit Hitzeperioden einhergehen, Verdunstungsprozesse kaum oder gar nicht mehr eintreten, wenn man von Wasserflächen (Seen, Flüsse) absieht. Im Vergleich zu versiegelten Oberflächen speichern Grünflächen das Wasser in deren Böden, während es in bebauten Gebieten direkt der Kanalisation zugeleitet wird und somit für spätere Verdunstungsprozesse nicht mehr zur Verfügung steht.

Als letzter Punkt, der die Verdunstung in Grünräumen beeinflusst, ist die Art der Vegetation anzuführen, da sich Pflanzenarten hinsichtlich ihrer Transpiration unterscheiden. So haben beispielsweise Laubbäume ein höheres Transpirationsvolumen als Nadelbäume, ebenso ist die Transpiration bei Sträuchern höher als bei Gräsern.

In diesem Zusammenhang muss zwischen aktueller und potentieller Evapotranspiration unterschieden werden. Mit der aktuellen Verdunstung ist die momentan stattfindende Verdunstung gemeint, während die potentielle Verdunstung die theoretisch maximal mögliche Verdunstung bei ausreichendem Wasserdargebot beschreibt.

Bezüglich des urbanen Hitzeinseleffektes ist dies insofern relevant, da eine hohe potentielle Evapotranspiration bei fehlendem Wasserdargebot nur einen geringen beziehungsweise im „worst-case“ nahezu keinen Einfluss auf die Minderung durch Verdunstungskühlung hätte.

Weiters ist anzumerken, dass Verdunstungsprozesse neben der thermischen Wirkung auch positive Effekte auf die Lufthygiene (lufthygienische Komponente) aufweisen.

Kühlere Temperaturen:

Der Effekt der niedrigeren Temperaturen von Grünflächen kann vor allem damit begründet werden, dass sich die thermischen Eigenschaften natürlicher Oberflächenstrukturen von jenen der künstlichen Baumaterialien unterscheiden. Hierbei sind vor allem die Farbe, die Zusammensetzung, die Bedeckung, die Oberflächenrauigkeit sowie die Wasserversorgung und die Ausrichtung zur solaren Einstrahlung von Bedeutung. Diese Aspekte entscheiden letztendlich darüber wieviel Energie über die Oberflächen aufgenommen beziehungsweise wieder an die Atmosphäre abgegeben wird.

So weisen typische Flächenversiegelungsmaterialien wie Stahl oder Beton im Vergleich zu natürlichen Böden (trockener Lehmboden) über eine dreimal so hohe Wärmeleitfähigkeit, doppelt so hohe Temperaturleitfähigkeit, und einen über dreimal so hohen Wärmeeindringungskoeffizienten aus. Aufgrund der meist dunklen Oberflächen wird zudem mehr Strahlungsenergie absorbiert als beispielsweise bei grüner Vegetation. Im Zuge der bereits erläuterten fehlenden beziehungsweise weitaus geringeren Verdunstung bei künstlichen Materialien fehlt der Energietransport, der bei natürlichen Böden an die Atmosphäre abgegeben wird. Somit steht der Betrag der Strahlungsbilanz ausschließlich für die langwellige Strahlung, die turbulente Lufterwärmung oder zur Bodenerwärmung zur Verfügung. (vgl. KUTTLER, 2013, S.216)

Bei Grünflächen, die durch Baumbestände charakterisiert sind, ergibt sich des Weiteren der Effekt, dass ein Großteil der Strahlung bereits vom Kronendach absorbiert wird und somit gar nicht erst das eigentliche Bodenniveau erreicht.

Trockene Asphaltflächen heizen sich demzufolge untertags bei hohem Strahlungsinput viel stärker auf als natürliche Oberflächen, was sich einerseits untertags in höheren Temperaturen manifestiert, die dann schließlich in der Nacht an die Umgebung abgegeben werden.

2.4.1.1 Wasserflächen

Neben der Gestaltung von Grün- und Freiräumen müssen auch Wasserflächen hinsichtlich des urbanen Hitzeinseleffektes Berücksichtigung finden, da sie aufgrund ihrer besonderen physikalischen Eigenschaften zur Reduzierung städtischer Hitzeinseln beitragen können. Die Intensität der Wirkung ist von der Art des Gewässers (stehendes oder Fließgewässer), der Größe, der Tiefe, der Lage, vom Verlauf sowie von der Wassertemperatur abhängig.

Wasserflächen zeichnen sich einerseits durch ihre hohe spezifische Wärmekapazität, andererseits durch Verdunstungsprozesse aus, wobei beide Eigenschaften die thermische Komponente des Stadtklimas beeinflussen. Sie sind in ihrem thermischen Verhalten sehr ausgeglichen was sich in geringen Temperaturschwankungen manifestiert. Das bedeutet, dass Wasserflächen im Sommer meist kühler sind als die vorherrschende Lufttemperatur (speziell bei Hitzeperioden), im Winter zeigt sich hingegen ein gegensätzliches Bild.

Eine weitere positive Wirkung von Wasserflächen ist die geringe Oberflächenrauigkeit, wodurch der Austausch von Luftmassen intensiviert werden kann, was zu einem Kaltluftaustausch und zu Windbewegungen führen kann.

Im Vergleich zu Grünflächen haben Wasserflächen zudem den Vorteil, bei Hitzeperioden nicht zusätzlich bewässert werden zu müssen, um (hohe) Verdunstungsprozesse zu erreichen.

Eine intelligente Freiraumplanung sollte also auch die Bedeutung von Wasserflächen nicht außer Acht lassen.

Modellierungen der ZAMG haben gezeigt, dass Wasserflächen (18°C) in der Stadt tagsüber zu einer etwas stärkeren Abschwächung des Hitzeinseleffekts führen, als Grünflächen im gleichen Gebiet, wobei sich mit steigenden Wassertemperaturen der Effekt reduziert. (vgl. ZUVELA-ALOISE, 2015). Zudem verursacht ein Unterschied der Wassertemperatur von 5°C eine Lufttemperaturanomalie von bis zu 0,9°C in der näheren Umgebung der Wasserfläche (vgl. ZUVELA-ALOISE, 2011, S. 25).

2.4.1.2 Freiflächensicherung

Um Grünflächen zu erhalten beziehungsweise zu schaffen, ist es essenziell adäquate Flächen für eine dementsprechende Nutzung zu sichern beziehungsweise von Bebauung freizuhalten, was über das Instrument der Flächenwidmung gesteuert werden kann. Zudem kann bei Neubauprojekten auf Basis der Bebauungsplanung die Berücksichtigung von Grün- und Freiflächen erfolgen.

Grünflächen haben nicht nur positive Wirkungen bezüglich der thermischen Belastung, sondern sie tragen auch zu besserer Luftqualität bei. Außerdem stellen Grünräume aufgrund ihrer Erholungs- und Sozialfunktion einen weiteren wichtigen Mehrwert für die Stadtbevölkerung dar. Aufgrund der Vielzahl an Synergien sollte die Schaffung beziehungsweise der Erhalt von Grünflächen nicht nur hinsichtlich urbaner sommerlicher Hitzebelastung ein zentraler Punkt in der Stadtplanung sein.

Entscheidende Punkte, die bei der Grünraumplanung in Städten unbedingt berücksichtigt werden müssen, um bestmögliche Auswirkungen zur Minderung des urbanen Hitzeinseleffektes zu erreichen, ist der Standort, die Qualität (also wie die Grünfläche konkret gestaltet werden soll) sowie die Größe der Grünfläche. Zudem sollte eine entsprechende Wasserverfügbarkeit gewährleistet werden.

Als Grundlage für die Entscheidung über die Verortung von Gebieten für die Sicherung von Freiflächen hinsichtlich Hitzebelastungen, sollten adäquate Klimafunktionskarten verwendet werden um optimale Wirkungseffekte zu erzielen.

2.4.1.3 Schaffung von Parks

Die Schaffung von Parks ist ein essenzieller Bestandteil der Grünraumplanung, der nur unter der Prämisse einer gezielten und vernünftigen Freiflächensicherung bestmöglich umgesetzt werden kann. Allgemeingültige Aussagen zur klimatischen Wirkung von Parks sind aufgrund der individuellen Rahmenbedingungen allerdings kaum möglich, da unterschiedliche Groß- und Stadtklimate sowie verschiedene Parktypen differierende klimatische Grundzüge verursachen (vgl. BONGARD, 2005, S.1).

Wie bereits erläutert spielen dabei jedoch vor allem die Auswahl des Standorts, die Qualität sowie die Größe des Grünraums eine sehr wichtige Rolle um dem urbanen Hitzeinseleffekt so effektiv wie möglich entgegenzutreten.

Der Standort von Grünflächen kann vor allem bei der Neuerrichtung von Stadtteilen berücksichtigt werden. Gebiete die von starker Hitzebelastung betroffen sind, können durch Grünflächen positiv beeinflusst werden. Da hitzebelastete Gebiete jedoch vor allem in dicht besiedelten Teilen auftreten, gestaltet sich die Wahl des günstigsten Standortes bei bereits bestehenden verdichteten Räumen als schwierig, da meist kein Platz für (größere) zusätzliche Grünflächen zur Verfügung steht. In diesen Stadtteilen ist eine optimale Gestaltung bereits bestehender Grünanlagen von umso höherer Bedeutung. Bei der Qualität von Grünflächen sind Sträucher oder Bäume einfachen Rasenflächen vorzuziehen, da diese eine höhere Wirkung zur Minderung der Hitzebelastung aufweisen. Bei Platzmangel in innerstädtischen Gebieten können sich allerdings

auch punktuelle Maßnahmen als sinnvoll erweisen. Diese könnten beispielsweise Begrünungsmaßnahmen von Plätzen oder Innenhöfen sowie auch Gleisanlagen sein.

In Gebieten mit geringerer Bebauungsdichte ist die Sicherung von Freiflächen vor Bebauung die entscheidende Grundlage für die Errichtung neuer Grünflächen. Der Standort sollte vor allem so gewählt werden, dass idealerweise eine Vernetzung zu anderen Grünräumen besteht um die Wirkung zur Minderung gegen thermische Belastung zu erhöhen, beziehungsweise die klimatische Reichweite zu maximieren. Die thermische Reichweite hängt neben der Verbindung zu anderen Grünräumen desweiteren noch von der Größe, der Art der Gestaltung (Vegetation) sowie der unmittelbar angrenzenden Flächennutzung ab.

Bezüglich des Zusammenhangs zwischen der Größe einer Grünfläche und der Wirkung zur Minderung des urbanen Hitzeinseleffektes haben Untersuchungen gezeigt, dass Kühlungseffekte ab einer Größe von 2,5 Hektar eine kühlende Wirkung auf die Umgebung erzeugen, die etwa dem Durchmesser des jeweiligen Parks entspricht (vgl. UPMANIS et al., 1998).

Bei einer Vernetzung von Grünräumen können aber auch bereits kleinere Anlagen zu einer Minderung der Hitzeinseln beitragen, wobei der Effekt jedoch nur auf die direkte Umgebung beobachtet werden kann. Erst ab einer Größe von etwa 50 Hektar kann eine klimatische Fernwirkung festgestellt werden. (vgl. WIRTSCHAFTSMINISTERIUM, 2008)

Die thermische Reichweite ist jedoch auch massiv von der Umgebung der Grünfläche abhängig. Die Eindringtiefe der Kaltluft wird durch Strömungshindernisse wie Mauern oder Häuserfronten stark eingeschränkt, auch orographische Elemente (z.B. Lage in einer Mulde) spielen eine wesentliche Rolle. Demzufolge ist die thermische Wirkung neben der Grünfläche selbst (Art, Vegetation, Größe, etc.,...) auch von der Umgebung (Art der Bebauung, Bebauungshöhe und -dichte, etc.,...) abhängig, wodurch allgemeingültige Aussagen bezüglich des klimatischen Einflusses von Grünräumen nicht getätigt werden können.

Konfliktpotential:

Obwohl Grünflächen aufgrund der vielzähligen Synergien ein wichtiges Kriterium in der Stadtplanung sein sollten, gibt es auch Konfliktpotentiale zu anderen Interessensrichtungen.

Dies betrifft die Siedlungsentwicklung bei wachsenden Städten, Maßnahmen zum Klimaschutz sowie Errichtungs- und Erhaltungskosten von Grünflächen.

Vor allem Städte, die kontinuierliche Bevölkerungszuwächse verzeichnen, müssen zusätzlichen Wohnraum schaffen. Dies kann über gezielte Nachverdichtung sowie über Neubauprojekte umgesetzt werden, was in beiden Strategien zu Interessenskonflikten mit der Grünraumplanung führen kann. Knapper Wohnraum, der durch Entsiegelungs- beziehungsweise Grünflächen-

schutzmaßnahmen weiter reduziert wird, wirkt sich zudem auf steigende Immobilien- und Mietpreise aus.

Weiters steht der Erhalt beziehungsweise die Schaffung von Grünanlagen im Widerspruch zu Strategien des Klimaschutzes, der kompakte Siedlungsstrukturen (Energieeffizienz) forciert.

Aus ökonomischer Sicht sind außerdem die Kosten, die für die Schaffung beziehungsweise den Erhalt von Grünanlagen zu nennen. Dies betrifft einerseits direkte Kosten, die für Errichtung, Bewässerung und Pflege anfallen, sowie auch den Verlust von Einnahmen, der bei anderen Nutzungsformen (z.B. Wohn- oder Industrienutzung) eingenommen werden würde.

2.4.1.4 Dachbegrünung

Dächer sind meist die ersten Flächen, die durch solare Strahlung angetroffen werden und haben demzufolge eine hohe Relevanz was das Steuerungspotential bezüglich des urbanen Hitzeinsellektes betrifft. Die thermische Wirkung ist generell die Gleiche wie bei Parks, bei denen die erhöhte Wasserspeicherfähigkeit und in Folge dessen die Verdunstungsabgabe sowie das geringere Aufheizen im Vergleich zu künstlichen Materialien zu positiven Einflüssen auf das Stadtklima generell sowie auf die Minderung urbaner Erwärmung führen. Zum Unterschied dazu sind Dachbegrünungen jedoch generell kleinflächiger und liegen auf einem höheren vertikalen Niveau. Zusätzlich zu den positiven lufthygienischen und thermischen Effekten kommt bei Dachbegrünungen jedoch noch ein objektbezogener Nutzen hinzu, der sich auf das energetische Potential des Gebäudes auswirkt. Gründächer wirken aufgrund ihrer effektiven Dämmleistung ausgleichend, was bedeutet, dass im Sommer das Aufheizen des Gebäudes und im Winter der Wärmeverlust reduziert wird. Zu unterscheiden sind die Formen der extensiven sowie der intensiven Dachbegrünung, welche in der folgenden Tabelle dargestellt werden: (vgl. VERBAND FÜR BAUWERKSBEGRÜNUNG)

Tabelle 6: Extensive und intensive Dachbegrünung – Datengrundlage: VERBAND FÜR BAUWERKSBEGRÜNUNG, eigene Darstellung;

	Extensive Dachbegrünung	Intensive Dachbegrünung
Kosten	Ab 15 Euro/m ²	Ab 50 Euro/m ²
Vegetation	Niederwüchsige Pflanzengesellschaften (Gräser, Kräuter,...)	Alle üblichen Gartenpflanzen wie Sträucher, Stauden, kleinere Bäume (Ausnahme: Große Bäume)
Höhe Bodenschicht	8-15cm	15 – 100cm
Gewicht (wassergesättigt)	90 – 200kg/ m ²	180 – 1000kg/ m ²
Benützung	Keine Nutzung	Möglich und erwünscht
Negative Eigenschaften	Geringere klimatische Effekte	Teuer, pflegeintensiv
Positive Eigenschaften	Preiswert, keine Pflege notwendig	Höhere klimatische Effekte

Die wichtigsten Kennzeichen der extensiven Dachbegrünung sind, dass sie kostengünstiger sind, eine geringere Bodenschicht aufweisen und ein geringeres Gewicht haben. Außerdem ist der Pflegebedarf praktisch nicht gegeben, wenn man von seltenen Kontrollgängen absieht. Typische Vegetationsgesellschaften sind niederwüchsige Pflanzenarten wie Kräuter, Gräser oder Zwiebelgewächse, die frostresistent sind und lange Trockenperioden überstehen.

Intensive Dachbegrünungen sind teurer und durch eine dickere Bodenschicht sowie ein höheres Gewicht gekennzeichnet. Abgesehen von größeren Bäumen sind nahezu alle Vegetationsarten möglich, vorausgesetzt sie harmonisieren mit dem jeweiligen vorherrschenden Klima. Hinzu kommt ein erhöhter Pflegebedarf (Bewässerung, Düngung, gärtnerische Pflege).

Bezüglich der Minderung von urbaner Erwärmung zeigen intensive Dachbegrünungen eine höhere Wirkung, was vor allem mit der höheren Wasserspeicherfähigkeit zu begründen ist.

Dachbegrünungen nehmen bezüglich der Minderung von urbanen Hitzeinseln insofern einen essenziellen Stellenwert ein, da meist dicht bebaute Gebiete vom UHI-Effekt betroffen sind und dementsprechend kaum Platz für größere Grünanlagen vorhanden ist.

Folglich ist die Begrünung von Dächern eine wichtige Option, Grünflächen gerade in stark hitzebelasteten Gebieten zu integrieren.

Zur Forcierung von Gründächern stehen Städten unterschiedliche Möglichkeiten zur Verfügung. Diese können neben direkten finanziellen Förderprogrammen auch festgelegte Dachbegrünungen bei Neubauprojekten beinhalten. Außerdem könnten über eine Reduktion der Abwassergebühren, zusätzliche Anreize für Dachbegrünungen geschaffen werden (vgl. MKULNV, 2010, S.36). Des Weiteren könnte durch Informations- und Bewusstseinsbildungen das Interesse zur Initiierung von Gründächern erhöht werden. So kommt eine Untersuchung von SCHÖNEMANN (vgl. 2007) zur Wirtschaftlichkeit von Gründächern zu dem Ergebnis, dass durch verschiedene Effekte, Gründächer langfristig sogar günstiger sein können als herkömmliche Dächer.

Konfliktpotential:

Abgesehen von den Kosten für Dachbegrünungen müssen noch andere Problematiken aufgrund unterschiedlicher Interessensvorstellungen berücksichtigt werden. So steht die Maßnahme der Dachbegrünung, die primär dem Handlungsfeld der „adaption“ zugeordnet werden kann im Widerspruch zur Forcierung von Photovoltaik- und Solaranlagen, die dem Ziel der „mitigation“ entspricht. Hier prallen folglich die beiden unterschiedlichen Handlungsstränge zum Klimawandel aufgrund konträrer Vorstellungen bezüglich der Dachnutzung aufeinander.

Weiters könnte der zusätzliche notwendige Wasserbedarf, speziell bei der Form von intensiver Dachbegrünung, etwaige Verknappungen der Trinkwasserreserven bei längeren Trockenperioden hervorrufen. Ebenfalls ist zu berücksichtigen, dass Dächer für Begrünungen bestimmte Voraussetzungen erfüllen müssen, um einer Eignung zu entsprechen. Dies beinhaltet neben statischen Bedingungen vor allem auch die Dachneigung. Die Stadt Wien hat die Möglichkeiten zur Gründachnutzung in Form eines flächendeckenden digitalen Gründachpotentialkatasters festgelegt (vgl. STADT WIEN).

2.4.1.5 Fassadenbegrünung

Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung des Stadtklimas ist die Fassadenbegrünung, die zum Unterschied zur Dachbegrünung die Gestaltung von vertikalen Ebenen betrifft, jedoch die gleichen Vorteile aufweist (Regenwassermanagement, Evapotranspiration, Schadstofffilterung, Stabilisierung der Innentemperatur, etc.,...).

Eine weitere positive Eigenschaft von Fassadenbegrünungen ist, dass Hauswände meist eine größere Fläche aufweisen als Dächer und somit das Potential besteht, höhere Effekte auf das Stadtklima zu erzielen. Als Vorzeigeobjekt gilt das Gebäude der Zentrale der Magistratsabteilung 48 in Wien Margareten.

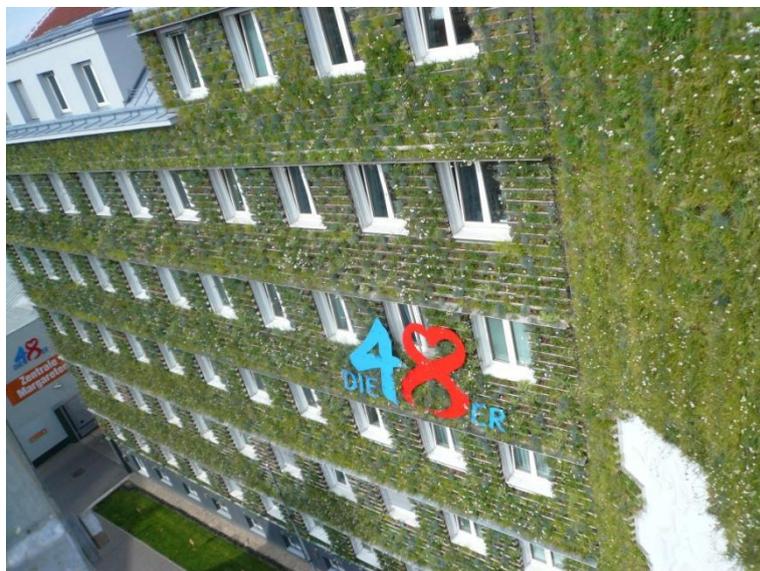


Abbildung 2: Beispiel Fassadenbegrünung in Wien (Quelle: STADT WIEN)

Die Stadt Wien kann über Förderprogramme Anreize schaffen Fassadenbegrünungen zu initiieren. Aktuell beträgt der maximale Förderbetrag der Stadt Wien 2200 Euro pro Objekt (vgl. STADT WIEN – MAGISTRATSABTEILUNG 42).

Neben direkten finanziellen Förderungen erscheinen Informations- oder Bewusstseinsbildungsmaßnahmen auch bei Fassadenbegrünungen als sinnvoll, um Anreize zu schaffen den Anteil zu erhöhen.

Konfliktpotential:

Nachteile der Fassadenbegrünung betreffen neben den Kosten der Errichtung auch etwaige Beschädigungen der Bausubstanz respektive der Fassade. Hinzu kommt der hohe Pflegeaufwand, der bei Fassadenbegrünungen vonnöten ist.

2.4.2 Durchlüftung

Die Durchlüftung ist eine wesentliche Komponente für die Verbesserung des Stadtklimas. Neben lufthygienischen Effekten können Durchlüftungsprozesse auch einen wesentlichen Beitrag zur Minderung von urbaner Erwärmung leisten. Wie bereits erläutert haben Grünräume eine höhere Wirkung, wenn diese in sinnvollen Korridoren miteinander vernetzt sind, also ausreichende Durchlüftung gegeben ist. Dies betrifft auch die Durchlüftung zum nicht bebauten Umland, aus dem kühle Luft in innerstädtische Bereiche verfrachtet werden kann. Durch den Erhalt beziehungsweise die Schaffung von Frischluftschneisen sowie über die Festlegung von Bebauungsgrenzen, kann die Stadtplanung ihren Beitrag zur Minderung des urbanen Hitzeinseleffektes leisten.

2.4.2.1 Frischluftflächen und -schneisen

Frischluftschneisen sind von Bebauung freigehaltene Gebiete, die einen möglichst ungehinderten Strömungsdurchfluss ermöglichen. Die Entstehung von Kalt- beziehungsweise Frischluft entsteht über Gebieten, bei welchen der Boden eine geringe Wärmespeicherkapazität aufweist also schnell wieder abkühlt. Dies trifft beispielsweise auf Feld- und Wiesenflächen eher zu als auf Waldgebiete, die die Wärme besser speichern. Wie bei Grünflächen ist die Wirksamkeit von Frischluftschneisen von den gleichen Faktoren abhängig (Größe, Art der Fläche/Vegetation, Umgebungsgebiete,...).

Stadtklimatisch relevante Luftleitbahnen können dabei in drei Kategorien untergliedert werden: (vgl. MKULNV, 2010, S.182)

- Kaltluftbahnen: Transport kühler Luftmassen (thermische Komponente)
- Ventilationsbahnen: Transport von Luftmassen unabhängig von thermischer oder lufthygienischer Ausprägung)
- Frischluftbahnen: Transport lufthygienischer Luftmassen (lufthygienische Komponente)

Bezogen auf die Problematik von urbanen Hitzeinseln ist vor allem die Kategorie eins, welche sich ausschließlich auf die thermische Komponente bezieht, relevant.

Um optimale Minderungseffekte bei urbaner Erwärmung zu erzielen, ist eine sinnvolle Vernetzung von Grünflächen um das Stadtgebiet sowie auch innerstädtisch nötig, um den Transport über Kaltluftbahnen zu gewährleisten.

Als Grundlage dazu muss eine klimatische Grundlagenforschung vorhanden sein, die Strömungsrichtungen unter Berücksichtigung der Oberflächenstrukturen analysiert und in Form von Klimakarten als Planungsfundament abbildet. Anschließend können entsprechende Korridore im Rahmen der Flächenwidmung von Bebauung freigehalten werden um Durchlüftungsprozesse zu optimieren. Außerdem sollten frei werdende Flächen (z.B. bei industriellen Veränderungen) auf ihre Relevanz zur Stadtbelüftung geprüft werden und unter Umständen von der Bebauung freigelassen werden (vgl. KRONENBERGER et al., 2012, S.371f).

Konfliktpotential

So wie bei Maßnahmen zum Erhalt beziehungsweise der Schaffung von Grünflächen, besteht auch hier ein Zielkonflikt zur Siedlungsentwicklung sowie zum Klimaschutz (kompakte Stadtentwicklung).

2.4.2.2 Bebauungsgrenzen

Um die thermische Wirkung von Grünflächen und Schneisen so effektiv wie möglich zu halten, sollten Bebauungsgrenzen aufgestellt und eingehalten werden. Geringe Bebauungsdichten der Siedlungskörper könnten die kühlende Wirkung von Grünflächen und deren Korridore vor allem in unmittelbarer Umgebung maximieren. Speziell bei zukünftigen Bauvorhaben sollten etwaige Auswirkungen auf Kaltluftbahnen und Grünräume berücksichtigt werden. Das primäre Ziel ist es, Kaltluftbahnen sowie Korridore, die zur Vernetzung von Grünräumen dienen, sowohl innerstädtisch als auch am Stadtrand zu erhalten.

Konfliktpotential:

Auch bei der Maßnahme der Festlegung der Bebauungsgrenzen entstehen Zielkonflikte zur Siedlungsentwicklung beziehungsweise zum Klimaschutz.

2.4.3 Beschattung

Eine triviale Gelegenheit urbane Überwärmung aufgrund direkter Sonneneinstrahlung zu reduzieren ist der Einbau von Verschattungselementen wodurch ein Teil des solaren Strahlungsinputs zurückgehalten werden kann. Differenziert werden kann in Beschattung durch Bäume oder

durch künstliche Materialien, wobei auch die Bebauung (Siedlungsstruktur) eine wichtige Rolle spielt.

2.4.3.1 Bäume

Die Bepflanzung von Bäumen stellt eine gängige Maßnahme in Städten dar, die neben klimatischen Effekten außerdem aufgrund ihrer Ästhetik ein willkommenes Mittel für einen Großteil der Stadtbevölkerung ist.

Aus thermischer Sicht tragen Bäume vor allem wegen ihres Schattenwurfes zu einer Minderung von urbaner Hitzebelastung bei. Eine wichtige Rolle spielen dabei die Gestalt, die Größe sowie die Dichte der Kronendächer, wobei die Größe der Kronendächer einen stärkeren Einfluss auf die Beschattungsverhältnisse hat als die Dichte des Kronenvolumens. Der Kühleffekt von transpirierenden Bäumen kann in etwa zu 80% auf den Schattenwurf und zu 20% auf die Evapotranspiration zurückgeführt werden (vgl. KUTTLER, 2011, S.7).

Auch die Position darf nicht außer Acht gelassen werden, damit der Standort einen idealen Bezug auf die zu beschattende Fläche aufweist. Außerdem sollten Korridore wie Kaltluftbahnen berücksichtigt werden, da Bäume Strömungshindernisse für Luftmassen darstellen könnten.

Als Empfehlung für die Verwendung der Baumart sind großkronige, hochwachsende schattenspendende Bäume angedacht, die im Sommer entsprechende Beschattung gewährleisten und im Winter folglich fehlender Blätter die Sonneneinstrahlung möglichst durchlassen. (vgl. ebd.)

Konfliktpotential:

Nachteile bei der Bepflanzung von Bäumen können etwaige Konflikte zwischen Wurzelwerk der Bäume und existierenden Leitungstrassen, Verteilungsnetzen sowie Kanälen darstellen (vgl. MKULNV, 2010, S.43).

2.4.3.2 Künstliche Materialien

Beschattungsmaßnahmen durch künstliche Materialien können beispielsweise Vordächer, Arkaden, Sonnenschirme oder Planen sein. Diese Art der Beschattung kann sich insbesondere als sinnvoll erweisen, wenn die Aufenthaltsqualität im stark besonnten Innenstadtbereich gesteigert werden soll (vgl. MKULNV, 2010, S. 43), oder die alternative Möglichkeit der Bepflanzung von Bäumen mit Schwierigkeiten behaftet ist. Außerdem erweist sich das meist punktuelle Aufstellen von Planen oder Sonnenschirmen als wesentlich flexibler und kostengünstiger als die Bepflanzung von Bäumen. Nachteilig muss erwähnt werden, dass bei künstlichen Beschattungsmaßnahmen keine weiteren Synergieeffekte auf das Stadtklima stattfinden (lufthygienische Komponente).

2.4.4 Albedoerhöhung

Ein ebenfalls viel diskutierter Ansatz zur Minderung von ungewollter Wärme ist die Methodik der Albedomaximierung. Dabei gilt, je höher die Albedo ist, desto höher ist das Rückstrahlungsvermögen der Sonnenenergie und umso niedriger die gewonnene Wärmeenergie aufgrund von Absorption. Vor allem Städte in heißen Klimazonen nutzen diesen Effekt indem Dächer und Gebäude vorwiegend in Weiß gestaltet werden. Durch das Rückstrahlungsvermögen wird weniger Hitzeeintrag absorbiert was sich in kühlenden Effekten widerspiegelt.

Die Menge, der von den Oberflächenstrukturen aufgenommenen Energie wird neben der Farbe jedoch auch von den Parametern der Wärmeleitfähigkeit, der Wärmespeicherkapazität sowie der Konvektion und der Dicke des Materials entscheidend bestimmt. Durch eine gezielte Steuerung dieser erwähnten Parameter kann der Wärmeinput und somit die Problematik des urbanen Hitzeeinseffektes in hohem Maß beeinflusst werden. Folgende Tabelle zeigt die kurzweilige Albedo unterschiedlicher Materialien:

Tabelle 7: Albedowerte verschiedener Oberflächenarten – Datengrundlage: MATZARAKIS, 2001, S.14;

Oberfläche		Albedo
Straßen	Asphalt	5-20%
	Mittelwert für Straßen	18%
	Beton	10-35%
	Weißer Beton	71%
Wände	Ziegelwand	20- 40%
	Mittelwert für Wände	30%
	Glasfenster (Sonnenhöhe > 60°)	8%
Dächer	Dachziegel	10-35%
	Dächer aus Teer und Splitt	8-18%
	Schieferdach	10%
	Wellblechdach	10-16%
Anstriche	Weißer Anstrich	50- 90%
	Roter, brauner, grüner Anstrich	20- 35%
	Schwarzer Anstrich	2-15%
Städte	Städte (Mittelwert)	15%
	Städte (Bereich)	10-30%
Natürliche Oberflächen	Wiese	15-25%
	Dunkler Ackerboden	7-10%
	Laubwald	15-25%
	Nadelwald	5- 15%
	Wasserflächen (hoch stehende Sonne)	3-10%
	Wasserflächen (tief stehende Sonne)	80%
	Neuschnee	75-95%

Es zeigt sich, dass die Albedowerte je nach Oberflächenart teils erhebliche Unterschiede aufweisen.

