



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

# Diplomarbeit

## Klimawandelanpassung in niederösterreichischen Kleinstädten

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

**Diplom-Ingenieurs**

unter der Leitung von

**o. Univ. Prof. Richard Stiles MA Dip LD Dr.hc<sup>2</sup>**

am

Institut für Städtebau, Landschaftsarchitektur und Entwerfen (E260)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

**Johannes Stehno, BSc**

Matrikelnummer 00802221

Wien, am 19. Mai 2021



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## Danksagung

Ich will mich bei Herrn Prof. Richard Stiles bedanken, der durch seine Lehrveranstaltung „Streets Ahead“ die Motivation für diese Diplomarbeit legte. Ich bedanke mich für die stets herzliche, fachliche und ausführliche Betreuung während des gesamten Arbeitszeitraumes, den wertschätzenden Umgang sowie die gute Zusammenarbeit.

Ich bedanke mich bei meinen lieben Eltern für ihre immerwährende Unterstützung, für das Begleiten durch das Studium und vor allem für das Ermöglichen und Eröffnen der vielen Chancen, die es mir ermöglichten, mich auf mein Studium zu konzentrieren und meine Interessen und Leidenschaften zu verfolgen.

Meinen Dank an Katharina für die jahrelange Freundschaft, für das gemeinsame studieren, deine Motivation und Rat in dieser Zeit und dein stets offenes Ohr.

Mein Dank gilt auch Felix, für die gemeinsame Zeit in Graz, das Bestehen der Freundschaft über die Entfernung hinweg und die vielfältigen Gespräche im Laufe der Jahre – denn darauf kommt es an.

## Kurzfassung

Die Zunahme von Hitzeperioden sowie von Starkniederschlagsereignissen auf Grund des globalen Klimawandels führt zu immer mehr negativen Folgen für Mensch und Umwelt in allen Siedlungsräumen. Durch grüne und blaue Infrastrukturmaßnahmen kann der negative Einfluss des Klimawandels, der sich durch menschliche Bautätigkeit in urbanen Räumen zusätzlich noch verstärkt und etwa in Form von Hitzeinseln in Erscheinung tritt, verringert werden, und die Lebensqualität wieder gesteigert werden. Während Großstädte sowohl in der wissenschaftlichen Literatur als auch in der Umsetzung von Klimawandelanpassungsmaßnahmen große Aufmerksamkeit erfahren, ist dies bei Kleinstädten nicht in demselben Ausmaß gegeben, obwohl Kleinstädte, etwa in Niederösterreich, in vielerlei Hinsicht zentraler Bestandteil des Landes sind und ein erheblicher Teil der Bevölkerung in Ihnen beheimatet ist.

Ziel dieser Arbeit ist es daher die Thematik der Klimawandelanpassung im Kontext niederösterreichischer Kleinstädte zu beleuchten. Dabei wird neben den Gründen und Auswirkungen des Klimawandels im Siedlungsraum der Frage nachgegangen, wie sich eine Kleinstadt im Kontext der vorliegenden Fragestellung definieren und abgrenzen lässt. Auf Basis von Rasterbevölkerungsdaten konnten in dieser Arbeit somit 41 Kleinstadtbereiche definiert werden. Nicht alle Siedlungsräume sind gleichermaßen intensiv vom Klimawandel betroffen. Lokale Unterschiede im Versiegelungsanteil und im Vegetationsbestand üben großen Einfluss auf das lokale Mikroklima aus. Welche Siedlungsräume besonders von den negativen Folgen betroffen sind und welche Anpassungsmaßnahmen in den jeweiligen Gebieten geeignet erscheinen, ist deshalb von großem Interesse. Mit Hilfe des Modells der lokalen Klimazonen lassen sich Bereiche ähnlicher Merkmalsausprägung voneinander abgrenzen, wodurch Bereiche, die etwa zu mehr Überwärmung tendieren, verortet werden können. In dieser Arbeit werden beispielhaft auf Basis der unterschiedlichen lokalen Klimazonen in mehreren Kleinstädten Niederösterreichs Potentialräume und konkrete Maßnahmen und grüne und blaue Infrastruktureinbindung zur Klimawandelanpassung vorgestellt und zur Diskussion gestellt.

# Abstract

The increase of hot periods as well as of events of extreme precipitation caused by the global climate change is leading to increasing problems for humans and nature in all forms of settlements. Green and blue infrastructure can reduce the negative effects of climate change, which is aggravated in urban areas due to construction activity. While large cities receive a lot of attention, both in a scientific as well as climate change adaptation activities way, this is not the case for small and medium sized towns. Even though small and medium sized towns, like in lower Austria, form a central part of the country in many aspects and are populated by a considerable amount of people.

The aim of this Master thesis is to set climate change adaptation in the context of lower Austrian small and medium sized towns. The origins and the consequences of climate change in settlements, as well as definition of a small and medium sized town in the context of climate change, will be presented. Not all areas of settlements are equally affected by climate change. Local variations in the amount of sealed soil and in the amount of vegetation in a certain area have a significant influence on the micro climate. It is therefore of big interest which areas are affected the most and which climate change adaptation actions seem suitable for which area. With the help of the local climate zone areas of similar characteristics, which tend to overheat in a similar way, can be distinguished. This Master thesis will show tangible actions and applicable green and blue infrastructures in certain areas of some lower Austrian small and medium sized cities on the basis of local climate zones and will discuss those findings.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
1.1	Problemstellung .....	1
1.2	Forschungsfrage und Aufbau der Arbeit .....	4
1.3	Methodik .....	5
2	Klimawandel und Stadtklima .....	7
2.1	Klimazukunft in Österreich.....	7
2.1.1	Klimaänderungen in Niederösterreich .....	9
2.2	Stadtklima .....	11
2.2.1	Arten von Wärmeinseln .....	13
2.2.2	Klimaelemente .....	15
2.2.2.1	Strahlung .....	15
2.2.2.2	Urbane Energiebilanz .....	16
2.2.2.3	Wind .....	17
2.2.3	Menschliche Aktivität und Emissionen.....	18
2.2.4	Einfluss von Siedlungen auf das Mikroklima.....	19
2.2.4.1	Bodenversiegelung .....	20
2.2.4.2	Einfluss der Siedlungsstruktur auf das Mikroklima .....	22
2.2.4.3	Einfluss der Einwohnerzahl auf die urbane Wärmeinsel.....	26
2.2.4.4	Albedo .....	27
2.3	Handlungsmöglichkeiten der Raumplanung .....	28
3	Siedlungshydrologie .....	32
3.1.1	Natürlicher Wasserkreislauf.....	33
3.1.2	Urbane Wasserbilanz .....	35
3.2	Bodenversiegelung in Bezug auf die Hydrologie .....	36
3.3	Starkniederschlag und pluviale Hochwässer .....	38
3.4	Bodeninfiltration .....	41
3.5	Kanalnetz .....	43
3.5.1	Mischsystem .....	44
3.5.2	Trennsystem .....	45

3.5.3	Transportmulden und Gräben .....	46
3.5.4	Grundwasser.....	46
3.6	Hydrologische Herausforderungen in Kleinstädten .....	47
4	Kleinstädte und lokale Klimazonen .....	50
4.1	Definitionsproblem Kleinstadt .....	50
4.1.1	Einteilung nach ESPON Town.....	52
4.2	Klimaforschung in Kleinstädten .....	57
4.3	Modell der lokalen Klimazonen.....	58
4.3.1	Temperaturverteilung in den lokalen Klimazonen .....	60
4.3.2	Lokale Klimazonen in Niederösterreich .....	62
4.3.3	Lokale Klimazonen im Vergleich mit urban fabrics .....	68
4.4	Schlussfolgerung Kleinstadt und lokale Klimazonen.....	71
5	Klimawandelanpassung.....	73
5.1.1	Klimaschutz – Mitigation.....	74
5.1.2	Klimawandelanpassung - Adaptation .....	74
5.2	Mitigation-Adaptation-Verhältnis.....	75
5.2.1	Überwinden der Dichotomie .....	77
5.3	Herausforderung von Klimawandelanpassung .....	78
5.3.1	Maßnahmen im Umgang mit Herausforderungen.....	80
5.3.2	Synergien und trade-offs zwischen Mitigation und Adaptation.....	82
6	Die Rolle der Raumplanung bei der Klimawandelanpassung .....	84
6.1	Klimawandelanpassung auf EU-Ebene .....	86
6.2	Bundesebene .....	87
6.2.1	Österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel.....	88
6.3	Landesebene am Beispiel Niederösterreichs.....	90
6.3.1	Niederösterreichisches Raumordnungsgesetz .....	90
6.3.2	Regionale Raumordnungsprogramme.....	91
6.3.3	Informelle Instrumente.....	92
6.4	Gemeindeebene.....	94

6.4.1	Flächenwidmungsplan.....	96
6.4.2	Bebauungsplan .....	97
6.4.3	Umsetzungsmöglichkeiten im Bestand .....	99
6.5	Grenzen der Raumplanung .....	100
7	Urbane grün-blaue Infrastrukturmaßnahmen .....	102
7.1	Grüner Infrastruktur .....	102
7.2	Blaue Infrastruktur und Regenwassermanagement .....	104
7.3	Die Bedeutung der Vegetation auf das Mikroklima in Siedlungen .....	108
7.3.1	Die Bedeutung von blauer Infrastruktur auf das Mikroklima .....	110
7.4	Beispiele für grüne und blaue Infrastrukturmaßnahmen .....	111
7.4.1	Kaltluftentstehungsflächen .....	113
7.4.2	Stadtbäume .....	115
7.4.3	Dach- und Fassadenbegrünung .....	117
7.4.4	Entsiegelung .....	119
7.4.5	Versickerungsanlagen .....	121
7.4.6	Bioretentionsanlagen .....	125
7.4.7	Regenwassernutzung .....	126
7.4.8	Anwendbarkeit von blauer Infrastruktur .....	128
8	Anwendung der Maßnahmen anhand der lokalen Klimazonen .....	131
8.1	Entscheidungsmatrix für blaue Infrastruktur .....	133
8.2	Beispielübersicht und klimatische Rahmenbedingungen .....	134
8.3	LCZ 2 in Niederösterreichs Kleinstädten - Übersicht .....	137
8.3.1	Baden bei Wien .....	138
8.3.2	Bruck an der Leitha .....	142
8.3.3	Fazit LCZ 2 .....	147
8.4	LCZ 8 in Niederösterreichs Kleinstädten - Übersicht .....	148
8.4.1	Mistelbach .....	149
8.4.2	Stockerau .....	155
8.4.3	Fazit LCZ 8 .....	159
8.5	LCZ 5 in Niederösterreichs Kleinstädten - Übersicht .....	160



8.5.1	Amstetten.....	161
8.5.2	Neunkirchen.....	167
8.5.3	Fazit LCZ 5.....	170
8.6	LCZ 6 in Niederösterreichs Kleinstädten - Übersicht.....	171
8.6.1	Horn.....	172
8.6.2	Herzogenburg.....	177
8.6.3	Fazit LCZ 6.....	183
9	Diskussion und Schlussfolgerung.....	184
9.1	Zusammenfassung und Beantwortung der Forschungsfragen.....	185
9.2	Schlussfolgerung und Handlungsempfehlungen.....	193
9.3	Schlusswort.....	197
10	Literaturverzeichnis.....	198
11	Onlinequellen.....	207
12	Rechtsquellen.....	208

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

In Österreich sind die Folgen des menschlich beeinflussten Klimawandels in den letzten Jahren immer deutlicher spürbar geworden. Die Steigerung der durchschnittlichen Temperatur, vor allem in den Sommermonaten, die Zunahme an Sommer- und Hitzetagen (Tage mit Höchstwerten über 25°C bzw. 30°C), von Tropennächten (nächtliche Temperatur über 20°C) sowie vermehrtes Auftreten von Extremwetterereignissen, wie Starkniederschläge oder Dürreperioden (climamap, online), beeinflussen sowohl die Vegetation, den Boden, die Biodiversität, als auch die Lebensqualität und die Gesundheit der Bevölkerung (Kromp-Kolb et al. 2014). Der globale Klimawandel führt in Europa zu einer höheren Steigerung der Temperatur als im globalen Mittel (zamg, online 1). In urbanen Räumen sind die Auswirkungen des Klimawandels intensiver wahrnehmbar, da sich die Auswirkungen des globalen Klimawandels und des lokalen Stadtklimas verstärken (Stiles et al. 2010), weshalb jene Gebiete besonders verwundbar sind. Bei Hitzeinseln ist die Temperatur im Vergleich zum Umland zusätzlich erhöht. Mit Zunahme der Einwohnerzahl und der Größe der Stadt nimmt die Ausprägung der Hitzeinsel zu (Oke 1987). Als Gründe müssen hier vor allem die Bebauung an sich, die dreidimensionale Zunahme der Fläche auf Grund der Bebauung sowie die Versiegelung genannt werden. Durch die gebauten Stadtstrukturen erhöht sich die Speicherkapazität für Wärme. Des Weiteren wird die Abkühlung in den Nachtstunden durch veränderte Windverhältnisse und den fehlenden freien Blick zum Himmel durch die Überbauung gestört. In Folge kommt es zu einer immer stärkeren Aufheizung der Siedlungsräume, wobei neben den Menschen auch die Vegetation leidet, die somit in ihrer Kapazität Schatten und Kühlung zu spenden, reduziert ist (Zuvela-Aloise 2016).