Durch sehr niedrige Albedowerte sind vor allem Asphalt, Beton, Glasflächen sowie Schiefer- oder Wellblechdächer charakterisiert. Auch dunkle Ackerböden, Nadelwälder und Wasserflächen (bei hoch stehender Sonne) haben ein sehr geringes Rückstrahlvermögen. Wie stark die Farbe die Albedo beeinflusst zeigt sich bei den unterschiedlichen Farbanstrichen, da die Werte zwischen 2-15% (schwarz) über 20- 35% (rot, braun, grün) bis zu 50- 90% (weiß) stark variieren. Durchschnittliche europäische Städte können mit einem Mittelwert von etwa 15% eingeschätzt werden, wobei die Schwankungsbreiten individuell divergieren.

Synergieeffekte bei der Albedomaximierung ergeben sich in Einsparungen durch verminderte Gebäudekühlung im Sommer, was jedoch im Winter zu umgekehrten Verhältnissen (erhöhter Heizbedarf) führen würde. Bei Asphaltoberflächen ergäbe sich bei einer Erhöhung der Albedo der Effekt, dass diese durch geringere Erhitzung eine niedrige negative Beeinträchtigung des Materials (z.B. Spurenrillen) erleiden würde.

Konfliktpotential:

Eine Albedoerhöhung würde neben einem massiven Eingreifen in das Stadtbild auch weitere Problematiken verursachen. So würde der positive Effekt im Sommer durch Nachteile im Winter überschattet werden. Inwieweit das Verhältnis zwischen ökonomischen Nutzen durch Einsparungen im Sommer und ökonomischen Schaden (erhöhter Heizbedarf) im Winter beurteilt werden kann, ist dabei von Stadt zu Stadt verschieden und kann nicht in allgemeingültiger Form festgestellt werden.

Was die Dachebene betrifft, so kommt ein Konflikt mit Maßnahmen zur Dachbegrünung sowie von Photovoltaik- und Solaranlagen hinzu.

Zur Minderung des urbanen Hitzeinseleffekts muss also bei der Dachnutzung entschieden werden, ob die Maßnahme der Albedoerhöhung oder der Dachbegrünung als sinnvoller zu bewerten ist. Bezüglich des gesamtklimatischen Effekts sowie der jahreszeitlichen Problematik bei der Albedoerhöhung ist die Dachbegrünung vorzuziehen. Bei Dächern, die die Voraussetzung einer Dachbegrünung nicht erfüllen, könnte eine Albedoerhöhung allerdings in Betracht gezogen werden.

2.4.5 Gezielte Siedlungsstruktur

Da der urbane Hitzeinseleffekt als „hausgemachter“ Effekt bezeichnet werden kann, der durch anthropogene Einflüsse geschaffen wird, ist es nicht überraschend, dass die Siedlungsstruktur

die Intensität von urbaner Erwärmung wesentlich beeinflusst. Sieht man von den anthropogenen Emissionen sowie übergeordneten klimatischen Rahmenbedingungen ab, so sind künstliche Oberflächenstrukturen die entscheidende Komponente, die Gebiete mit urbaner Erwärmung entstehen lässt. Demzufolge ist die Stadtstruktur ein wesentlicher Punkt, der im Rahmen des urbanen Hitzeinseleffektes aus stadtplanerischer Sicht diskutiert werden muss.

Der klimaangepasste Städtebau (z.B. enge Gassen, helle Oberflächen) ist speziell in Agglomerationsräumen heißer Klimazonen von hoher Bedeutung, der dort auf eine lange Historie zurückgeht. Im Zuge des Klimawandels, der auch in urbanen Räumen in den Mittleren Breiten die Problematik von urbaner Erwärmung verstärkt, ist es essenziell die Stadt- und Gebäudearchitektur dementsprechend zu berücksichtigen. Die Anpassung sollte dabei allerdings auch nicht die Vorteile der Sonnennutzung, speziell in den kalten Monaten außer Acht lassen (vgl. MKULNV, 2010, S. 38).

Vor allem die Geometrie der Bebauung spielt neben den verwendeten Baumaterialien eine wichtige Rolle. Grundsätzlich gilt der Zusammenhang, dass dichtere Siedlungsstrukturen eher von urbaner Überwärmung betroffen sind als Gebiete mit geringerer Bebauungsdichte.

Bei dichten Bebauungsstrukturen ist der Effekt der Beschattung allerdings in bestimmten Bereichen höher, was mit einer Minderung der Hitzebelastung einhergeht. Spezielle enge Gassen, die von hohen Gebäuden umgeben sind, heizen sich demzufolge weniger stark auf. Hinzu kommt der Einfluss der Ausrichtung der Himmelsrichtung in welcher Straßenzüge verlaufen. Schmale Nord-Süd verlaufende, durch hohe Häuser eingebettete Straßen sind aufgrund des geringeren direkten Sonneneinfalls weniger von der Gefahr urbaner Überwärmung betroffen als Ost-West ausgerichtete Straßenzüge. Stellt man die Straßenseiten gegenüber, so sind bei Ost-West ausgerichteten Straßen die südlichen Straßenseiten beziehungsweise Häuserfronten aufgrund der erhöhten Beschattung von Gebäuden generell kühler als die gegenüberliegenden Nordseiten.

Die Siedlungs- und Gebäudestruktur kann definitiv einen wichtigen Beitrag im Umgang mit thermischer Belastung im Sommer leisten. Jedoch betreffen die Maßnahmen primär Neubaugebiete, die klimatische Aspekte berücksichtigen sollten. In erster Linie ist dabei vor allem eine intelligente Gebäudeausrichtung gefragt, mit dem primären Ziel den direkten Hitzeintrag zu vermindern. Außerdem sollten Durchlüftungsprozesse berücksichtigt werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Straßenbreite, die Gebäudehöhe, die allgemeine Ausrichtung sowie Durchlüftungskorridore, die wichtigsten Elemente bei der Siedlungsplanung bezüglich der Gegensteuerung von urbaner Erwärmung sind.

2.4.6 Kommunikation und Information

Neben den praktischen Handlungsvorgängen zur Minderung des urbanen Hitzeinseleffektes, dürfen Maßnahmen zur Kommunikations- und Informationsgewinnung nicht vernachlässigt werden.

Speziell nach dem Hitzesommer 2003 haben mehrere Länder Hitzeaktionspläne initiiert, um eine adäquate Vorsorgeplanung zu schaffen.

Die WHO veröffentlichte im Jahr 2008 einen Leitfaden, der zur Unterstützung von Hitzeaktionsplänen dienen soll. Dieser Leitfaden nennt acht Kriterien um einen möglichst erfolgreichen Schutz vor etwaigen Hitzeschäden zu gewährleisten.

Tabelle 8: Kriterien zur Umsetzung von Hitzeaktionsplänen – Datengrundlage: UMWELTBUNDESAMT, eigene Darstellung;

Organisation und Vorbereitung
1. Zentrale Koordinierung
2. Sensibilisierung und Schulung der Akteure/innen des Gesundheits- und Sozialsystems
3. Informations- und Kommunikationsplan
Umsetzung
4. Hitzewarnsystem: genau und zeitnah
5. Besondere Schutzmaßnahmen für verwundbare Gruppen
6. Information/Maßnahmen zur Reduktion der Belastung in Gebäuden
7. Einbeziehung der Stadtplanung und des Bauwesens
Evaluation
8. Monitoring und Bewertung des Krankheitsgeschehens und der Sterblichkeit

Solche Hitzeaktionspläne sollen die wesentlichen Kriterien beinhalten um mit Hitzeperioden umzugehen. Dies betrifft sowohl Organisations- und Vorbereitungsmaßnahmen, konkrete Umsetzungen sowie auch Evaluierungen, wobei eine klare Kompetenzzuteilung als wesentlicher Aspekt gegeben sein sollte. Integrierte Informations- und Kommunikationspläne sollten beispielsweise das richtige Verhalten bei Hitze ansprechen, aber auch Bewusstseinsbildungsmaßnahmen (wie etwa wassersparendes Verhalten während Trockenperioden) beinhalten. Zudem ist eine Informations- und Bewusstseinsbildung der Bevölkerung gerade bei Zielsetzungen, die Erhöhungen des Gründachanteils oder der Fassadenbegrünung anstreben, essenziell.

Resümee:

Wichtig ist, dass die vorgestellten Maßnahmen nicht als separater, sich ausschließender Handlungskatalog verstanden werden sollen, sondern als sinnvolle komplementäre Aktionstätigkeiten zu behandeln sind. Es gilt dabei generell Synergieeffekte zu schaffen und etwaige Interessenskonflikte in behutsamer zukunftsorientierter Vorgehensweise abzuhandeln.

Eine nachhaltige Stadtentwicklung, die die Thematik des urbanen Hitzeinseleffektes in deren Wichtigkeit berücksichtigt, kann einen wesentlichen Teil zur Minderung von thermischer Belastung beitragen. Jedoch ist sie nur ein Mosaikstein in einer weit umfassenden Thematik, die sich auf die unterschiedlichsten Bereiche auswirkt. So ist auch die Mitarbeit von anderen Fachbereichen (z.B. Bau- und Verkehrswesen) essenziell um den Auswirkungen in weiterer Zukunft gerecht zu werden.

3 Altersstruktur

Demografisch betrachtet gibt es betreffend der Entwicklung der Bevölkerungsstruktur, abgesehen von besonderen Ereignissen, die zu einer exorbitant hohen Mortalität führen (Seuchen, Epidemien, Kriege etc.,...), nur zwei mögliche Entwicklungsoptionen.

Entweder permanentes Bevölkerungswachstum, welches durch sehr hohe Fertilitätsraten und in Folge dessen durch eine demografisch junge Bevölkerung gekennzeichnet ist, oder der Prozess der demografischen Alterung, bei der langfristig niedrige Kinderzahlen überwiegen. Während global gesehen die Weltbevölkerung immer größer und jünger wird, ist in gut entwickelten Industriestaaten mit dem Prozess der demografischen Alterung der gegenteilige Trend im Gange, der sich in der Bezeichnung des demografischen Wandels widerspiegelt.

Der Begriff des demografischen Wandels ist weit gefasst und beinhaltet viele unterschiedliche Aspekte. Grundsätzlich versteht man darunter eine nachhaltige Veränderung der Altersstruktur, bei der einem steigenden Anteil älterer Menschen, ein sinkender Anteil junger Menschen gegenübersteht (vgl. SCHIPFER, 2005, S. 3). Die Alterung einer Bevölkerung ist generell von Fertilität, Mortalität und Migration abhängig. In Industriestaaten führen sinkende Fertilitäts- und Mortalitätsraten zu einer älteren Bevölkerungsstruktur, die somit durch eine steigende Lebenserwartung und sinkende Nachkommenschaft gekennzeichnet ist. Das folglich steigende Durchschnittsalter der Bevölkerung führt schließlich zur demografischen Alterung, wobei diese Entwicklung meist in ruralen Regionen stärker ausgeprägt ist als in urbanen Gebieten, was vor allem mit der Abwanderung der jüngeren Bevölkerung in Agglomerationsräume zu begründen ist.

Neben der demografischen Alterung einer Bevölkerung drückt sich der demografische Wandel des Weiteren in veränderten Lebensstilen beziehungsweise durch eine Heterogenität und Internationalisierung der Gesellschaft aus (vgl. FAßMANN, 2006).

Der demografische Wandel hat weitreichende Auswirkungen auf die unterschiedlichsten Bereiche in unserer Gesellschaft. Das Gesundheitswesen, die Arbeitswelt, der Bildungsbereich, der Wohnungsmarkt, die Infrastruktur oder die Pensionsdebatte sind nur einige Bereiche, die durch wesentliche Veränderungen geprägt sein werden.

In den folgenden Unterkapiteln sollen die Faktoren Fertilität, Mortalität und Migration hinsichtlich der kürzeren historischen Entwicklung respektive der zukünftigen Szenarien in den nächsten 30 Jahren erläutert werden. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass demografische Prognosen und Szenarien mit einer gewissen Vorsicht zu genießen sind, da diese von fortsetzenden aktuellen Bedingungen ausgehen, die die Geburtenquote, die Nettozuwanderung sowie die Fortsetzung des Anstiegs der Lebenserwartung beinhalten. Demzufolge können unvorhersehbare Ereignisse wie Seuchen, Epidemien, Kriege, Umweltkatastrophen oder auch et-

waige technische beziehungsweise medizinische Entwicklungen in der Zukunft die Prognose- und Projektionsszenarien modifizieren.

Kurzfristige Vorhersagen von bis etwa zehn Jahren können in der Demografie als Prognosen bezeichnet werden, während man bei mittel- und langfristige Veränderungen (mehrere Dekaden) von Projektionen spricht.

Wie bereits erwähnt sind vor allem Industriestaaten von den Veränderungen durch den demografischen Wandel betroffen. Die demografische Alterung ist ein irreversibler und langfristiger Prozess, der in Österreich bereits seit 120 Jahren beobachtet werden konnte, zwischen 1970 und 2000 allerdings einer Zäsur unterlag.

Österreichweit gehen Szenarien in den nächsten 20 Jahren von einem weiteren Zuwachs der Gesamtbevölkerung aus, wobei gravierende Veränderungen die Altersstruktur betreffen.

Sinkende Anteile der unter 15-jährigen stehen stark wachsenden Altersgruppen der über 60-jährigen, sowie speziell der über 75-Jährigen gegenüber. Das Durchschnittsalter der Bevölkerung in Österreich lag im Jahr 1880 bei knapp unter 30 Jahren, stieg dann nahezu kontinuierlich auf aktuell 42 Jahre an und wird voraussichtlich im Jahr 2050 bei etwa 48 Jahren liegen.

Wien weist als demografisch zweitjüngstes Bundesland hinter Vorarlberg ein Durchschnittsalter von rund 41 Jahren auf. Der Anteil der über 65-jährigen beträgt in Wien aktuell (2014) 16,9%.

3.1 Fertilität

Die Fertilität ist eine wichtige Variable, die die Bevölkerungsstruktur nachhaltig bestimmt.

Lang andauernde niedrige Fertilitätsraten (unter dem Reproduktionsniveau von etwa 2,1) führen nachhaltig unabdingbar zur demografischen Alterung einer Bevölkerung.

In Österreich liegt die Fertilitätsrate aktuell (2014) bei 1,46 Kindern, in Wien ist die Fertilitätsrate mit 1,41 sogar unter dem österreichweiten Durchschnitt angesiedelt.

Die Geburtenzahlen in Wien stiegen in den 1960er Jahren auf ihren Höhepunkt mit über 20 000 Geburten jährlich an, sanken schließlich wieder bis es Anfang der 1980er zu einem erneuten Anstieg kam. In den 1990er Jahren waren die Geburtenzahlen wieder rückläufig und pendelten sich zur Jahrtausendwende bei etwa 15.000 Geburten pro Jahr ein, um anschließend wieder einen leichten Anstieg zu verzeichnen. Folgende Abbildung veranschaulicht den Verlauf der Geburtenraten in Wien ab den 1960er Jahren inklusive einem Projektionsszenario bis zum Jahr 2044.

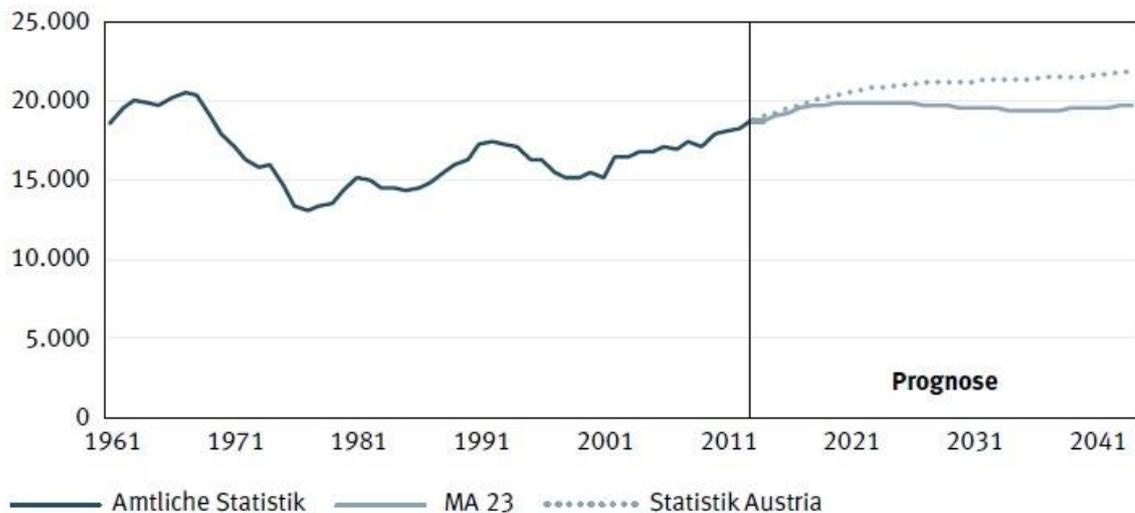


Abbildung 3: Verlauf der Geburtenzahlen in Wien von 1961 - 2013 und Prognose bis 2044 – Datengrundlage: Stadt Wien - Statistik Journal Wien 01/2014

Im Jahr 2004 war die natürliche Bevölkerungsbilanz nach mehreren Jahren erstmals wieder positiv.

Projektionen zufolge wird sich dieser Trend weiter fortsetzen und bis etwa 2025 verstärken. Bis zum Jahr 2044 könnte der Geburtenüberschuss über 100.000 Personen ausmachen, was etwa 31% der Bevölkerungszunahme entspräche.

3.2 Mortalität

Neben der Fertilität ist die Mortalität der zweite entscheidende Faktor, der die natürliche Bevölkerungsbewegung bestimmt und somit die Bevölkerungsstruktur entscheidend prägt.

Unterscheidet sich die Mortalität in den Altersklassen stark, so hat dies divergente Auswirkungen auf die Altersstruktur. So haben geringere Raten der Säuglings- und Kindersterblichkeit zur Folge, dass eine Bevölkerung sogar „jünger“ werden kann, während ein Rückgang der Mortalität im höheren Alter den Prozess der demografischen Alterung verstärkt.

Die Entwicklung der Mortalität in Wien zeigt einen nahezu kontinuierlichen Rückgang seit den 1970er Jahren bis sie sich Mitte der 2000er Jahre auf etwa knapp über 15.000 Sterbefälle pro Jahr eingependelt hat. Projektionen gehen von praktisch gleichbleibenden Sterberaten bis zum Jahr 2044 aus, was mit zwei gegenteiligen Entwicklungen, die sich in etwa die Waage halten, begründet werden kann. So wird die allgemeine Lebenserwartung zwar weiter leicht ansteigen, jedoch hat die Zunahme des Anteils von älteren Personen an der Bevölkerungsstruktur zur Folge, dass die Mortalität bei knapp über 16.000 Todesfällen pro Jahr stagnieren wird.

3.3 Migration

Migration ist die dritte Komponente, die die Bevölkerungsstruktur neben der Fertilität und der Mortalität steuern kann. Während bei größeren Populationen (wie Kontinenten oder großen Staaten) Migrationsprozesse kaum oder nur geringfügige Veränderungen auf die Bevölkerungsstruktur nach sich ziehen, können hingegen kleinere Raumeinheiten bei intensiven Migrationsströmen wesentlich von den Auswirkungen auf die Bevölkerungsstruktur betroffen sein.

Speziell bei Städten, die von hohen Zuwanderungsraten betroffen sind, kann die urbane Altersstruktur neben Maßzahlen der Fertilität und Mortalität vor allem durch Migrationsbewegungen nachhaltig beeinflusst werden. Dies ist der Fall, wenn sich die Altersstruktur der zuwandernden Personen wesentlich von jener der bereits in der Stadt wohnenden Bevölkerung unterscheidet.

Sind die Einwanderer altersspezifisch jünger als die bereits in der Stadt durchschnittliche urbane Wohnbevölkerung, wird dem Prozess der demografischen Alterung gegengesteuert.

So hat eine positive Wanderungsbilanz nicht nur eine Zunahme der Wiener Bevölkerung zur Folge, sondern ist zu einem maßgeblichen Anteil dafür verantwortlich, Entwicklungen der demografischen Alterung abzuschwächen. Zuwanderung erfolgt einerseits aus den Bundesländern andererseits aber auch aus dem Ausland nach Wien. Da aus Wien Fortziehende (z.B. ins Wiener Umland) durchschnittlich älter sind, als jene die nach Wien zuwandern (z.B. Bildungsmigration), wird der Verjüngungseffekt noch weiter verstärkt. Projektionen schätzen bis zum Jahr 2044 einen Wanderungsüberschuss von etwa 231.000 Personen, wobei jene aus dem Ausland kommende mit 210.000 den absolut größten Part ausmachen.

3.4 Veränderung der Bevölkerungsstruktur

Die Komponenten Fertilität, Mortalität und Migration bestimmen somit nicht nur das Bevölkerungssaldo sondern auch die Altersstruktur. Aufgrund der niedrigen Fertilität wird die demografische Alterung durch die steigende Lebenserwartung weiter verstärkt. Migrationsbewegungen können die Altersstruktur weiter nachhaltig beeinflussen, wenn die Altersverteilungen zwischen der Ausgangsbevölkerung und jener der Zu- und Abzüge stark differieren.

Die Motivation von Zuwanderung nach Wien ist meist ausbildungs- oder berufsbezogen, wodurch bei der Migration in die Hauptstadt Österreichs vor allem Altersgruppen zwischen 18 und 35 dominieren.

Die Veränderung der Altersstruktur kann durch die Entwicklung der Altersgruppen sowie durch den Altenquotient beschrieben werden. Folgende Abbildung zeigt die Dynamik der Altersgruppen seit 1961 sowie Projektionen bis zum Jahr 2044.

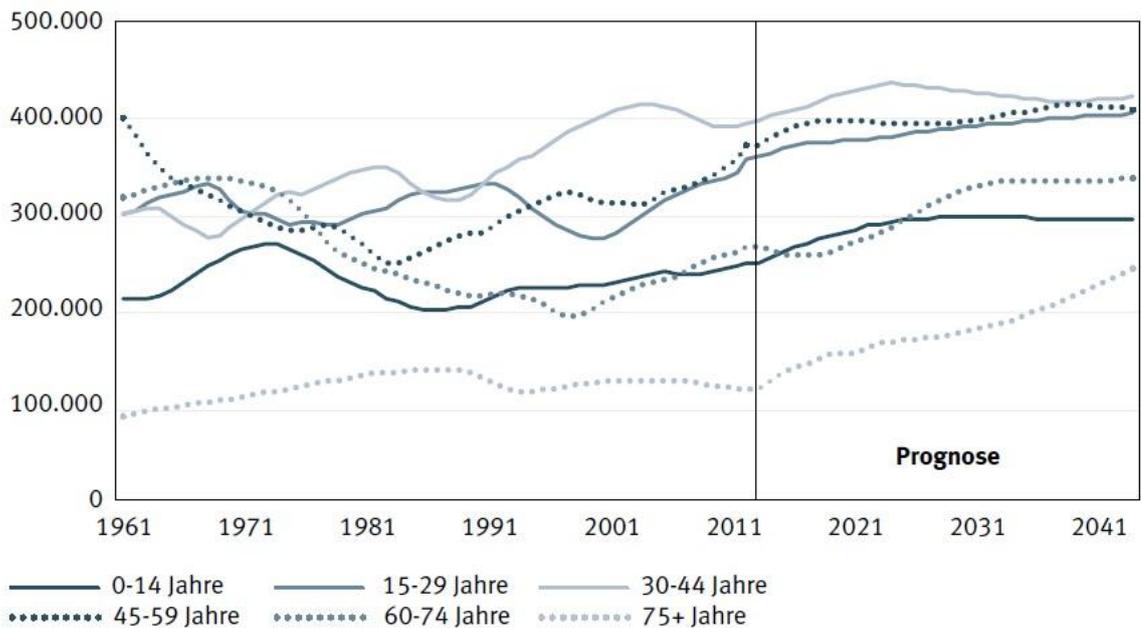


Abbildung 4: Verlauf der Altersgruppen in Wien von 1961 - 2013 und Prognose bis 2044 – Datengrundlage: STADT WIEN - STATISTIK JOURNAL WIEN 01/2014

In der kommenden Dekade wird mit Ausnahme der "jungen Alten" (60-74-jährigen), bei denen leichte Rückgänge aufgrund der schwächer besetzten Jahrgänge dieser Altersklassen zu erwarten sind, in allen anderen Altersgruppen ein Zuwachs prognostiziert. Die Dynamik dieses Anstiegs wird bei den Hochbetagten (+ 75-jährigen) dabei am Stärksten erwartet. Ab etwa 2030 zeigen Szenarien, dass die jüngeren Altersgruppen rückläufig sind beziehungsweise stagnieren, während die Anzahl in den Altersgruppen der 60-74-jährigen und speziell der über 75-jährigen weiter ansteigen. So könnte sich die Anzahl der Hochbetagten in Wien in den nächsten drei Jahrzehnten auf 240.000 Personen erhöhen, was mit einem 96%igen Zuwachs fast einer Verdoppelung dieser aktuellen altersspezifischen Population entsprechen würde.

3.5 Auswirkungen

Der demografische Wandel in all seinen Ausprägungen stellt die Raumplanung generell vor große Herausforderungen. Urbane Räume sind als Verursacher und Betroffener von den Auswirkungen des Klimawandels ebenso betroffen wie von den Ausprägungen und zukünftigen Veränderungen durch den demografischen Wandel.

Die Stadtplanung muss sich somit zukünftig vor allem mit den Thematiken Klimawandel und demografischer Wandel auseinandersetzen. Der Trend der Urbanisierung verstärkt die Priorisierung der Auseinandersetzungen und Lösungsansätze in diesen breitgefächerten Themengebieten. Die Veränderung der Altersstruktur mit all seinen Auswirkungen ist dabei ein essenzielles

Phänomen, das von der Stadtplanung mit adäquaten Handlungsstrategien behandelt werden muss.

Im Rahmen dieser Arbeit hat die demografische Alterung zur Folge, dass die Vulnerabilität bei Hitzestress in urbanen Räumen ansteigt, da die stark wachsende Anzahl von älteren Bevölkerungsgruppen besonders von den Auswirkungen des urbanen Hitzeinseleffekts betroffen ist. Dementsprechend ist es für eine Stadt essenziell, Grundlagenforschung sowohl zu urbaner Erwärmung sowie auch zu Veränderungen in der Altersstruktur zu betreiben. Dies betrifft einerseits genaue Wirkungszusammenhänge zwischen Faktoren, die zur Ausprägung des urbanen Hitzeinseleffektes führen, zu erkennen sowie einer Evaluierung nach der Bestimmung und Umsetzung etwaiger Gegenmaßnahmen. Des Weiteren müssen etwaige "Problemgebiete" bekannt sein um gezielte punktuelle Handlungen setzen zu können. Dies betrifft sowohl die Lokalisation von besonders gefährdeten Bevölkerungsgruppen (in diesem Fall betrifft das eine Konzentration älterer Personen) sowie auch die Verortung von urbanen Hitzeinseln. Außerdem ist es essenziell etwaige zukünftige Entwicklung der Altersstruktur sowie auch von Gebieten urbaner Erwärmung bestmöglich einschätzen zu können, um auch auf später eintretende Veränderungen rechtzeitig reagieren zu können.

4 Die städtische Wärmeinsel in Wien

Nun soll versucht werden die Intensität des UHI-Effektes der Stadt Wien einzuordnen.

Erste Untersuchungen in Form von systematischen Messungen zur Temperaturverteilung in Wien führte Wilhelm Schmidt in den Jahren 1931 und 1932 durch, wobei er Diskrepanzen bis zu 7°C feststellen konnte.

Die Hitzebelastung kann durch die Häufigkeit besonderer Tage (Sommer- und Hitzetage) sowie von Hitzewellen und warmen Nächten beurteilt werden. Die urbane Hitzebelastung zeigt dabei in den letzten Jahrzehnten einen signifikant positiven Trend, was einerseits mit der generellen Klimaerwärmung sowie andererseits mit Veränderungen in der Stadtstruktur begründet werden kann (vgl. BÖHM, 1979, 1989; AUER et al., 1989). Untersuchungen von AUER (et al., 1989) und KAISER (1996) zeigen außerdem, dass die städtische Wärmeinsel generell im Sommerhalbjahr stärker ausgeprägt ist als im Winterhalbjahr.

In diesem Kapitel wird das aktuelle Klima beziehungsweise spezielle Klimaparameter, die urbane Erwärmungstendenzen charakterisieren, erläutert.

Zukünftige Klimaszenarien zeigen dabei generell eine starke Zunahme von Hitze mit höherer Intensität sowie einer steigenden Häufigkeit der Hitzewellen bis Ende des 21. Jahrhunderts (vgl. IPCC, 2013).

4.1 aktuelles Klima

Das Klima in Wien ist vom Westen ozeanisch und vom Osten kontinental geprägt und kann somit als Übergangsklima bezeichnet werden. Wie in vielen Teilen Europas haben sich auch in Wien die durchschnittlichen Temperaturen in den letzten Jahrzehnten erhöht. Dies betrifft sowohl die Durchschnittstemperatur als auch die Anzahl von besonderen Tagen, welche mit der jeweiligen Definition in folgender Tabelle dargestellt werden.

Tabelle 9: Definition Klimaindizes, eigene Darstellung;

Klimaindex	Definition	Daten
Sommertage	$T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$	Temperatur Tagesmaximum
Hitzetage	$T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$	Temperatur Tagesmaximum
Warme Nächte	$T_{\min} \geq 18^{\circ}\text{C}$	Temperatur Tagesminimum
Wüstentage	$T_{\max} > 35^{\circ}$	Temperatur Tagesmaximum
Tropennächte	$T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$	Temperatur Tagesminimum
Biergartentage	$T_{20\text{MESZ}} \geq 20^{\circ}\text{C}$	Temperatur um 20Uhr Mitteleuropäische Zeit
Sommerabende	$T_{22\text{MESZ}} \geq 20^{\circ}\text{C}$	Temperatur um 22Uhr Mitteleuropäische Zeit

In weiterer Folge werden "besondere Tage" in Wien und Umgebung erläutert, um den vorherrschenden urbanen Hitzeinseleffekt besser einordnen beziehungsweise quantifizieren zu können. Ein direkter Schluss auf den Effekt der städtischen Erwärmung nur aufgrund der jeweiligen Messwerte an den Stationen muss allerdings mit äußerster Vorsicht betrachtet werden.

So geben die Werte nur punktuelle Informationen an den bestimmten Stationen an, zudem sind die Klimastationen aufgrund individueller Rahmenbedingungen (Seehöhe, Topologie,...) nur bedingt miteinander vergleichbar. Des Weiteren befinden sich die Klimastationen, die in Wien-Umgebung antiurbane Standorte repräsentieren sollen ebenfalls meist in kleineren Agglomerationsräumen, welche somit selbst durch das Phänomen des urbanen Hitzeinseleffektes beeinflusst sein könnten.

Ebenfalls muss berücksichtigt werden, dass die empfundene Wärmebelastung nicht nur von den tatsächlich gemessenen Lufttemperaturen abhängt, sondern der gesamte thermische Wirkungskomplex Auswirkungen auf das menschliche Wohlbefinden hat.

Der thermische Wirkungskomplex beinhaltet alle Größen, die für den Wärmeaustausch zwischen der Atmosphäre und dem Menschen relevant sind. Die entscheidenden Parameter, die dabei bedeutend sind, sind neben der Lufttemperatur die Windgeschwindigkeit, die Luftfeuchtigkeit und die Strahlung.

Was Prognose- und Projektionsszenarien zu den unterschiedlichen „besonderen Tagen“ und „Perioden“ betrifft, so darf in diesem Zusammenhang nicht unerwähnt bleiben, dass diese mit gewissen Unsicherheiten verbunden sind. Modellsimulationen (Klimamodell: MUKLIMO_3) im Wiener Stadtgebiet sind aufgrund der genaueren Auflösung generell qualitativ höherwertig einzustufen als jene vom Umland.

4.1.1 Sommertage

Ein Sommertag wird als Tag, dessen maximale Temperatur mindestens 25 °C beträgt, bezeichnet.

In Wien gibt es aktuell durchschnittlich 68 Sommertage (Durchschnittswert aus dem Zeitraum 1981 – 2010 von Klimastationen in Wien), im Vergleich dazu gibt es im Mittel in Wien-Umgebung rund 62 Sommertage.

Nachfolgende Tabelle veranschaulicht die durchschnittliche Anzahl der Sommertage in den jeweiligen Zeiträumen von Messstationen in Wien und der unmittelbaren Umgebung. So werden einerseits beobachtete, also real gemessene Werte, sowie Modellwerte tabellarisch aufgezeigt. Bei den Modellwerten handelt es sich um dynamische Simulationen der atmosphärischen Zirkulation im Stadtgebiet durch das Stadtklimamodell MUKLIMO_3 des Deutschen Wetterdienstes (vgl. SIEVERS und ZDUNKOWSKI, 1986; SIEVERS, 1990 und 1995).

Dieses dreidimensionale mikroskalige urbane Modell wurde mit vorgegebenen Eingangsparametern gefüttert und mit den Landnutzungsdaten in Wien und Umgebung mit einer Auflösung von 100 Metern (im Stadtgebiet) beziehungsweise 200 Metern (im Umland) simuliert.

Was die Qualität der Simulationen betrifft ist ersichtlich, dass die Modellwerte generell unterschiedliche Genauigkeiten aufweisen, so liegt die Diskrepanz der Abweichung von den tatsächlich gemessenen Werten zwischen 59% und 3 %.

Es wird deutlich, dass beobachtete und simulierte Werte speziell in den beiden weiter zurückliegenden Klimaperioden zum Teil stark voneinander abweichen.

Im Zeitraum 1981 – 2010 konnten bis auf Ausnahmen der Stationen *Altenmarkt an der Triesting* (36%), *Kohlreit* (24%), *Langenlebarn* (20%) und *Stockerau* (23%) doch durchwegs gute Ergebnisse der Modellsimulationen mit nicht allzu hohen Abweichungen zu den beobachteten Werten erzielt werden. Sehr genaue Ergebnisse des Modells wurden zudem in der letzten Zeitperiode für die Stationen in Wien erzielt, so lagen die Ungenauigkeiten im Durchschnitt unter 10%. Dies ist einerseits darauf zurückzuführen, dass bei der Simulation die verwendeten Landnutzungsdaten ausschließlich die heutige Bebauungsstruktur widerspiegeln und andererseits die räumliche Auflösung im Wiener Stadtgebiet (100m x100m) höher ist als jene im Umland (200m x 200m).

Tabelle 10: Beobachtete und modellierte Anzahl der Sommertage an verschiedenen Stationen – Datengrundlage: ZAMG – SSI, 2011;

Station	1961-1990			1971-2000			1981-2010		
	Beob.	Modell	Diff.	Beob.	Modell	Diff.	Beob.	Modell	Diff.
Altmarkt/Triesting	46,3	19	-59%	46,3	24,9	-46%	49,8	31,7	-36%
Baden	55,7	51,4	-8%	57,8	59,6	3%	62,8	67,6	8%
Wien Donaufeld		56,5			65,2		79,8	72,6	-9%
Fischamend		40,9		58,1	49,4	-15%	59,8	58,1	-3%
Fuchsenbigl	53,5	42,3	-21%	57,8	50,6	-12%	65,3	58,8	-10%
Gross Enzersdorf	55,2	39,7	-28%	59,4	47,8	-20%	65,7	56,8	-14%
Gumpoldskirchen	55,2	39,2	-29%	56,5	47,3	-16%	63,0	55,4	-12%
Kohlreit		23,8		30,9	30,9	0%	30,9	38,4	24%
Langelebarn	53,8	37,3	-31%	56,2	44,7	-20%	66,6	53,3	-20%
Muenchendorf		39,1		60,3	47	-22%		55,6	
Obersiebenbrunn	56,7	41,6	-27%	56,1	49,9	-11%		58,2	
Wien Schwechat	53,1	54	2%	57,1	62,6	10%	63,1	70,5	12%
Seibersdorf		48,1		59,1	56,1	-5%	72,8	64,2	-12%
Stockerau		38,4			46,7		73,0	56	-23%
Wien Hohe Warte	52,1	41,8	-20%	56,4	49,6	-12%	64,1	58,3	-9%
Wien Innere Stadt		63,2		67,6	71,8	6%	72,3	79,2	10%
Wien Mariabrunn	52,7	42,4	-20%	53,8	50,6	-6%	60,8	59,1	-3%
Wien Unterlaa	55,7	43,5	-22%	58,9	51,7	-12%	64,4	60,8	-6%

Die durchschnittliche Anzahl von Sommertagen ist in den jeweiligen Zeitperioden an allen Stationen durchgehend ansteigend. Außerdem sind die Stationen im Stadtgebiet Wien überdurchschnittlich oft von Sommertagen betroffen. An der Station *Wien-Donaufeld* wurden im Zeitraum zwischen 1981 und 2010 durchschnittlich nahezu 80 Sommertage erfasst, auch die Wiener Station *Innere Stadt* liegt mit 72,3 Tagen im oberen Bereich. Es ist daher anzunehmen, dass diese beiden Stationen wesentlich vom urbanen Hitzeinseleffekt betroffen sind.

Ebenfalls durchschnittliche viele Sommertage haben die Stationen in Niederösterreich *Stockerau* (73) sowie *Seibersdorf* (72,8) aufzuweisen. Die Wiener Stationen *Hohe Warte* (64,1), *Mariabrunn* (60,8) sowie *Unterlaa* (64,4) weisen mit deren durchschnittlichen Anzahlen an Sommertagen zwar im Mittel etwas höhere Werte auf als die meisten Stationen in Wien Umgebung, allerdings nur mit eher geringfügig ausgeprägter Signifikanz.

Prognose:

Prognosen der ZAMG zufolge geht man, abhängig vom jeweils gewählten Szenario, von einem Anstieg dieser Tage zwischen 30 und 50 Prozent aus. So muss man in Wien in um das Jahr 2100 mit durchschnittlich 88 bis knapp über 100 Sommertagen rechnen. Der Temperaturanstieg wird sich auch auf die Temperaturen in der Nacht auswirken, was vor allem für die menschliche Gesundheit von hoher Bedeutung ist.

4.1.2 Hitzetage

Unter Hitzetagen versteht man Tage, deren maximale Temperatur mindestens 30 °C beträgt. Die durchschnittliche Anzahl der Hitzetage in Wien erhöhte sich in den letzten Jahren/Jahrzehnten drastisch. So gab es im Zeitraum zwischen 1961 und 1990 im Mittel 10,5 Hitzetage zu verzeichnen, während im Zeitraum 1981 – 2010 die durchschnittliche Anzahl an Hitzetagen in der österreichischen Landeshauptstadt auf 17,9 anstieg.

Folgende Tabelle veranschaulicht die Entwicklung beziehungsweise die aktuell durchschnittliche Anzahl der Hitzetage der Stationen in Wien respektive in der näheren Umgebung nahe der Stadtgrenze (*Gross-Enzersdorf*, *Schwechat*).

Tabelle 11: Entwicklung von Hitzetagen an ausgewählten Klimastationen – Datengrundlage: ZAMG – SISSI, 2011;

Station	Zeitraum								
	1961 - 1990			1971- 2000			1981 - 2010		
	Beob.	Modell	Diff.	Beob.	Modell	Diff.	Beob.	Modell	Diff.
Wien Donauefeld							23,5	17,5	-26%
Wien Hohe Warte	9,9	4,3	-57%	11,6	7,2	-38%	15,3	10,7	-30%
Wien Innere Stadt		8,8		17,9	13,1	-27%	21,2	18,4	-13%
Wien Mariabrunn	10,0	4,5	-55%	10,3	7,5	-27%	13,5	10,5	-22%
Wien Unterlaa	11,4	4,3	-62%	12,9	7,3	-43%	15,9	10,3	-35%
Gross Enzersdorf	10,5	5,2	-50%	12,8	8,7	-32%	16,4	12	-27%
Schwechat	9,8	9,3	-5%	12	13,6	13%	15	18,8	25%

Ein weiteres Indiz auf einen vorherrschenden Hitzeinseleffekt zeigt, dass an den Stationen *Innere Stadt* und *Donauefeld* in der Klimanormalperiode 1981 - 2010 mit durchschnittlich 23,5 beziehungsweise 21,2 Hitzetagen deutlich mehr gemessen wurden als an den anderen Stationen (*Hohe Warte* - 15,3 *Mariabrunn* - 13,5, *Unterlaa* - 15,9, *Gross Enzersdorf* - 16,4, *Schwechat* - 15).

Prognose:

Szenarien gehen von einer Verdoppelung der Hitzetage bis zum Jahr 2050 aus, was rund durchschnittlich 30 Tagen im Jahr entsprechen würde, an denen die Temperatur auf mindestens 30°C ansteigen wird. Bis zum Jahr 2100 könnten im Schnitt sogar 50 Tage im Jahr das Kriterium für einen Hitzetag erfüllen. (vgl. ÖSTERREICHISCHER SACHSTANDBERICHT KLIMAWANDEL, 2014)

4.1.3 Tropennächte

Als Tropennächte werden Nächte bezeichnet, in denen die Temperatur nicht unter 20° sinkt. Aus gesundheitlicher Sicht haben Tropennächte eine hohe Bedeutung, da vor allem die fehlende nächtliche Abkühlung große Auswirkungen auf den menschlichen Organismus hat.

Im Jahr 2015 wurde in Wien einer neuer Rekord bezüglich der Anzahl von Tropennächten aufgestellt wurde, da die bisherigen Rekordjahre 2006 und 2013 mit einer jeweiligen Anzahl von 13 Tropennächten übertroffen wurden.

4.1.4 Hitzeperioden

Neben den einzelnen Tages- und Nacht extremen haben vor allem Hitzewellen spezielle Auswirkungen auf den menschlichen Organismus. Hitzetage belasten den menschlichen Organismus, jedoch haben zusammenhängende Hitzeperioden einen stärkeren Einfluss als einzelne heiße

Tage (vgl. FORMAYER et al., 2007 und GERERSDORFER et al., 2007). Die Abgrenzung von Hitzewellen gestaltet sich etwas komplexer als die jener einzelner Tagesextrema, bei der ausschließlich ein bestimmter Schwellenwert der Temperatur die Einordnung bestimmt.

Eine in der Wissenschaft anerkannte Definition ist die des Meteorologen Jan KYSELY (et al., 2000), nach welcher folgende Bedingungen erfüllt werden müssen, um eine Periode als Hitzewelle zu bestimmen:

Mindestens drei aufeinanderfolgende Tage müssen ein Temperaturmaximum von zumindest 30°C aufweisen, was drei Hitzetagen in Folge entspricht.

Die Periode gilt danach als weiter fortlaufend wenn das Maximum der einzeln darauf folgenden Tage jeweils 25°C überschreitet und das mittlere Temperaturmaximum während der gesamten Periode nicht unter 30°C fällt.

Hitzewellen-Tage werden somit auch als "Kysely-Tage" bezeichnet. Folgende Abbildung veranschaulicht die Entwicklung dieser Tage an der Klimastation "*Hohe Warte*", beginnend mit dem Jahr 1872 bis 2015. Während bis Ende der 1950er Jahre in vielen Jahren sogar kein einziger "Kysely-Tag" gemessen wurde, so lässt sich speziell ab den 1990er Jahren ein deutlicher Anstieg von Hitzewellen-Tagen erkennen. Der Sommer 2003 wies mit 44 Hitzewellentagen dabei die höchste Anzahl in der 143-jährigen Messgeschichte auf. Doch nicht nur die gesamte Anzahl von Hitzewellentage in diesem Jahr ist besonders, auch die Dauer der längsten Hitzewelle mit 29 Tagen heißen Tage in Serie im August 2003 stellt einen bisher unerreichten Rekordwert dar.

Auf den weiteren Plätzen mit den meisten „Kysely-Tagen“ folgen die Jahre 1992 (32 Tage) und 1994 (35 Tage). Interessant ist auch, dass in den letzten vier Jahren (2012 – 2015), abgesehen vom Jahr 2013, das mit 13 „Hitzewellentagen“ eher im Durchschnitt der letzten Jahre lag, mit 27 – 33 „Kysely-Tagen“ stets sehr hohe Werte erreicht wurden. Anders ausgedrückt zählten die Jahre 2011, 2012 und 2015 zu den sechs heißesten Jahren seit Aufzeichnungsbeginn was die Anzahl der gemessenen Hitzewellentage betrifft. In diesem Kontext muss natürlich erwähnt werden, dass vier Jahre keine große Repräsentativität bezüglich klimatischer Entwicklungen darstellen, dennoch zeigt Abbildung 5 einen eindeutigen Trend, der sich auch in den zukünftigen Projektionen aller Voraussicht nach weiter fortsetzen wird.

Hitzwellen-Tage Wien Hohe Warte (1872-2015)
Auswertung nach Kysely (bis 12.8. 2015) / Quelle: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG)

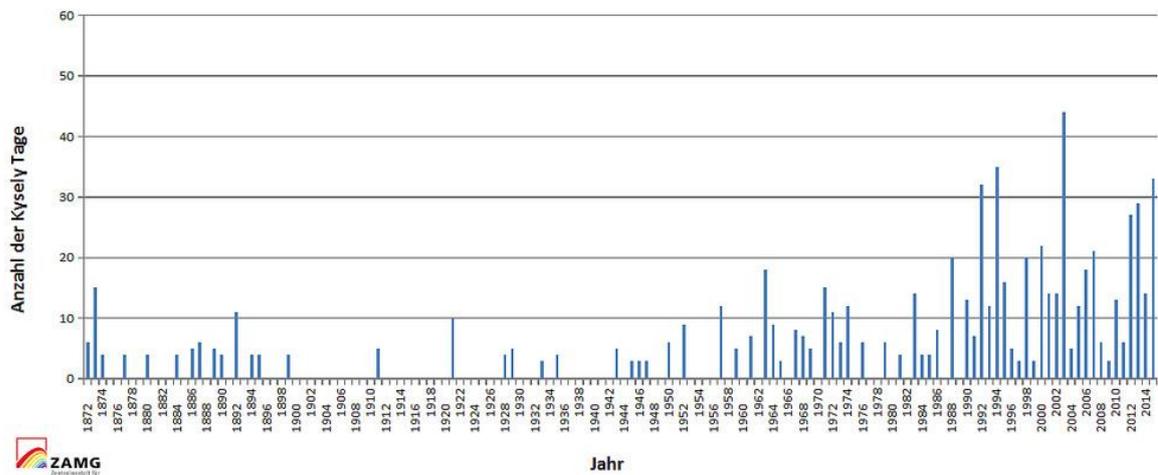


Abbildung 5: Hitzwellen-Tage Hohe Warte: Datengrundlage: ZAMG

Prognose:

Die Prognose von Hitzwellentagen gestaltet sich diffiziler als die Vorhersage von Tagen einzelner Tagesextrema (Hitzetage, Sommertage,...). Es ist jedoch anzunehmen, dass alleine aufgrund der prognostizierten Zunahme von Hitzetagen auch die Anzahl der Hitzwellentage zunehmen wird.

Folgende Tabelle veranschaulicht die durchschnittliche Anzahl von auftretenden Hitzwellentagen nach der Definition von KYSELY in den jeweiligen zeitlichen Perioden in Wien.

Tabelle 12: Entwicklung von Hitzwellentagen – Datengrundlage: ZAMG

Station	Zeitraum		
	1961 - 1990	1976- 2005	2010 – 2039
Wien (Innere Stadt)	5,1	9,1	17,7

5 Altersstruktur in Wien

In diesem Kapitel wird nun auf die räumliche Verteilung der Altersstruktur der Wohnbevölkerung in Wien eingegangen.

Um die ältere Bevölkerungsstruktur abzugrenzen und räumlich darzustellen wurden unterschiedliche Schwellenwerte auf den jeweiligen räumlichen Ebenen der Baublöcke, Zählgebiete und Zählbezirke herangezogen.

Diese unterschiedlichen Schwellenwerte beinhalten zumeist den relativen Anteil der Wohnbevölkerung von Personen über 60 und 75 Jahren. Bei der relativen Wohnbevölkerung wurden alle Personen, die älter als 60 beziehungsweise 75 Jahre alt waren, in Relation zur gesamten Wohnbevölkerung auf dem jeweiligen räumlichen Niveau (Baublöcke, Zählgebiete beziehungsweise Zählbezirke) gestellt.

In Kapitel 5.1 wird die räumliche Verteilung der Altersstruktur auf Zählbezirksebene visualisiert, wobei einerseits die Verteilung der über 60-Jährigen sowie jener der über 75-Jährigen dargestellt wurde.

In Kapitel 5.2 werden die räumlichen Ausprägungen der Altersstruktur auf Zählgebietsniveau dargestellt, wobei zur Abgrenzung nicht das biologische Alter verwendet wurde, sondern eine Gewichtung der Altersgruppen erfolgte (*Fuzzy-Logic*), um der Problematik der scharfen Abgrenzung (z.B. 64 = jung, 65 = alt) zu umgehen.

5.1 Altersstruktur in den Zählbezirken

Die Stadt Wien besteht aus 250 Zählbezirken, die innerhalb der 23 Gemeindebezirke untergliedert sind.

Um einen ersten Überblick über die altersspezifische Bevölkerungsverteilung in Wien zu erhalten, zeigt Abbildung 6 den Anteil aller über 60-Jährigen an der gesamten Wohnbevölkerung im jeweiligen Zählbezirk vom Ausgangsjahr 2014.

Verteilung der über 60-Jährigen an der Wohnbevölkerung in Wien 2014

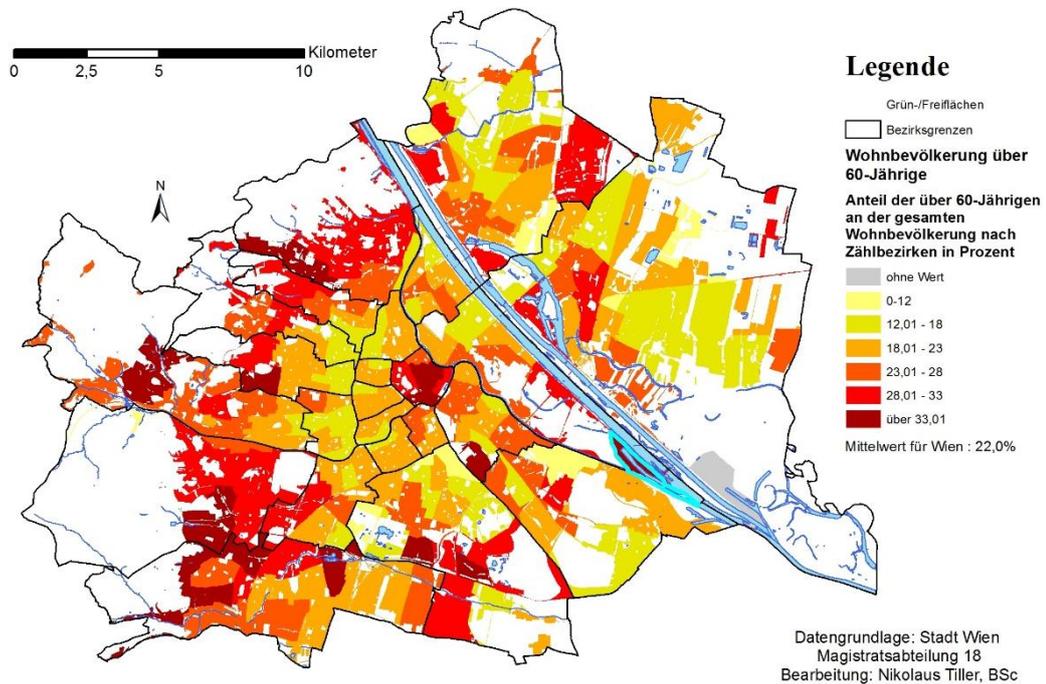


Abbildung 6: Verteilung der über 60-Jährigen an der Wohnbevölkerung in Wien 2014 – Datengrundlage: Stadt Wien, eigene Darstellung;

Zur Darstellung wurde eine bipolare Farbskala gewählt, die von gelb (=sehr geringer Anteil) bis rot (= sehr hoher Anteil) verläuft, um die unterschiedlichen Zählbezirke des Anteils der über 60-Jährigen zu visualisieren, Grün- und Freiflächen wurden in Weiß dargestellt. Der Mittelwert beträgt 22%, was bedeutet, dass im Durchschnitt etwas mehr als jede 5. in Wien wohnhafte Person das Alter von 60 Jahren überschritten hat.

Die dunkelrot gefärbten Zählbezirke stehen für einen relativen Anteil von über 33% an den über 60-Jährigen in der jeweiligen statistischen Raumeinheit. Demzufolge hat in diesen Zählbezirken etwa jede dritte wohnhafte Person den 60. Geburtstag bereits überschritten. Diese Gebiete befinden sich an den westlichen Außenrändern der Bezirke Döbling, Ottakring, Penzing, Hietzing und Liesing in unmittelbarer Nähe zum Wienerwald sowie in der Inneren Stadt, in Favoriten und in Landstraße. Während die inneren Bezirke (abgesehen von Innere Stadt) Wieden, Margareten, Mariahilf, Neubau, Josefstadt und Alsergrund in etwa dem Durchschnittswert von rund 22% entsprechen, zeigen sich vor allem in den Zählbezirken um den Gürtel geringe Anteile von über 60-jährigen.

Als altersspezifisch eher heterogene Bezirke zeigen sich Rudolfsheim-Fünfhaus, Favoriten, Simmering und Floridsdorf sowie Donaustadt wobei vor allem bei Letzt genanntem, Zählbezirke mit geringem Anteil an plus 60-Jährigen überwiegen.

Folgende Abbildung 7 zeigt die relative Verteilung der Hochbetagten (über 75-jährigen) an der Wohnbevölkerung auf Zählbezirksebene und soll einen weiteren Überblick über die altersspezifische Verteilung im Wiener Stadtgebiet geben.

Verteilung der Hochbetagten (75+) an der Wohnbevölkerung in Wien 2014

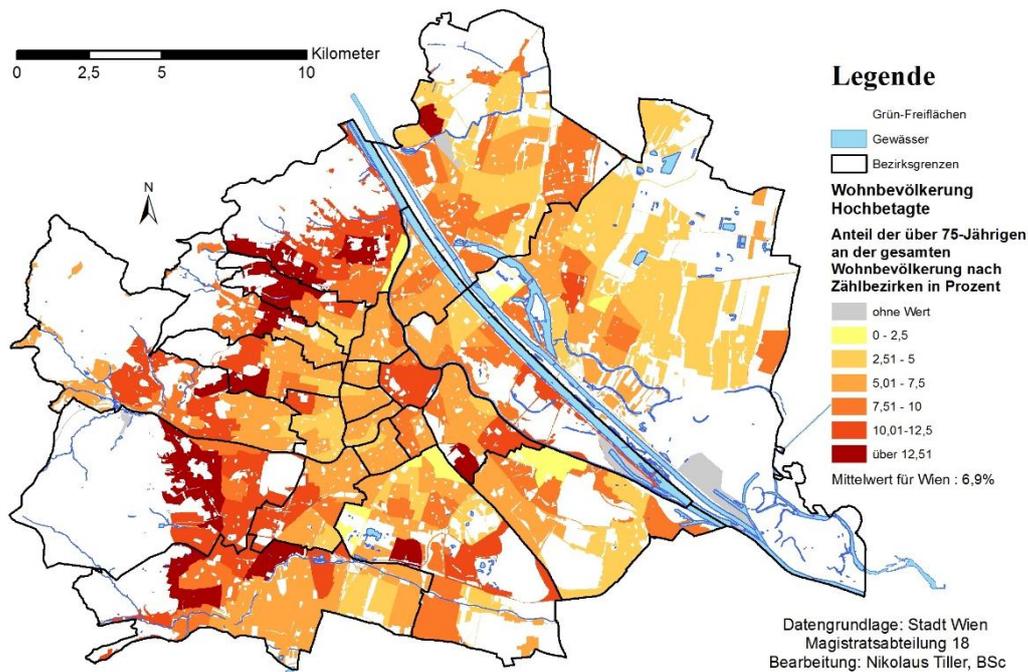


Abbildung 7: Verteilung der über 75-Jährigen an der Wohnbevölkerung in Wien 2014 – Datengrundlage: Stadt Wien, eigene Darstellung;

Die Verteilung der Hochbetagten an der Gesamtbevölkerung zeigt ein ähnliches Bild wie bei den über 60-Jährigen: Eine erhöhte Konzentration vor allem an den Randgebieten der westlichen Bezirke Döbling, Währing, Hernals, Ottakring, Penzing, Hietzing und Liesing in unmittelbarer Wienerwaldnähe. Auch im Nordwesten von Floridsdorf sowie in Favoriten und in Landstraße befinden sich Zählbezirke, die eine hohe Konzentration (über 12,51 Prozent) von über 75-Jährigen beinhalten. Überdurchschnittlich hoch ist der Anteil der Hochbetagten ebenfalls im ersten Bezirk (Innere Stadt), wo der Anteil nahezu in allen Zählgebieten über 10% liegt. Jedoch ist die erhöhte Altersstruktur im ersten Bezirk bei den über 75-Jährigen nicht so stark ausgeprägt wie bei den über 60-Jährigen.

In den Zählbezirken der westlichen Bezirke (Döbling, Währing, Hernals, Ottakring und Rudolfsheim-Fünfhaus) in Gürtelnähe zeigt sich hingegen Großteils ein unterdurchschnittlich geringer Anteil an Hochbetagten, der meist sogar unter 2,5% fällt. Diese Verteilung geht mit

einem hohen Ausländeranteil der Wohnbevölkerung in unmittelbarer Gürtelnähe einher, der sich als altersspezifisch sehr jung erweist. Ebenfalls ersichtlich ist ein eher geringer Anteil von Hochbetagten vor allem in den äußeren Stadtteilen in Donaustadt, der vor allem auf die rege Neubautätigkeit und somit den vermehrten Zuzug von Jungfamilien erklärt werden kann.

5.2 Altersstruktur in den Zählgebieten

Eine weitere Unterteilung der Bezirke beziehungsweise der Zählbezirke auf größerer räumlicher Maßstabsebene umfasst Raumeinheiten auf Niveau der 1364 Zählgebiete im Wiener Stadtgebiet.

Die Kategorisierung der alten Wohnbevölkerung erfolgte dabei über das Prinzip der *Fuzzy-Logic*, welches gewählt wurde, um die Problematik der scharfen Abgrenzung bei der Definition in „alt“ und „jung“ zu berücksichtigen.

Um Personen als „alt“ zu klassifizieren, können je nach Thematik verschiedene Schwellenwerte herangezogen werden. Meist wird dabei die Grenze zwischen „alt“ und „jung“ mit dem biologischen Alter von 65 Jahren festgesetzt, was vor allem für sozialökonomische Fragestellungen eine oft verwendete Abgrenzung darstellt.

In der Thematik bezüglich Vulnerabilität von thermischer Belastung in Zusammenhang mit dem Alter gestaltet sich eine sinnvolle Klassifizierung als schwierig. Würde man hier bloß das biologische Alter von beispielsweise 65 Jahren heranziehen, so würde dies einen eindeutigen Zusammenhang zwischen Repräsentationsfähigkeit der Daten hinsichtlich der abzubildenden Information unterstellen, der in der Praxis in dieser vereinfachten Form nicht gegeben ist. (65= alt, 64= jung) (vgl. STADT WIEN, 2006). Um diese Komplexität bei der Altersabgrenzung zu berücksichtigen, wurde das Modell der *Fuzzy-Logic* angewendet, welches es ermöglicht diese scharfe Grenze durch einen kontinuierlichen Übergangsbereich flexibler und somit realistischer zu gestalten. Dies erfolgt mit der Gewichtung des jeweiligen Alters nach einem bestimmten Schlüssel, welcher in nachfolgender Tabelle dargestellt wird:

Tabelle 13: : Aufschlüsselung der Gewichtung des Alters im Übergangsbereich von 60-80 Jahren

Alter	≤ 60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Faktor	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
Alter	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	> 81
Faktor	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1

Der ausgewählte Übergangsbereich zwischen 60 und 80 sowie die Gewichtung des Faktors der jeweiligen Altersgruppen, die im Rahmen dieser Arbeit angewendet wurden, richtet sich dabei

an die Kategorisierung, die innerhalb der Studie „Lebensräume der älteren Stadtbevölkerung“ (vgl. STADT WIEN, 2006) angewendet wurde.

Alle Personen, die 60 Jahre oder jünger sind erhalten den Faktor 0 und fallen somit aus der Menge von Menschen, die durch ihr fortschreitendes Alter besonders von Hitzestress betroffen sind. Zwischen den Altersgruppen 60 – 80 wird der Faktor der Gewichtung pro steigendem Lebensjahr um jeweils 0,05 erhöht. Ab dem Alter von 80 Jahren gibt es keine weitere Differenzierung, so werden alle älteren Altersgruppen ebenfalls mit dem Faktor 1 gewichtet.

Aufgrund der vorhandenen Datenverfügbarkeit von ausschließlich 5-jährigen Altersgruppen wurde der Gewichtungsfaktor der jeweiligen Altersgruppen generalisiert und wie folgt festgelegt:

Tabelle 14: : Gewichtungsfaktor der Altersgruppen

Altersgruppe	≤ 60	61-65	66-70	71-75	76-80	≥ 80
Abgrenzung	Eindeutig nicht alt	kaum alt	Wenig alt	Mäßig alt	Eher alt	Eindeutig alt
Faktor	0	0,125	0,375	0,625	0,875	1

Die klare Zuteilung in „nicht alt“ (≤ 60 – Faktor 0) und „alt“ (≥ 80 – Faktor 1) bleibt bestehen, während im kontinuierlichen Übergangsbereich eine Gewichtung der zusammengefassten Altersgruppen in fünf Jahresschritten mit den in der obigen Tabelle ersichtlichen Faktoren erfolgt. Pro steigender Altersgruppe erhöht sich der Faktor jeweils um 0,25 und gewichtet im festgelegten Übergangsbereich somit ältere Altersgruppen stärker als Jüngere. Das bedeutet konkret, dass beispielsweise alle Personen, die in die Altersgruppe 66-70 fallen, mit einem Faktor von 0,375 gewichtet werden. Sind in Zählgebiet X beispielsweise 100 Personen zwischen 66 und 70 Jahre alt, so ergibt sich ein gewichteter Wert in dieser Altersgruppe von 37,5 ($100 \times 0,375$).

Nach der Berechnung mit dem zugehörigen Faktor in den jeweiligen Altersgruppen, werden die Ergebnisse aller Altersgruppen für jedes Zählgebiet addiert und ergeben somit einen *absoluten „Fuzzy-Wert“*. Je höher dieser Gesamtwert in den statistischen Raumeinheiten ausfällt, desto höher ist die Anzahl der „älteren“ Wohnbevölkerung in diesem Gebiet.

Da alle Zählgebiete festgelegte Raumeinheiten sind, die sich in Größe und Bevölkerungsdichte teilweise erheblich voneinander unterscheiden, ist der *absolute „Fuzzy-Wert“* nicht dazu geeignet Zählgebiete miteinander zu vergleichen. Dazu wird in einem weiteren Schritt der relative *„Fuzzy-Anteil“* berechnet, welcher das Verhältnis des *absoluten „Fuzzy-Wertes“* mit der Anzahl der gesamten Wohnbevölkerung darstellt. Dieser Wert wird im weiteren Verlauf der Arbeit auch als *relative Fuzzy-Wert* bezeichnet.

$$\text{Relativer Fuzzy Wert} = \frac{\text{absoluter Fuzzy Wert (Zählgebiet)}}{\text{gesamte Wohnbevölkerung (Zählgebiet)}}$$

Anschließend erfolgt in einem nächsten Schritt eine Sortierung aller Zählgebiete hinsichtlich des relativen *Fuzzy-Wertes* um eine Kodierung vornehmen zu können. Das Gebiet mit dem niedrigsten *relativen Fuzzy-Wert* erhält die Wertigkeit 0, das Zählgebiet mit dem höchsten *relativen Fuzzy-Wert* die Wertigkeit 1364, dazwischen erfolgt stets eine Erhöhung um eine ganze Zahl. Zur besseren Verständlichkeit veranschaulicht folgende Tabelle das Schema der Kodierung exemplarisch.