Die Versiegelung von natürlichen Böden mit wasserundurchlässigen Materialien führt neben der Überhitzung, durch die zusätzliche Wärmespeicherung, auch zu Veränderungen des Wasserkreislaufes. Niederschlagswasser kann nicht am Ort des Niederschlages versickern, sondern wird über die wasserundurchlässigen Oberflächen der Städte rasch über technische Infrastrukturen, wie Kanäle, abgeleitet. Als Folge steht das Wasser weder für die Vegetation, den Boden noch dem Grundwasser als Ressource zur Verfügung, weshalb unter anderem kühlende Verdunstungsprozesse nicht stattfinden können (Oke 2017). Vorhersagen zum Niederschlag sind deutlich schwieriger zu prognostizieren und mit größeren Vorhersageunsicherheiten verbunden als die Prognose der zu erwartenden Temperaturänderungen. Die Gründe sind hierbei in der starken räumlichen und zeitlichen Verteilung der Niederschläge zu finden, die detaillierte Prognosen erschweren (zamg Alpen,

online). Trotz komplexer Modelle geht man im Bericht zur Umsetzung der EU-Hochwasserrichtlinie, als auch im zwölften Umweltkontrollbericht, von einer Zunahme der Starkniederschlagsereignissen aus, welche auch abseits von Gewässern zu lokalen Hochwasserereignissen führen können (BMNT 2018). Die Zunahme von kurzfristigen, sehr intensiven Niederschlägen korreliert mit der Erwärmung, wobei die Intensität der Ereignisse pro Grad Erwärmung um 10% zunimmt (Umweltbundesamt 2019). Neben gewässerunabhängigen Überflutungen und Schadensereignissen muss in Zukunft mit Problemen in der sicheren Ableitung von Niederschlagswasser gerechnet werden, welches die aktuell vorhandene Kanalkapazitäten übersteigt und zum Überlauf von Schmutzwasser in Gewässer führen kann (Patt 2018). Im Fokus einer wassersensiblen Planung steht daher neben dem Umgang mit Starkniederschlagsereignissen und der Anpassung an den Klimawandel und an Hitzeperioden auch eine nachhaltige Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung (Hillenbrand et al. 2016).

Die wissenschaftliche Literatur fokussiert sich bei den Auswirkungen, als auch den Anpassungsmöglichkeiten des Klimawandels, vorrangig auf Großstädte. Kleinstädte finden in der Forschung nicht die selbe Beachtung wie Großstädte (Servillo [2013] in Andreolli et al. 2014). Allerdings darf trotz allem nicht jener Teil der Bevölkerung außer Acht gelassen werden welcher nicht in Großstädten lebt und trotz allem von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen ist. So lebt alleine in Niederösterreich fast die Hälfte der Bevölkerung in Kleinstädten mit über 5.000 Einwohnern (statistik austria regionale Gliederung, online). Kleinstädte sind ebenso vom Klimawandel betroffen wie Großstädte, und der Wärmeinseleffekt ist in allen urbanen Siedlungen mehr oder weniger intensiv ausgeprägt (Stewart et al. 2012). Kleinstädte sind überdies durch den Klimawandel gefährdet, da Kleinstädte oft nicht über die nötigen finanziellen und personellen Kapazitäten und Ressourcen verfügen, um Umwelt Policies und Klimawandelanpassungsmaßnahmen in ihrem Wirkungsbereich etablieren zu können (Hoppe et al. 2014). Die Auswirkungen des sich ändernden Klimas führen zu geänderten Nutzungsmöglichkeiten und Ansprüchen an Flächen und bergen die Gefahr von neuen Nutzungskonflikten (BMLFUW 2012).

Anpassungsmaßnahmen dürfen nicht mit Klimaschutzmaßnahmen verwechselt werden, die in den letzten Jahren bereits in vielen Städten etabliert wurden. Die Anpassung an den Klimawandel stellt neben der Bekämpfung der Ursachen dieses Wandels eine wichtige Voraussetzung für ein lebenswertes Umfeld dar. Den Anpassungsmaßnahmen muss zukünftig ein größerer Stellenwert in der Planung und im Siedlungsbau eingeräumt werden, denn durch die Nutzung von Synergien und Wechselwirkungen können vorhanden Potentiale ausgenutzt und intensiviert werden, und somit negative Auswirkungen an Menschen, Umwelt und Siedlungen reduziert werden. Dies erfordert aber neben finanziellen und personellen

Ressourcen, die in Kleinstädten oft nicht im ausreichendem Maße zur Verfügung stehen, auch Informationen über das „wie“ und „wo“ die Maßnahmen am effektivsten eingesetzt werden können. Dabei gilt es des Weiteren spontane Fehlanpassungen zu vermeiden um somit in Zukunft auf sich ändernde Vorraussetzungen robust und nachhaltig reagieren zu können. Auf Grund der großen Zeitspanne zwischen Planung und tatsächlicher Umsetzung ist eine sehr zeitnahe Lösung erstrebenswert um den Folgen des Klimawandels rasch entgegenzuwirken und unsere Siedlung klimazukunftstauglich und resilient zu machen (Bender et al. 2017).

## 1.2 Forschungsfrage und Aufbau der Arbeit

Die dargestellten Probleme umfassen weitläufige und langfristige Phänomene, die von unterschiedlichen Faktoren bestimmt und beeinflusst werden. So erlangt die zeitnahe und adäquate Anpassung an die Veränderung des Klimas, neben dem Aufhalten des Klimawandels an sich, immer mehr Bedeutung. Die Forschungsfragen liefern dabei die wichtigsten Fragestellungen der vorliegenden Arbeit und bestimmen auch die Systemabgrenzung in denen sich diese bewegt. Die Arbeit wird von folgender Forschungsfrage angeführt:

***Welche grünen und blauen Infrastrukturmaßnahmen eignen sich in niederösterreichischen Kleinstädten zur Anpassung an den Klimawandel?***

Die nachstehenden Forschungsfragen konkretisieren diese und sind als Grundlage der Arbeit gedacht und werden im Rahmen der Bearbeitung beantwortet. Sie lauten wie folgt:

### **Kapitel 2 „Klimawandel und Stadtklima“**

1. Wie verändert sich das Klima in Niederösterreich und welche Faktoren und Variablen bestimmen das Klima insbesondere in Städten? Welchen Einfluss üben die Einwohnerzahl und die Siedlungsstruktur auf die Überwärmung in Siedlungen aus? Welche potentiellen Handlungsfelder ergeben sich für die Raumplanung?

### **Kapitel 3 „Siedlungshydrologie“**

2. Welchen Einfluss übt der Klimawandel und welchen der Mensch auf den Wasserkreislauf innerhalb des Siedlungsraumes aus und welche Handlungserfordernisse ergeben sich daraus?

### **Kapitel 4 „Kleinstädte und lokale Klimazonen“**

3. Wie lässt sich eine Kleinstadt in Niederösterreich definieren? Mit Hilfe welcher Modelle lässt sich eine Überwärmungstendenz von Kleinstädten für Niederösterreich ableiten?

### **Kapitel 5 „Klimawandelanpassung“**

4. Was versteht man unter Klimawandelanpassung und unter Klimaschutz? Welche Herausforderungen bestehen bei der Umsetzung von Klimawandelanpassungsstrategien und welche Synergien können genutzt werden?

### **Kapitel 6 „Die Rolle der Raumplanung bei der Klimawandelanpassung“**

5. Welche Klimawandelanpassungsstrategien gibt es in der EU und in weiterer Folge in Österreich? Welche unterschiedlichen Instrumente stehen der Raumplanung auf

Bundes-, Landes- und Gemeindeebene zu? Wo liegen die Grenzen der Raumplanung im Bezug zur Klimawandelanpassung?

### **Kapitel 7 „Grüne und blaue Infrastruktur“**

6. Was versteht man unter grüner und blauer Infrastruktur. Welche klimatischen und hydrologischen Vorteile ergeben sich durch diese? Welche grünen und blauen Infrastrukturmaßnahmen können in Kleinstädten eingesetzt werden und wo liegen deren Einschränkungen?

### **Kapitel 8 „Klimawandelanpassung – Umsetzung an Beispielen“**

7. Wo können grüne und blaue Infrastrukturmaßnahmen in den verschiedenen lokalen Klimazonen in Niederösterreichs Kleinstädten klimawirksam eingesetzt werden?

Die Arbeit und die an sie gerichteten Forschungsfragen liegen im Schnittgebiet unterschiedlicher Disziplinen. Verschiedene Fachrichtungen haben anderslautende Zugänge und Lösungsansätze zu den genannten Forschungsfragen. Ziel ist es, diese Forschungsfragen im Kontext der Raumplanung und mit Fokus auf Österreich zu beantworten. Es sei dabei darauf hingewiesen, dass die vorliegende Arbeit nur einen kleinen Teil der Komplexität des Themas behandeln kann, und dass an gewissen Stellen Abstriche im Detailgrad gemacht werden müssen.

## **1.3 Methodik**

Basis der vorliegenden Arbeit ist eine umfangreiche Literatur- und Internetrecherche. Dabei kamen Internetsuchdienste, Onlinedatenbanken, wie der „CatalogPlus“ der technischen Universität Wien, google scholar, und der Gesamtkatalog des österreichischen Bibliothekenverbundes ebenso zum Einsatz, wie physische Literatur der Bibliotheken der Universität Wien und der Technischen Universität Wien. Die Literatur umfasste dabei neben Fachbüchern, Sammelwerken und wissenschaftlichen Publikationen auch internationale und nationale Leitfäden. Auf Grund der zeitlichen Dynamik des Klimawandels und der Klimawandelanpassung wurde Wert auf jüngere Publikationen gelegt. Da sich die Situation in Europas Städten in vielfältiger Hinsicht von jenen im nicht europäischen Raum unterscheiden wurde darauf geachtet, dass die gesichteten und verwendeten Quellen nach Möglichkeit einen Europabezug aufweisen. Zur Abdeckung von Gesetzestexten und anderen juristischen Inhalten wurde das Rechtsinformationssystem (RIS), sowie Rechtssprechungen vor allem der

Gerichtshöfe öffentlichen Rechts (Verfassungsgerichtshof, Verwaltungsgerichtshof) herangezogen.

Da die Arbeit nicht nur einen theoretischen Ansatz verfolgt, wurde in weiterer Folge das generierte Wissen in eine angewandte Forschungsmethode transferiert, um die gewonnenen Erkenntnisse der Literaturrecherche in unterschiedlichen räumlichen Strukturen der Kleinstädte anzuwenden. Das Interesse lag dabei im Formulieren und grafischen Aufarbeiten von Handlungsmöglichkeiten und Empfehlungen zur lokalen Klimawandelanpassung im Kontext unterschiedlicher räumlicher Strukturen in niederösterreichischen Kleinstädten. Darüber hinaus wurden Berechnungen, Analysen und Visualisierungen mit Hilfe von geographischen Informationssystemen durchgeführt.

Bei der Suche nach Best Practice Beispielen, die in österreichischen Städten Anwendung finden könnten, ist darauf zu achten, dass die Anpassung vor dem Hintergrund einer ähnlichen Vulnerabilität erfolgt. So sind Anpassungsstrategien für nordeuropäische Städte, die einen Fokus auf den Umgang mit Hochwässern oder Sturmfluten legen, nicht so sehr für mitteleuropäische Städte, die vor allem einen Schwerpunkt auf den Umgang mit Hitzewellen und Dürren legen müssen, geeignet (Guerreiro et al. 2018).

## 2 Klimawandel und Stadtklima

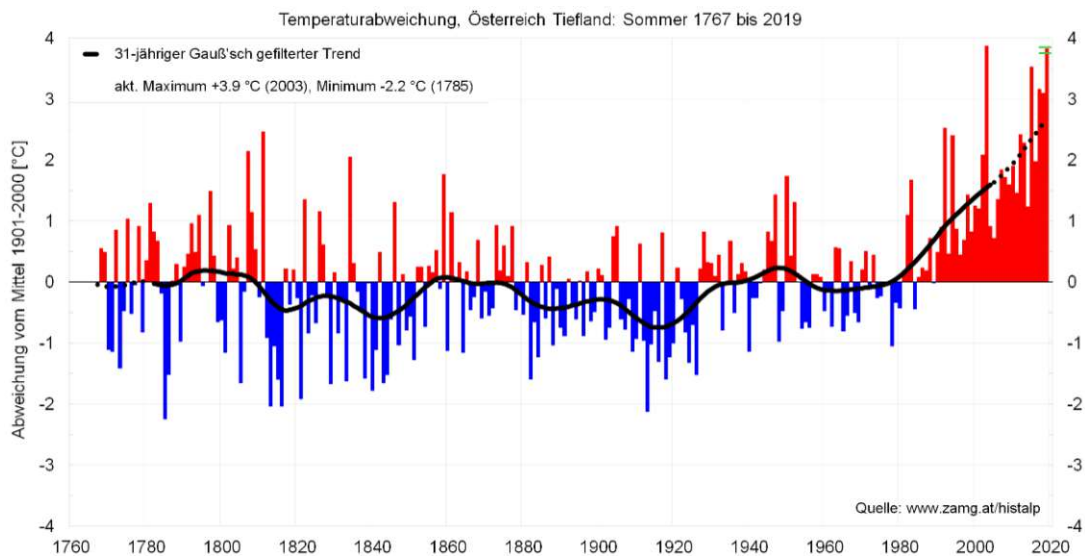
Dieses Kapitel geht zu Beginn auf die zu erwartenden Klimaänderungen in Österreich und im speziellen Niederösterreich ein. Anschließend wird der Fokus auf die Besonderheiten im Stadtklima, die unterschiedlichen Ausprägungen und Ursprünge gerichtet, welchen Einfluss der Mensch auf dieses spezielle Klima hat, und welche klimapositiven Handlungsmöglichkeiten die Raumplanung ausüben kann.