Tabelle 15: Schema der Kodierung des relativen Fuzzy-Wertes

Relative Fuzzy-Anteil (je Zählgebiet)	Kodierung	
Niedrigster relativer Fuzzy-Wert	Wertigkeit	0
2. niedrigster relativer Fuzzy-Wert	Wertigkeit	1
3. niedrigster relativer Fuzzy-Wert	Wertigkeit	2
....
3. höchster relativer Fuzzy-Wert	Wertigkeit	1362
2. höchster relativer Fuzzy-Wert	Wertigkeit	1363
Höchster relativer Fuzzy-Wert	Wertigkeit	1364

Somit haben alle Zählgebiete eine Wertigkeit des relativen *Fuzzy-Wertes* erhalten. Zählgebiete mit höheren Wertigkeiten haben folglich einen höheren *relativen Fuzzy-Wert* und stehen für eine alte relative Bevölkerungsstruktur, während Zählgebiete mit niedrigen Wertigkeiten eine junge relative Bevölkerungsstruktur repräsentieren.

Anschließend erfolgt eine Sortierung des *absoluten Fuzzy-Wertes* nach dem gleichen Schema. Hier wird das Zählgebiet mit dem niedrigsten *absoluten Fuzzy Wert* wieder mit 0 bewertet wird. Es erfolgt wiederum ein Anstieg um jeweils eine volle Zahl bis hin zum Zählgebiet mit dem höchsten *absoluten Fuzzy-Wert*, das den Wert 1364 erhält. Somit haben alle Zählgebiete sowohl eine Wertigkeit des *relativen* als auch des *absoluten Fuzzy-Wertes* erhalten. In weiterer Folge wird die Summe aus den jeweils zugeteilten Werten des *absoluten Fuzzy Wertes* sowie des *relativen Fuzzy-Anteils* von jedem Zählgebiet gebildet. Diese neue Maßzahl wird als *Fuzzy-Gesamtwert* bezeichnet, der sowohl den Anteil der alten Bevölkerungsstruktur in Relation zur gesamten Wohnbevölkerung im jeweiligen Zählgebiet berücksichtigt, als auch die absolute Anzahl an alten Menschen in jedem Zählgebiete integriert.

Zählgebiete mit *niedrigen Fuzzy-Gesamt-Werten* stehen für eine junge Bevölkerung, während hohe Werte eine alte Bevölkerungsstruktur ausdrücken.

In diesem Zusammenhang darf allerdings nicht unerwähnt bleiben, dass mit der Anwendung des Modells der Fuzzy-Logic zwar die Problematik der scharfen Abgrenzung reduziert werden kann, jedoch der Anspruch auf vollkommene Repräsentativität aufgrund der Komplexität der abzubildenden „alten Menschen“ nicht vollständig erhoben werden kann. Dies ergibt sich aus dem Faktum der Individualität, so kann keine Kategorisierung ausschließlich altersbedingte Vulnerabilität von thermischer Belastung erfassen, da diese von Person zu Person zu differiert.

Folgende Abbildung veranschaulicht den relativen *Fuzzy-Anteil* (=relativer Fuzzy-Wert) der alten Wohnbevölkerung auf Ebene der Zählgebiete, wobei die statistischen Raumeinheiten, in welchen weniger als 50 Einwohner wohnhaft sind, in dieser Analyse nicht berücksichtigt wurden.

Räumliche Verteilung der alten Wohnbevölkerung auf Zählgebietsniveau in Wien 2012

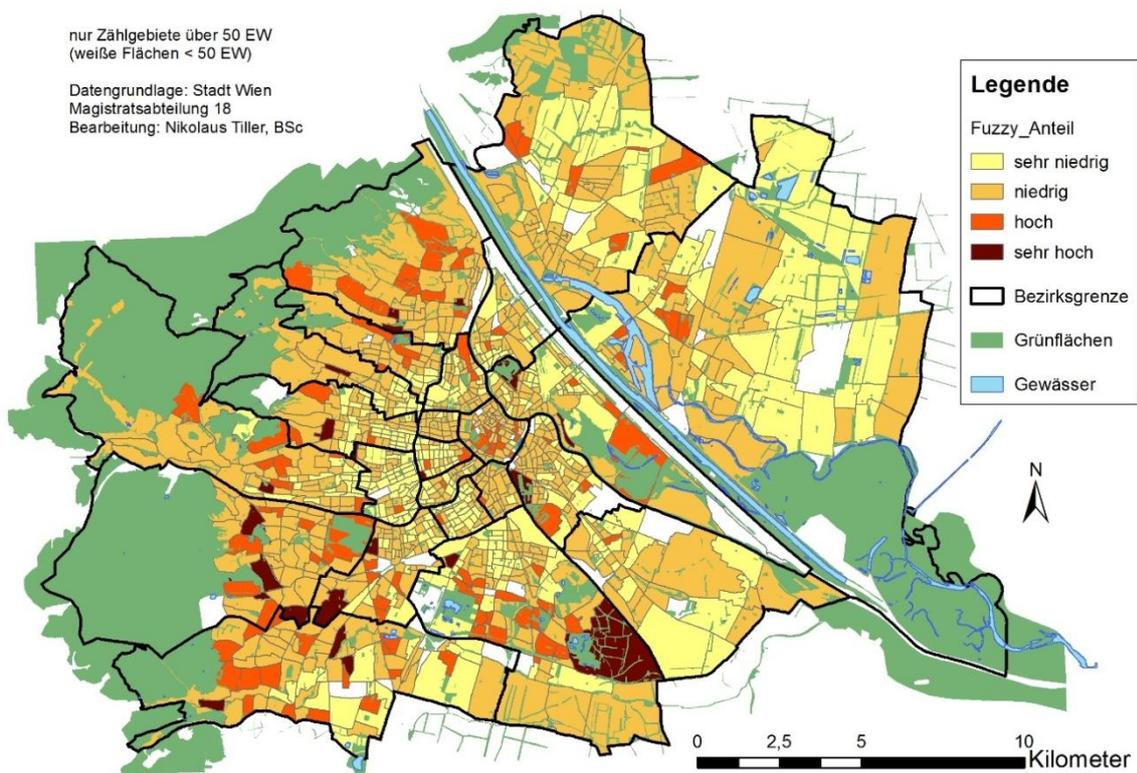


Abbildung 8: Räumliche Verteilung der alten Wohnbevölkerung in Wien 2012 – Datengrundlage: Stadt Wien, eigene Darstellung;

Die obige Karte zeigt sehr hohe flächendeckende *Fuzzy-Anteil-Werte* um das Gebiet des Laaerbergs im zehnten Bezirk. Diese hohen Werte sind vor allem mit der geringen Bevölkerungsdichte in diesem Stadtteil zu begründen. Die absolute Anzahl an alter Wohnbevölkerung ist zwar

nicht extrem hoch, da aber auch die absolute Anzahl der Wohnbevölkerung in diesem Gebiet gering ist, ergibt die Analyse einen sehr hohen Fuzzy-Anteil. Des Weiteren ist in bestimmten Zählgebieten im 3., 12., 14., 15., 16., 17., 19. und 23. Bezirk eine alte Wohnbevölkerung in Relation zur gesamten Wohnbevölkerung vorherrschend. Niedrige relative-Fuzzy-Anteile zeigen sich hingegen vor allem in den Bezirken 21 und 22 sowie in und um den Wiener Gürtel.

Folgende Abbildung zeigt die Verteilung der altersspezifischen Bevölkerungsstruktur, wobei in diesem Fall der *Fuzzy-Gesamt-Wert* die grundlegende Variable darstellt. Das bedeutet, dass sowohl der relative Anteil, als auch die absolute Anzahl der alten Wohnbevölkerung berücksichtigt wurden.

Räumliche Verteilung der altersspezifischen Wohnbevölkerung auf Zählgebietsniveau in Wien 2012

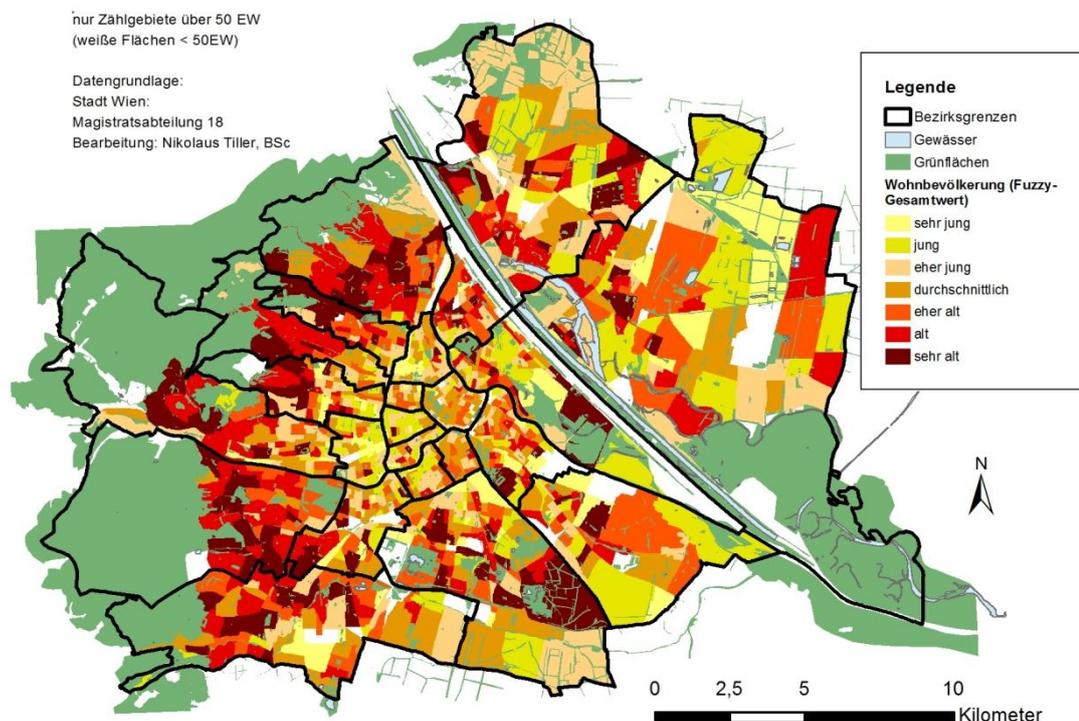


Abbildung 9: Räumliche Verteilung der altersspezifischen Wohnbevölkerung in Wien 2012 – Datengrundlage: Stadt Wien, eigene Darstellung;

Es zeigt sich ein bereits bekanntes Erscheinungsbild der altersspezifischen Wohnbevölkerung im Wiener Stadtgebiet. Bei dieser kartographischen Darstellung erfolgte eine Unterteilung in sieben Kategorien (von sehr jung- bis sehr alt).

Alle Zählgebiete, die einen höheren *Fuzzy-Gesamtwert* als 2222 aufweisen, fallen in die Kategorie sehr alt, die in dunkelrot dargestellt wurde. Dies ist vor allem für weitere Analysen relevant, da diese Karte als Grundlage für weitere Überschneidungen in Kapitel 6.3 herangezogen wird.

6 Typisierung von Raumeinheiten

In diesem praktischen Teil der Arbeit erfolgt eine Visualisierung des Wiener Stadtgebietes wobei räumliche Ausprägungen des urbanen Hitzeinseleffektes sowie jene der spezifischen Altersstruktur lokalisiert werden. In Kapitel 6.3 erfolgt schließlich eine Überschneidung der räumlichen Ausprägungen von thermischen Belastungen sowie jener der altersspezifischen Struktur der Wohnbevölkerung. Das Ergebnis ist eine kartographische Darstellung von Raumeinheiten, die unterschiedlich stark von Hitzestress betroffen sind und zudem eine hohe spezifische Altersstruktur beinhalten. Es erfolgt schließlich die Lokalisation und Definition von „Problemgebieten“, also jenen Raumeinheiten, die eine hohe thermische Belastung sowie eine hohe Altersstruktur verfügen. Diese Gebiete haben somit die Eigenschaften sowohl stark hitzegefährdet zu sein, als auch eine hohe Vulnerabilität aufgrund der hohen Altersstruktur bezüglich thermischer Belastungen aufzuweisen und werden als "Zielgebiete" bezeichnet (siehe Kapitel 6.4).

6.1 Einteilung Gebiete mit unterschiedlicher Ausprägung des UHI

Im folgenden Kapitel wird die räumliche Ausprägung des urbanen Hitzeinseleffektes in Wien anhand von simulierten Modellen verschiedener Klimaindizes dargestellt.

Grundlage für die durchgeführten Simulationen sind Höhen- und Landnutzungsdaten der Magistratsabteilung 18 für Stadtentwicklung und Stadtplanung, welche die Basis für das verwendete hochaufgelöste thermodynamische Stadtklimamodell MUKLIMO_3 (vgl. SIEVERS und ZDUNKOWSKI, 1986; SIEVERS 1990 und 1995) bildeten. Die Auswertung des Klimamodells erfolgte mit Hilfe der Quadermethode, welches der Prämisse zu Grunde liegt, dass lokale hitzebelastende Wetterlagen im Wesentlichen von den regionalen auftretenden Klimaparametern (relative Feuchte, Temperatur, Wind) bestimmt werden (vgl. FRÜH et al., 2011).

Zur räumlichen Differenzierung von Hitzestress im städtischen Ballungsraum wurden verschiedene Klimaindizes (warme Tage, heiße Tage, warme Nächte und Tropennächte) analysiert, welche zur Modellvalidierung mit Beobachtungsdaten aus den Zeiträumen 1961-1990, 1971-2000 und 1981- 2010 verglichen wurden. Die räumliche Auflösung der Simulationen im Wiener Stadtgebiet beträgt 100 x 100 Meter, im Umland 200 x 200 Meter. (vgl. ZUVELA-ALOISE et al., 2011)

Der Vergleich mit den Beobachtungsdaten zeigt die besten Ergebnisse der Modellsimulationen, welche für den Zeitraum 1981 – 2010 berechnet wurden, was einerseits mit der Verwendung der aktuellen Bebauungsstruktur und andererseits mit dem Fortschritt der Qualitätsprüfung meteorologischer Beobachtungen in den letzten Jahren begründet werden kann (vgl. ZUVELA-ALOISE et al.,2011, S. 40).

Das Ergebnis der Modellsimulationen sind unterschiedliche Häufigkeiten der jeweiligen Klimaindizes auf 100x100 Meter großen Flächen. Jene Zonen die durchschnittlich häufiger bestimmte Kriterien (z.B. Hitzetag: modellierte Temperatur je 100 x 100 Meter Zone > 30°C) erfüllen sind demnach eher von urbaner Erwärmung betroffen.

Obwohl die räumliche Auflösung von 100 x 100 Metern des simulierten Modells (MUKLIMO_3) als sehr hoch bezeichnet werden kann, muss dennoch bedacht werden, dass es sich um eine generalisierte Simulation handelt, in der Raumeinheiten mit einer Fläche von 10.000m² als homogene Ausprägungen abgebildet werden. Dementsprechend kann das Modell auch keine Aussagen für sehr kleinräumige Ausprägungen leisten, zudem kommt ein gewisser Unsicherheits- respektive Ungenauigkeitsfaktor hinzu, der bei Klimamodellen nie ganz ausgeschlossen werden kann. Dennoch liefern die Simulationen des Modells MUKLIMO_3 erste konkrete Erscheinungen bezüglich räumlicher Ausprägungen von Gebieten thermischer Hitzebelastung(en) im Wiener Stadtgebiet.

Zur Aufbereitung wurden die von der ZAMG zur Verfügung gestellten Daten in NC-Format im Programm ArcGis in einem ersten Schritt in Rasterdaten umgewandelt und visualisiert.

6.1.1 Sommertage

Um den urbanen Hitzeinseleffekt in Wien darzustellen wurden zuerst sogenannte warme Tage, auch als Sommertage bezeichnet (Maximaltemperatur über 25°C), räumlich dargestellt.

Folgende Abbildung veranschaulicht die räumlich unterschiedlich aufgetretenen Häufigkeiten von Sommertagen nach dem Klimamodell MUKLIMO_3 .

Räumliche Ausprägung von warmen Tagen in der Klimaperiode 1981-2010

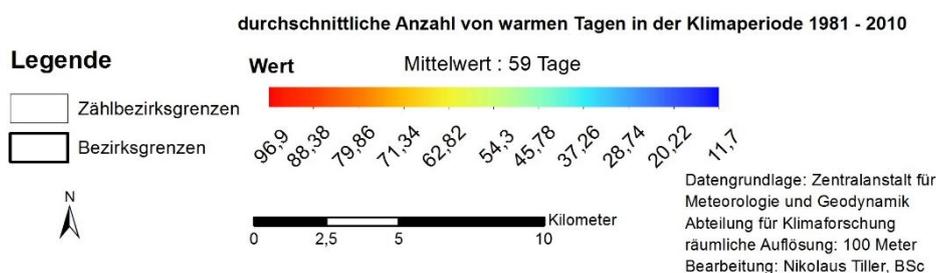
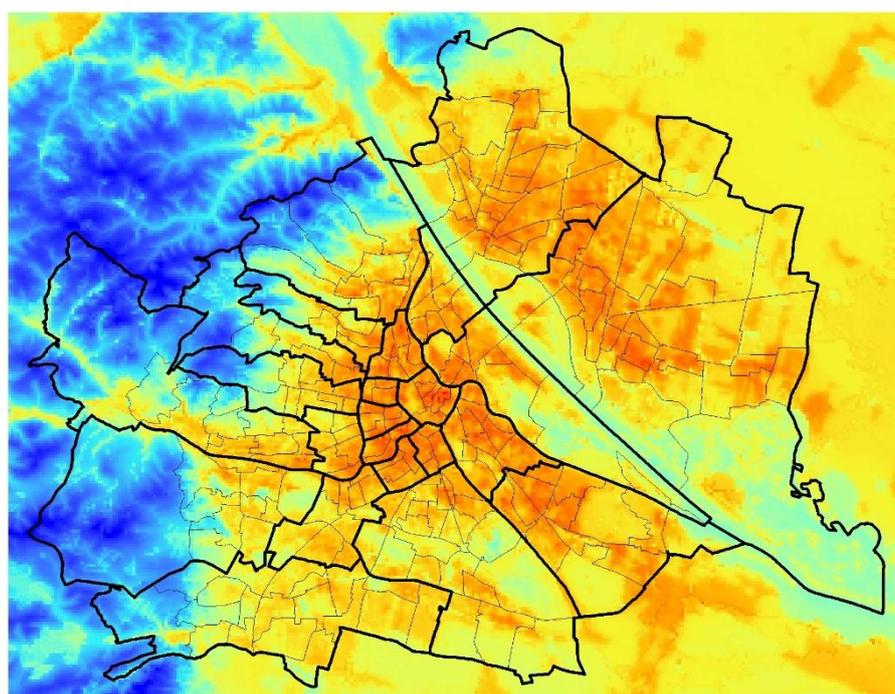


Abbildung 10: Räumliche Ausprägung von Sommertagen in Wien – Datengrundlage: ZAMG, eigene Darstellung;

Generell zeigt sich eine hohe Heterogenität bei der Ausprägung von Gebieten, die häufig von Sommertagen betroffen sind. Dies bedeutet, dass bei Sommertagen keine größere einheitliche Wärmeinsel in Wien ersichtlich ist, was eher die Bezeichnung eines Wärmearchipels rechtfertigen würde. Vor allem die Flächennutzung der unbebauten Gebiete wie Grün- oder Wasserflächen kommt gut zur Geltung. So zeigt sich, dass speziell das Gebiet des Wienerwaldes, sowie Grün- und Freiflächen mit weitaus geringerer Häufigkeit von Temperaturen über 25°C betroffen sind als bebauten Gebiete. Auch eher kleinflächigere Grünflächen (z.B. Augarten) zeigen, dass sie eine thermische Wirkung in ihrem Gebiet haben.

Der Mittelwert (der die Bereiche in grünen Gebieten visualisiert) dieser Modellsimulation beträgt 59 Tage und beinhaltet vor allem nördliche und südliche Flächen des Wiener Stadtgebietes. Auch die Wasserflächen der Donau liegen hier im Bereich des Mittelwertes.

In Bezug auf die menschliche Gesundheit sind Temperaturen über 25°C nicht besonders relevant, jedoch ist die Qualität der Modellsimulation von warmen Tagen als besonders gut einzustufen (vgl. ZUVELA-ALOISE, 2011).

6.1.2 Hitzetage

Die nächste Modellsimulation betrifft die räumliche Häufigkeitsverteilung von heißen Tagen, die auch als Hitzetage bezeichnet werden können.

Räumliche Ausprägung von heißen Tagen in der Klimaperiode 1981-2010

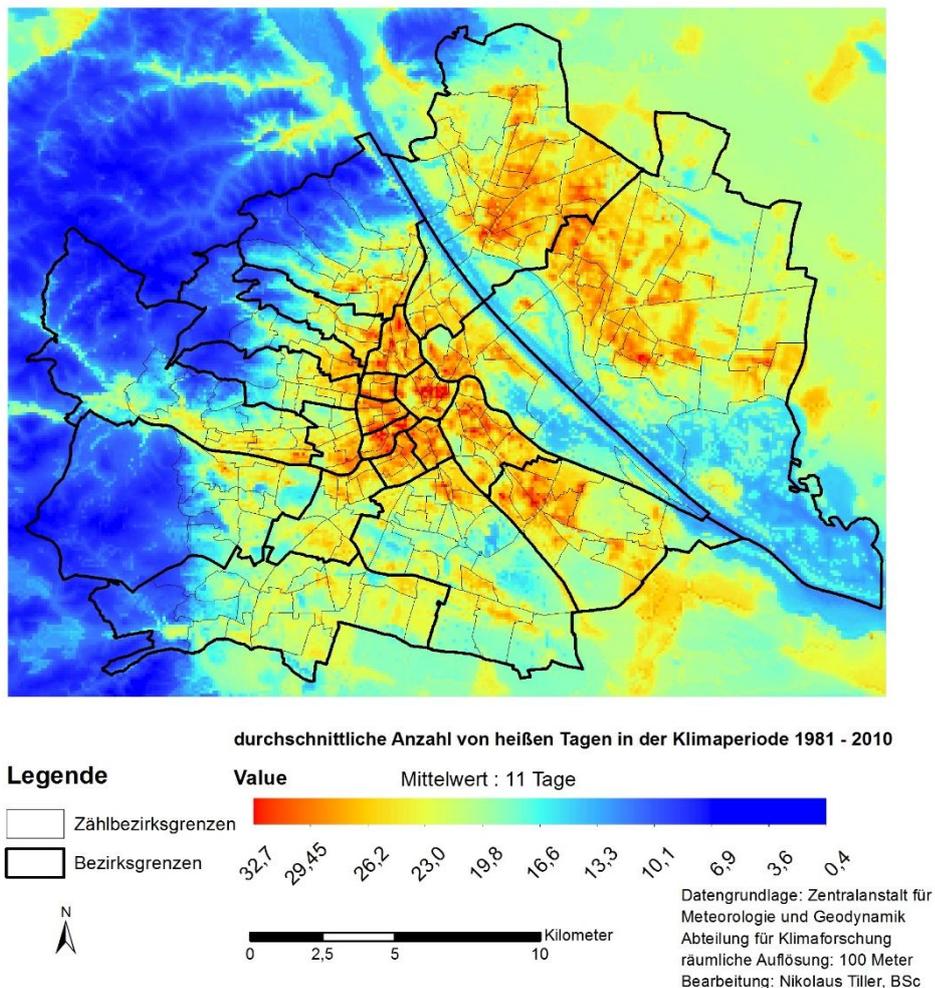


Abbildung 11: Räumliche Ausprägung von Hitzetagen in Wien – Datengrundlage: ZAMG, eigene Darstellung;

Es zeigt sich generell ein ähnliches Bild zur Ausprägung der Sommertage. Innerstädtische, dichter bebaute Gebiete sind weitaus öfter von Temperaturen über 30°C betroffen als Freiflächen. Auch hier ist eine hohe Heterogenität der Ausprägungen zu erkennen, was sich an einer Vielzahl kleinräumiger Hitzeinseln widerspiegelt, die vor allem in Bereichen der innerstädtischen Gebiete angesiedelt sind. Zum Unterschied zur Modellsimulation bei den Sommertagen zeigt sich zudem,

dass die kühlende Wirkung der Donau sowie der Lobau einen stärkeren Einfluss hat und unter dem Mittelwert (elf Tage) liegt.

6.1.3 Warme Nächte

Fehlende nächtliche Abkühlung hat einen bedeutenden negativen Einfluss auf die Schlafqualität und stellt aus gesundheitlicher Betrachtungsweise die größere Problematik im Vergleich zu einzelnen Tagesextrema dar. Folgende Abbildung zeigt die räumliche Ausprägung von warmen Nächten (Nachttemperatur sinkt nicht unter 18°C) in der Klimaperiode 1981- 2010 im Wiener Stadtgebiet.

Räumliche Ausprägung von warmen Nächten
in der Klimaperiode 1981-2010

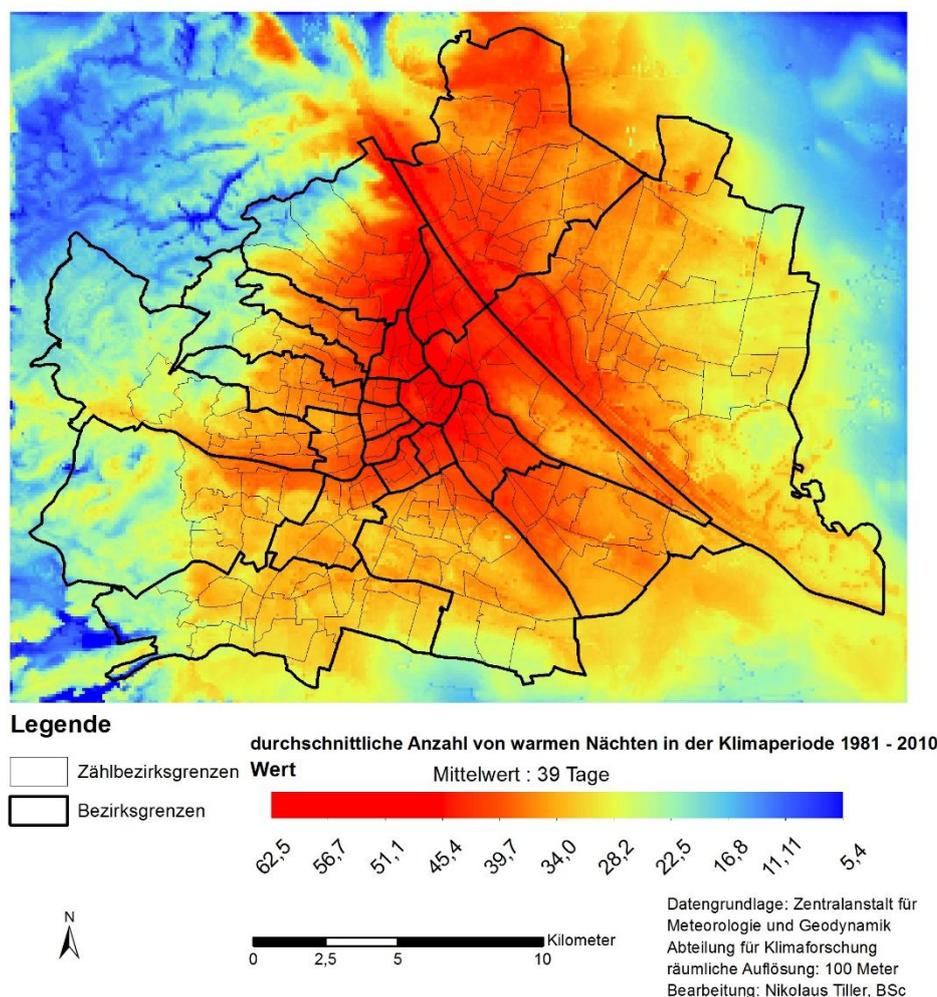


Abbildung 12: Räumliche Ausprägung von warmen Nächten in Wien - Datengrundlage: ZAMG, eigene Darstellung;

In diesem Zeitraum gab es in Wien im Durchschnitt 39 warme Nächte pro Jahr zu verzeichnen. Das räumliche Erscheinungsbild zeigt eine weitaus homogenere Ausprägung als bei jenen von warmen oder heißen Tagen. Die äußeren Bereiche der Randbezirke sind mit Ausnahme von

Wien-Floridsdorf und Wien-Simmering von einer geringeren Anzahl an warmen Nächten gekennzeichnet. Als abkühlender Effekt tritt der Wienerwald deutlich in Erscheinung, was kühlere Nächte in den westlichen Bezirken am jeweiligen Stadtrand zur Folge hat. Die bei Tagesextrema eindeutig erkennbaren kühlenden Flächen wie die Donau oder größere Grünflächen (Prater, Schönbrunn, Erholungsgebiet Wienerberg,...) haben laut Modell auf die Minderung von warmen Nächten in der jeweiligen Umgebung nahezu keine positiven Auswirkungen, sondern werden von einer großflächigen Hitzeinsel überlagert. Vor allem die innerstädtischen Bezirke (1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 und 20) weisen mit 50 bis 63 warmen Nächten pro Jahr durchschnittlich eine sehr hohe Anzahl auf.

Obwohl die nächtliche Zirkulation im Modell als realistisch bewertet wird, fällt die erwartete nächtliche Abkühlung zu niedrig aus. Diese Schwäche kann abgesehen von der allgemeinen Modellanpassung für Sommertage auch mit fehlenden Niederschlägen beziehungsweise zu geringer relativer Feuchte im Modell erklärt werden (vgl. ZUVELA-ALOISE, 2011, S.33).

6.1.4 Tropennächte

Tropennächte (Nachttemperatur sinkt nicht unter 20°C) verringern die Schlafqualität im Vergleich zu warmen Nächten weiter und haben demzufolge auch höhere Auswirkungen auf die Gesundheit.

Das Modell der Tropennächte kommt aus qualitativer Sicht nicht an die Simulationsmodelle der vorigen Klimaindizes heran, da die Abweichungen von simulierten Szenarien stärker von den Beobachtungsdaten abweichen als bei den durchgeführten Simulationen der anderen Klimaindizes (vgl. ZUVELA-ALOISE, 2011). Folgende Abbildung veranschaulicht die räumliche Ausprägung von Tropennächten im Wiener Stadtgebiet beziehungsweise der näheren Umgebung.

Räumliche Ausprägung von Tropennächten in der Klimaperiode 1981-2010

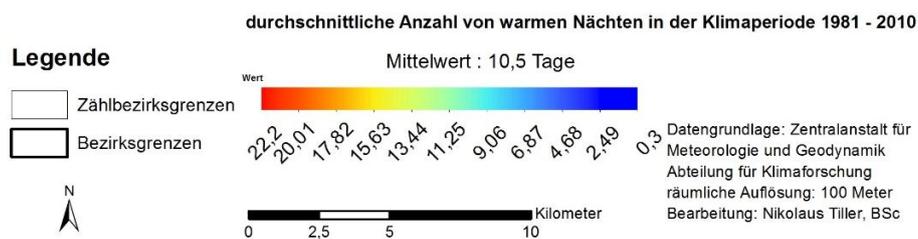
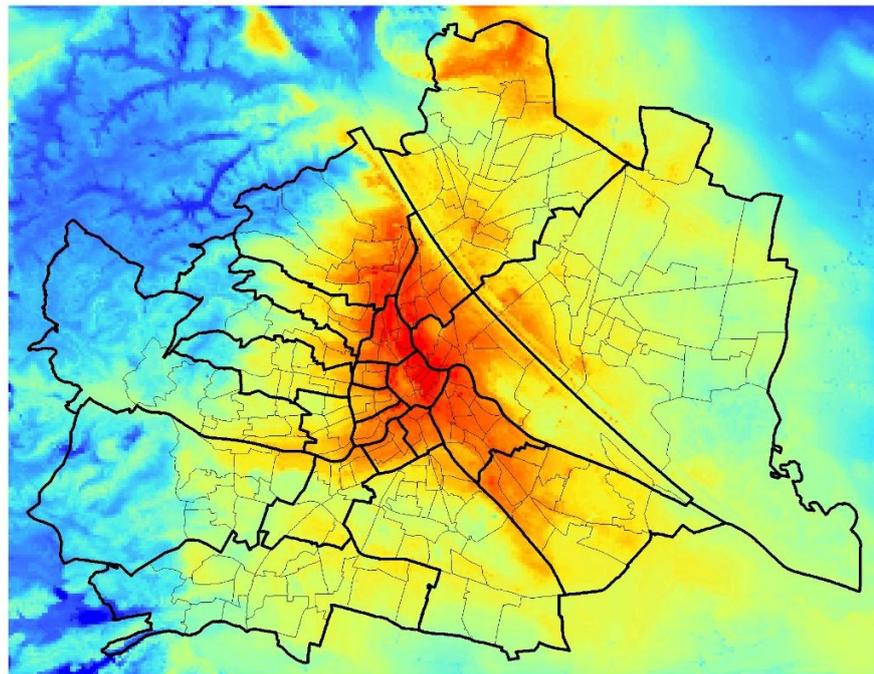


Abbildung 13: Räumliche Ausprägung von Tropennächten in Wien - Datengrundlage: ZAMG, eigene Darstellung;

Im Durchschnitt gab es in der Klimaperiode 1981 – 2010 10,5 Tropennächte im Wiener Stadtgebiet zu verzeichnen. Wie auch bei den warmen Nächten zeigt sich eine homogene Ausprägung der urbanen Hitzeinsel, die im innerstädtischen Bereich konzentriert ist. Am Stadtrand nimmt die Anzahl an Tropennächten stark ab, in den Bezirken 21 und 22 sind bis auf das nördliche Gebiet von Wien- Floridsdorf die Nächte deutlich kühler als in der Innenstadt. Demzufolge sind vor allem die Bezirke 1, 2 (im zentrumsnahen Bereich) 3 bis 9 und 20 von einer erhöhten Anzahl von Tropennächten betroffen.

Wie auch beim Modell der warmen Nächte ersichtlich kommen Grünflächen im Stadtgebiet gar nicht respektive kaum mehr bezüglich abkühlender Wirkung zur Geltung. Einzig der Wienerwald beeinflusst wieder vor allem die äußeren Teilgebiete der westlichen Bezirke, auch die Grünzone des Praters zeigt in seinem Raum eine verringerte Anzahl an Tropennächten im Vergleich zu den innerstädtischen Bezirken. Auch die südlichen Bezirke 23, 10 und 12 weisen im Hinblick auf das

Modell der Tropennächte geringere Nachttemperaturen auf, während im elften Bezirk der stadtnähere Bereich stärker davon betroffen ist.

6.1.5 Stark Hitzegefährdete Gebiete

Nach den Modellsimulationen der Klimaindizes warme Nächte, Tropennächte, Sommertage und Hitzetage erfolgt nun eine räumliche Einteilung in Gebiete mit unterschiedlicher Gefährdung von Hitzestress. Dazu wurden die verschiedenen Klimaindizes zu Polygonen mit unterschiedlichen räumlichen Ausprägungen des Hitzestress zusammengefasst und anschließend miteinander verschnitten. Die Datengrundlage stellen dabei dieselben Modellsimulationen, die im vorigen Kapitel verwendet wurden, dar.

Um stark hitzegefährdete Gebiete zu charakterisieren erfolgt eine Einteilung der Hitzebelastung der jeweiligen Klimaindizes in sieben verschiedene Kategorien. Kategorie eins steht dabei für die geringste Hitzebelastung während Kategorie sieben die stärkste Hitzebelastung impliziert.

Um die Objektivität bei der Kategorisierung möglichst hoch zu halten, wurde darauf geachtet, dass sich der Medianwert in Kategorie vier (durchschnittliche Hitzebelastung) befindet. Außerdem wurden sowohl „natural breaks“ als auch die Umsetzung in möglichst gleich große Intervalle der jeweiligen Kategorien berücksichtigt.

Folgende Tabelle 16 zeigt das verwendete Schema der Kategorisierung von unterschiedlicher Hitzebelastung:

Tabelle 16: Schema der Kategorisierung unterschiedlich stark ausgeprägter Hitzebelastung der jeweiligen Klimaindizes

Kategorie	1	2	3	4	5	6	7	Medianwert
Sommertage	11-33	33-43	43-53	53-63	63-73	73-83	83-96	58
Heiße Tage	0-3	3-6	6-9	9-13	13-17	17-21	21-32	11
Warme Nächte	5-24	24-30	30-36	36-42	42-48	48-54	54-62	39
Tropennächte	0-5	5-7	7-9	9-11	11-13	13-16	16-22	10

- 1... keine Hitzebelastung
- 2... sehr geringe Hitzebelastung
- 3... geringe Hitzebelastung
- 4... durchschnittliche Hitzebelastung
- 5... mäßige Hitzebelastung
- 6... hohe Hitzebelastung
- 7... sehr hohe Hitzebelastung

Konkret fallen alle Gebiete, welche den jeweiligen modellierten Schwellenwert überschreiten in die Kategorie mit der stärksten Hitzebelastung (Kategorie 7) .

Sommertage: Gebiete mit mehr als 83 modellierten Tagen

Hitzetage: Gebiete mit mehr als 21 modellierten Tage

warme Nächte: Gebiete mit mehr als 54 modellierten Nächten/Erscheinungen

Tropennächte: Gebiete mit mehr als 16 modellierten 16 Nächten/Erscheinungen

Nun erfolgen Visualisierungen der räumlichen Ausprägungen der Klimaindizes Sommertage, Hitzetage, warme Nächte und Tropennächte von Gebieten mit der jeweils höchsten Hitzebelastung (Kategorie 7). Anschließend erfolgt schließlich eine Überschneidung aller Gebiete der jeweiligen höchsten Kategorie um Raumeinheiten zu erhalten, die generell am Stärksten von Hitzestress betroffen sind. Diese überschrittenen Gebiete stellen somit Gebiete dar, die in allen modellierten Klimaindizes in der jeweils höchsten Kategorie klassifiziert wurden und sind somit die Grundlage für weitere Überschneidungen mit der räumlichen Verteilung der Altersstruktur, welche in Kapitel 6.3 durchgeführt werden.

Folgende Abbildungen visualisieren die räumlichen Ausprägungen von Sommer- sowie von Hitzetagen, die der Kategorie sieben zugeordnet wurden. Diese Gebiete zeigen somit alle Raumeinheiten, die im Durchschnitt von der höchsten Anzahl von Sommer- (mehr als 83) sowie von Hitzetagen (mehr als 21) im Jahr betroffen sind.

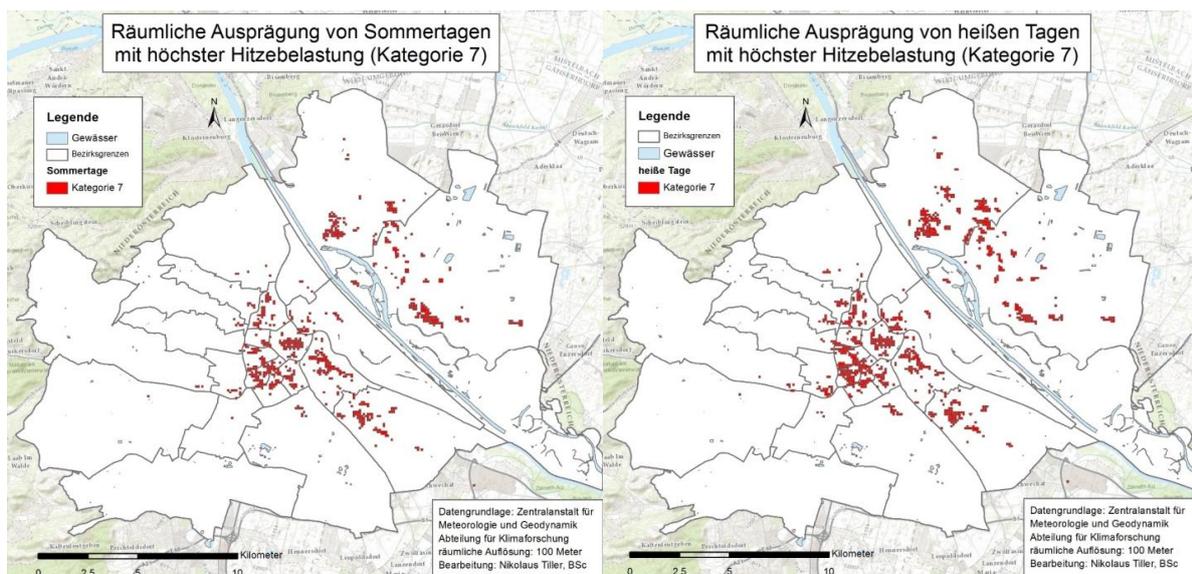


Abbildung 14: Räumliche Ausprägung von Sommer- und Hitzetagen mit höchster Hitzebelastung - Datengrundlage: ZAMG, eigene Bearbeitung;

Generell sind die Ausprägungen der höchsten Hitzebelastung bei Sommer- und Hitzetagen relativ ähnlich. Es zeigt sich eine hohe Konzentration der räumlichen Ausprägung in der höchsten Kategorie vor allem in den innerstädtischen Bezirken. Konkret sind speziell Teilbereiche der Bezirke Innere Stadt, Landstraße, Wieden, Neubau und Alsergrund von sehr hohen thermischen Belastungen betroffen. Aber auch in Leopoldstadt, Simmering, Margareten, Floridsdorf und Donaustadt gibt es Gebiete, die hohe Hitzebelastungen bezüglich der Ausprägungen von Sommer- und Hitzetagen aufweisen.

Folgende Karten visualisieren die räumliche Ausprägung von warmen Nächten (Temperaturminimum > 18°C) und Tropennächten (Temperaturminimum > 20°C), die der Kategorie sieben zugeordnet wurden. Die rechte Karte zeigt alle Raumeinheiten, die im Durchschnitt von der höchsten Anzahl von warmen Nächten (mehr als 54) im Jahr betroffen sind, während die linke Karte Gebiete visualisiert, die die höchsten Häufigkeiten von Tropennächten (mehr als 16) aufweisen.

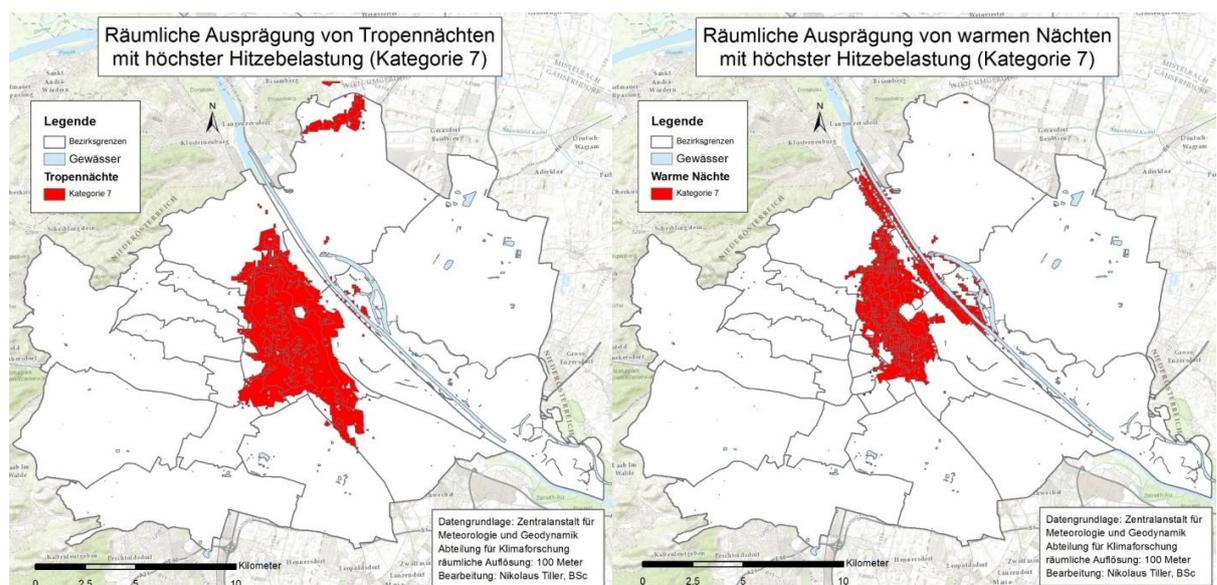


Abbildung 15: Räumliche Ausprägung von Tropennächten und warmen Nächten mit höchster Hitzebelastung - Datengrundlage: ZAMG, eigene Bearbeitung;

Sowohl bei den Tropennächten als auch bei den warmen Nächten ist die höchste thermische Belastung in innerstädtischen Gebieten ersichtlich, wobei sich generell eine jeweils homogene Hitzeinsel zeigt. Die thermische Belastung der Tropennächte ist dabei vor allem südlich stärker ausgeprägt als im Vergleich zu jener der warmen Nächte. Des Weiteren zeigen die simulierten Modellergebnisse, dass bei den Tropennächten im Norden des 21. Bezirkes eine kleinere Hitzeinsel zu erkennen ist, die beim Modell der warmen Nächte nicht in Erscheinung tritt. Im Gegensatz zu den Tropennächten zeigt die Ausprägung der warmen Nächte allerdings auch

räumliche Ausprägungen im nördlicheren Teil des Wiener Stadtgebietes auf der orographisch rechten Seite der Donau.

Alle Gebiete der jeweiligen Klimaindizes, die in Kategorie sieben fallen, wurden nun in einem nächsten Arbeitsschritt überschritten, um Raumeinheiten mit der stärksten Hitzebelastung aus der Kombination der Klimaindizes Sommertage, Hitzetage, warme Nächte und Tropennächte zu erhalten.

Das Ergebnis der Überschneidung zeigt sich in folgender kartografischer Darstellung.

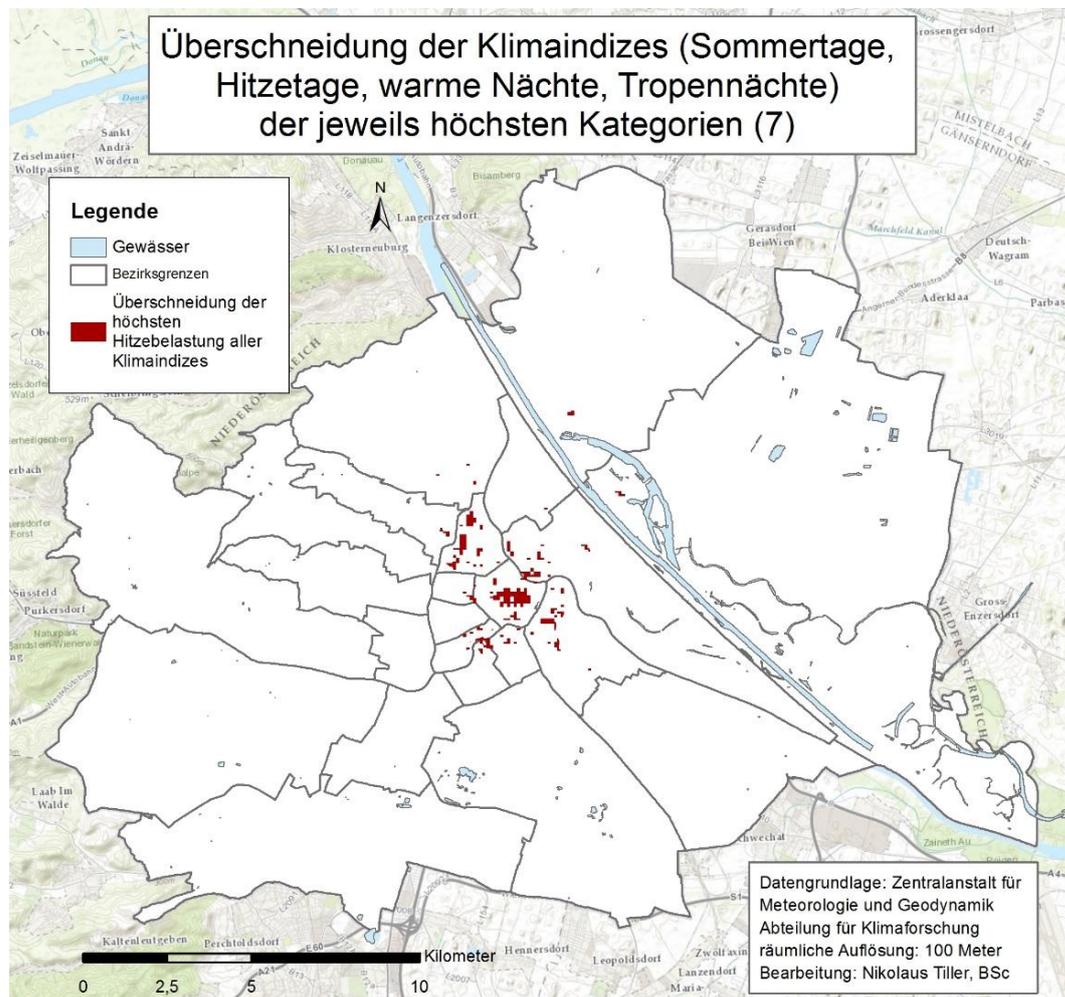


Abbildung 16: Überschneidung aller Klimaindizes mit höchster Hitzebelastung - Datengrundlage: ZAMG, eigene Bearbeitung;

Abbildung 16 zeigt somit die räumlichen Redundanzen all jener Gebiete mit höchster Hitzebelastung, was sowohl Tages- als auch Nachttextrema betrifft. Diese maximale Hitzebelastung kann erwartungsgemäß in verschiedenen Teilgebieten der innerstädtischen Bezirke lokalisiert werden, wobei vor allem die Bezirke Innere Stadt und Alsergrund eine hohe

Konzentration aufweisen. In den äußeren Bezirken ist bis auf eine kleinflächige Ausnahme in Floridsdorf kein einziges Gebiet von maximaler Hitzebelastung betroffen.

Obige Abbildung 16 stellt die Grundlage für Überschneidungen mit der Altersstruktur in Kapitel 6.3 dar.

In einem weiteren Schritt wurden auch Gebiete, die von „zweithöchster“ Hitzebelastung gekennzeichnet sind, in der weiteren Analyse berücksichtigt. Dabei wurden alle Gebiete der jeweiligen Klimaindizes, die in Kategorie sechs UND sieben fallen überschritten, um als Ergebnis Raumeinheiten zu erhalten, die sowohl von sehr hoher (Kategorie 7) als auch von hoher (Kategorie 6) Hitzelastung betroffen sind. Diese Raumeinheiten werden in folgender Abbildung 17 dargestellt.

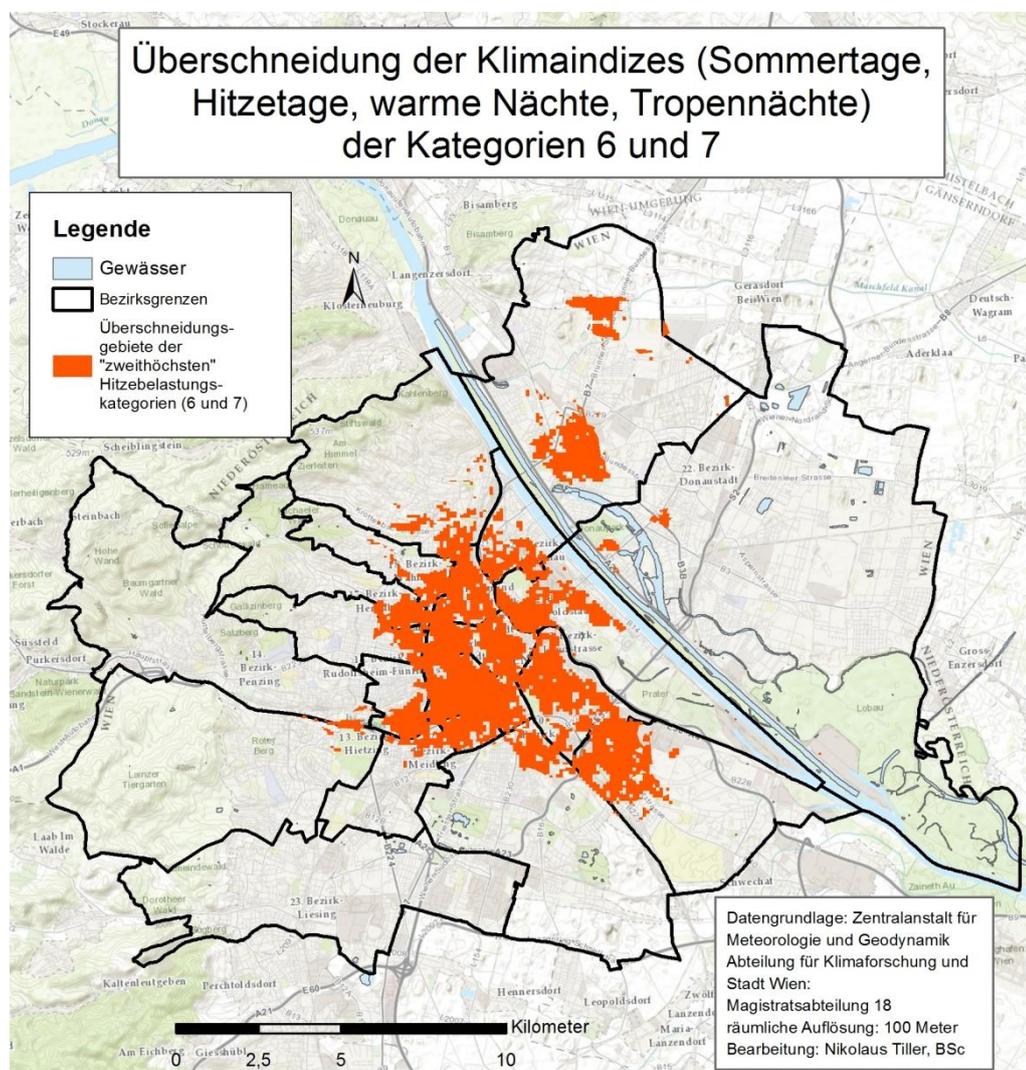


Abbildung 17: Überschneidung aller Klimaindizes der Hitzebelastung der Kategorien 6 und 7 - Datengrundlage: ZAMG, eigene Bearbeitung;

Die obige Graphik zeigt somit die räumlichen Redundanzen all jener Gebiete mit hoher (Kategorie 6) oder sehr hoher (Kategorie 7) Hitzebelastung, was sowohl Tages- (Sommer- und Hitzetage) als auch Nachtextrema (warme Nächte und Tropennächte) betrifft.

Im Vergleich zu Gebieten, die ausschließlich von höchster Hitzebelastung betroffen sind (siehe Abbildung 16), zeigt sich hier erwartungsgemäß ein viel weiter ausgedehntes Gebiet, das sich nahezu in der kompletten Innenstadt manifestiert. Des Weiteren können auch zwei kleinere Hitzeinseln im 21. Wiener Gemeindebezirk lokalisiert werden.

Diese Abbildung stellt ebenfalls die Grundlage für weitere Überschneidungen mit der Altersstruktur dar, welche in Kapitel 6.3 durchgeführt werden. Das Ergebnis dieser nachfolgenden Überschneidungen mit der demografischen Ausprägung stellt schließlich die „B-Zielgebiete“ dar.

6.2 Einteilung Gebiete mit hoher Altersstruktur

In diesem Kapitel wird nun die räumliche Ausprägung der altersspezifischen Bevölkerungsstruktur visualisiert, analysiert und interpretiert. Die Datengrundlage wurde von der Stadt Wien zur Verfügung gestellt und basiert aus den Jahren 2012 (auf Ebene der Baublöcke und Zählgebiete) beziehungsweise 2014 (auf Ebene der Zählbezirke).

Zur Darstellung der alten Bevölkerungsstruktur auf Ebene der Zählgebiete wurden wiederum die bereits beschriebenen Variablen der *Fuzzy-Logic* verwendet. Der Schlüssel zur genauen Bewertung der Altersgruppen ist in Kapitel 5.2 erläutert.

6.2.1 Alte Bevölkerungsstruktur

Zur Darstellung der alten Bevölkerungsstruktur sowie in weiterer Folge zur Überschneidung mit urbanen Hitzeinseln wurde das räumliche Niveau der Zählgebiete ausgewählt.

Die Maßstabebene auf Zählgebietsniveau erfüllt den Anspruch eine möglichst hohe räumliche Auflösung zu erzielen. Altersverteilungen auf Niveau der Baublöcke haben zwar eine noch höhere Auflösung, jedoch ergibt sich bei der Verschneidung mit Gebieten von thermischer Belastung die Problematik, dass als Ergebnis ausschließlich einzelne Baublöcke identifiziert werden können. Stadtplanerische Maßnahmen würden somit nur Handlungen einzelner Baublöcke betreffen. Das Arbeitsziel wurde jedoch damit festgelegt, zusammenhängende Stadtteile beziehungsweise -gebiete zu lokalisieren, die zusätzlich durch eine hohe Altersstruktur gekennzeichnet sind. Diese sogenannten „Problemgebiete“ sollten somit nicht nur einzelne Baublöcke, sondern zusammenhängende Raumeinheiten unterschiedlicher Nutzungen (z.B. auch Verkehrs- oder Freiflächen) umfassen.

Um ein repräsentatives Ergebnis der altersspezifischen Bevölkerungsstruktur zu erhalten, wurde der *Fuzzy-Gesamt-Wert* herangezogen. Dieser berücksichtigt sowohl den relativen *Fuzzy-Wert* [Anteil der alten (=fuzzy-gewichteten) Wohnbevölkerung an der Gesamtwohnbevölkerung] im jeweiligen Zählgebiet sowie auch den absoluten *Fuzzy-Wert* (absolute Anzahl der alten Wohnbevölkerung).

Folgende Abbildung zeigt die zusammengefassten Polygone von Gebieten mit der höchsten Altersstruktur auf Zählgebietsniveau, was allen Raumeinheiten der Kategorie 7 aus Abbildung 9 entspricht.

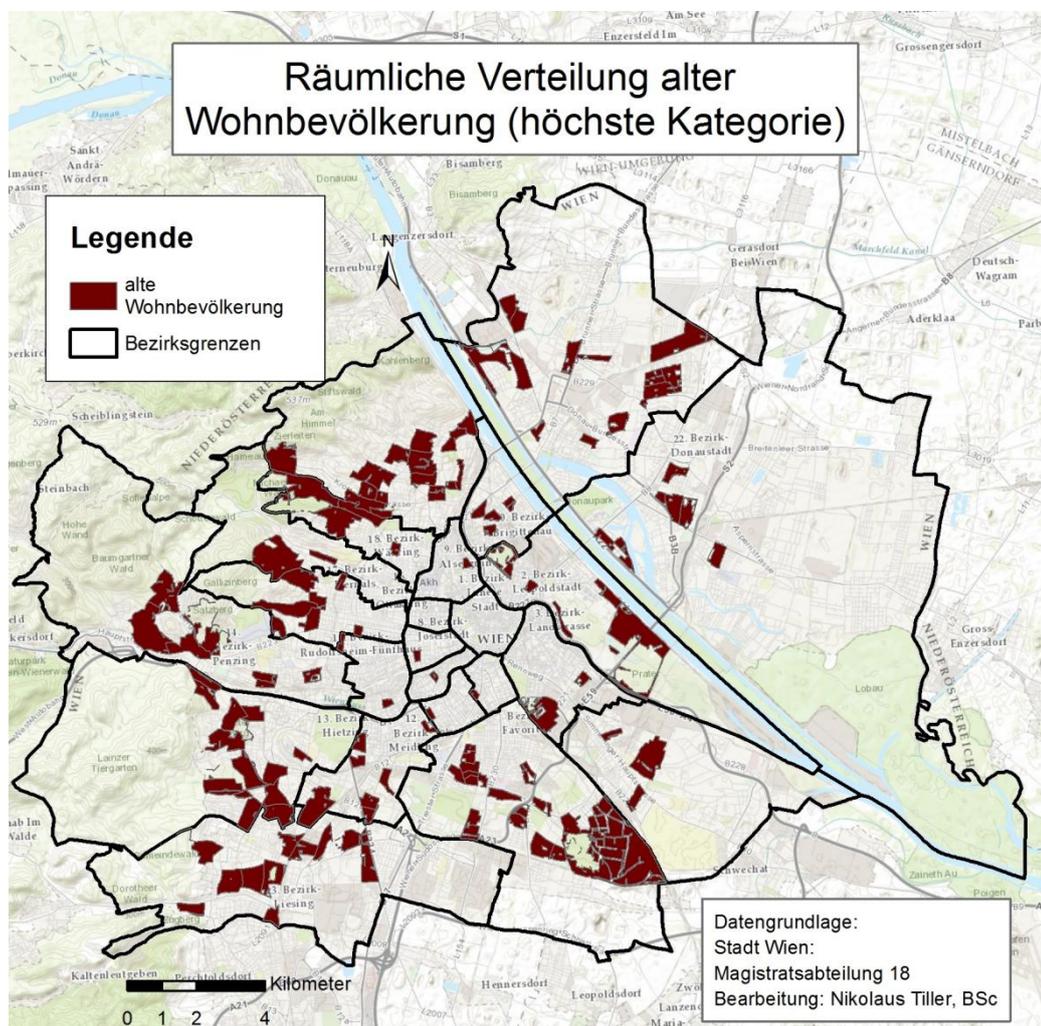


Abbildung 18: Überschneidung aller Klimaindizes mit höchster Hitzebelastung - Datengrundlage: Stadt Wien, eigene Bearbeitung;

Die Verteilung der alten Wohnbevölkerung zeigt ein Erscheinungsbild, das sich faktisch über alle Bezirke verstreut. Einzige Ausnahmen sind die Bezirke der Inneren Stadt sowie der Josefsstadt, in

der kein einziges Zählgebiet ermittelt werden konnte, das die höchste altersspezifische Bevölkerungsstruktur (nach der Variable des *Fuzzy-Gesamtwertes*) aufweist.

In Kapitel 6.3 erfolgt nun eine Überschneidung von Gebieten, die sowohl durch eine sehr hohe Altersstruktur als auch durch sehr hohe urbane Hitzebelastungen charakterisiert sind. Die Grundlage für die Repräsentativität von Gebieten mit alter Bevölkerungsstruktur stellt die obige Abbildung 18 dar.

6.3 Überschneidung demografischer und klimatischer Gebiete

In den vorigen beiden Kapiteln wurden die räumlichen Ausprägungen der spezifischen Altersstruktur sowie der thermischen Belastung nach unterschiedlichen Kriterien räumlich dargestellt. In diesem Kapitel erfolgt nun eine Überschneidung dieser beiden Aspekte, mit dem Ziel Raumeinheiten zu erhalten, die sowohl stark hitzegefährdet sind als auch eine hohe spezifische Altersstruktur einnehmen. Das Ergebnis stellen schließlich Zielgebiete dar, die sowohl starken Hitze stress aufweisen als auch einer hohen Vulnerabilität aufgrund der alten Altersstruktur widerfahren.

Die räumliche Auflösung bei den demografischen Daten erfolgt auf Zählgebietsebene wobei wieder der *Fuzzy-Gesamtwert* zur Abgrenzung von alter Bevölkerungsstruktur herangezogen wird.

An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass bei den Überschneidungen aufgrund der Datenverfügbarkeit die thermische Hitzebelastung ausschließlich nur aufgrund der modellierten Parameter Hitzetage, Sommertage, warme Nächte und Tropennächte vorgenommen wurde.

Präzisere Methoden um die menschliche Wärmebelastung bestmöglich zu klassifizieren und abzubilden wären die Verwendung von Klimaelementen, die nicht nur die meteorologische Komponente berücksichtigen, sondern sich auch direkt auf das menschliche Wärmeempfinden beziehen. Als adäquate Parameter sind hier vor allem der Diskomfort-Index, die effektive Temperatur, der Heat-Stress-Index sowie die Äquivalenttemperatur zu nennen (vgl. SCHNEIDER-SLIWA et al., 1999, S.370).

6.3.1 Älteste Bevölkerungsstruktur und höchste Hitzebelastung

In diesem Kapitel werden die räumlichen Ausprägungen der ältesten Wohnbevölkerungsstruktur (Kategorie 7) sowie Gebiete der höchsten Hitzebelastung (Kategorie 7) veranschaulicht und in einem weiteren Schritt überschritten, um Zielgebiete zu erhalten, die sowohl durch die höchste Altersstruktur als auch durch maximalen Hitzestress gekennzeichnet sind.

Um den maximalen Hitzestress festzulegen, wurden die jeweils höchsten Kategorien (Anm.: Kategorie 7) der Ausprägung der Sommertage, der Hitzetage, der warmen Nächte sowie der Tropennächte herangezogen und räumlich überschritten, was in Abbildung 16 dargestellt wurde.

Die höchste Altersstruktur nach dem *Fuzzy-Gesamt-Wert* auf Zählgebietsniveau wurde bereits in Abbildung 18 dargestellt.