### 2.1 Klimazukunft in Österreich

Der Klimawandel hat in Europa zu einem durchschnittlichen Temperaturanstieg der bodennahen Luft um  $1.5^{\circ}\text{C}$  im Jahresmittel seit Beginn des 20. Jahrhunderts geführt, wobei vor allem seit den 1980er Jahren die Erwärmung rascher zunahm. In Zukunft ist mit einer weiteren Zunahme der Erwärmung in Europa zu rechnen, die über dem globalen Mittel liegt (zamg, online 1). In Österreich wurde seit dem Jahr 1880 ein Temperaturanstieg von etwa  $2^{\circ}\text{C}$  gemessen, wobei alleine im Zeitraum von 1990 bis 2015 eine Steigerung von  $1^{\circ}\text{C}$  stattfand (BMNT 2017). Im globalen Vergleich hat sich die Temperatur seit 1880 dabei nur um  $0,85^{\circ}\text{C}$  erwärmt, und im Vergleich zur gesteigerten Zunahme seit 1980 lag die Steigerung in Österreich etwa doppelt so hoch (Kromp-Kolb et al. 2014). Dabei fand eine erhebliche Zunahme der Lufttemperatur seit dem Jahr 1950 mit einem beschleunigten Anstieg der selbigen seit dem Jahr 1980 statt, wie in *Abbildung 1* zu sehen ist. Die schwarze Linie stellt dabei die Trendlinie dar und veranschaulicht den markanten Erwärmungstrend der letzten Jahre. Eine natürliche Schwankung der Temperaturzunahme ist nicht anzunehmen, sondern es muss von einer langfristigen Änderung des Klimas ausgegangen werden (ÖKS15). Verglichen mit der weltweiten Temperaturänderung von rund  $0,9^{\circ}\text{C}$  liegt Österreich über dem Durchschnitt (BMNT 2017). Deutlich spürbar war die Erwärmung bereits in jüngster Vergangenheit. So zählten die Sommer 2018 sowie 2019 zu den viert- respektive zweitwärmsten Sommern in Österreich seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1767. Die Temperaturen lagen dabei  $2,7^{\circ}\text{C}$  (2019) bzw.  $2,0^{\circ}\text{C}$  (2018) über dem Mittel (zamg 2018; zamg 2019, online).



Abbildung 1: Temperaturabweichung in Österreich



Klimaprojektionen liefern einen Einblick auf die zu erwartenden Änderungen des Klimas anhand unterschiedlicher Treibhausgasszenarien (Representative Concentration Pathway (RPC 4.5 und RCP 8.5)). Dabei wird zwischen dem Szenario RCP 4.5, bei dem es gelingt ab 2040 die Treibhausgasemissionen zu reduzieren und bis 2080 um die Hälfte zu reduzieren, und dem Szenario RCP 8.5, welches einen ungehinderten Ausstoß von Treibhausgasen annimmt, unterschieden. Beide Szenarien rechnen mit einem deutlichen Anstieg der mittleren Temperatur, sowohl in saisonaler als auch ganzjähriger Hinsicht (BMNT 2017, APCC 2018), wodurch hier sehr hoher Handlungsbedarf im Umgang mit diesem Gefahrenpotential geben ist (APCC 2018). Für die ferne Zukunft, damit ist der Zeitraum zwischen 2071 und 2100 gemeint, rechnet man beim Szenario RCP 8.5 mit einer österreichweiten Steigerung der Lufttemperatur von 4,0°C (ÖKS15). Auch die Temperaturextreme werden sich markant verschieben, wobei mit einer deutlichen Zunahme der heißen Tage zu rechnen ist, und mit einer Abnahme von kalten Nächten (Kromp-Kolb et al. 2014).

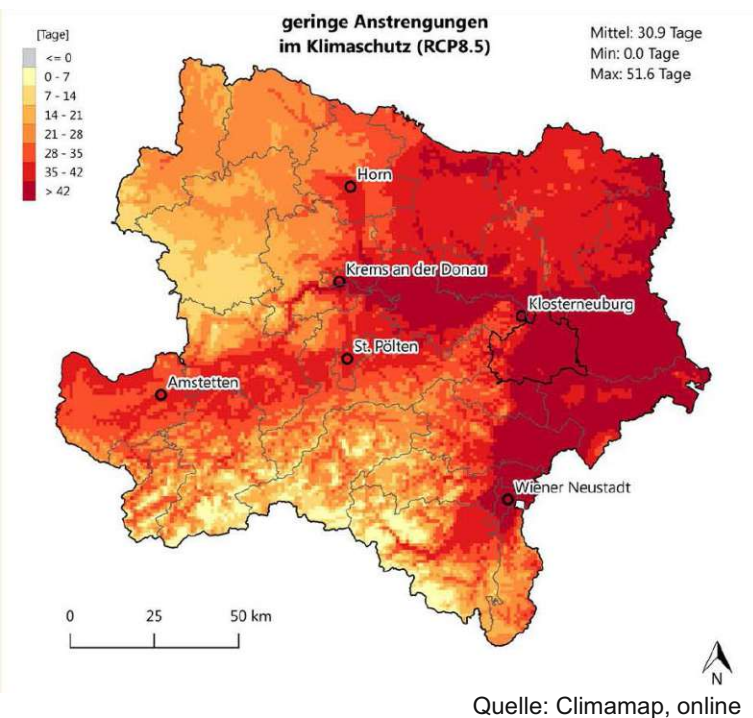
Beim Niederschlag ist eine generelle Prognose deutlich schwieriger zu treffen, als bei der Temperatur und es sind starke natürliche Schwankungen zu beobachten, die anthropogene Änderungen noch überlagern. Es wird mit einer Zunahme des Jahresniederschlags gerechnet (ÖKS 15). Haas et al. (2008) geht von einer steigenden Intensität bei abnehmender Häufigkeit des Niederschlags aus, wodurch es zu einer Steigerung von lokalen Überflutungsereignissen kommen kann. Obgleich die mittlere jährliche Tagesniederschlagssumme gleich bleiben wird, kann von einer leichten Abnahme im Sommerhalbjahr und einer Zunahme der Niederschläge im Winterhalbjahr gerechnet werden (Haas et al. 2008). Die langfristige Abnahme der Sommerniederschläge kann zu Bodentrockenheit und Zunahme von Trockenperioden führen, wodurch Trocken- und Hitzestress in der Vegetation, insbesondere in urbanen Räumen,

zunehmen werden und die Evapotranspirationsleistung der Vegetation sinkt (BMNT 2017). Auch die Gefahr von Dürren muss genannt werden (APCC 2018). Durch Reduktion des Bodenwassergehalts, auf Grund der Trockenheit, wird es zu einer Veränderung der Artenzusammensetzung bei der Vegetation in Österreich kommen (BMNT 2017). Eine genaue Prognose, insbesondere von lokalen Starkregenereignissen, bei denen mit einer Zunahme im Sommer gerechnet wird (BMNT 2017), ist allerdings fast unmöglich (Haas et al. 2008), man kann aber generell davon ausgehen, dass pro Grad Erwärmung die Intensität von Starkniederschlagsereignissen im Sommerhalbjahr um 7% erhöht sein wird (Blöschl et al. 2018), wodurch dringender Handlungsbedarf im Umgang mit Starkniederschlägen gegeben ist (APCC 2018).

### 2.1.1 Klimaänderungen in Niederösterreich

Bei Hitzetagen ist mit einer deutlichen Steigerung, und damit mit einer Belastung für Mensch und Umwelt in Niederösterreich zu rechnen. Als Hitzetage gelten Tage an den die Temperatur über 30°C steigt. Im Zeitraum von 1981 bis 2010 lag das Mittel der Hitzetage in Niederösterreich bei 8,7. In Abbildung 2 ist zu sehen, dass mit einer Zunahme dieses Mittelwertes um das 3,5 fache im Prognosezeitraum 2071-2100 zu rechnen ist (climamap, online), wobei auch insbesondere eine Zunahme der Hitzetage in den

**Abbildung 2: Prognostizierte Hitzetage in Niederösterreich 2071-2100**

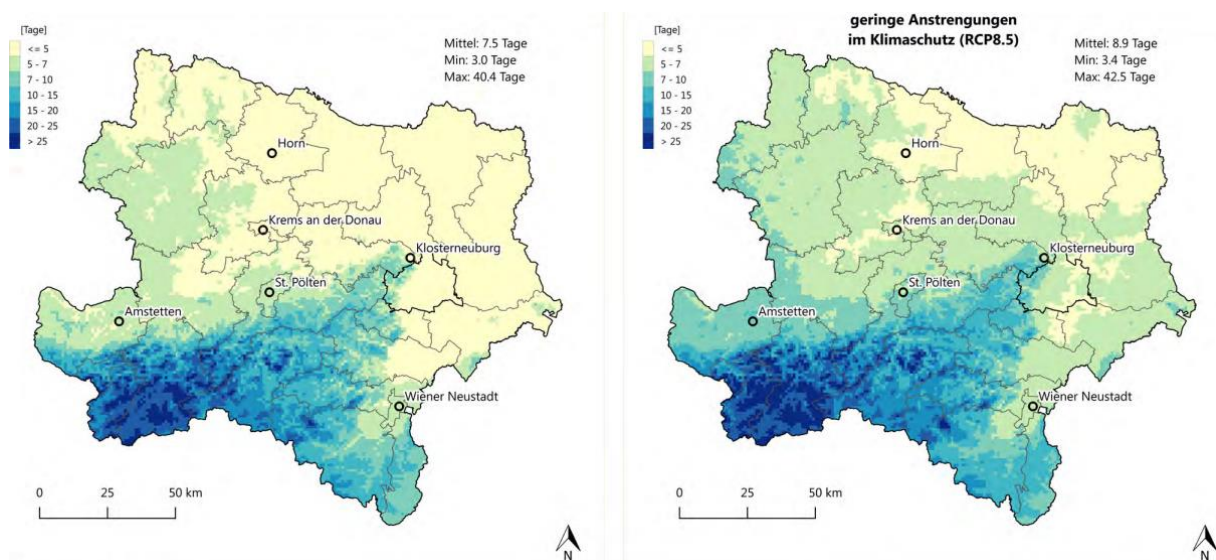


Übergangsmonaten stattfinden wird (ÖKS 15). Der Donauraum, das südliche Wiener Becken und das östliche Flachland sind in Folge dessen besonders gefährdet. Im schlechtesten Szenario (RCP 8.5) wird von bis zu 47 Hitzetage in diesen Bereichen ausgegangen (climamap, online). Neben der Zunahme der Dauer der Hitzeperioden und des Temperaturanstieges nimmt auch die nächtliche Minimumtemperatur über 20°C als Folge der verringerten nächtlichen Abkühlung zu (BMNT 2017; APCC 2018). Diese Tropennächte, die im

Vergleichszeitraum von 1981 bis 2010 in Niederösterreich im Mittel 0,7 Tage auftraten, werden zukünftig an 13,6 Tagen vorkommen, wobei vor allem das Weinviertel, das Marchfeld und das östliche Flachland besonders betroffen sein werden. Aber auch im Waldviertel, in denen im Vergleichszeitraum keine Tropennächte angegebenen werden, wird mit diesen gerechnet, und zwar sowohl in den Szenarien geringer Klimamschutzanstrengung (RCP 8.5) als auch in denen mit hoher Anstrengung (RCP 4.5) (climap, online).

Während die Zunahme der Temperatur besser modellierbar ist als die Steigerung des Niederschlags, oder die Vorhersage von Starkniederschlagsereignissen, die sehr lokal begrenzt auftreten, wird dennoch von einer Zunahme dieser extremen Wetterphänomene ausgegangen, wie in Abbildung 3 ersichtlich ist.

**Abbildung 3: Vergleich der aktuellen und zukünftig zu erwartenden Tage mit Starkniederschlag (> 20mm Tagesniederschlagssumme)**



Quelle: Climap, online

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass für beide RCP Szenarien in naher und ferner Zukunft mit deutlichen Veränderungen des bisherigen Klimas zu rechnen ist, wobei die Zunahme der Temperatur gegen Ende des Jahrhunderts im RCP 8.5 Szenarium besonders markant ist. Auch die Zunahme von Starkniederschlagsereignissen wird das gewohnte Klima ändern. Durch das sich ändernde Klima ist mit einer Vielzahl von negativen Folgen zu rechnen. Unter anderem ist mit einer reduzierten Wasserverfügbarkeit im Spätsommer und Frühherbst, regionale Beeinträchtigung der Trinkwasserversorgung, Abnahme der Bodenwasserverfügbarkeit in der zweiten Sommerhälfte und im Herbst, häufigere und längere Dürrenperioden, gebietsfremde invasive Arten zu rechnen (BMLFUW, online)

## 2.2 Stadtklima

Als Stadtklima wird ein sich vom Umland unterschiedliches Klima bezeichnet, dass durch anthropogene Änderung der Landnutzung verursacht wird (Kuttler 2004). Die Unterschiede, die das Stadtklima vom Klima des Umlands prägen sind ganzjährig, insbesondere aber während autochthoner Wetterlagen, also Tagen mit wenig Wind und viel Sonneneinstrahlung, zu beobachten und betragen im Einzelfall in der Nacht bis zu 15°C. In den Städten wird der Einfluss des Klimawandels noch deutlicher spürbar, da dort alle Parameter, die an der Ausbildung des Klimas beteiligt sind, stärker beeinflusst werden. Die Auswirkungen des Klimawandels sind in Siedlungen deshalb größer und als weitreichender zu betrachten als im Umland und als von Vorhersagemodellen berechnet (Weber 2009). Dieses, als urbane Wärmeinsel bekannte Phänomen, lässt sich mit folgender Gleichung beschreiben:

$$\Delta T_{u-r}$$

Die Temperatur im urbanen Raum ( $T_u$ ) ist höher als jene im ruralen Raum ( $T_r$ ). Gründe hierfür liegen an einem hohen Anteil an Versiegelung von natürlichen Böden und der dreidimensionalen Überbauung, geringerer Vegetationsbedeckung, dadurch Reduktion der Verdunstungs- und Evapotranspirationsleistung, verändertem Albedo sowie Windregime. Der Unterschied leitet sich also vorrangig von der Morphologie, der Bebauung und der anthropogenen Nutzung des Bodens ab (Oke 2017). Die maximale Intensität der Wärmeinseln wird bei windschwachen Wetterlagen, bei einem raschen Verlust der Strahlungsenergie im ländlichen Umland und der Freisetzung von Wärmeenergie, die in den anthropogenen Materialien in den Straßen gespeichert ist, wenige Stunden nach Sonnenuntergang beobachtet. Sie ist dann am Höchsten, wenn das ländliche Umland schneller abkühlen kann, als die Stadt (Matzarakis 2001).