In einem ersten Analyseschritt wurden nun die Ausprägungen des maximalen Hitzestresses (siehe Abbildung 16 in Kapitel 6.1.5) mit der alten Wohnbevölkerung auf Zählgebietsniveau (siehe Abbildung 18 in Kapitel 6.2.1) räumlich überschritten.

Folgende Karte zeigt somit die jeweils höchsten Ausprägungen der Altersstruktur sowie der Hitzebelastung.

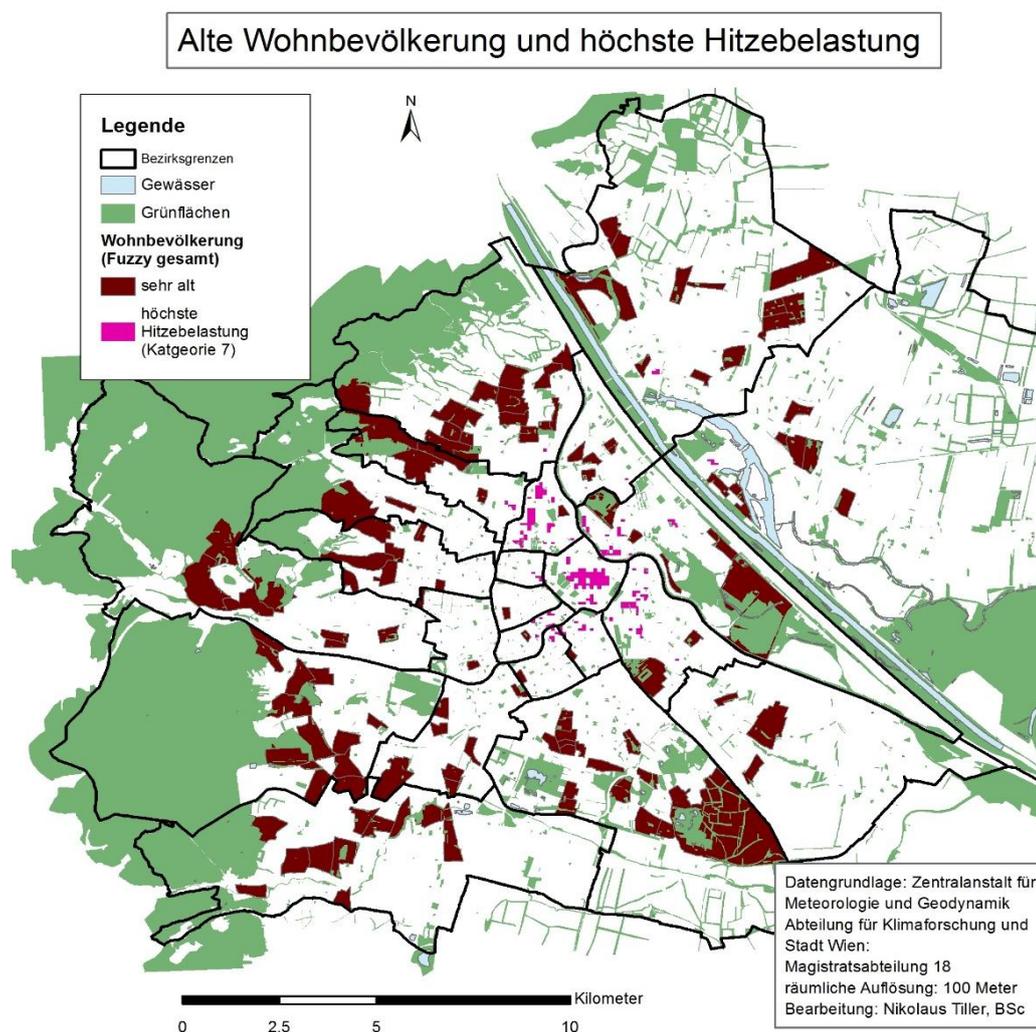


Abbildung 19: Alte Wohnbevölkerung und Hitzebelastung der jeweils höchsten Ausprägungen (Kategorie 7) - Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;

Die dunkelroten Flächen visualisieren die höchste Altersstruktur der Wohnbevölkerung auf Zählgebietsniveau wobei zur Abgrenzung der „Fuzzy-Gesamtwert“ herangezogen wurde. Die pinken Raumeinheiten stellen die Gebiete mit der höchsten Hitzebelastung dar.

Bezüglich der Bevölkerungsstruktur ist das bekannte und bereits erläuterte Muster ersichtlich, nämlich die alte Wohnbevölkerungsstruktur, die sich mit der alten Bebauung in den westlichen Bezirken in Wienerwaldnähe widerspiegelt. Aber auch die Bezirke Favoriten, Liesing und Floridsdorf zeigen mehrere Flächen mit sehr hoher Altersstruktur. In den innerstädtischen Gebieten sind nur einzelne Ausreißer ersichtlich, die eine alte Bevölkerungsstruktur nach dem *"Fuzzy-gesamtwert"* aufweisen.

Gebiete mit maximaler Hitzebelastung zeigen sich vor allem in den innerstädtischen Bezirken, wobei die Bezirke Innere Stadt und Alsergrund die höchsten Konzentrationen aufweisen.

Das Ergebnis der Überschneidung zwischen der räumlichen Ausprägung der Altersstruktur und der Hitzebelastung liefert keine Redundanzen. Das bedeutet, dass kein Gebiet eruiert werden konnte, welches sowohl eine maximale Hitzebelastung aufweist, als auch zugleich durch die höchste Altersstruktur gekennzeichnet ist.

Im Vergleich mit den Gebieten, die besonders von thermischer Belastung betroffen sind, zeigen die räumlichen Auswertungen der Altersstruktur somit eine prinzipiell günstige Verteilung. Das bedeutet, dass jene Gebiete, die von einer sehr hohen Altersstruktur betroffen sind meist auch jene sind, die einen eher gering ausgeprägten urbanen Hitzeinseleffekt aufweisen. Dies trifft vor allem auf die Gebiete der westlichen Bezirke, die sich in Wienerwaldnähe befinden, zu.

In Bezug auf die Thematik altersbedingte Vulnerabilität durch Hitzestress kann die Verteilung der jeweiligen räumlichen Muster im Wiener Stadtgebiet somit als günstig beurteilt werden.

6.3.2 Alte Bevölkerungsstruktur und hohe Hitzebelastung

Da bei der obigen Überschneidung aufgrund der fehlenden räumlichen Redundanz kein Ergebnis erzielt werden konnte, wurden in einem weiteren Schritt auch Gebiete mit der „zweithöchsten“ Hitzebelastung (Kategorie 6 und 7) sowie der „zweithöchsten“ Altersstruktur (Kategorie 6 und 7) berücksichtigt. Es erfolgen jeweils drei weitere Überschneidungen (Kapitel 6.3.2.1 – Kapitel 6.3.2.3).

6.3.2.1 Altersstruktur (Kategorie 6 und 7) und Hitzebelastung (Kategorie 6 und 7)

Folgende Abbildung zeigt die räumliche Überschneidung demografischer und klimatologischer Ausprägungen der jeweils beiden höchsten Kategorien 6 und 7. Es wurden also Gebiete der alten Wohnbevölkerung mit Gebieten der urbanen Hitzebelastung (aller Klimaindizes) räumlich überschritten, wobei jeweils auch die zweithöchste Ausprägung (Anm.: Kategorie 6) mit einbezogen wurde.

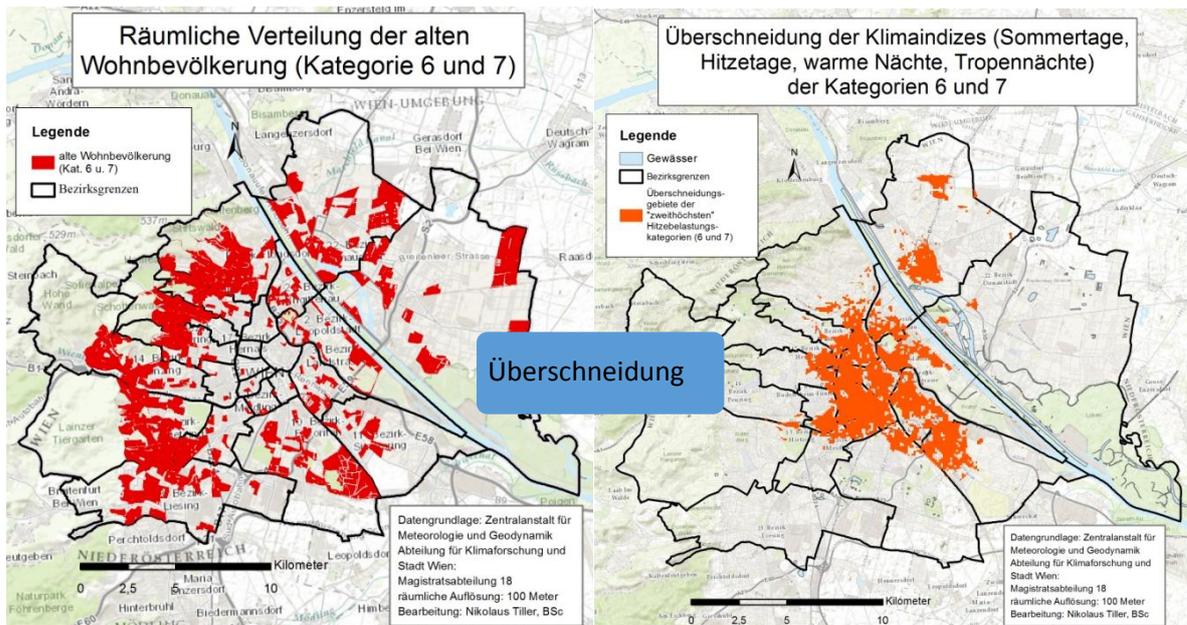


Abbildung 20: Räumliche Verteilung der alten Wohnbevölkerung (Kategorie 6 und 7) mit urbaner Überwärmung (Kategorie 6 und 7) - Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;

Das Ergebnis dieser Überschneidung zeigt sich in Abbildung 21. Da bei dieser Überschneidung jeweils auch die zweithöchsten Kategorien berücksichtigt wurden, werden diese Flächen als "B-Zielgebiete" bezeichnet.

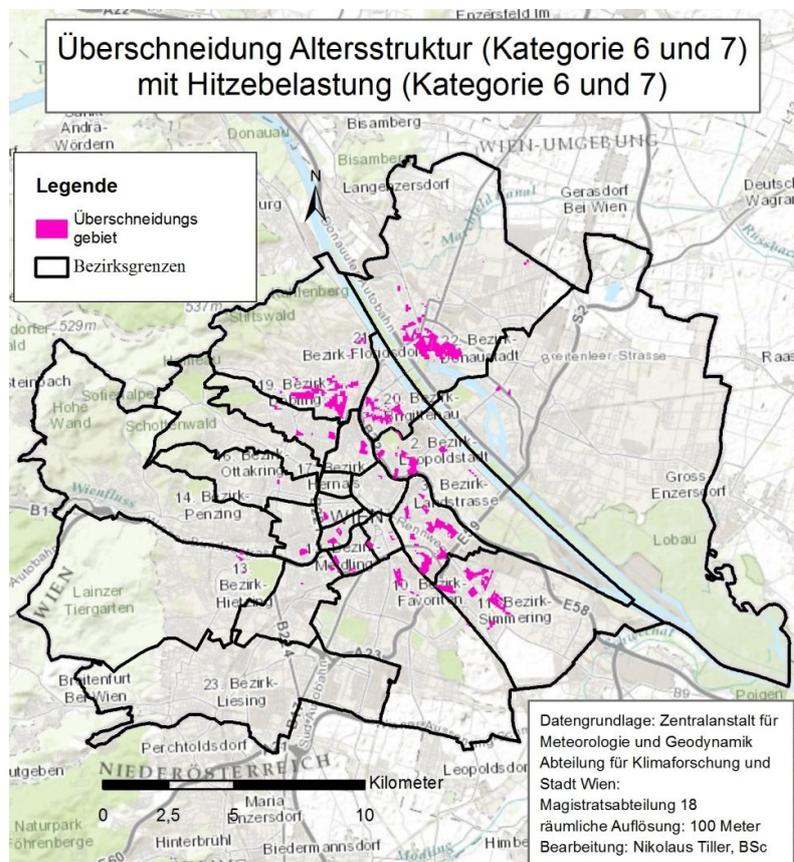


Abbildung 21: Überschneidungsgebiete alter Wohnbevölkerung (Kategorie 6 und 7) mit urbaner Überwärmung (Kategorie 6 und 7) - Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;

Die Überschneidungsgebiete sind in mehreren Bezirksteilen lokalisiert, wobei viele Raumeinheiten nur sehr kleinflächige Gebiete darstellen. Das Ergebnis zeigt generell keine Redundanzen der demografischen und klimatologischen Aspekte an den Stadträndern. Überschneidungsgebiete können konkret in den Bezirken Innere Stadt, Leopoldstadt, Landstraße, Wieden, Margareten, Mariahilf, Neubau, Alsergrund, Favoriten, Simmering, Meidling, Hietzing, Ottakring, Währing, Döbling, Brigittenau, Floridsdorf und Donaustadt lokalisiert werden.

Alle Überschneidungsgebiete (pinke Flächen) können als "B-Zählgebiete" definiert werden, auf welche im Rahmen dieser Arbeit allerdings nicht näher eingegangen wird.

Großflächigere zusammenhängende Gebiete zeigen sich nur in den Bezirken Donaustadt, Brigittenau und Döbling.

In den nächsten beiden Kapiteln folgen zwei weitere räumliche Überschneidungen von demografischen und klimatologischen Ausprägungen. Zuerst wird die höchste Ausprägung der Altersstruktur (Kategorie 7) mit den beiden höchsten Ausprägungen der Hitzebelastung (Kategorie 6 und 7) überschritten (siehe Kapitel 6.3.2.2). Anschließend erfolgt eine Überschneidung der beiden höchsten Ausprägungen der Altersstruktur (Kategorie 6 und 7) mit der höchsten Ausprägung der Hitzebelastung (Kategorie 7) (siehe Kapitel 6.3.2.3).

6.3.2.2 Altersstruktur (Kategorie 7) und Hitzebelastung (Kategorie 6 und 7)

Die Grundlage für diese räumliche Überschneidung stellen die beiden Karten in Abbildung 22 dar.

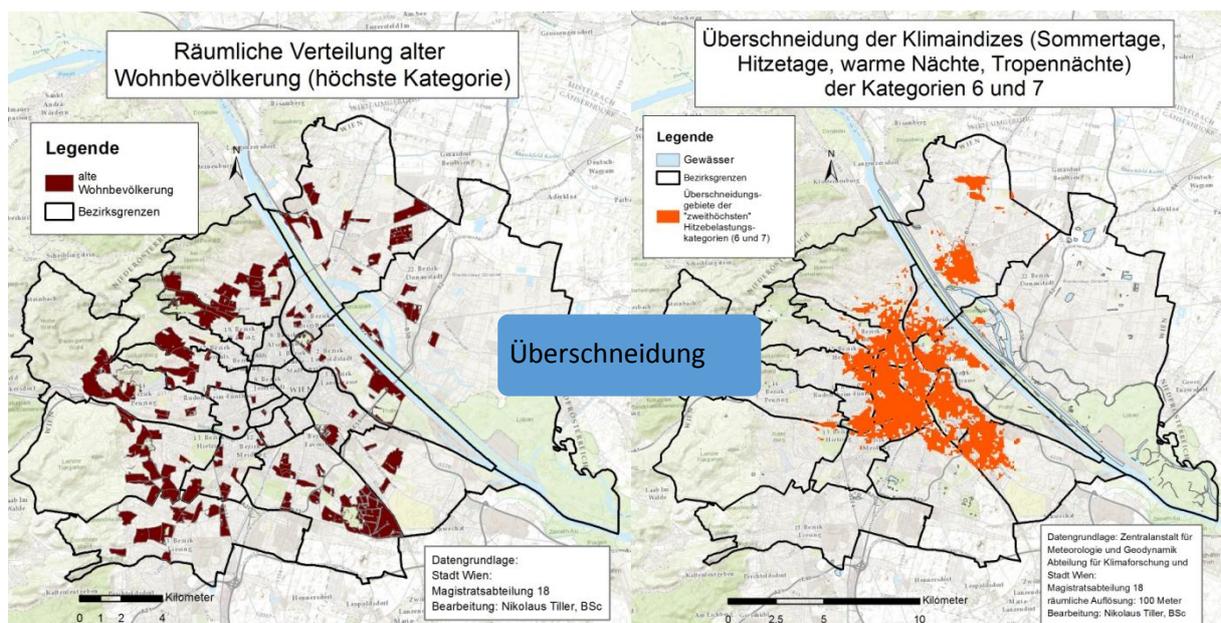


Abbildung 22: Räumliche Verteilung der alten Wohnbevölkerung (Kategorie7) mit urbaner Überwärmung (Kategorie 6 und 7) - Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;

Das Ergebnis der beiden Ausprägungen, der Hitzebelastung (Kategorie 6 und 7) mit den Raumeinheiten der höchsten Altersstruktur (Kategorie 7) zeigt sich schließlich in Abbildung 23.

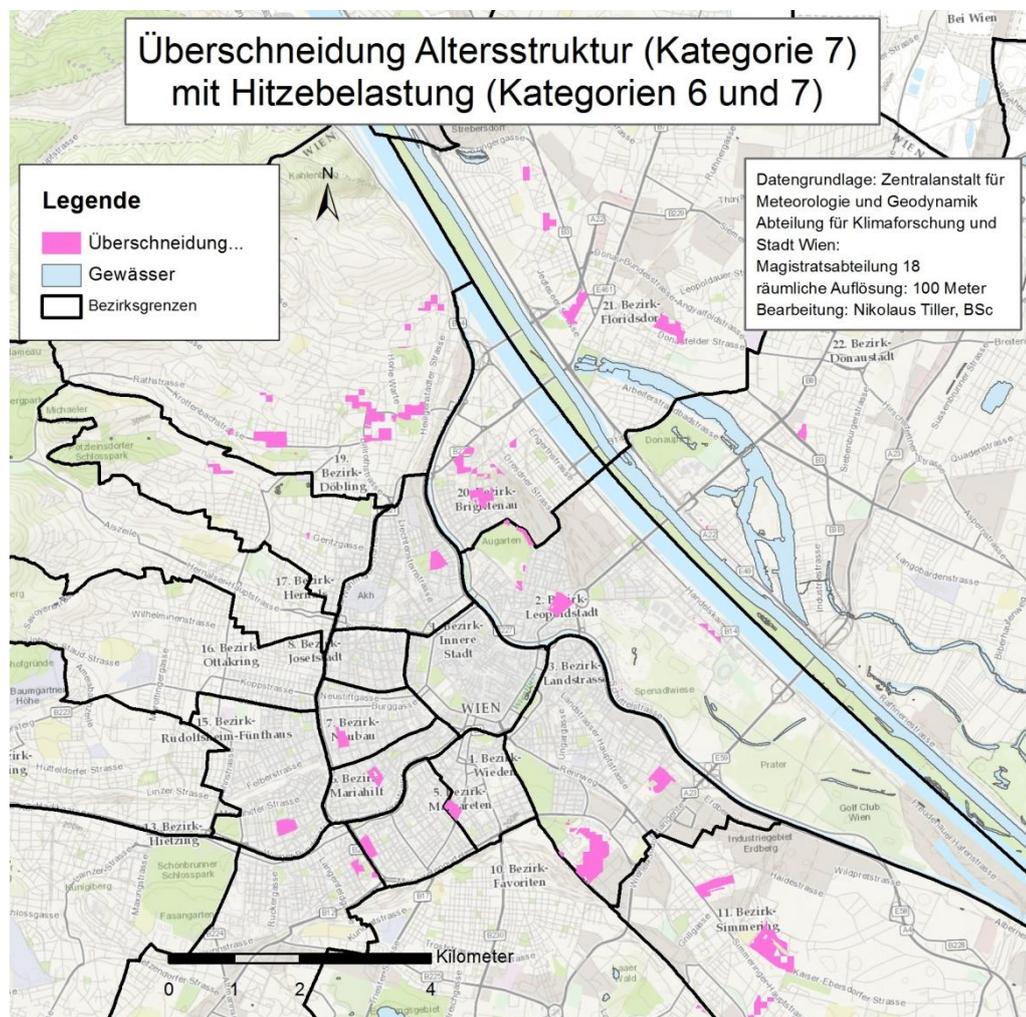


Abbildung 23: Überschneidungsgebiete alter Wohnbevölkerung (Kategorie 7) mit urbaner Überwärmung (Kategorie 6 und 7) - Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;

Es zeigt sich wiederum ein heterogenes Verteilungsmuster, wobei abgesehen vom ersten Bezirk eher in den inneren Bezirken Überschneidungsgebiete lokalisiert werden können. Die größte zusammenhängende Fläche ist im südlichen Teil des 3. Bezirks an der Grenze zum 10. Bezirk in der Nähe des Arsens ersichtlich. Auch in Döbling, Brigittenau und Simmering zeigen sich teilweise größere zusammenhängende Gebiete dieser Überschneidung.

6.3.2.3 Altersstruktur (Kategorie 6 und 7) und Hitzebelastung (Kategorie 7)

Die Grundlage für diese räumliche Überschneidung stellen die beiden Karten in Abbildung 24 dar.

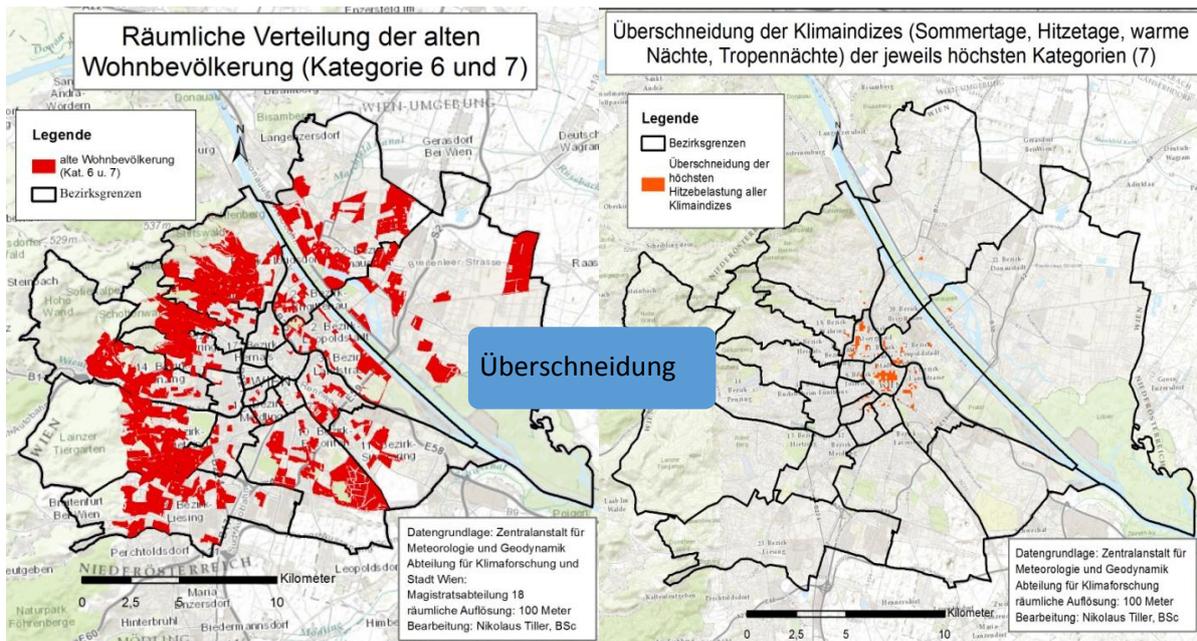


Abbildung 24: Räumliche Verteilung der alten Wohnbevölkerung (Kategorie 6 und 7) mit urbaner Überwärmung (Kategorie 7) - Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;

Während die beiden höchsten Kategorien der alten Bevölkerungsstruktur eher an den Stadträndern angesiedelt sind, zeigt sich die höchste Ausprägung des urbanen Hitzeinseleffektes eher im Stadtzentrum.

Das Ergebnis der Überschneidung der beiden Ausprägungen, der Hitzebelastung (Kategorie 7) mit den Raumeinheiten der höchsten Altersstruktur (Kategorie 6 und 7) zeigt sich schließlich in Abbildung 25.

Demzufolge ist im Ergebnis dieser Überschneidung nur eine sehr geringe Anzahl von kleinflächigen Gebieten, die sich im 2., 3., 19. und im 21. Bezirk befinden, ersichtlich.

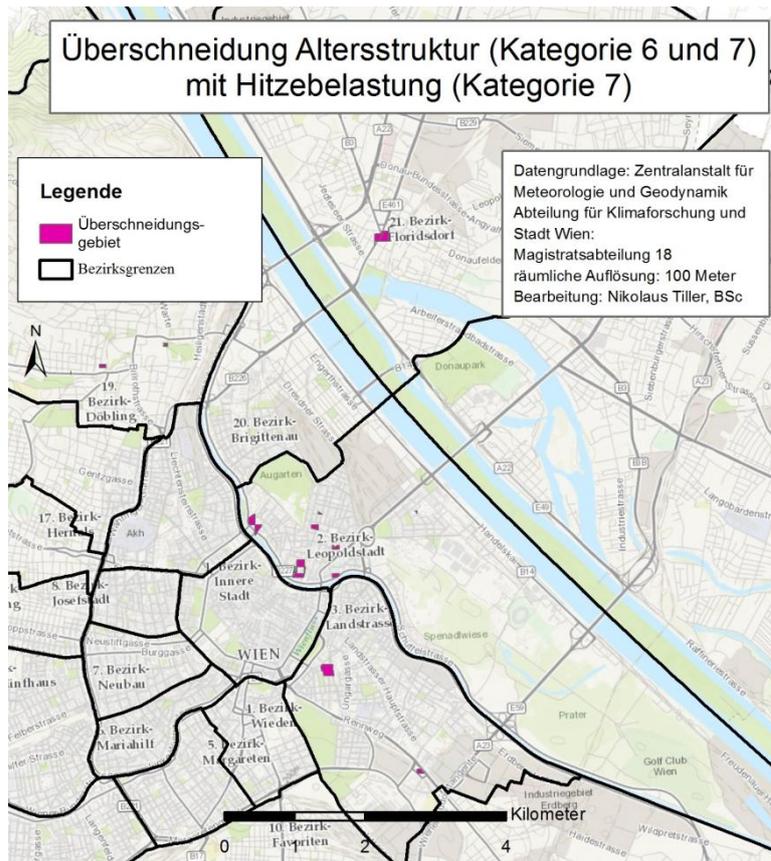


Abbildung 25: Überschneidungsgebiete alter Wohnbevölkerung (Kategorie 6 und 7) mit urbaner Überwärmung (Kategorie 7) - Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;

6.3.3 Alte Wohnbevölkerung und warme Nächte

Da die Überschneidungen der jeweils höchsten Kategorien der Altersstruktur mit der urbanen Hitzebelastung aller Klimaindizes keine räumlichen Redundanzen ergeben haben (siehe Kapitel 6.3.1, Abbildung 19), und bei den Überschneidungen, bei denen jeweils auch die Kategorien 6 berücksichtigt wurden, eine Vielzahl von Flächen als Ergebnis brachten (siehe Kapitel 6.3.2.1, Abbildung 21), folgt nun ein weiterer Analyseschritt.

Es werden nun Gebiete mit sehr hoher Altersstruktur mit der höchsten Hitzebelastung der warmen Nächte überschritten. Das heißt, dass die anderen Klimaindizes Sommertage, Hitzetage und Tropennächte bei dieser Überschneidung unberücksichtigt bleiben.

Da die fehlende nächtliche Abkühlung einen entscheidenden Einfluss auf die menschliche Gesundheit hat, und die Modellsimulationen der ZAMG der warmen Nächte qualitativ bessere Ergebnisse liefern als jene der Tropennächte, wurde das Klimaindiz "warme Nächte" gewählt.

Das Ergebnis dieser Überschneidung zeigt sich in folgender kartografischer Darstellung.

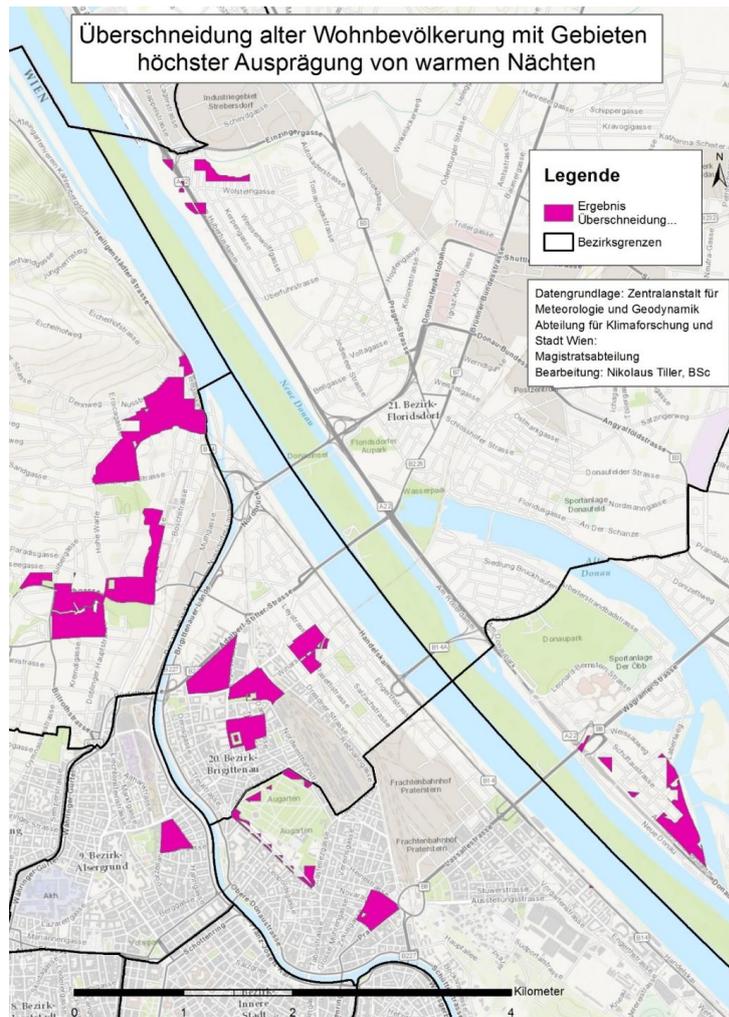


Abbildung 26: Überschneidung alter Wohnbevölkerung mit Gebieten höchster Ausprägung von warmen Nächten - Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;

Diese pinken Gebiete sind somit durch die höchste thermische Belastung von warmen Nächten (Kategorie 7) sowie die höchste Altersstruktur (Kategorie 7) gekennzeichnet und können somit als A-Zielgebiete (nächtlicher Hitzestress) definiert werden.

Die beiden größten zusammenhängenden Gebiete liegen im 19. Bezirk, am Fuße des Nussberges sowie an der Hohen Warte. Weitere (vier) kleinflächigere Gebiete befinden sich im 20. Bezirk, im 9. Bezirk, im 2. Bezirk sowie in den Bezirken 21 und 22.

Die drei größten Gebiete des Analyseergebnisses wurden in Kapitel 6.5 tabellarisch aufbereitet, benannt und räumlich abgegrenzt. Beim Ergebnis muss allerdings beachtet werden, dass die Simulationen die nächtliche Hitzebelastung überschätzen (vgl. ZUVELA-ALOISE, 2011, S.33).

6.3.4 Alte Wohnbevölkerung und heiße Tage

In einem letzten Analyseschritt erfolgt eine Überschneidung der alten Wohnbevölkerung mit der höchsten Ausprägung der heißen Tage. Die Klimaindizes warme Tage, warme Nächte und Tropennächte bleiben bei diesem Analyseschritt unberücksichtigt.

Die Auswahl der heißen Tage ist damit zu begründen, dass diese eine höhere Belastung für den menschlichen Organismus darstellen als warme Tage. Zudem sind die Modellsimulationen auf Tagestemperaturen kalibriert und liefern demzufolge qualitativ gute Ergebnisse. Folgende Graphik zeigt das Überschneidungsergebnis der alten Bevölkerungsstruktur (Kategorie 7) mit der höchsten Ausprägung von heißen Tagen (Kategorie 7).

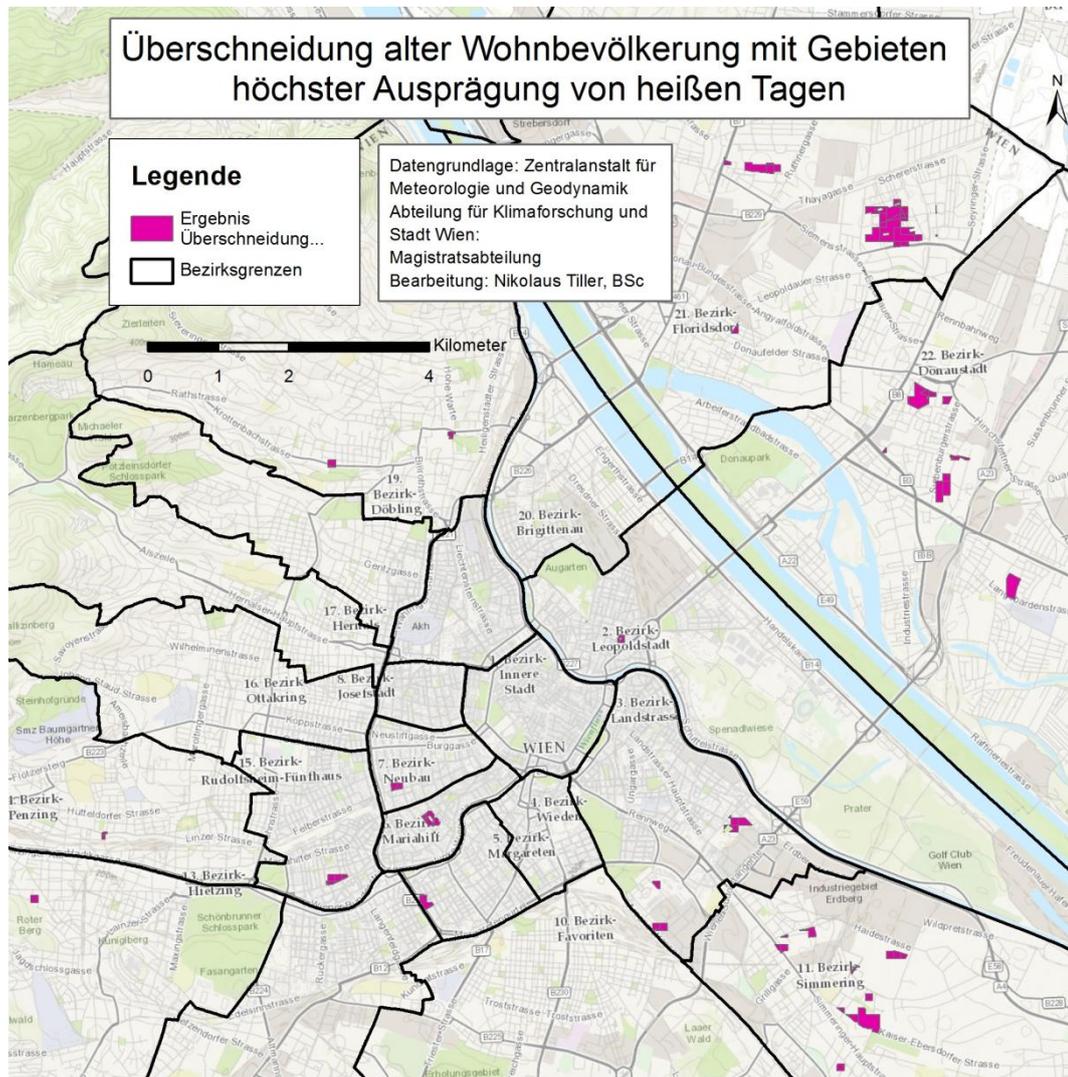


Abbildung 27: Überschneidung alter Wohnbevölkerung mit Gebieten höchster Ausprägung von heißen Tagen Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;

Bezüglich der Überschneidungsbereiche der alten Wohnbevölkerung (Kategorie 7) mit der höchsten Ausprägung von heißen Tagen (Kategorie 7) ergibt sich ein in obiger Graphik dargestelltes Erscheinungsbild. Kleinere zusammenhängende Flächen treten in den Bezirken 2, 3, 5, 6, 7, 13, 14, 15 und 19 auf, die größten Gebiete zeigen sich allerdings in den Bezirken 11, 21 und 22. Als größte Hitzeinsel mit sehr alter Bevölkerungsstruktur kann die Großfeldsiedlung (inklusive des Pensionisten-Wohnhauses Leopoldau) im 21. Bezirk eruiert werden.

Aber auch im 22. Bezirk südöstlich des Kagraner Platzes konnte ein etwas größeres zusammenhängendes Überschneidungsgebiet eruiert werden.

6.4 Definition Zielgebiete

Eines der Hauptziele dieser Masterarbeit ist es Problemgebiete zu definieren. Dies sind jene Raumeinheiten, die aufgrund der alten Bevölkerungsstruktur eine hohe Vulnerabilität bei Hitze- stress aufweisen und zugleich von starker thermischer Hitzebelastung betroffen sind.

Diese Problemgebiete beinhalten somit folgende Einflussparameter:

1. Bereiche der städtischen Wärmeinseln
2. Bereiche alter Bevölkerungsstruktur
3. Bevölkerungsdichte

Die Bevölkerungsdichte war zwar kein separater Eingabeparameter beim Analyseverfahren, wurde allerdings bei der "alten Bevölkerungsstruktur" berücksichtigt, da sowohl der relative als auch der absolute *Fuzzy-Wert* die Bevölkerungsdichte indirekt implizieren. Zudem ist die Bevölkerungsdichte ein Faktor, der einen elementaren Einfluss auf die Bildung und Intensität von urbanen Hitzeinseln hat.

Bei der räumlichen Analyse von Gebieten mit der höchsten Hitzebelastung unter Berücksichtigung aller verwendeten Klimaindizes (Sommer-, Hitzetage, warme Nächte, Tropennächte) und der höchsten Kategorie der alten Bevölkerungsstruktur konnten zwar keine Überlappungen (Zielgebiete) festgestellt werden (siehe Kapitel 6.3.1, Abbildung 19), jedoch konnten räumliche Redundanzen bei Überschneidungen mit den einzelnen Klimaindizes Hitzetage- und warme Nächte identifiziert werden.

Somit kann bei der Definition der Zielgebiete unterschieden werden, ob diese vor allem von hohen Tagesextrema, oder fehlender nächtlicher Abkühlung betroffen sind. Dementsprechend erfolgt im nachfolgenden Kapitel eine Differenzierung von "A-Zielgebieten durch nächtlichen Hitzestress" (Kap. 6.4.1) und "A-Zielgebieten durch tagesspezifischen Hitzestress" (Kapitel 6.4.2).

6.4.1 A-Zielgebiete (nächtlicher Hitzestress)

Nachfolgend werden die definierten A-Zielgebiete (A1 - A3), die bei der Überschneidung von Gebieten mit sehr hoher nächtlicher Hitzebelastung sowie einer sehr alten Bevölkerungsstruktur ermittelt wurden (siehe Kapitel 6.3.3), veranschaulicht und in weiterer Folge bezüglich Handlungsempfehlungen diskutiert.

Zwei der definierten Zielgebiete befinden sich im 19. Bezirk (Am Fuße des Nussberges und bei der Hohen Warte), eines konnte im 20. Bezirk (nahe Nordwestbahnhof) lokalisiert werden.

6.4.1.1 Zielgebiet A1

Das Zielgebiet "A1 - Beim Nussberg" befindet sich im nordöstlichen Bereich des 19. Bezirkes, das Gelände fällt von West nach Ost ab. Die Abgrenzungen des Zielgebietes nach Straßen werden in Tabelle 17 veranschaulicht, die visuelle Darstellung zeigt sich in Abbildung 28.

Tabelle 17: : Zielgebiet A1: „Beim Nussberg“

A Zielgebiete: (nächtlicher Hitzestress)		
Name	A1: „Beim Nussberg“	
Abgrenzung	Norden	Nussberggasse
	Osten	Donau
	Süden	Sickenberggasse, Hammerschmidtgasse, Grinzinger Straße
	Westen	Armbrustergasse

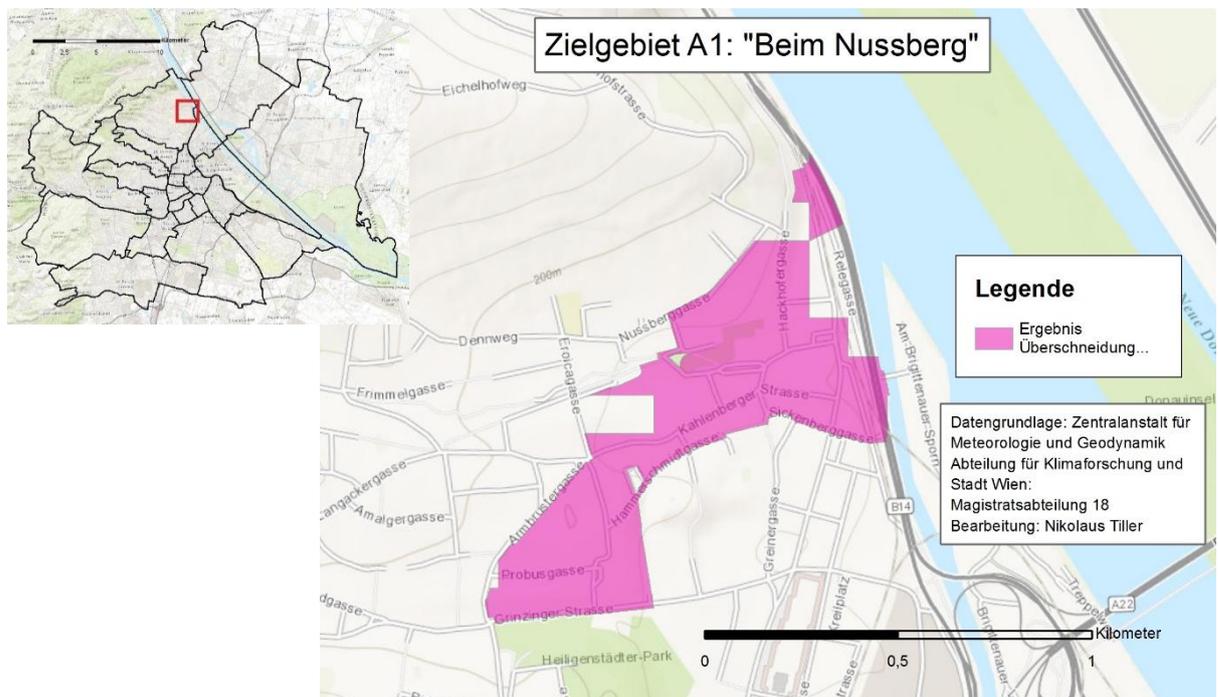


Abbildung 28: Zielgebiet A1: „Beim Nussberg“ – Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;

Dieses Überschneidungsergebnis kann durchaus als überraschendes Ergebnis bezeichnet werden, da urbane Wärmebelastung eher in dicht bebauten zentralen Stadtgebieten erwartet werden kann.

Die Ausprägung der höchsten nächtlichen Hitzebelastung zeigt eine homogene in innerstädtischen Bereichen zentrierte Hitzeinsel, die sich allerdings bis in den nördlichen Bereich des 19. Bezirkes (siehe Abbildung 15) ausbreitet und sich dort mit Strukturen sehr alter Wohnbevölkerung überlagert.

Von den klimatischen Rahmenbedingungen kann das A1- Zielgebiet im Prinzip als gut bewertet werden. Sowohl der Einfluss der Donau, als auch jener des Wienerwaldes lassen kühlende Auswirkungen auf dieses Zielgebiet erwarten. Da die nächtliche Abkühlung im grundlegenden Modell der ZAMG als zu gering eingeschätzt wird, kann dies womöglich darauf hinweisen, dass die nächtliche Wärmebelastung aufgrund der positiven Einflüsse der Donau sowie des Wienerwaldes im A1-Gebiet tatsächlich geringer ist als im Modellergebnis.

Handlungsempfehlungen:

Will man erhöhten Nachttemperaturen gegensteuern, so sollte bei (Um)Gestaltungen von Grünflächen beachtet werden, dass sich Oberflächenstrukturen mit geringer Rauigkeit besser eignen als beispielsweise die Bepflanzung von Bäumen, da unter deren Kronen die Wärme gut gespeichert wird, was die nächtlichen Abkühlungsprozesse vermindert. Die Vielzahl an Bäumen in diesem Zielgebiet könnte zudem Kaltluftströmungen bremsen, was zu fehlender nächtlicher Abkühlung führen könnte.

Jedenfalls ist speziell im Zielgebiet A1 eine genauere Analyse des betroffenen Bereiches beziehungsweise der Umgebung notwendig, um etwaige Maßnahmen zur Minderung zu setzen.

Dies betrifft primär eine Prüfung, ob die tatsächliche Wärmebelastung in der Nacht so hoch ist, wie es im Modell gezeigt wird. Des Weiteren wäre eine Analyse der Kaltluftströme in diesem Gebiet beziehungsweise in der weiteren Umgebung von elementarer Bedeutung. Anschließend könnte über weitere Handlungen, wie der gezielten Gestaltung von Grünflächen, sowie einer Erhöhung des Anteils der Dachbegrünungen diskutiert werden.

6.4.1.2 Zielgebiet A2

Das Zielgebiet "A2 – Hohe Warte" befindet sich ebenfalls im 19. Bezirk und liegt etwas südlich von Zielgebiet A1, wobei auch hier ein Geländeabfall von West nach Ost zu erkennen ist.

Die Abgrenzungen des Zielgebietes nach Straßen werden in nachfolgender Tabelle 18 veranschaulicht, die visuelle Darstellung zeigt sich in Abbildung 29.

Tabelle 18: : Zielgebiet A2: „Hohe Warte“

A Zielgebiete: (nächtlicher Hitzestress)		
Name	A2: „Hohe Warte“	
Abgrenzung	Norden	Ruthgasse, Gallmeyergasse, Aussichtsweg
	Osten	Wertheimsteinpark, Heiligenstädter Straße
	Süden	Wertheimsteinpark, Pyrkerstraße
	Westen	Billrothstraße

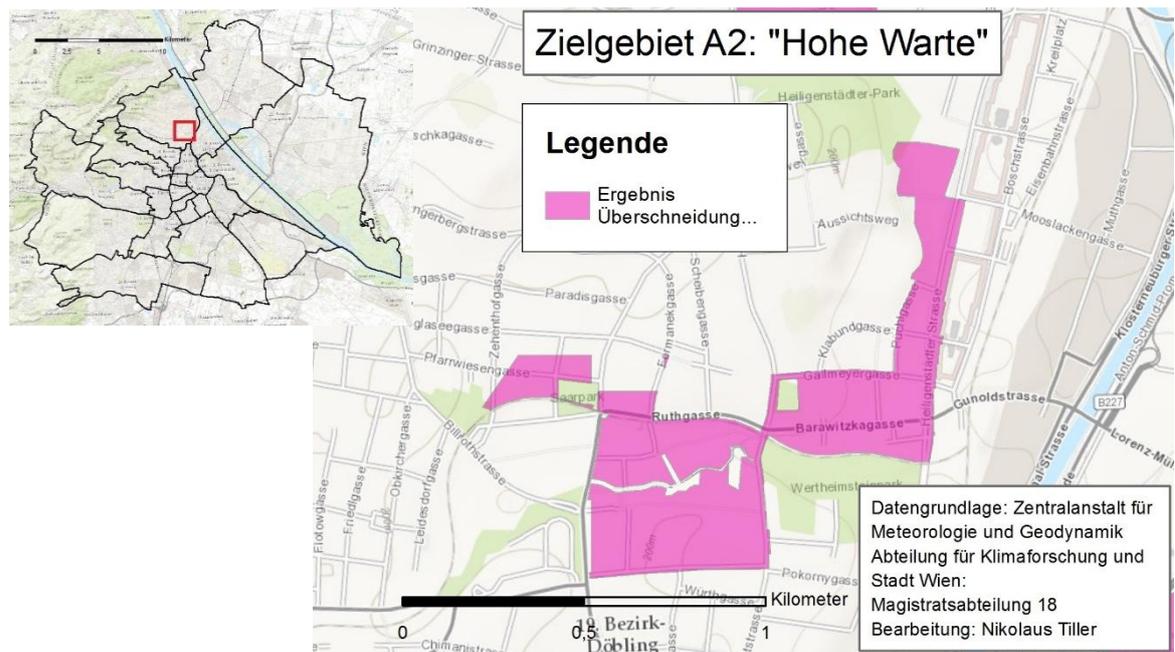


Abbildung 29: Zielgebiet A2: „Hohe Warte“ – Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;

Da Zielgebiet „A2- Hohe Warte“ nur unweit des Gebietes „A1 – beim Nussberg“ lokalisiert ist, kann eine ähnliche Bewertung bezüglich der klimatischen Rahmenbedingungen gegeben werden.

Im Gegensatz zu A1 liegt A2 allerdings nicht direkt an der Donau wodurch dieser Einfluss wohl nicht mehr in das Zielgebiet „Hohe Warte“ vordringen kann. Der kühlende Einfluss des Wienerwaldes, respektive des Gebietes um den Nussberg ist aber auch in A2 zu erwarten. Im südöstlichen Bereich dieses Zielgebietes grenzt direkt der Wertheimsteinpark an, auch sonst kann das Zielgebiet als eher „grün“ bezeichnet werden. Bei den Simulationen bezüglich der nächtlichen Abkühlung hat sich aber gezeigt, dass vor allem kleinere Grünflächen laut verwendetem Modell *MUKLIMO_3* kaum Einfluss auf die simulierten Nachttemperaturen haben.

Handlungsempfehlungen:

Da auch dieses Zielgebiet im Vergleich zu vielen anderen Stadtteilen einen eher hohen Grünflächenanteil aufweist und zumindest der kühlende Einfluss des Wienerwaldes zu erwarten ist, sollten Grundlagenforschungen bezüglich klimatischer Ausprägungen durchgeführt werden, was sowohl eine qualitativ bessere Einschätzung der tatsächlichen Nachttemperaturen als auch eine Analyse von Luftströmungen beinhalten sollte. Dementsprechend könnten etwaige Kaltluftkorridore bewertet und adaptiert werden, falls Strömungshindernisse festgestellt werden, um den Transport kühlerer Luftmassen aus dem Wienerwald in das Zielgebiet A2 zu erhöhen.

Da auch dieses Zielgebiet durch hohe Nachttemperaturen charakterisiert ist, könnten Adaptierungsmaßnahmen der bereits bestehenden Grünflächen durchgeführt werden, wobei wiederum Gras- und Grünflächen der Bepflanzung von Bäumen aufgrund der niedrigeren Oberflächenrauigkeit vorzuziehen wären.

6.4.1.3 Zielgebiet A3

Das Zielgebiet "A3 – Nordwestbahnhof" befindet sich im 20. Bezirk und liegt nördlich vom Nordwestbahnhof. Die ursprüngliche räumliche Überschneidung ergab vier kleinere separate Gebiete, die aufgrund ihrer Nähe zueinander zu einem größeren Zielgebiet zusammengefasst wurden.

Die groben Abgrenzungen des Zielgebietes nach Straßen werden in nachfolgender Tabelle 19 veranschaulicht, die visuelle Darstellung zeigt sich in Abbildung 30.

Tabelle 19: Zielgebiet A3: „Nordwestbahnhof“

A Zielgebiete: (nächtlicher Hitzestress)		
Name	A3: „Nordwestbahnhof“	
Abgrenzung	Norden	Adalbert-Stifter Straße
	Osten	Hellwagstraße
	Süden	Hellwagstraße, Greiseneckergasse
	Westen	Jägerstraße, Klosterneuburger Straße

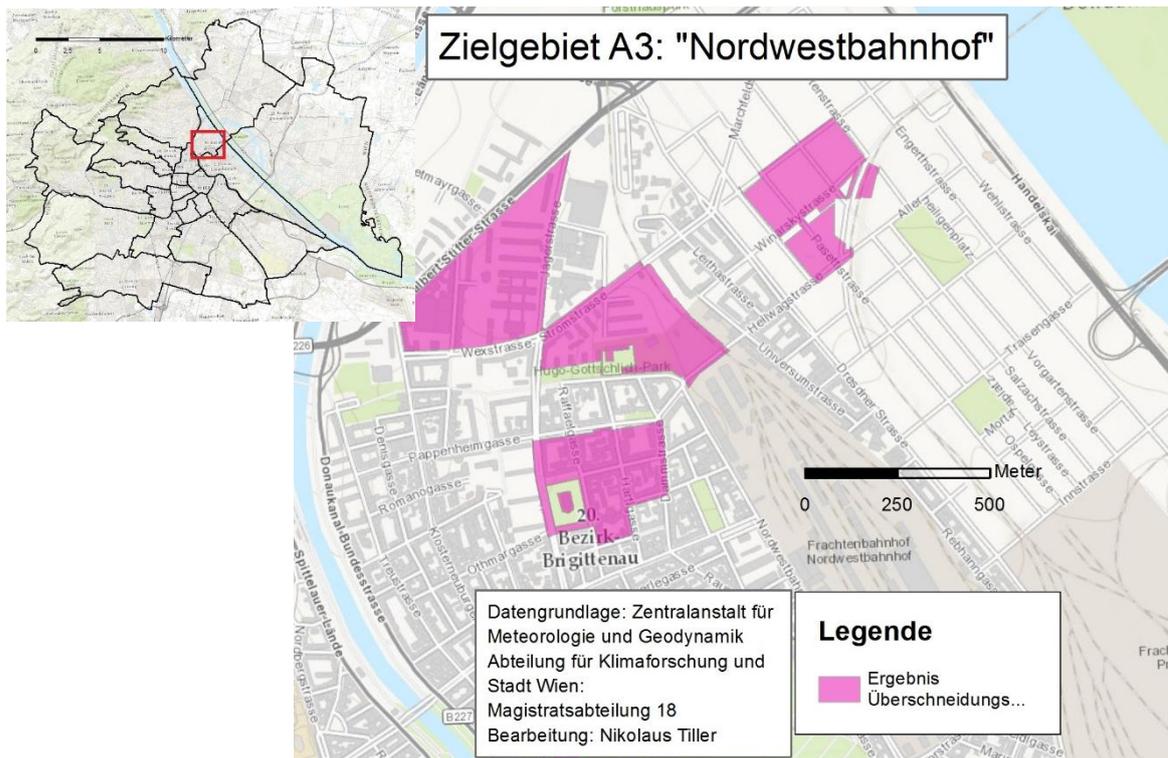


Abbildung 30: Zielgebiet A3: „Nordwestbahnhof“ – Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;

Das Zielgebiet „A3 – Nordwestbahnhof“ ist relativ zentral im 20. Bezirk um den nördlichen Bereich des Nordwestbahnhofs gelegen. Im Vergleich zu den beiden Zielgebieten im 19. Bezirk ist „A3“ von einer dichteren Bebauungsstruktur gekennzeichnet. Obwohl auch in diesem Zielgebiet Bäume und Parks die Bebauung auflockern, ist der Grünflächenanteil etwas geringer zu bewerten als in „A1“ und „A2“.

Bezüglich der lokalklimatischen Rahmenbedingungen sind in „A3“ aufgrund der Distanz weder Einflüsse des Wienerwaldes, noch der Donau zu erwarten. Die nächstgelegene größere Grünfläche ist der Augarten, der sich etwa 300 Meter südlich des Zielgebietes befindet. Da der Augarten beim ZAMG-Modell der warmen Nächte nur eine geringere Abkühlung zeigt, und sich diese im Wesentlichen nur auf seinen eigenen Wirkungsbereich bezieht, kann keine kühlende Wirkung auf das Zielgebiet erwartet werden. Summa Summarum können die lokalklimatischen Rahmenbedingungen bezüglich urbaner Erwärmung als eher ungünstig bezeichnet werden.

Handlungsempfehlungen:

Obwohl wie bereits erwähnt, die nächtliche Abkühlung des zugrunde liegenden Modells etwas zu gering eingeschätzt wird, kann man gerade im Zielgebiet A3 davon ausgehen, dass die nächtliche Hitzebelastung als hoch einzustufen ist, da keine größeren kühlenden Einflussfaktoren (Wienerwald, Donau, Augarten) auf diese Raumeinheit einwirken. Der Grünflächenanteil ist aus

quantitativer Sicht zwar niedriger als in den Zielgebieten im 19. Bezirk, jedoch höher als in vielen innerstädtischen Stadtteilen. Auch in „A3“ kann eine Analyse bezüglich Luftströmungen empfohlen werden, um etwaige Vernetzungen zwischen Grünflächen (z.B. Augarten, Donau, kleinere Parks) zu kreieren beziehungsweise zu adaptieren. In diesem Bereich könnte sich außerdem die hohe Anzahl von Bäumen als kontraproduktiv erweisen, falls diese etwaige (Kalt)Luftströmungen behindern. Demzufolge ist wie auch in den anderen Gebieten der nächtlichen Hitzebelastung, eine etwaige Umstrukturierung bereits bestehender Grünflächen zu überdenken um beispielsweise Oberflächenrauigkeiten zu reduzieren.

Auffallend ist der sehr geringe Anteil von Dachbegrünungen im gesamten 20. Bezirk, sowie auch im Zielgebiet „A3“. So sind im Bezirk Brigittenau nur 1,3% der Gesamtfläche dachbegrünt, was nach dem ersten Bezirk den geringsten Anteil aller Bezirke ausmacht. Bezieht man sich auf den Wert der „Dachgrünfläche pro Kopf“ so ist der 20. Bezirk sogar jener mit dem niedrigsten Anteil aller Wiener Gemeindebezirke. (vgl. STADT WIEN, 2010)

Dementsprechend ist die Erhöhung des Anteils von Dachbegrünungen zu empfehlen, um Hitzebelastungen im Zielgebiet A3 zu reduzieren.

6.4.2 A- Zielgebiet (Hitzestress hoher Tagestemperaturen)

Hinsichtlich der Überschneidung der sehr alten Bevölkerungsstruktur mit der räumlichen Ausprägung der heißen Tage (Kategorie 7) konnten sehr viele in nahezu ganz Wien verteilte kleinflächige Gebiete identifiziert werden. Das mit Abstand größte Gebiet dieses Analyseergebnisses wird als eigenständiges „A-Zielgebiet“ näher definiert und abgegrenzt.

Die groben Abgrenzungen des Zielgebietes nach Straßen werden in folgender Tabelle 20 veranschaulicht, die visuelle Darstellung zeigt sich in Abbildung 31.

Tabelle 20: Zielgebiet A4: „Großfeldsiedlung“

A Zielgebiet: (Hitzestress hoher Tagestemperaturen)		
Name	A4: „Großfeldsiedlung“	
Abgrenzung	Norden	Robert-Lach-Gasse
	Osten	Pastorstraße
	Süden	Julius- Ficker-Straße
	Westen	Egon-Friedell-Gasse

Das Zielgebiet „A4“ befindet sich im östlichen Bereich des 21. Bezirkes im Stadtteilbereich „Großfeld“.

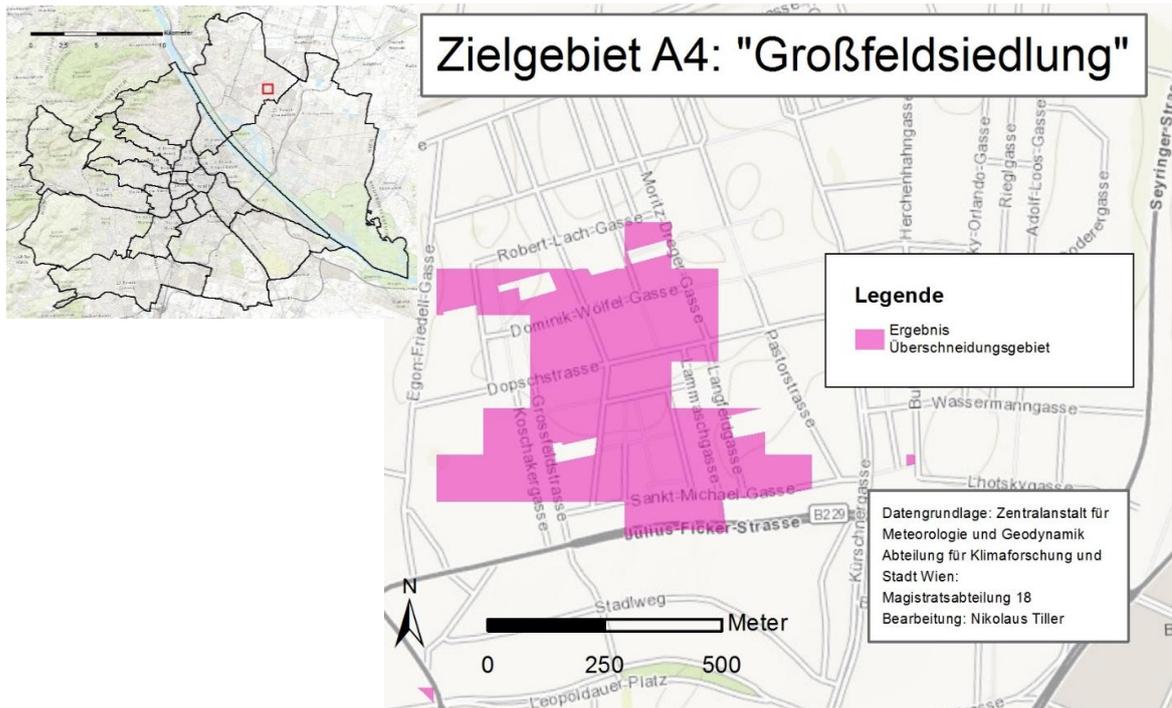


Abbildung 31: Zielgebiet A4: „Großfeldsiedlung“ – Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;

Zielgebiet A4 ist somit durch die höchste Kategorie der alten Bevölkerungsstruktur sowie der höchsten Ausprägung der Tagestemperaturen (Hitzetage) charakterisiert. Das mit Abstand größte zusammenhängende Gebiet betrifft im Wesentlichen die Großfeldsiedlung im 21. Bezirk und wird somit als eigenständiges A4- Zielgebiet definiert. Alle Ergebnisse der räumlichen Überschneidung der höchsten Altersstruktur mit der höchsten Ausprägung der Hitzetage wurden bereits in Abbildung 27 dargestellt. (Kapitel 6.3.4).

Das Zielgebiet „A4“ ist generell durch eine eher lockere Bauweise gekennzeichnet, in der auch einige kleinere Grünflächen vorzufinden sind. Großflächige Gebiete in der näheren Umgebung, die eine kühlende Wirkung auf dieses Zielgebiet haben, können allerdings nicht festgestellt werden. Weder der Wienerwald, noch die Donau oder andere größere Freiflächen haben aufgrund der großen Distanz zu "A4" einen Einfluss auf das Gebiet der Großfeldsiedlung.

Handlungsempfehlungen:

Zum Unterschied zu den Gebieten "A1-A3", bei welchen sich die thermische Hitzebelastung auf die Nachttemperaturen bezieht, ist Zielgebiet "A4" durch eine Vielzahl von hohen Tagestemperaturen gekennzeichnet. Um urbane Erwärmung untertags zu unterbinden, eignen sich vor allem Maßnahmen zur Beschattung um den direkten Wärmeinput zu reduzieren, was zum Beispiel durch punktuelle Aktionen erreicht werden kann. Da direkt im Zielgebiet "A4" sowie auch in deren näheren Umgebung Freiflächen vorhanden sind, könnte eine Adaption dieser unbebauten

Gebiete die positiven Eigenschaften des thermischen Wirkungskomplexes erhöhen. Die Schaffung von Kaltluftbahnen gestaltet sich in diesem Bereich insofern als schwierig, da größere kühlende Freiflächen weit entfernt sind. Aufgrund der generell nicht so hohen Bebauungsdichte beziehungsweise den zahlreichen Freiflächen in der Umgebung, ist der Handlungsspielraum der Stadtplanung allerdings generell größer, als in dicht bebauten Gebieten.

Um den hohen Tagestemperaturen entgegenzuwirken, eignen sich vor allem Bäume, die einerseits den Wärmeinput reduzieren und andererseits für eine erhöhte Transpiration und somit „Verdunstungskühlungsprozesse“ sorgen.