Aus klimatischer Sicht lassen sich Städte anhand unterschiedlicher Merkmale voneinander unterscheiden, vergleichen. Zu diesen Merkmalsausprägungen, die auch die Wärmeinsel modifizieren, zählen die Einwohnerzahl, als Kennzahl der Größe einer Stadt, die Stadt- und Bebauungsstruktur sowie die Lage. Diese Parameter beeinflussen den Anteil der anthropogenen Flächen und Materialien, die eine erhöhte Wärmekapazität und geringere Verdunstungseigenschaften besitzen (Oke 2017). Dabei treten Wärmeinseln, die üblicherweise auf Straßenniveau in 1-2m Höhe gemessen werden, in allen urbanen Räumen jeglicher Größenordnung und Klimazone auf (Stewart et al. 2012). Zum Beispiel unterscheidet sich das Zentrum einer Stadt, mit eher dicht stehenden hohen Gebäuden zuzüglich einem hohen Anteil versiegelter Flächen, die trocken sind und eine gute Wärmespeicherung besitzen, vom Stadtrand, der von eher niedriger und lockerer Bebauung geprägt ist. Dort ist auch der

Anteil der Versiegelung geringer und jener der Vegetation größer, was wiederum die lokale Wärmeinsel modifiziert (Oke 2017). Es ist deshalb nicht von einer einheitlichen Hitzeinsel, sondern von einem Archipel aus vielen kleinen lokalen Hitzeinseln zu sprechen. Der Begriff des Wärmearchipels, der diese kleinräumige Differenzierung besser beschreiben würde, hat sich aber nicht etabliert (Hupfer & Kuttler 2006). Die Oberflächenrauigkeit auf Grund der Gebäudehöhe behindert zusätzlich den freien Windfluss und somit den Kaltlufttransport und den Wärmeaustausch mit der Atmosphäre. Die spezifischen Klimamodifikationen die sich aus der Zusammensetzung der verschiedenen Einflussgrößen ergeben, lassen einen Zusammenhang zwischen unterschiedlichen urbanen Strukturtypen und der Überwärmung zu (Oke 2017). Dieser Zusammenhang wird in Kapitel 4.3 näher erläutert. Charakteristische Merkmale des Stadtklimas sind unter anderem die höhere Wärmespeicherung in Böden und Flächen, die ganzjährig erhöhte Lufttemperatur, die geringere Windgeschwindigkeit auf Grund der erhöhten Oberflächenrauigkeit oder die erhöhte Konzentration von Luftschadstoffen. Weitere Merkmale sind in Tabelle 1 angeführt.

**Tabelle 1: Merkmale des Stadtklimas**

<b>Einflussgröße</b>	<b>Veränderung ggü. nicht bebautem Umland</b>	<b>Einflussgröße</b>	<b>Veränderung ggü. nicht bebautem Umland</b>
Globalstrahlung	bis -10%	Windrichtungsböigkeit	stark varierend
Albedo	±	Windböigkeit	erhöht
Gegenstrahlung	bis +10%	Luftfeuchtigkeit	±
UV-Strahlung (Sommer)	bis -5%	Nebel (Großstadt)	weniger
UV-Strahlung (Winter)	bis -30%	Niederschlag	
Sonnenscheindauer (Sommer)	bis -8%	Regen	mehr (im Lee)
Sonnenscheindauer (Winter)	bis -10%	Schnee	weniger
sensibler Wärmestrom	bis +50%	Tauabsatz	weniger
Wärmespeicherung im Untergrund und in Bauwerken	bis +40%	Luftverunreinigung	
Lufttemperatur		Co, No <sub>x</sub> , PM <sub>10</sub> , AVOC <sup>1)</sup> , PAN <sup>2)</sup>	mehr (im Lee)
Jahresmittel	~+2°C	O <sub>3</sub>	weniger
Winterminima	bis +10°C	Bioklima Vegetationsperiode	bis zu 10 Tage länger
Einzelfälle	bis +15°C	Dauer der Frostperiode	bis -30%
Windgeschwindigkeit	bis -20%	1) Antropogene flüchtige organische Verbindungen 2) Peroxiacetylnitrat	

Quelle: Kuttler (2013), Oke (2017), eigene Darstellung

Das Stadtklima ist darüber hinaus abhängig von der Klimazone, von der Topographie und Lage, sowie vor allem von den diversen anthropogenen Faktoren (Kuttler 2004). Das Klima in Siedlungen ist durch die verschiedenen Formen der Flächennutzung, wie beispielsweise Wohnen, Industrie oder Freiflächen, sehr vielseitig aufgebaut und in Folge sehr heterogen zusammengesetzt. Durch diese Feinkörnigkeit des Klimas spricht man vom Mikroklima (Weber

2009). In warmen und heißen Phasen, sowie während extremen Wetterlagen, wie sie durch die Folgen des Klimawandels immer häufiger, länger und verstärkt in Erscheinung treten werden, stellt ein sich veränderndes Stadtklima eine hohe Belastung und Gesundheitsgefährdung für die Bevölkerung dar (Kuttler 2009). Durch die Hitzebelastung sinkt nicht nur das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit der Betroffenen, es nehmen auch die hitzebedingten Todesfälle, insbesondere bei älteren, und kranken Menschen zu, sodass es in Österreich in den Jahren 2013 bis 2018 alleine 3.503 Hitzetode gab (ages, online).

Viele Faktoren, die das Stadtklima modifizieren, lassen sich durch planerische Maßnahmen lenken und haben Einfluss auf das Wohlbefinden und die Gesundheit des Menschen, sowie auf die Ausprägung und Intensität von urbanen Wärmeinseln. Um auf eine klimaangepasste und klimasensible Planung in Städten und Siedlungen vorbereitet zu sein, ist deshalb das Verständnis über die Klimaelemente und Faktoren, die zum Stadtklima und den Hitzeinseleffekt beitragen, von großer Bedeutung. Die Vielzahl an Anpassungsstrategien, sowie Gegenmaßnahmen, wie unter anderem Intensivierung der Vegetationsdichte, Ausbau von Grün- und Wasserflächen (grüne und blaue Infrastruktur), Entsiegelung von vormals versiegelten Flächen, Erhöhung der Albedo und Verringerung der solaren Aufheizung von Flächen, sowie Gebäudestrukturen, die den Austausch von Luft unterstützen, sind als Empfehlungen für grüne und blaue Infrastrukturkonzepte anzusehen, weshalb das Interesse an diesem Planungsfeld steigt (Zuvela-Aloise et al. 2016).

### 2.2.1 Arten von Wärmeinseln

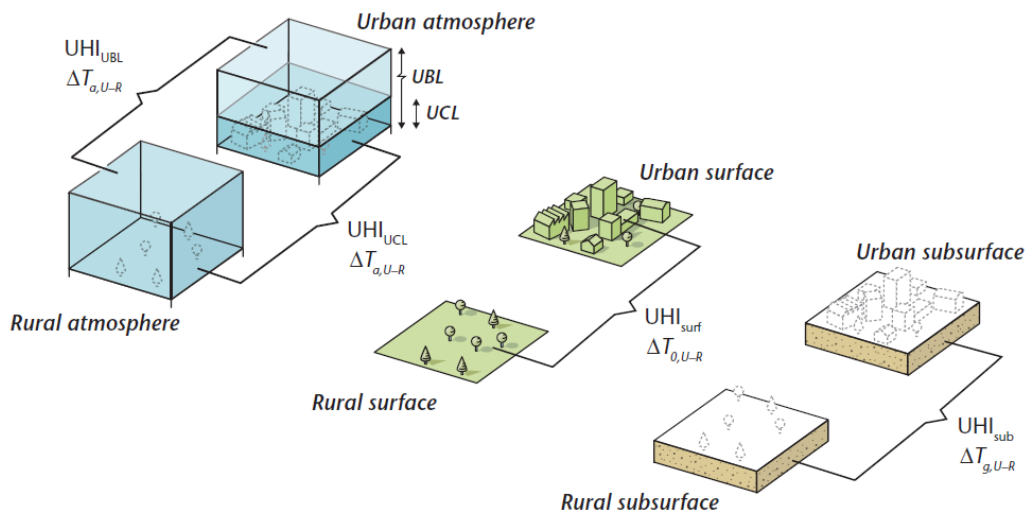
Urbane Wärmeinseln (UHI, engl. Urban heat island) lassen sich in vier Kategorien einteilen, die räumlich und zeitlich unterschiedlich stark in Erscheinung treten und denen auch unterschiedliche Prozesse in ihrer Bildung zugrunde liegen. In Summe bilden sie die städtische Wärmeinsel, die sich wie folgt zusammensetzt (Oke 2012):

- Atmosphärische UHI
  - canopy-layer heat island (UCL-HI)
  - boundary-layer heat island (BL-HI)
- surface layer heat island (SL-HI)
- subsurface-layer heat island

Die Wärmeinseln unterscheiden sich dabei in ihrer Überwärmung der Lufttemperatur oder der urbanen Oberfläche bzw. des Untergrundes von einem ruralen Standort (Sun et al. 2015). Auch unterscheiden sich die einzelnen Formen der Wärmeinsel in ihrer Entstehung, ihren Auswirkungen und wie man sie misst und zu einem gewissen Grad, wie man sie vermeiden

kann. Innerhalb der atmosphärischen Wärmeinseln reicht der erste Layer, der canopy-layer, vom Boden bis zur Oberkante der Dächer oder Bäume. Es ist jener Bereich der den Menschen am meisten beeinflusst, da er sich dort am häufigsten aufhält. Vertikal an diesen Layer schließt der boundary layer an, der über den Dächern beginnt und bis zum Ende des Einflusses der Stadt auf die Atmosphäre reicht. Während die atmosphärische Wärmeinsel untertags gering oder gar nicht vorhanden ist, hat sie in der Nacht ihre größte Ausprägung. Umgekehrt verhält es sich mit der oberflächlichen Wärmeinsel, die den ganzen Tag bei Strahlungseinfluss vorhanden ist, und unter Tags und im Sommer am intensivsten ausgeprägt ist (El-Hakim et al. 2020). In Abbildung 4 sind die vier Typen von urbanen Wärmeinseln schematisch dargestellt.

**Abbildung 4: Schematische Darstellung der vier Typen von urbanen Wärmeinseln**



Quelle: Oke (2012)

Aus räumlicher Sicht lässt sich das Stadtklima in folgenden drei unterschiedlichen Ebenen unterteilen, in denen jeweils auch eine Kategorie der urbanen Wärmeinsel vorkommt:

- 1) Auf der Mikroebene oder street canyon Ebene, die maximal einige Hundert Meter Länge umspannt und einzelnen Gebäude, Bäume, Straßen und Gärten umfasst. Der korrespondierende UHI Typ ist der surface heat island typ.
- 2) Die lokale Ebene, oder auch Quartiersebene, in der bereits Klimaunterschiede zwischen einzelnen Gebieten messbar sind und sich auf Areale mit ähnlicher räumlicher Zusammensetzung beschränkt. In dieser Ebene liegt neben dem canopy layer heat island zu einem gewissen Grad auch der boundary layer heat island.
- 3) Auf die Mesoebene, oder Stadtebene, die von der Summe der Effekte auf der lokalen Ebene beeinflusst wird. Hier befindet sich der boundary layer heat island. (Oke 2012)

## 2.2.2 Klimatelemente

Kuttler (2013), sowie Oke (2017) nennen für den Unterschied zwischen Land- und Stadtklima alle Elemente des Klimas für entscheidend, jedoch in unterschiedlicher Intensität. Um ein besseres Verständnis für die Entstehung von Stadtklima und den Folgen für die Stadtplanung zu erlangen, werden die wissenschaftlichen Grundlagen im Nachfolgenden kurz erläutert. Zu diesen Elementen zählen die Strahlung, die Temperatur, der Wind, die Luftfeuchte und der Niederschlag.