Bezüglich Dachbegrünungen besteht im Zielgebiet ebenfalls Potential, da weder direkt im Zielgebiet noch in der näheren Umgebung auf diese natürliche Form der Dachnutzung zurückgegriffen wird.

6.4.3 B-Zielgebiete

Als "B-Zielgebiete" werden alle Gebiete definiert, die aus den Überschneidungen der jeweils beiden höchsten Kategorien (6 und 7) der Altersstruktur sowie der urbanen Hitzebelastung (aller Klimaindizes) ermittelt werden konnten. Da die Überschneidung der jeweils beiden höchsten Kategorien (7) keine Redundanzen lieferte, ist das Ergebnis eine räumliche Überlagerung von Gebieten mit der jeweils zweithöchsten Ausprägung (Kategorie 6 der Altersstruktur und Kategorie 6 der urbanen Hitzebelastung).

Demzufolge erhalten „B-Zielgebiete“ bezüglich der niedrigeren Relevanz von urbaner Hitzebelastung in Zusammenhang mit altersspezifischer Vulnerabilität eine geringere Priorisierung als A-Zielgebiete.

Aufgrund der niedrigeren Priorität sowie der Vielzahl an Großteils kleinräumigen Flächen wird im Rahmen dieser Arbeit nicht explizit auf einzelne „B-Zielgebiete“ eingegangen. Abbildung 21 (Kapitel 6.3.2.1) veranschaulicht alle ermittelten „B-Zielgebiete“.

7 Zusammenfassung

Der Klimawandel sowie der demografische Wandel sind von Entwicklungen betroffen, dessen zukünftige Trends die Raumplanung beziehungsweise die Stadtplanung in den nächsten Jahren und Jahrzehnten vor große Herausforderungen stellen werden. Der fortschreitende Urbanisierungsprozess forciert die Problematik dieser Entwicklungen weiter, da einerseits der urbane Hitzeinseleffekt durch diese anthropogene Entwicklung in Agglomerationsräumen verstärkt wird und andererseits die Vulnerabilität in Städten aufgrund der steigenden Anzahl der Stadtbevölkerung weiter zunimmt.

Wie viele andere Städte ist auch Wien von diesen Entwicklungen nicht ausgenommen. So ist die Stadt Wien von einem kontinuierlichen Bevölkerungszuwachs betroffen, zudem hat der demografische Wandel zur Folge, dass sich die Anteile der älteren Altersgruppen weiter erhöhen werden. Wien ist zudem von einer generellen Temperaturzunahme betroffen, was durch den Vergleich mit zurückliegenden Klimadaten bestätigt werden kann. Auch ein vorherrschender Hitzeinseleffekt der Stadt Wien scheint als unumstritten, was einerseits durch Temperaturmessungen verschiedener Stationen, und andererseits durch Klimamodellierungen bekräftigt werden kann.

Der urbane Hitzeinseleffekt sowie die altersspezifische Vulnerabilität wurden in dieser Masterarbeit in direkten Zusammenhang gesetzt, wobei es das primäre Ziel war, Raumeinheiten zu lokalisieren und zu definieren, die sowohl von starker Hitzebelastung als auch von einer hohen Altersstruktur betroffen sind.

Als Schwierigkeit entpuppte es sich, repräsentative Abgrenzungen bezüglich der „alten Bevölkerungsstruktur“ sowie „urbaner Hitzebelastung“ festzulegen. Mithilfe der Methodik der *Fuzzy-Logic* wurde die Problematik der scharfen Abgrenzung berücksichtigt, um so „alte Wohnbevölkerungsstrukturen“ beziehungsweise altersspezifische Vulnerabilität möglichst realistisch darzustellen. Bei der Definition von Gebieten, die besonders von urbaner Hitzebelastung betroffen sind, wurden in einem ersten Schritt die höchsten Ausprägungen der Klimaindizes Sommertage, Hitzetage, warme Tage und Tropennächte räumlich überschritten. Des Weiteren erfolgten noch Überschneidungen mit der zweithöchsten Ausprägung aller Klimaindizes, sowie separate räumliche Analysen, bei welchen nur die Ausprägung der Hitzetage beziehungsweise der warmen Nächte berücksichtigt wurden.

Bei der räumlichen Analyse konnten durchaus interessante Ergebnisse erzielt werden. So haben die Überschneidungsbereiche mit den höchsten Hitzebelastungen aller verwendeten Klimaindizes (Sommer-, Hitzetage, warme Nächte, Tropennächte) mit der höchsten Kategorie der alten Bevölkerungsstruktur keine Überlappungen ergeben. Dies bedeutet, dass im Wiener Stadtgebiet

keine einzige Fläche identifiziert werden konnte, die sowohl von stärkster Hitzebelastung (unter Berücksichtigung aller vier Klimaindizes), als auch von der höchsten Altersstruktur betroffen ist. Somit ergibt sich generell eine günstige Verteilung zwischen Gebieten, die von intensivem Hitze-stress und hoher altersspezifischer Vulnerabilität gekennzeichnet sind.

In der weiteren räumlichen Analyse konnten schließlich Zielgebiete definiert werden, die sowohl hohe Hitzebelastungen als auch eine hohe altersspezifische Vulnerabilität aufweisen.

Konkret wurde die höchste Altersstruktur mit der höchsten Ausprägung der warmen Nächte und in weiterer Folge auch mit der höchsten Kategorie der Hitzetage überschritten.

Die Überschneidung der Ausprägung von warmen Nächten sowie von Hitzetagen mit der Altersstruktur führte schließlich zur Definition von vier eigenständigen A-Zielgebieten.

A-Zielgebiete, die neben der alten Bevölkerungsstruktur von hoher nächtlicher Wärmebelastung gekennzeichnet sind (Zielgebiete A1- A3), konnten im 19. sowie im 20. Bezirk lokalisiert werden. Des Weiteren konnte ein großflächiges A-Zielgebiet (A4), das durch hohe Tagestemperaturen geprägt ist identifiziert werden, welches sich im Wesentlichen als die Großfeldsiedlung im 21. Bezirk entpuppte.

In einem weiteren Analyseschritt wurden auch die jeweils zweithöchsten Ausprägungen der Altersstruktur und der thermischen Hitzebelastung überschritten, was als Ergebnis eine Vielzahl von kleinflächigen B-Zielgebieten hervorbrachte, die räumlich ziemlich heterogen über das Wiener Stadtgebiet verteilt sind.

Handlungsempfehlungen in den jeweiligen Gebieten müssen mit gewisser Vorsicht betrachtet werden, da vor allem tiefergreifende Analysen der jeweiligen Gebiete essenziell sind.

Das primäre Ziel dieser Masterarbeit war es Raumeinheiten zu lokalisieren, die von hoher Hitzebelastung betroffen sind, als auch zugleich durch alte Bevölkerungsstrukturen charakterisiert sind.

8 Handlungsempfehlungen und Ausblick

Bei den Ergebnissen der räumlichen Analysen muss stets berücksichtigt werden, welche Eingabeparameter zu den jeweiligen Resultaten geführt haben.

So wurde bei den Überschneidungen aufgrund der Datenverfügbarkeit, die thermische Hitzebelastung ausschließlich aufgrund der modellierten Parameter Hitzetage, Sommertage, warme Nächte und Tropennächte charakterisiert.

Präzisere Methoden um die Wärmebelastung auf die menschliche Vulnerabilität bestmöglich zu klassifizieren und abzubilden, wären die Verwendung von Klimaelementen, die nicht nur die meteorologische Komponente berücksichtigen, sondern sich auch direkt auf das menschliche Wärmeempfinden beziehen. Als adäquate Parameter sind hier vor allem der Diskomfort-Index, die effektive Temperatur, der Heat-Stress-Index sowie die Äquivalenttemperatur zu nennen.

Auch die Abgrenzung der altersspezifischen Vulnerabilität bezüglich Hitzestress gestaltet vor allem aufgrund der von Mensch zu Mensch individuellen Belastung als schwierig.

Die Stadtplanung kann generell einen wesentlichen Beitrag zur Minderung von urbanen Hitzeinseln leisten. Die Stadtklimatologie muss entsprechende Grundlagenforschung leisten und schließlich in eine integrierte nachhaltige Stadtentwicklung implementiert werden.

Zwei wesentliche Handlungsempfehlungen können für die Stadtplanung bezüglich der Schaffung von Grünanlagen gegeben werden. Erstens sollte auch die Klimawirksamkeit kleinerer Parks nicht unterschätzt werden, die bei guten topologischen Rahmenbedingungen ein Gebiet beeinflussen kann, das fast das Doppelte der eigenen Grünfläche betrifft. Auch aufgrund von Platzmangel in Stadtgebieten ist dementsprechend die Forcierung kleinerer Parks zu empfehlen. Zweitens ist nicht nur die Quantität der Grünflächen von Bedeutung sondern auch die Gestaltung dieser. Wien gilt mit etwa 50% Grünanteil der Stadtfläche generell als sehr grüne Stadt, somit sollte in weiterer Folge, vor allem die Qualität der bereits bestehenden Grünflächen Berücksichtigung finden. Entscheidend ist hier vor allem, dass das Wasserdargebot vorhanden ist, da unbewässerte Grünflächen praktisch keinen Einfluss auf den Feuchtegehalt der Atmosphäre haben. Zudem muss differenziert werden, ob man das Ziel verfolgt Tagesmaxima abzuschwächen oder eher nächtliche Kühlungseffekte erreichen möchte.

Sollen Tagesextrema reduziert werden, so empfiehlt sich die Gestaltung mit Bäumen beschatteten Grünräumen, während teils beschattete Wiesenflächen mit geringerer Oberflächenrauigkeit verstärkte Kühleffekte in der Nacht bewirken.

Eine auf Wien bezogene Modellanalyse der ZAMG hat gezeigt, dass bei einer Erhöhung um 10%-30% von bereits bestehenden Grünflächen, meist nur lokale Abkühlungseffekte festgestellt werden konnten. Jedoch kam man auch zu dem Ergebnis, dass mehrere kleinere Parks eine größere Auswirkung auf die Umgebung haben, als über das gesamte Stadtgebiet verstreute Parks (vgl. ZUVELA-ALOISE, 2014).

Speziell in Gebieten, die besonders von thermischer Hitzebelastung betroffen sind, ergibt sich aufgrund der dichten Bebauungsstruktur oft die Problematik von eingeschränkten (speziell flächendeckenden) Maßnahmen zur Minderung. Gerade in diesen Räumen sollte es höchste Priorität haben, bereits bestehende Grünflächen in adäquater Weise umzugestalten, um optimale Wirkungen zu erzielen. Auch kleinere Plätze, Höfe oder Straßen können potentielle Räume sein, um punktuelle Verbesserungen bezüglich der thermischen Belastung zu erzielen. Eine dementsprechende Berücksichtigung dieser Plätze sollte auf jeden Fall Anwendung finden.

"Wenn die Neuwidmung von neuen Grünflächen begrenzt ist, sollten in einer optimalen Grün- und Freiraumplanung die kritischen Zonen (Zonen mit hoher thermischer Belastung) eine hohe Priorität haben und mit kombinierten Maßnahmen gezielt gestaltet werden" (ZUVELA-ALOISE, 2014).

Einen besonderen Stellenwert sollte in jedem Fall auch die Dachnutzung einnehmen. Speziell in stark hitzebelasteten Gebieten, in denen auf Bodenniveau aufgrund der dichten Bebauung keine Platzreserven zur Verfügung stehen, sollte das Potential der Dachbegrünungen unbedingt genutzt werden.

Generell ist die Abstimmung verschiedener Maßnahmen zur Minderung des urbanen Hitzeinselleffektes von entscheidender Bedeutung. Das heißt, dass beispielsweise Grünflächen mit Kaltluftbahnen verbunden werden sollten, um optimale Wirkungseffekte zu erzielen. Zudem sollten beispielsweise nicht wahllos Bepflanzungen von Bäumen stattfinden, sondern Korridore, die zum Kaltluftaustausch vorgesehen sind, von Strömungshindernissen (wie auch Bäumen) freigehalten werden.

Eine nachhaltige Stadtentwicklung muss allerdings neben allgemeinen ökologischen Zielen auch ökonomische und soziale Interessen berücksichtigen und entsprechende Strategien und Maßnahmen abwägen.

Weiterführende interessante Fragestellungen bezüglich dieser Thematik betrifft zukünftige Bebauungsstrukturen. So stellt sich die Frage, ob eher eine lockere oder dichte (kompakte) Bebauungsweise in Bezug auf den urbanen Hitzeinselleffekt sowie unter Berücksichtigung weiterer Ziele in der Stadtentwicklung forciert werden sollte.

Ebenfalls eine spannende Fragestellung ist die unterschiedliche Vorstellung zur Dachnutzung, wobei helle Oberflächen (Albedomaximierung) in Konkurrenz zu Dachbegrünungen stehen. Weiterführend wären außerdem Untersuchungen interessant, die den Wohnungsbestand berücksichtigen, da vor allem die Hitzebelastung in den jeweiligen Haushalten (und nicht primär im Freien) eine hohe Relevanz auf die Vulnerabilität aufweist.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Abhängigkeiten von UHI und Einwohnerzahl - (Quelle: HENNINGER, 2011, S.69)	23
Abbildung 2: Beispiel Fassadenbegrünung in Wien (Quelle: STADT WIEN)	46
Abbildung 3: Verlauf der Geburtenzahlen in Wien von 1961 - 2013 und Prognose bis 2044 – Datengrundlage: Stadt Wien - Statistik Journal Wien 01/2014.....	57
Abbildung 4: Verlauf der Altersgruppen in Wien von 1961 - 2013 und Prognose bis 2044 – Datengrundlage: STADT WIEN - STATISTIK JOURNAL WIEN 01/2014	59
Abbildung 5: Hitzewellen-Tage Hohe Warte: Datengrundlage: ZAMG	67
Abbildung 6: Verteilung der über 60-Jährigen an der Wohnbevölkerung in Wien 2014 – Datengrundlage: Stadt Wien, eigene Darstellung;	69
Abbildung 7: Verteilung der über 75-Jährigen an der Wohnbevölkerung in Wien 2014 – Datengrundlage: Stadt Wien, eigene Darstellung;	70
Abbildung 8: Räumliche Verteilung der alten Wohnbevölkerung in Wien 2012 – Datengrundlage: Stadt Wien, eigene Darstellung;	74
Abbildung 9: Räumliche Verteilung der altersspezifischen Wohnbevölkerung in Wien 2012 – Datengrundlage: Stadt Wien, eigene Darstellung;	75
Abbildung 10: Räumliche Ausprägung von Sommertagen in Wien – Datengrundlage: ZAMG, eigene Darstellung;	78
Abbildung 11: Räumliche Ausprägung von Hitzetagen in Wien – Datengrundlage: ZAMG, eigene Darstellung;	79
Abbildung 12: Räumliche Ausprägung von warmen Nächten in Wien - Datengrundlage: ZAMG, eigene Darstellung;	80
Abbildung 13: Räumliche Ausprägung von Tropennächten in Wien - Datengrundlage: ZAMG, eigene Darstellung;	82
Abbildung 14: Räumliche Ausprägung von Sommer- und Hitzetagen mit höchster Hitzebelastung - Datengrundlage: ZAMG, eigene Bearbeitung;	84
Abbildung 15: Räumliche Ausprägung von Tropennächten und warmen Nächten mit höchster Hitzebelastung - Datengrundlage: ZAMG, eigene Bearbeitung;	85
Abbildung 16: Überschneidung aller Klimaindizes mit höchster Hitzebelastung - Datengrundlage: ZAMG, eigene Bearbeitung;.....	86
Abbildung 17: Überschneidung aller Klimaindizes der Hitzebelastung der Kategorien 6 und 7 - Datengrundlage: ZAMG, eigene Bearbeitung;	87
Abbildung 18: Überschneidung aller Klimaindizes mit höchster Hitzebelastung - Datengrundlage: Stadt Wien, eigene Bearbeitung;	89
Abbildung 19: Alte Wohnbevölkerung und Hitzebelastung der jeweils höchsten Ausprägungen (Kategorie 7) - Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;.....	91

Abbildung 20: Räumliche Verteilung der alten Wohnbevölkerung (Kategorie 6 und 7) mit urbaner Überwärmung (Kategorie 6 und 7) - Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;.....	93
Abbildung 21: Überschneidungsgebiete alter Wohnbevölkerung (Kategorie 6 und 7) mit urbaner Überwärmung (Kategorie 6 und 7) - Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;.....	93
Abbildung 22: Räumliche Verteilung der alten Wohnbevölkerung (Kategorie7) mit urbaner Überwärmung (Kategorie 6 und 7) - Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;.....	94
Abbildung 23: Überschneidungsgebiete alter Wohnbevölkerung (Kategorie 7) mit urbaner Überwärmung (Kategorie 6 und 7) - Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;.....	95
Abbildung 24: Räumliche Verteilung der alten Wohnbevölkerung (Kategorie 6 und 7) mit urbaner Überwärmung (Kategorie 7) - Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;.....	96
Abbildung 25: Überschneidungsgebiete alter Wohnbevölkerung (Kategorie 6 und 7) mit urbaner Überwärmung (Kategorie 7) - Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;.....	97
Abbildung 26: Überschneidung alter Wohnbevölkerung mit Gebieten höchster Ausprägung von warmen Nächten - Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;	98
Abbildung 27: Überschneidung alter Wohnbevölkerung mit Gebieten höchster Ausprägung von heißen Tagen - Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;	99
Abbildung 28: Zielgebiet A1: „Beim Nussberg“ – Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;.....	101
Abbildung 29: Zielgebiet A2: „Hohe Warte“ – Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;	103
Abbildung 30: Zielgebiet A3: „Nordwestbahnhof“ – Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;.....	105
Abbildung 31: Zielgebiet A4: „Großfeldsiedlung“ – Datengrundlage: Stadt Wien und ZAMG, eigene Bearbeitung;.....	107

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einflussfaktoren des Stadtklimas – Datengrundlage: KUTTLER, 2009, S. 197, eigene Darstellung;	15
Tabelle 2: Charakteristika des Stadtklimas einer westeuropäischen Stadt – Datengrundlage: KUTTLER, 2013, S.213, eigene Darstellung;	16
Tabelle 3: :Art der Einflussfaktoren auf das Stadtklima – Datengrundlage: HENNINGER, 2011, S.67ff, eigene Darstellung;	21
Tabelle 4: Potentielle Wirkfolgen von urbaner Erwärmung – Datengrundlage: GREIVING, 2011, S.12, eigene Darstellung;	29
Tabelle 5: Thermisches Empfinden und Thermophysiologische Belastungsstufe – Datengrundlage: MARKTL et al., 2010, eigene Darstellung;.....	32
Tabelle 6: Extensive und intensive Dachbegrünung – Datengrundlage: VERBAND FÜR BAUWERKSBEGRÜNUNG, eigene Darstellung;.....	44
Tabelle 7: Albedowerte verschiedener Oberflächenarten – Datengrundlage: MATZARAKIS, 2001, S.14;.....	50
Tabelle 8: Kriterien zur Umsetzung von Hitzeaktionsplänen – Datengrundlage: UMWELTBUNDESAMT, eigene Darstellung;.....	53
Tabelle 9: Definition Klimaindizes, eigene Darstellung;.....	61
Tabelle 10: Beobachtete und modellierte Anzahl der Sommertage an verschiedenen Stationen – Datengrundlage: ZAMG – SISSI, 2011;	63
Tabelle 11: Entwicklung von Hitzetagen an ausgewählten Klimastationen – Datengrundlage: ZAMG – SISSI, 2011;.....	65
Tabelle 12: Entwicklung von Hitzewellentagen – Datengrundlage: ZAMG	67
Tabelle 13: : Aufschlüsselung der Gewichtung des Alters im Übergangsbereich von 60-80 Jahren	71
Tabelle 14: : Gewichtungsfaktor der Altersgruppen	72
Tabelle 15: Schema der Kodierung des relativen Fuzzy-Wertes.....	73
Tabelle 16: Schema der Kategorisierung unterschiedlich stark ausgeprägter Hitzebelastung der jeweiligen Klimaindizes	83
Tabelle 17: : Zielgebiet A1: „Beim Nussberg“	101
Tabelle 18: : Zielgebiet A2: „Hohe Warte“	103
Tabelle 19: Zielgebiet A3: „Nordwestbahnhof“	104
Tabelle 20: Zielgebiet A4: „Großfeldsiedlung“.....	106

Literaturverzeichnis

- AUER I., BÖHM R. & MOHNL H. (1989): Klima von Wien. Mag. d. Stadt Wien, Wien.
- BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumforschung) (2009): Klimawandelgerechte Stadtentwicklung. Wirkfolgen des Klimawandels, BBSR-Online-Publikation, 23/09, Bonn.
- BECK S., BOVET J., BAASCH S., REISS P., & GÖRG, C. (2011): Synergien und Konflikte von Strategien und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel. Abschlussbericht, Leipzig.
- BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) (Hrsg.) (2009): Klimawandelgerechte Stadtentwicklung – Rolle der bestehenden städtebaulichen Leitbilder und Instrumente. BBSR-Online-Publikation 24/09.
- BONGARD, B. (2005): Stadtklimatologische Bedeutung kleiner Parkanlagen – dargestellt am Beispiel des Dortmunder Westparks. Inaugural-Dissertation. Universität Duisburg-Essen.
- EIS D., HELM D., LAUBMANN D. & STARK K. (2010): Klimawandel und Gesundheit - Ein Sachstandsbericht. Robert Koch-Institut, Berlin.
- FABMANN H. & HANIKA A. (2006): Räumliche Aspekte der demographischen Entwicklung - In: AMLER M. & BENCIC W. (Hrsg.): Gesundheitswissenschaften 30. Ökonomie und Gesundheit. Lösbare Herausforderung oder dauernder Widerspruch? S. 21-28, Linz.
- FORMAYER H., HAAS P., HOFSTÄTTER M., RADANOVICS S. & KROMP-KOLB H. (2007): Räumlich und zeitlich hochaufgelöste Temperaturszenarien für Wien und ausgewählte Analysen bezüglich Adaptionsstrategien. I.A. der Wiener Umweltschutzabteilung - MA22 der Stadt Wien gemeinsam mit der MA27 - EU Strategie und Wirtschaftsentwicklung, S. 82.
- FRIEDLINGSTEIN P. & SOLOMON S. (2005): Contributions of past and present human generations to committed warming caused by carbon dioxide - In: Online Early Edition der "PNAS" (DOI:10.1073/Pnas.0504755102).
- GERERSDORFER T., FRANK A., FORMAYER H., HAAS P. & MOSHAMMER H. (2007): Untersuchung zur nächtlichen Abkühlung in einem sich ändernden Klima, Endbericht von StartClim2005.A1b - In StartClim 2005: Klimawandel und Gesundheit. BMLFUW, BMGF, Umweltbundesamt.
- HENCKEL D., VON KUCZKOWSKI K., LAU P. & PAHL-WEBER E. (2010): Planen- Bauen- Umwelt - In: Stellmacher F. (Hrsg.): Ein Handbuch. o.O.
- HENNINGER S. (2011): Stadtökologie, Paderborn.
- HOLST J. & MAYER H. (2010): „Verbundkoordination (KLIMES ALUF-1)“ und „Planungsrelevante human-biometeorologische Bewertung von städtischen Strukturen bei thermischen Stressbedingungen hinsichtlich der Anpassung an Extremwetter (KLIMES ALUF-2)“. Schlussbericht zum Teilvorhaben. Meteorologisches Institut, Freiburg.
- HOWARD L. (1833): The climate of London, London.
- GÄLZER R. (2001): Grünplanung für Städte, Stuttgart.
- HUTTER H.-P., MOSHAMMER H., WALLNER P., LEITNER B. & KUNDI M. (2007): Heatwaves in Vienna: Effects on mortality- In: Wiener Klinische Wochenschrift, Volume 119, Issue 7, Wien, S. 223-227.
- JAEGER C. & JAEGER J. (2010): - Warum zwei Grad? In: Aus Politik und Zeitgeschichte, Bonn.

JAHN H., KRÄMER A. & WÖRMANN T. (2013): Klimawandel und Gesundheit - Internationale, nationale und regionale Herausforderungen und Antworten, Bielefeld.

JENDRITZKY, G. (1992): Wirkungen von Wetter und Klima auf die Gesundheit des Menschen - In: Handbuch Umweltmedizin (Hrsg.): WICHMANN H.E.; SCHLIPKÖTER H.W.; FÜLGRAFF G.- Landsberg, ecomed-Verlag, Kap. VII-3, S. 1-14.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (Hrsg.) (2013): Summary for Policymakers - In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.- STOCKER, T.F., D. QIN, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR, S.K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, V. BEX AND P.M. MIDGLEY. - Cambridge u.a.

KAISER A. (1996): Studie zum Aufbau eines Vertikalprofils für den Raum Wien. Forschungsprojekt im Auftrag des Magistrats der Stadt Wien, Wien.

KLINENBERG E. (1999): Denaturalizing disaster: A social autopsy of the 1995 Chicago heat wave. *Theory and Soc* 28 (2), S. 239 – 295.

KRONENBERGER B., BALAS M. & PRUTSCH A. (2012): Die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel. Teil 2 – Aktionsplan, Handlungsempfehlungen für Wien.

KUTTLER W. (2005): Stadtklima - In: Möller, D. (Hrsg.): Klimawandel – vom Menschen verursacht? 8. Umweltsymposium 2004. Erfurt, S. 28-71.

KUTTLER W. (2006): Stadtklima - In: HUPFER P. & KUTTLER W. (Hrsg.): Witterung und Klima. Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. 12. Auflage, Wiesbaden, S. 371-432.

KUTTLER W. (2009): Klimatologie, Paderborn.

KUTTLER W. (2010): Urbanes Klima, Teil 2 - In: Gefahrstoffe- Reinhaltung der Luft, 70, Nr. 9, Essen, S. 378-382.

KUTTLER W. (2011): Klimawandel im urbanen Bereich. Teil 2, Maßnahmen, Essen.

KUTTLER W. (2013): Klimatologie – aktualisierte und ergänzte Auflage, Paderborn.

KYSELÝ J., KALVOVÁ J. & KVETON V. (2000): Heat Waves in the South Moravian Region during the Period 1961 – 1995 - In: *Studia geoph. Et geod.* 44 (20000), Prag, S. 57-72.

LATIF M. (2009): Klimawandel und Klimadynamik, Stuttgart.

LEE T. (1987): Urban clear islands in California central Valley fog - In: *Monthly weather Review*, 155, S.1794-1796.

LOWRY W. (1977): Empirical estimation of urban effects on climate: a problem analysis - In: *Journal of applied meteorology*, Illinois, S.129 - 135.

MARKTL W., MUTHERS S., KOCH E. & MATZARAKIS A. (2010): Klima beeinflusst Mortalität - In: *Österreichische Ärztezeitung* 10, Wien.

MATZARAKIS A. (2001): Die thermische Komponente des Stadtklimas, Freiburg.

MAYER H. (1989): Workshop „Ideales Stadtklima“ am 26. Oktober 1988 in München. DMGMitteil. 3/89, München, S. 52-54.

MAYER H., MATZARAKIS A. & IZIOMON M. G. (2003): Spatio-temporal variability of moisture conditions within the urban canopy layer – *Theoretical and Applied Climatology* 76, S. 165- 179.

MEYER K. & OVERBECK G. (2009): Raumplanerische Anpassung an den Klimawandel im Spiegel aktueller Projekte -In: Raumforschung & Raumordnung 2/2009, S.182-192.

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.

ÖSTERREICHISCHER SACHSTANDBERICHT KLIMAWANDEL (2014): In: Austrian Assessment Report 2014 - AAR14.

SACHWEH M. (1997): Änderungen des Nebelklimas in Bayern – Trend, Ursachen, und Modellierung - In: Annalen der Meteorologie 34, S. 45-46.

SACHWEH M. & KÖPKE P. (1995): Radiation fog and urban climate - In: Geophysical Research Letters 22, S. 1073- 1075.

SCHIFFER, K. R. (2005): Der Wandel der Bevölkerungsstruktur in Österreich., Auswirkungen auf Regionen und Kommunen - In: Österreichisches Institut für Familienforschung (Hrsg.), Nr. 51, Wien.

SCHNEIDER-SILWA S., SCHAUB D., GEROLD G. & TÖPFER K. (1999): Angewandte Landschaftsökologie: Grundlagen und Methoden, Berlin.

SCHÖNWIESE C.D. (1994): Klimatologie, Stuttgart.

SCHÖNWIESE S. (2007): Dachbegrünung nicht nur was für Ökos - Von der Investition zur Rendite: Kosten-Nutzen-Rechnungen. o.O.

SHERIDAN S.C. & KALKSTEIN L.S. (2004) Progress in heat warning system technology. Bull Am Meteorol Soc 85, S. 1931 – 1941.

SIEVERS U. (1990): Dreidimensionale Simulationen in Stadtgebieten. Umweltmeteorologie, Schriftenreihe Band 15: Sitzung des Hauptausschusses II am 7. und 8. Juni in Lahnstein. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, Düsseldorf, S. 92-105.

SIEVERS U. (1995): Verallgemeinerung der Stromfunktionsmethode auf drei Dimensionen - In: Meteorologische Zeitschrift, N. F. 4, S. 3-15.

SIEVERS U. & ZDUNKOWSKI W. (1986): A microscale urban climate model - In: Beitrag Physische Atmosphäre. 59, S. 13-40.

STADT WIEN (Magistratsabteilung 18) (2006): Stadtentwicklung und Stadtplanung - Lebensräume der älteren Stadtbevölkerung, Wien.

STADT WIEN (2010): Grünraumanalyse Wien – Dachbegrünung, Wien.

STOCK M. & WALKENHORST O. (2012): Einführung: Klimawandel, Auswirkungen und Unsicherheiten - In: BIRKMANN J. et al. (Hrsg.): Anpassungen an den Klimawandel durch räumliche Planung. Grundlagen, Strategien, Instrumente, Hannover, S. 1-14.

UPMANIS H., ELIASSON I. & LINDQUIST S. (1998): The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city, Göteborg, S.681-700.

WANNER H. (1986): Die Grundstrukturen der städtischen Klimamodifikationen und deren Bedeutung für die Raumplanung - In: Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft, Bern, S. 67-84.

WHO (2004): Extreme weather and climate events and public health responses. WHO meeting, Bratislava.

ZUVELA-ALOISE M. (2011): SISSI - Simulationen von Städtischen KlimaSzenarien.

ZUVELA-ALOISE M. (2013): FOCUS-I – Future Of Climatic Urban heat Stress Impacts – Adaptation and mitigation of the climate change impact on urban heat stress based on model runs derived with an urban climate model, Wien.

ZUVELA-ALOISE M. (2015): "Stadterhitzung"- Städte im Klimawandel am Beispiel von Wien. Geographisches Kolloquium, Wien.

Online-Quellen:

MINISTERIUM FÜR VERKEHR UND INFRASTRUKTUR BADEN-WÜRTTEMBERG (2008): Städtebauliche Klimafibel Online.
Link: <http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/> (20.10.2015)

UMWELTBUNDESAMT - Abteilung Umweltfolgenabschätzung und Klimawandel
Link: http://www.klimawandelanpassung.at/ms/klimawandelanpassung/de/anpassungandenklimawandel/kwa_schwerpunkt/kwa_hitze/ (20.10.2015)

VERBAND FÜR BAUWERKSBEGRÜNUNG
Link: http://www.sgs-schinnerl.at/fileadmin/user_upload/grundlagen_dachbegruenung.pdf (18.10.2015)

Experteninterviews:

PROCHAZKA E. (Mitarbeiter der Magistratsabteilung 18 der Stadt Wien) - 2014

ZUVELA-ALOISE M. (Klimatologin der ZAMG) - 2015

Datenquellen

ZAMG: Klimadaten zu Modellierungen (Sommertage, Hitzetage, warme Tage, warme Nächte)

STADT WIEN: Demografische Daten zur Altersstruktur (Bezirksebene, Zählbezirksebene, Zählgebietsebene, Baublockebene)

VIENNAGIS: Geometriedaten Wiens

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die Masterarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken als solche kenntlich gemacht habe. Die Arbeit wurde bisher keinem anderen Prüfungsamt in gleicher oder vergleichbarer Form vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht. Ich bestätige, dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit vollständig übereinstimmt.

Wien , 27.10.2015

(Ort, Datum)

Tiller Nikolaus

(Unterschrift)