### 2.2.2.1 Strahlung

Die von der Sonne eintreffende Strahlung auf die Erdoberfläche ist der bedeutendste Energielieferant und maßgeblich für das Klima verantwortlich. Die direkt auf die Erdoberfläche treffende Strahlung wird dabei direkte Strahlung genannt. Luft-, Wasser,- und andere Stoffteilchen in der Luft reflektieren und streuen die Strahlung, die in der Folge als diffuse Himmelsstrahlung an der Erdoberfläche ankommt. Die Summe beider, die Gesamtstrahlung, ist jener Energiewert der auf eine horizontale Fläche trifft und dabei entweder reflektiert, transmittiert (durchgelassen), was vorrangig bei Flüssigkeiten geschieht, oder absorbiert wird. Wieviel Energie letztlich aufgenommen bzw. reflektiert oder transmittiert wird, hängt vom Einstrahlungswinkel von der Beschaffenheit und der Albedo der Oberfläche (siehe Kapitel 2.2.4.4), vom thermischen Materialeigenschaften sowie der Form der Oberfläche ab (Kuttler 2013).

Bei der solaren (kurzwelliger) Strahlung unterscheidet man zwischen:

- $K_{\downarrow}$  = Globalstrahlung, Summe aus direkter (I) und diffuser (D) Sonnenstrahlung
- $K_{\uparrow}$  = kurzwellige Reflexion = Albedo \* (I+D).

Bei der langwelliger Strahlung differenziert man:

- $L_{\downarrow}$  = atmosphärische, langwellige Gegenstrahlung
- $L_{\uparrow}$  = Summe aus der Ausstrahlung der Erdoberfläche (A) und Reflexstrahlung = Albedo \*  $L_{\downarrow}$
- $L_{\uparrow\text{refl}}$  = langwellige atmosphärische Gegenstrahlung

Die Gesamtstrahlungsbilanz lässt sich wie folgt formulieren:

$$Q^* = (K_{\downarrow} - K_{\uparrow}) + (L_{\downarrow} - L_{\uparrow} - L_{\uparrow\text{refl}})$$

(Kuttler 2013)



### 2.2.2.2 Urbane Energiebilanz

Die urbane Energiebilanz, die sich aus der Strahlungsbilanz  $Q^*$  und der Wärmebilanz zusammensetzt, ist eine annähernde Gleichung, die die Rolle von Oberflächen und menschlicher Wärmeerzeugung im Stadtklima beschreibt. Sie veranschaulicht die Verteilung der Energieflüsse, die das Stadtklima und den urbanen Hitzeinseleffekt beeinflussen und lautet wie folgt:

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + Q_B$$

$Q^*$  = Strahlungsbilanz

$Q_F$  = anthropogene Wärmeflussdichte

$Q_H$  = turbulente fühlbare (sensible) Wärmeflussdichte

$Q_E$  = turbulente latente Wärmeflussdichte

$Q_B$  = Bodenwärmeflussdichte [die Einheit ist  $W/m^2$ ]

(Kuttler 2013, Oke 2017)

Unter der fühlbarem, sensiblem Wärmeflussdichte versteht man die Wärme, die man als Unterschied zwischen einer Oberfläche und der Luft spürt. Die latente Wärmeflussdichte gibt die Energie an, die zur Verdunstung von Wasser aufgewendet wird, und im Wasserdampf auch gespeichert wird. Für diesen Phasenübergang des Wassers ist Energie nötig. Durch die Energieabnahme bei der Verdunstung entsteht eine Temperaturabnahme in der Umgebung. Evapotranspiration, die Kombination aus Evaporation von Wasser am Boden, und Transpiration (Verdunstung) von Pflanzen ist für die latente Wärmeflussdichte besonders wichtig, führt doch das Fehlen von Pflanzen und deren maßgeblicher Beitrag zur Evapotranspiration zu einer Steigerung der sensiblen Wärme. In Städten wird auf Grund der geringeren Vegetationsdichte nur wenig latente Energie gebunden, weshalb der Großteil der eintreffenden Strahlung für die Erwärmung der Luft, den fühlbaren Wärmestrom, zur Verfügung steht (Häckel 2008). Das Verhältnis zwischen den beiden turbulenten Wärmeflussströmen ist als Bowen Verhältnis bekannt. Es ergibt sich aus  $Q_H / Q_E$  und ist für das Bodenklima als Indikator interessant. Bei Werten größer als 1 wird mehr Energie in sensible Wärme umgewandelt, wodurch es wärmer wird, wohingegen ein Wert kleiner 1 auf das Dominieren von latenter Wärme hinweist, wodurch die bodennahen Luftschichten kühler bleiben, weil die Energie für Verdunstung aufgewandt wird. Die Bodenwärmeflussdichte gibt die Energieeinleitung von der Erdoberfläche in den Boden, in Baukörper aber auch einer Pflanze oder Wasserfläche an, und aus diesem heraus (Oke 2017).

Nachdem die Gleichung immer ausgeglichen sein muss, führt eine Erhöhung der Werte auf der linken Seite der Gleichung zu einem Temperaturanstieg. Die Größe der Variablen beeinflusst dabei das Mikroklima. So führt etwa innerhalb des urban canopy layers eine

Zunahme der kurzwelligen Strahlung zu einer Erhöhung der Oberflächentemperatur. Nimmt die urbane Oberfläche zu, kann mehr eintreffende Strahlung gespeichert werden. Während Bedingungen, die für die Ausprägung der Wärmeinsel gut geeignet sind, das heißt während der Nacht, wo keine Strahlung eintrifft ( $K=0$ ), es ruhig und unbedeckt ist ( $Q_H + Q_E = 0$ ) wird die ausstrahlende Wärme aus dem Wärmespeicher und dem anthropogenen Wärmefluss gespeist, wodurch sich urbane und rurale Gebiete durch den Wärmeverlust in der Nacht unterscheiden lassen. Die Lufttemperatur in urbanen Gebieten kühlt sich linear nach Sonnenuntergang ab, die von ruralen Gebieten exponentiell, und deshalb schneller (Alexander & Mills 2014).

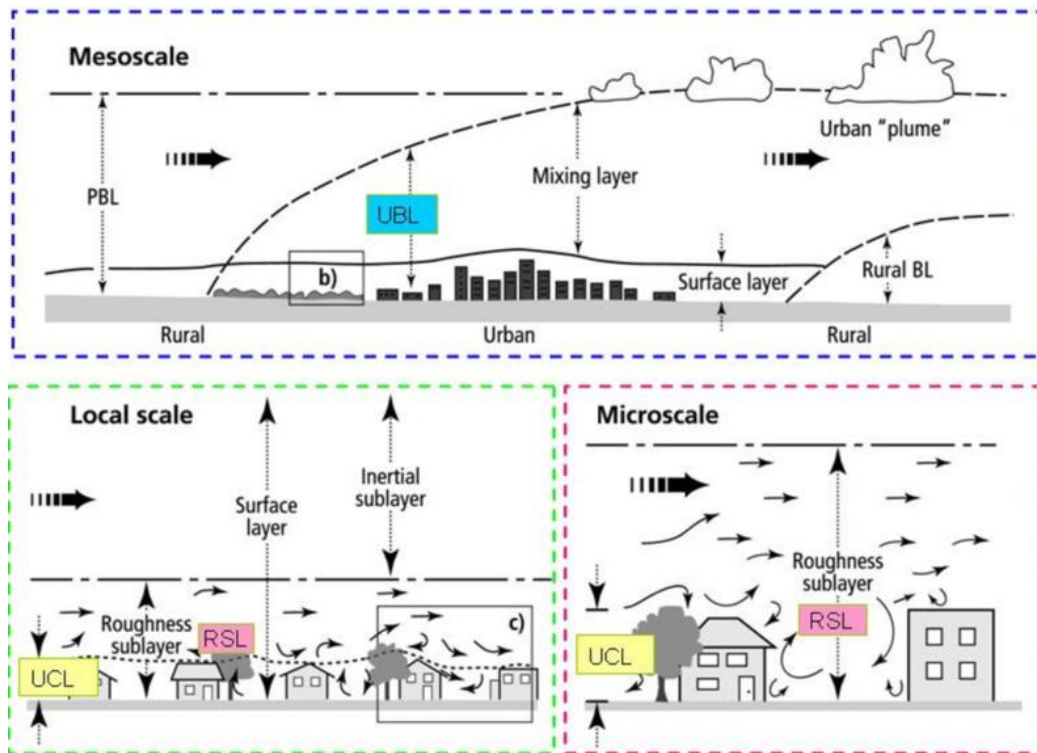
Raumplanungsstrategien sollten zum Ziel haben diese beiden Faktoren, sofern das möglich ist, zu reduzieren, um die Wärme innerhalb der Stadt nicht zu erhöhen. Zusätzlich sollten Flächen geschaffen werden, die einen hohen Anteil an Wasser und Pflanzen besitzen, um die Evaporationsrate, und damit die Umwandlung von Strahlungsenergie in latente Energie zu begünstigen, damit weniger Energie für die Erwärmung der Luft (sensible Wärme) zur Verfügung steht (Kuttler 1997).

### 2.2.2.3 Wind

Der Wind in Städten lässt sich als chaotisch beschreiben. Der Grund hierfür liegt in der Oberflächenrauigkeit durch Gebäude und Quartiere, und deren dreidimensionale Überbauung sowie der thermischen Einfluss derer. Durch die hohe Heterogenität der Bebauung wird der Wind in seinem Fluss auf vielfältige Art beeinflusst. Das Windregime in Städten lässt sich grob in drei Ebenen gliedern. Den „urban canopy layer (UCL)“ auf Straßenebene, den „roughness sublayer (RSL)“ auf Gebäude- und Blockebene, den „inertial sublayer (ISL)“ auf Quartiersebene und den „mixed layer (ML)“ Stadtskala. In Abbildung 5 sind die Ebenen und die einzelnen Layer schematisch dargestellt. Im „roughness sublayers“ herrschen vor allem mechanische Turbulenzen vor, die den natürlichen Windfluss ablenken. Als Maß des Einflusses ist die Gebäudehöhe und die Straßenbreite anzusehen. Innerhalb dieses Layers kann es zur Ausbildung des urban canopy layers kommen, in dem auf Mikroebene Zirkulationen stattfinden können. Vertikal nach oben nimmt der Einfluss einzelner Gebäude ab und der Wind wird im „inertial sublayer“ wieder gleichmäßiger. Über der ISL liegt der mixed layer, wo die lokalen Einflüsse noch weiter verschwinden (Oke 2017). Windstille fördert die Entstehung von Wärmeinseln, während Wind kühlere Luftmassen aus dem Umland in die Stadt leitet und diese abkühlt, beziehungsweise warme Luft über bebauten Gebiet ableitet (van Hoven et al. 2011). Die Anordnung, Dimensionierung, Höhe und Ausrichtung zur Windrichtung von Gebäuden und Bauwerken, wirken sich neben der Beschattung und solare Einstrahlung

auf eine Änderung der Windrichtung und Windgeschwindigkeit und in Folge dessen auf das Klima im Mikro- und Mesobereich von Siedlungen aus (Oke 2017).

Abbildung 5: Die unterschiedlichen Ebenen des Windes in der Stadt



Quelle: Norton et al. (2014) in researchgate.net 1, online

### 2.2.3 Menschliche Aktivität und Emissionen

Neben dem anthropogenen Einfluss unter anderem auf die Bebauung, der Versiegelung und der Geometrie der Stadt ist es die künstlich erzeugte Abwärme menschlicher Aktivität, sowie Emissionen, die einen Beitrag zur Erwärmung innerhalb der Stadt leisten, wie aus der Gleichung zur urbanen Energiebilanz herausgeht. Zu dieser Abwärme zählen vorrangig die bei Transport, Güterproduktion, Wirtschaftsleistung und Energiebedarf für Gebäude anfallende Abwärme (Zuvela-Aloise 2018). Besonders die für die Kühlung von Innenräumen gebräuchlichen Klimaanlage produzieren viel Abwärme. Der Einsatz von solchen Geräten wird in den kommenden Jahren durch die steigenden Temperaturen noch zunehmen, wodurch noch mehr Abwärme in die Stadt entlassen wird. Diese Auswirkungen könnten durch die Verwendung von neuen Klimaanlage (photonic cooling) reduziert werden (de Wit et al. 2017). Räumliche Verteilung der Einflussgrößen der anthropogenen Wärmeflussdichte entstehen ebenfalls aus unterschiedliche Landnutzungsformen, wobei Industriezonen ein größerer Wärmelieferant sind als Wohngebiete. Gebiete in der Umgebung von wichtigen Verkehrsflächen, wie Autobahnen, habe zudem einen höheren  $Q_F$  Wert. Die Frage nach der Größe des Einflusses dieser Energiebilanz auf die Gesamtgleichung, ist von großen

Herausforderungen in der Berechnung begleitet. So sind qualitativ hochwertige Daten für Verkehr, Bevölkerung, Heizbedarf und Stromverbrauch nötig (Chow et. al. 2014).

Neben der Abwärme durch Verbrennungsprozesse zur Energiegewinnung trägt der dabei entstehende Schadstoffausstoß zusätzlich zum Stadtklima bei. Der Anteil des Verkehrs ist mit 45% dabei am höchsten, gefolgt von 16,2% in der Landwirtschaft und 16% bei Gebäuden (Klimaschutzbericht 2018). CO<sub>2</sub> bildet dabei mit Abstand den größten Anteil der ausgestoßenen Treibhausgase. Bei sommerlichen Strahlungswetterlagen können Emissionen zu Sommersmog führen. Verstärkt wird dieser Effekt zusätzlich durch die verminderte Frischluftdurchmischung auf Mikro- und Mesoskala in Städten auf Grund der hohen Rauigkeit der Stadtoberfläche (Helbig 1999). Der Smog wirkt zwar einerseits als Reduktionsfaktor für die auf den Boden eintreffende Solarstrahlung, weil diese an den Teilchen gestreut wird, allerdings wird die vom Boden abgestrahlte Wärme an der selbigen reflektiert, weshalb dieser Effekt als negativ betrachtet werden muss. Durch den Verkehr, und dessen Abrieb, ist die Feinstaubbelastung und Rußbelastung gestiegen, darüber hinaus die Emission von NO, NO<sub>2</sub> und O<sub>3</sub>, was negative Einflüsse auf Mensch und Umwelt zur Folge hat (Kuttler 2004).

Neben dem Einfluss auf den Wärmehaushalt und die Luftqualität der Stadt nehmen Emissionsteilchen an der Niederschlagsbildung teil, die sich zum Wochenende hin vermehren, was Fezer (1995) auf die sich akkumulierende Emissionkonzentration, die als Kondensationskerne an der Niederschlagsbildung teilhaben, zurückführt (Fezer 1995).

Bei Gebäuden ist das Potential der Reduktion von Emissionen durch die Optimierung des thermisch-energetischen Bedarfs sehr hoch. Dies kann mit Sanierungsmaßnahmen vollzogen werden, die zusätzliche positive nachhaltige Effekte beinhalten. Auch Feinstaubemissionen durch moderne Heizungsanlagen können gesenkt werden (Klimaschutzbericht 2018).

## 2.2.4 Einfluss von Siedlungen auf das Mikroklima

Die Ausprägung und die Intensität der urbanen Wärminsel, dieses energetisch begründeten Effekts, sind nicht überall gleich stark ausgeprägt. Ihre Intensität wird durch die orographische, topographische und klimatische Lage der Stadt, den Wetterbedingungen, der Größe der Stadt, sowie vor allem durch die Stadtstrukturen und deren Verteilung bestimmt (Matzarakis 2001). Neben lagespezifischen Faktoren, die das Klima beeinflussen, zählen die Siedlungsstruktur und Morphologie, die Bebauungsdichte, die Grünraumverteilung sowie die Landnutzung zu den Elementen, die das Mikroklima innerhalb von Siedlungen besonders prägen und beeinflussen. Der Bebauungsgrad und die Dichte einer Siedlung üben den größten Einfluss auf das Mikroklima in Siedlungen aus. Verschiedene Stadtstrukturen besitzen dabei einen

unterschiedlichen Einfluss auf das Mikroklima, wobei insbesondere Gebäude, die oft nicht beschattet und nicht begrünt sind, den Anteil der versiegelten Fläche nicht nur in der horizontalen, sondern besonders in der Vertikalen erhöhen, wodurch das Volumen der versiegelten Fläche in der dritten Dimension steigt, und mehr Energie durch Strahlung aufgenommen und später als Wärme wieder abgegeben werden kann. Es entstehen Strukturen mit großer thermischer Masse (van Hoven 2011).

### 2.2.4.1 Bodenversiegelung

Unter Bodenversiegelung verstehen Lazar und Sulzer (2013) sowie Henninger (2011) das Bedecken, Verdichten oder Umwandeln von ehemals wasserdurchlässigen Flächen mit undurchlässigen Materialien. Der Boden wird dadurch in seiner Fähigkeit, Wasser aufzunehmen, gehemmt. Kuttler (2013) und auch die Senatsverwaltung Berlin (2012, online) zählen zur Versiegelung auch die Bedeckung mit teilweise durchlässigen Materialien, die einen gewissen Anteil an Wasserversickerung und atmosphärischen Austausch zulassen.

Der große Einfluss der Versiegelung auf das Mikroklima erklärt sich vor allem auf Grund der unterschiedlichen thermischen Eigenschaften, der verminderten Verdunstung dieser Oberflächen und auf Grund von unterschiedlichen Albedoeigenschaften. Der Abflussbeiwert, der den Anteil des Niederschlages der direkt zum Abfluss fließt angibt, ist erhöht weil das Regenwasser schneller abfließt und nicht in den Boden eindringen kann (Weber 2009). Eine Zunahme der Oberflächentemperatur, des fühlbaren Wärmestroms und des Bodenwärmestroms bei Verringerung des latenten Wärmestroms sind die Folge (Hupfer & Kuttler 2006). Der ständige Wärmetransport in die Atmosphäre durch die Verdunstung ist auch wegen des Fehlens von Vegetation und deren Verdunstungsleistungen unterbrochen (Weber 2009). Anthropogene Oberflächen weisen sowohl im Tagesgang als auch im Jahresgang eine höhere Strahlungsäquivalenttemperatur auf Grund des höheren Energieumsatzes auf. Diese ist um die Mittagszeit als auch im Sommer am deutlichsten wahrnehmbar (Matzarakis 2001).

Da die Versiegelung ein Schlüsselindikator für die ökologische Funktionen des Bodens sind, lassen sich über den Versiegelungsgrad Aussagen über das Mikroklima treffen (Wende et al. 2011). Nicht alle anthropogenen Flächen weisen jedoch den gleichen Einfluss auf das Mikroklima und das Abflussverhalten von Niederschlagswasser auf. Eine Einteilung in die Auswirkungen von unterschiedlichen Materialien ist in der nachfolgenden Tabelle gegeben (Weber 2009).

**Tabelle 2 Auswirkungen der Belagsarten auf den Naturhaushalt**

Belagsarten	Einschätzungen der Auswirkungen auf den Naturhaushalt
Asphalt, Beton, Pflaster mit Fugenverguss oder Betonunterbau, Kunstbeläge	Extrem
Kunststein- und Plattenbeläge (Kantenlänge > 8cm), Betonverbundpflaster, Klinker, Mittel- und Großpflaster	Hoch
Klein- und Mosaikpflaster (Kantenlänge < 8cm)	Mittel
Rasengitter, wassergebundene Decke (z.B.: Schlacke, Kies-, Tennenfläche), Schotterrasen	Gering

Quelle: Weber (2009)

Die thermischen Eigenschaften von Böden und ihre Auswirkungen auf das Mikroklima hängen neben dem Material selbst, auch vom Versiegelungsgrad, der Exposition zur Sonne und Himmel, dem Wassergehalt des Bodens, der Wasserversorgung, als auch der Oberflächenrauigkeit zusammen. Asphalt, als einer der meist genutzten Bestandteile der Versiegelung in Städten, besitzt dabei gegenüber natürlichen, unversiegelten Flächen eine doppelt so hohe Temperaturleitfähigkeit und eine dreifach erhöhte Wärmeleitfähigkeit (Hupfer & Kuttler 2006). Diese Belagsart erwärmt sich deshalb im Tagesgang sehr rasch, speichert die aufgenommene Energie gut, und gibt diese nach Ausbleiben der Einstrahlung über den langwelligen, latenten Wärmefluss an die Umgebung ab (Senatsverwaltung Berlin 2012, online; Hupfer & Kuttler 2006). Straßen, Hauswände und Dächer wirken als Wärmespeicher, und sind diejenigen Flächen die sich über den Tag am meisten aufheizen, da sie auch keinerlei kühlenden Evapotranspirationseigenschaften besitzen und die in der Nacht ihre Wärme wieder an die Umgebung abgeben. Deshalb hat eine Änderung der Oberflächenart direkte Auswirkungen auf die Temperatur in der näheren Umgebung (Weber 2009). Dieser Wärmeeffekt wird zusätzlich noch durch die größere Rauigkeit der Stadt verstärkt, weil die Luftdurchmischung durch die Vielzahl an Hindernissen vermindert ist (Hagen 2011). Ähnliche Versiegelungsgrade sind dabei oft in gleichartigen Stadtstrukturen anzutreffen (Hackenbruch 2018, Weber 2009), wodurch Stadtstrukturen anhand ihres jeweiligen Versiegelungsgrads eingeteilt werden können. Daraus lässt sich ein Zusammenhang zwischen sich gleichende Stadtstrukturen und ähnlichen Temperaturabweichungen zur Umgebung herstellen. Daraus schließt Hackenbruch 2018 in Ihrer Dissertation, dass zur Erklärung der Temperaturunterschiede auch der Versiegelungsgrad alleine ausreichen würde (Hackenbruch 2018). (Der genannte Zusammenhang wird im Verlauf der Arbeit in Kapitel 4.3 mit dem Modell der lokalen Klimazonen weiterverfolgt und vertieft.) Der Zusammenhang zwischen dem Versiegelungsgrad und der Stadtstruktur auf die Temperatursprägung lässt sich dabei in Folge auf andere Städte anwenden. Wobei eine detaillierte Aussage mit hochauflösenden

Messdaten zur Temperatur über einen längeren Zeitraum wünschenswert ist, weil die Aussagen dadurch sowohl besser validiert werden können, als auch regionale und lokale Unterschiede kenntlich gemacht werden können (Hackenbruch 2018). In Thermalluftbildern erscheinen die Temperaturunterschiede bei Städten mit stark differenzierter Landnutzung und Versiegelungsgraden als feines Mosaik unterschiedlicher Temperaturbereiche, während Städte, die eine homogene Stadtstruktur vorzuweisen haben, auch ähnlichere Temperaturen über größere Flächen besitzen (Weber 2009). Kenntnisse über die Ausprägung von lokalen Wärmeinseln und die Gründe die zu deren Entstehung beitragen, sind für Planungsaufgaben relevant, um zielgerichtete Entscheidungen zu finden (Hackenbruch 2018).

#### **2.2.4.2 Einfluss der Siedlungsstruktur auf das Mikroklima**

Der Flächenverbrauch und die damit verbundenen Probleme, wie etwa erhöhte Temperaturspeicherung und erhöhter Abflussbeiwert, sind abhängig vom Siedlungs- und Bebauungstyp. Sie lassen sich nach ähnlichen Ausprägungen und Verteilung der baulichen und freiräumlichen Struktur gliedern, die sich wiederum auf das Mikroklima auswirken. Die Grundflächenzahl (GRZ) sowie die Geschossflächenzahl (GFZ) als Maß für die Dichte einer Siedlung geben dabei das klimatisch einflussreichste Elemente für die Überwärmung dar, weil sie auch Versiegelung, Vegetationsdichte, und die in diesem Zusammenhang stehenden Konsequenzen beinhalten, während sie gleichzeitig durch eine Vielzahl von gesetzlichen Planungsinstrumenten, wie Flächenwidmungsplan und Bebauungsplan gesteuert werden können (Fezer 1995). Allen anthropogenen beeinflussten Strukturtypen ist gemein, dass sie erhöhte Temperaturen gegenüber natürlichen Flächen, wie Wald- Acker- und Wasserflächen aufweisen, und dass die Temperatur in Gebieten mit geringerer Bebauungsdichte niedriger ist (Wende et al. 2014).

Der Straßenbreite und der Gebäudehöhe, als Elemente der städtischen Geometrie, kommen in Bezug auf die Ausprägung der Wärmeinsel zweierlei Bedeutung zu. Auf der einen Seite können Gebäude große Flächen verschatten, wodurch diese nicht durch eintreffende Strahlung erwärmt werden. Auf der anderen Seite wird Strahlung sobald sie eintrifft von der Straße und den Hauswänden reflektiert und absorbiert. Dadurch wird das Gesamtalbedo der Stadt reduziert und die Energieaufnahme gesteigert (van Hoven 2011). Das Verhältnis der Straßenbreite (W) zur Gebäudehöhe (H) kann deshalb zur Berechnung des möglichen maximalen Hitzeinseleffekts herangezogen werden. Oke (1981) formulierte hierzu folgende Formel:

$$UHI(max): 7,45 + 3,97 * \ln(H/W)$$

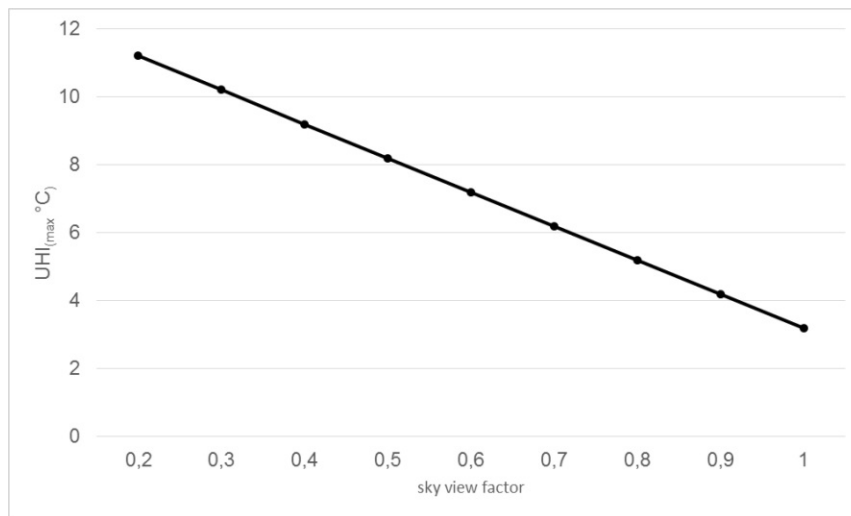
Die dreidimensionale Überbauung von Städten und die damit einhergehende Vervielfältigung von Flächen, die potentiell mehr Energie aufnehmen können, führt zu einer Intensivierung der Überwärmung, denn die Strahlung wird vielfältig von den diversen Stadtobjekten reflektiert und absorbiert (Oke 2017).

Die Heterogenität in Städten, die aus einer Vielzahl unterschiedlicher Gebäude, Strukturen und Vegetationseinheiten bestehen, führen zu Turbulenzen innerhalb der Stadtreibungsschicht, wo der Frischluftaustausch durch eine Reduktion der Windgeschwindigkeit beschränkt ist, die Turbulenzen aber erhöht sind. Der Einfluss der Stadt auf die Windintensität und Windrichtung wird durch die Rauigkeit der Oberfläche bestimmt. Die bestimmenden Faktoren sind die Höhe und Verteilung der Rauigkeitsobjekte und die Anordnung der Straßensysteme. Die Durchlüftung eines Stadtsystems auf Bodenniveau übt Einfluss über die Entstehung von Wärmeinseln aus, denn die Wärmekonvektion sinkt mit fallender Windgeschwindigkeit (Oke 2017). Neben der Änderung auf die Windverhältnisse ist es vor allem die Verdeckung zum Himmel, die der Geometrie der Stadt große Bedeutung bei der Entstehung von urbanen Hitzeinseln zukommen lässt. Denn durch diese Verdeckung zum Himmel wird die langwellige Gegenstrahlung in ruhigen, unbedeckten Nächten eingeschränkt, was zur Folge hat, dass die gespeicherte Wärme nicht frei und ungehindert in die Atmosphäre ausstrahlen kann, und somit die Erhaltung der Wärmeinsel fördert. Der Himmelsschichtfaktor (englisch: sky view factor) ist das Maß dieser Verdeckung und ist als Verhältnis zwischen tatsächlich eintreffender Strahlung und möglicher eintreffender Strahlung zu verstehen. Es ist dabei eine dimensionslose Einheit bei der der Wert 0 eine vollständige Verdeckung angibt, bei der jegliche ausgehende Strahlung durch Objekte abgefangen wird, und dem Wert 1, bei dem eine freie Sicht zum Himmel gegeben ist, bei der Strahlung ungehindert emittiert werden kann. Es gibt daher einen Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur und sky view factor durch den Einfluss der langwelligen Strahlung, die reflektiert wird. Aus der Gleichung, basierend aus den Informationen der Höhen / Breiten Verhältnisses leitete Oke zusätzlich die Verbindung zwischen der urbanen Überwärmung und des sky view factors (SVF) ab:

$$UHI(max) = 13,20 - 10,00 * SVF \text{ (Oke 1981)}$$



Abbildung 6: Zusammenhang zwischen UHI(max) und sky view factor



Quelle: Oke (1981)

Aus der Gleichung, die in der Abbildung 6 graphisch dargestellt ist, geht hervor, dass desto größer der sky view factor ist, also desto weniger die Sicht zum Himmel zum Beispiel in einer Straße durch Objekte verdeckt ist, desto niedriger ist die Überwärmung. Locker bebaute Gebiete sind demzufolge von weniger Überwärmung betroffen, als dicht bebaute (Oke 1981). Kritisch muss angeführt werden, dass van Hoven (2011) diverse Studien nennt, die keinen, einen nur schwachen, oder aber auch signifikante Zusammenhänge zwischen dem sky view factor und der urbanen Wärmeinsel angeben. Es wurde dabei allerdings oft nur einige wenige Versuchsorte ausgesucht, wodurch die Messergebnisse auf Grund sehr kleinräumiger Temperaturunterschiede zustande kommen könnten. Die Auswertung sollte demzufolge auf den Durchschnittswerten der Messgebiete erfolgen, um Einflüsse auf die Temperaturmessung auf Mikroebene zu minimieren (van Hoven 2011).

Um den Vegetationsanteil, sowie Wetterdaten in die Abschätzung des maximalen Hitzeinseleffekts einfließen zu lassen eignet sich nachstehende Gleichung (Theeuwes et al. 2017):

$$UHI_{max} = (2 - SVF - f_{veg}) \sqrt[4]{\frac{S_{\downarrow} DTR^3}{U}}$$

$S_{\downarrow}$  ist dabei die einfallende Strahlung an einem ländlichen Vergleichsstandort in  $K \text{ ms}^{-1}$ . DTR (diurnal temperatur range) gibt die Differenz zwischen maximaler und minimaler Temperatur in  $^{\circ}\text{C}$  an und nennt die potentielle Abkühlung außerhalb der Siedlung an. U ist das 24h Mittel der Windgeschwindigkeit in 10m Höhe in m/s.  $f_{veg}$  stellt den Vegetationsanteil der Fläche in einem 500m Radius da. Die Gleichung ist gültig für den Bereich  $0 < f_{veg} < 0,4$  und  $0,2 < SVF <$

0,9. Nimmt der sky view factor sowie der Anteil der Vegetationsdecke zu, nimmt auch die Ausprägung der Wärmeinsel ab (Theeuwes et al. 2017).

Je nach Lage innerhalb der Stadt können Versiegelungsgrade von bis zu 100% in Innenstädten auftreten (Hupfer & Kuttler 2009). Enge Stadtstrukturen, wie etwa in Altstädten oder Blockrandbebauung mit hohen Versiegelungsanteilen haben dabei die höchsten Temperaturunterschiede zum Umland. Die Unterschiede in der Nacht sind am stärksten ausgeprägt. Darüber hinaus korreliert die Oberflächentemperatur positiv mit dem Bebauungsgrad, dem Anteil an Wasserflächen, der Gebäudehöhe und dem sky view factor (Hackenbruch 2018). Die nachfolgende Tabelle gibt eine Beschreibung der Versiegelungsstufen mit dazugehöriger Stadtstruktur und Flächencharakteristik an.

**Tabelle 3 Versiegelungsgrad und dazugehörige Flächencharakteristik**

Versiegelungsgrad (%)	dazugehörige Flächencharakteristik
10–50	mäßige Versiegelung, Einfamilienhaussiedlungen, Kleingartenanlagen, Zeilenbebauung
45–75	mittlere Versiegelung, Blockrandbebauung, Nachkriegsbauten
70–90	starke Versiegelung, städtische Baugebiete mit Blockbebauung, ältere Industriegebiete
85–90	sehr starke Versiegelung, unzerstörte Blockbebauung der Innenstadt sowie jüngere Industriegebiete

Quelle: Weber (2009)

Das Zusammenspiel aus natürlicher und anthropogener Flächenbeschaffenheit, die nie einheitlich ist, bewirkt die große Dynamik innerhalb des Mikroklimas. Zusätzlich üben die Heterogenität der dreidimensionalen Überbauung der Stadt und den unterschiedlichen Nutzungsarten sowie Intensitäten Einfluss auf das Mikroklima aus (Weber 2009).

Der beschriebene Zusammenhang zwischen der Gestaltung der Landoberfläche, der unter anderem Einfluss an der Wärmeentwicklung, der Durchlüftung und des Frischluftaustausches sowie der Art und Weise wie Niederschlagswasser abfließt, und dem Mikroklima kann im Unterschied zu den geographischen Gegebenheiten durch Planungsentscheidungen beeinflusst werden. Dabei haben nicht nur politische Institutionen die Handlungspflicht sondern auch lokale AkteurInnen, wie HauseigentümerInnen und WohnbauentwicklerInnen, um die Anpassung an den Klimawandel zu vollziehen und die Resilienz von Siedlungen zu erhöhen. Ein hoher Versiegelungsgrad mit all seinen negativen Auswirkungen, dazu zählen vor allem die Bildung von Wärmeinseln und ein geänderter Wasserhaushalt, kann nämlich verhindert werden (Rienow et al. 2018).

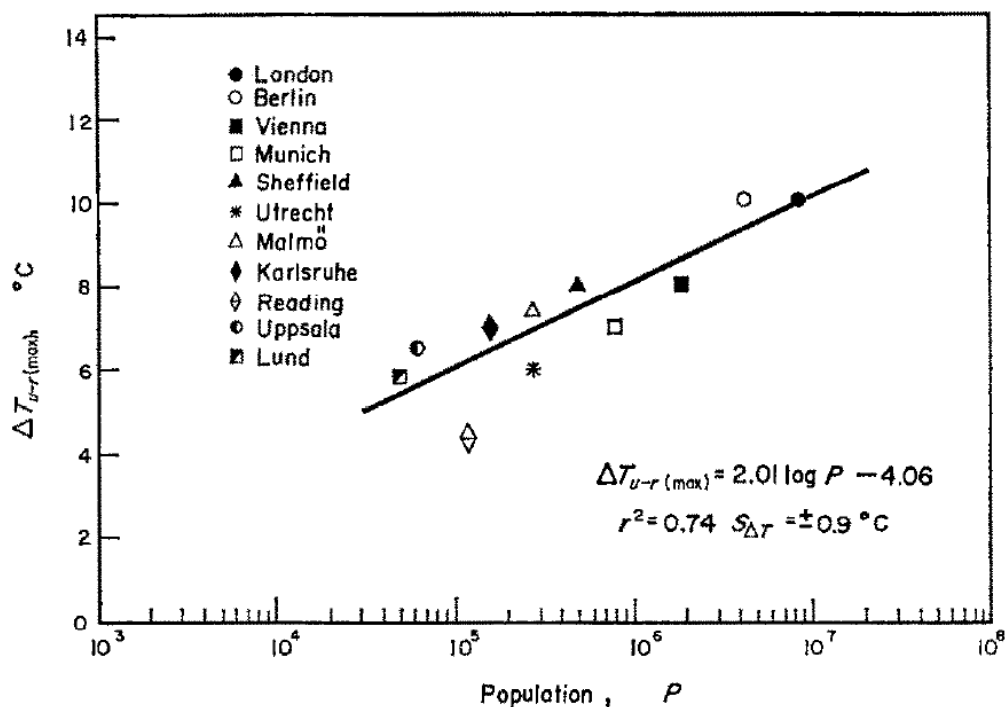
### 2.2.4.3 Einfluss der Einwohnerzahl auf die urbane Wärmeinsel

Die Einwohnerzahl, als Maßstab für die Größe einer Stadt eignet sich um die Intensität der urbanen Wärmeinsel vorherzusagen. Es gibt einen linearen Zusammenhang zwischen dem Logarithmus der Einwohnerzahl und der maximal möglichen Ausprägung der Wärmeinsel. Die von Oke (1973) errechnete Formel für Westeuropa lautet wie folgt:

$$UHI(max): 2,01 \log(Einwohnerzahl) - 4,06$$

In Abbildung 7 sind für ausgewählte Städte die Überwärmung zum Umland und ihre Einwohnerzahl angegeben, sowie die Funktion die erklärt, wie mit zunehmender Einwohnerzahl der Temperaturunterschied steigt (Oke 1973).

Abbildung 7: Verhältnis zwischen UHI(max) und Einwohnerzahl



Quelle: Oke (1973)

Der Vorteil dieser einfachen Gleichung ist vor allem die gute Datenverfügbarkeit der Einwohnerzahl, um die mögliche Überwärmung abschätzen zu können. Denn es muss angeführt werden, dass diese Gleichung wesentliche stadtgeographische Aspekte, wie den Anteil der versiegelten und der begrüneten Fläche, der Gebäudedichte und das überbaute Volumen der Stadt nicht berücksichtigt (Matzarakis 2001). Es ist deshalb nur als Näherung anzusehen, geht der maximale Wärmeinseleffekt doch vorrangig aus den Bebauungsformen und Materialien, sowie der Freiraumgestaltung aus. Die Unterschiede zwischen der Steigerung von amerikanischen Städten zu Europäischen Städten leitet sich aus dem erhöhten Anteil der Gebäudeklimatisierung und deren Erhöhung von QF (anthropogene Wärmeflussdichte, siehe

Kapitel 2.2.2) ab (Henninger & Weber 2020). Dass der Wärmeinseleffekt auch in kleinen Siedlungsräumen, vorkommt, konnte von Rottenbacher und Cassidy (2014) am Beispiel von Laa an der Thaya bewiesen werden. So lag das Zentrum von Laa an der Thaya um über 10°C höher, als eine ca. 700m entfernte bewaldete Fläche. Am Übergang zwischen Stadt und Umland ist ein sprunghafter Anstieg erkennbar, der unter dem Begriff Temperaturkliff geführt wird (Henninger, Weber 2020). Aus der Gleichung wird aber deutlich, dass der Wärmeinseleffekt bei gleicher Zunahme der Bevölkerung in einer kleinen Stadt stärker steigt, als für eine Stadt, die bereits viele EinwohnerInnen hat. Die Zunahme von anthropogenen Flächen in Großstädten hat somit einen weniger signifikanten Einfluss auf das Klima, als die gleiche Zunahme in Kleinstädten (Oke 1972). Die Intensität der Wärmeinseln kann ab einer gewissen Stadtgröße als gesättigt angesehen werden (Zhou 2017).

Kritisch muss betrachtet werden, dass die Gleichung zum Verhältnis zwischen Einwohnerzahl und urbaner Wärmeinsel bereits im Jahr 1973 von Oke erstellt worden ist. Obwohl damit zu rechnen ist, dass sich die Städte seit der Publikation der Studien sowohl hinsichtlich ihrer Bevölkerungszahl als auch hinsichtlich ihrer Stadtmorphologie geändert haben, wodurch auch eine Änderung der Gleichung in Betracht kommen würde, wird die Arbeit von Oke (1973) mit steigendem Interesse immer noch sehr häufig zitiert (1.320 mal seit 2010, google.scholar), was darauf schließen lässt, dass die Aussage im Kern weiterhin aktuell ist.

#### 2.2.4.4 Albedo

Das Verhältnis von reflektierter Solarstrahlung zur einfallenden Solarstrahlung auf eine bestimmte Oberfläche wird Albedo genannt. Struktur und Farbe sind dabei die maßgeblichen Faktoren, ob ein Objekt einen hohen Wert, also gute Reflexionseigenschaften aufweist, oder einen geringen Wert hat, wie etwa Asphalt (Kuttler 2013). In Tabelle 4 sind für einige anthropogene und natürliche Materialien und Oberflächen die Albedowerte in Prozent angegeben.

**Tabelle 4: Albedowerte für ausgewählte Oberflächen**

Oberfläche	Albedo	Oberfläche	Albedo
schwarze Farbe	2-15	Beton	14-22
Asphalt	5-10	Laubwald	15-25
Nadelwald	5-15	Sandboden	15-40
Ackerboden	7-17	Ziegeln	20
Teer, Bitumen	8-18	Rote, braune, grüne Farbe	20-35
Wiesen	12-30	weiße Farbe	50-90

Quelle: Oke (2017), Kuttler (2013), Häckel (2008)

Die Albedo ist deshalb von Bedeutung, weil es Aufschluss darüber gibt, wie stark sich Oberflächen wegen ihrem Mangel an Reflexionsfähigkeit durch Strahlungseinfluss aufwärmen können. Areale mit hoher Albedo besitzen deshalb ein verringertes Potential sich aufzuwärmen, insbesondere zur Zeit des Sonnenhöchststandes. Dunkle Oberflächen wärmen sich demzufolge stärker auf, wobei dies nur ein Teil der Gleichung ist. So ist die Albedo von Nadelwäldern auch niedrig, durch die Möglichkeit der Evapotranspiration und den unterschiedlichen Umgang mit der eintreffenden Strahlung heizen sie sich aber weniger auf als dunkle Materialien ohne Wasseranteil. Die Albedo ist also besonders bei der Materialwahl von anthropogenen Materialien von Bedeutung, dort wo der Einsatz von Vegetation nicht möglich ist. Nachteilig erweist sich der Einsatz von sehr hellen Materialien durch den Verlust der Reflexionseigenschaften auf Grund von Verwitterung, starker Reflexion und Blendung der Menschen oder kulturellen Barrieren in Mitteleuropäischen Städten. Stark reflektierende Flächen führen zwar zu einer Verkleinerung des Hitzeinseleffekts, der thermische Komfort für den Menschen auf Straßenniveau sinkt dabei aber durch die solare Reflexion sowie durch visuelle Irritation durch Blendung. Das Zusammenspiel aus Flächen mit hoher Albedo und grüner Infrastruktur, je nach Möglichkeit, die die Fläche darbietet, erweist sich aus planerischer Sicht als wertvoll, insbesondere in der weiträumigen Dachgestaltung von Städten (Zuvela-Aloise et al. 2017, Zuvela-Aloise et al. 2018).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass dunkle Materialien und Oberflächen eine größere Neigung besitzen sich aufzuwärmen und sich deshalb negativ auf das Stadtklima, insbesondere den städtischen Wärmeinseleffekt auswirken, als helle, natürliche Materialien. Der Einsatz heller Materialien ist dann als anstrebenswert zu erachten, wo der Einsatz von vegetationsbedeckten Oberflächen, die mehr Vorteile besitzen als helle Materialien, nicht möglich ist (Zuvela-Aloise et al. 2017; Zuvela-Aloise et al. 2018).

### **2.3 Handlungsmöglichkeiten der Raumplanung**

Dieses Kapitel zeigte die unterschiedlichen beeinflussbaren und nicht beeinflussbaren Variablen auf, die das Stadtklima beeinflussen. Es wurde beleuchtet, wie sich das Stadtklima vom Klima des Umlands unterscheidet und wie der anthropogene Einfluss zur Ausbildung des Hitzeinseleffekts beiträgt und welche Probleme dies für Gesundheit und Wohlbefinden bei der Bevölkerung auslöst. Der Klimawandel verstärkt die Auswirkungen und die Intensität des Hitzeinseleffekts weiter, wodurch die Dringlichkeit zum Handeln noch mehr in den Fokus rückt. Der Raumplanung stehen neben einigen Faktoren, die nicht beeinflussbar sind, die allerdings

zum Verständnis der Situation wichtig sind, eine Reihe von Handlungsoptionen zur Verfügung, die Raum für Anpassungen lassen.

Das Verständnis der spezifischen thermischen Eigenschaften von Materialien, die in Siedlungen verwendet werden und die daraus resultierenden Folgen für das Mikroklima sind essenziell für eine klimawandelangepasste und nachhaltige Planung. Die Wahl von anthropogenen Materialien, wie etwa Asphalt, beeinflusst das Klima auf vielfältige Art und Weise und führt unter anderem zur Ausbildung von Hitzeinseln innerhalb der Städte. Das Stadtklima ist aber immer auch vom Klima der Umgebung und der geographischen Lage der Stadt abhängig. Jene Faktoren, die durch menschliches Handeln nicht direkt beeinflussbar sind, sind in Tabelle 5 angeführten.

**Tabelle 5: Einflussgrößen auf das Stadtklima**

<b>Einflussgröße auf das Stadtklima (nicht adressierbar)</b>
Lage
Topographie
Globalstrahlung
Niederschlag
Stadtgröße
Einwohnerzahl

Quelle: eigene Darstellung

Diese Einflussgrößen sind als gegeben zu betrachten. Für jene Faktoren, die sich direkt, oder indirekt durch Raumplanungsmaßnahmen steuern lassen, gibt es vielfältige Möglichkeiten, unter anderem etwa im Flächenwidmungs- oder Bebauungsplan, oder durch Verordnungen und Zielsetzungen, die auf die in den nachfolgenden, in Tabelle 6 angeführten Faktoren, Einfluss nehmen können.

**Tabelle 6: Einflussgrößen auf das Stadtklima**

Einflussgrößen auf das Stadtklima	
direkt adressierbar	indirekt adressierbar
Oberflächenversiegelung	Abwärme- und Wasserdampfemissionen
Oberflächenrauigkeit	Anthropogen erzeugte Abwärme
Oberflächenalbedo	
Thermisches Verhalten der Oberflächen	
Hydrologisches Verhalten der Oberflächen	
Bebauungsdichte	
Bebauungshöhe	
Straßen- und Gebäudeausrichtung	
Straßenbreite	
Vegetationsart, - Dichte, - Vorkommen und - Verteilung	

Quelle: eigene Darstellung

Potentielle Handlungsmöglichkeiten um das Stadtklima positive zu beeinflussen und Siedlungen an den Klimawandel anzupassen, sind demzufolge reichlich vorhanden und lassen sich durch potentielle Synergien weiter verbessern. Mit Hilfe eines nachhaltigen und auf die Anpassung an den Klimawandel geplanten Flächenwidmungsplans lässt sich die Anordnung von bebauten und unbebauten Flächen, sowie die Höhe und Dichte der Bebauung regulieren, während mit einem ebenso geeigneten und darauf abgestimmten Bebauungsplan sich unter anderem die Ausrichtung der Gebäude zur Sonne und zur Windrichtung und der Anteil der versiegelten Fläche pro Grundstück regulieren lässt. Frischluftaustausch und Gebäude, die den freien Windfluss nicht behindern helfen dabei in den Nachtstunden vorhandene Wärmeinseln aufzulösen. Das Ziel, Hitzeinseln in Siedlungen zu vermeiden oder deren Effekt gering zu halten, lässt sich in vier Maßnahmen unterteilen. Die Vermeidung und Reduktion der direkten Sonneneinstrahlung, das Abführen der eintreffenden Sonneneinstrahlung und deren Energie, die Erhöhung der lokalen Kühlpotentiale und die Verringerung der Speicherung von Wärme von anthropogenen Strukturen (Geissler et al. 2015).

Eine angepasste Wahl der Oberflächenmaterialien erscheint demnach als essentielles Element im Umgang mit Klimaänderungen. Die Temperaturwerte korrelieren mit der Landnutzung, dem Versiegelungsgrad der Oberfläche, der Stadtstruktur und dem Sonnenstand. Es besteht ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen dem Grad der Versiegelung und einer sich daraus ableitenden erhöhten Temperatur. Vegetationsbedeckte Oberflächen sowie Wasserflächen wirken sich hingegen positiv auf das Mikroklima aus. Sie sind in der Lage die Ausprägung der Hitzeinseln zu minimieren, sowie eine Anpassung an den stattfindenden Klimawandel zu ermöglichen. Dabei können sehr kleinräumige Änderungen das

Mikroklima nachhaltig beeinflussen. Einzelne Bäume können bereits eine positive klimatische Wirkung für eine ganze Straße erzielen. Die Etablierung größerer Schattenbereiche ist demzufolge als anstrebenswert zu betrachten (Weber 2009). Die Schaffung von Ausgleichsflächen, um die negativen Auswirkungen von versiegelten Flächen kompensieren zu können, muss dabei in der Planung berücksichtigt werden. Diese Ausgleichsflächen bieten Gelegenheit für die Entstehung von Kalt- und Frischluft, die im Zusammenspiel mit vernetzten Grünflächen, regionalen Grünzügen und Luftleitbahnen der städtischen Überwärmung, vor allem in der Nacht, durch Zufuhr kühlerer Luftmassen entgegen wirkt. Bestehende Gebiete mit klimatischer Ausgleichsfunktion müssen geschützt und ihr Anteil erhöht werden (Umweltbundesamt 2016, BMNT 2017).



### 3 Siedlungshydrologie

Dieses Kapitel behandelt die hydrologischen Aspekte innerhalb des Siedlungsgebiets. Es werden die relevantesten Faktoren zu hydrologischen Kreisläufen im urbanen System, wie den veränderten Oberflächenabfluss und seinen Folgen, dem Grundwassersystem im Siedlungsraum, dem Kanalnetz sowie den Auswirkungen von Starkregenereignissen im urbanen Raum vorgestellt.

Der Klimawandel hat neben den im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Auswirkungen auf die Änderung der Temperatur auch eine Steigerung der Intensität von Niederschlagsereignissen zur Folge, die zu lokalen Hochwässern und Schadensereignissen führen können (Pucher et al. 2018). Laut allgemeiner Abwasseremissionsverordnung ist Niederschlagswasser: *„Wasser, das zufolge natürlicher oder künstlicher hydrologischer Vorgänge als Regen, Tau, Hagel, Schnee oder Ähnliches auf ein bestimmtes Einzugsgebiet fällt und an der Landoberfläche dieses Einzugsgebietes zu einem Gewässer abfließt oder durch technische Maßnahmen abgeleitet wird“* (§1 Abs.3 Z.3 AAEV).

Das Abflussverhalten von Niederschlagswasser im urbanen Raum unterscheidet sich von dem im naturbelassenen Gebieten. Natürliche Böden und Bewuchs fangen Niederschlag gut auf (Interzeption) und verzögern den Abfluss in dem sie das Wasser zwischenspeichern, wo es für den Boden als Wasserquelle und zur Evapotranspiration zu Verfügung steht. Urbane Böden hingegen mit ihrem hohen Anteil an versiegelten Flächen leiten das Wasser rasch ab. Bestehende Abwassersysteme können durch eine hohe Niederschlagsintensität an ihre Kapazitätsgrenzen kommen (Pucher et al. 2018). Die Fachliteratur (vgl.: Oke 2017; Pucher et al. 2018; Simperler et al. 2018; Sieker et al. 1996) ist sich einig, dass die Versiegelung den größten Einfluss auf den veränderten Wasserkreislauf hat. Das Zurückhalten von Regenwasser auf natürliche Weise würde Vorteile im Rahmen des Hochwasserschutzes, der Biodiversität, der Landwirtschaft mit sich bringen und negative Folgen des Klimawandels abschwächen. Beim Hochwasserschutz nehmen pluviale Ereignisse immer mehr Bedeutung ein, und rücken in den Fokus der Planung (Umweltbundesamt 2016).

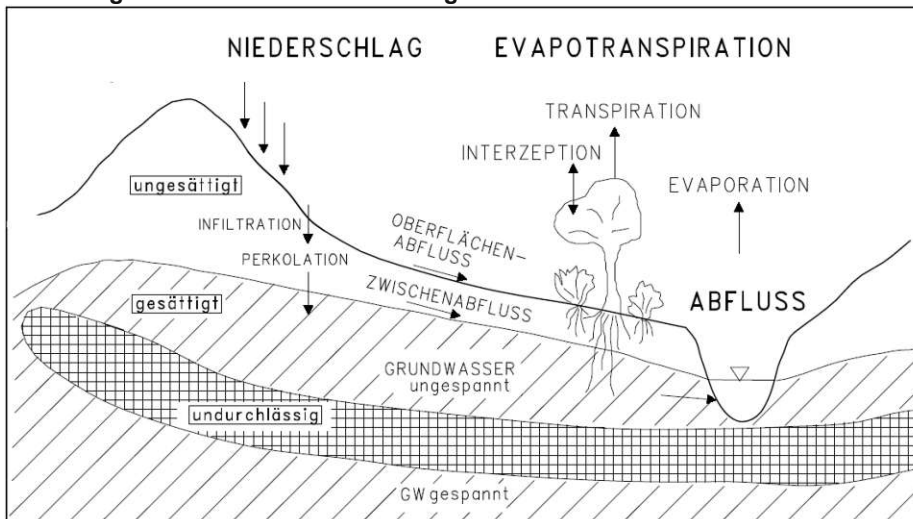
Daneben stellt der Bevölkerungszuzug eine weitere Herausforderung für bestehende Abwassernetze, durch die Angliederung weiterer zu entwässernder Flächen, dar. Für Siedlungen ist deshalb eine klimaangepasste Regenwasserwirtschaft notwendig, um die Bevölkerung vor Schäden und Gefahren, wie sie etwa durch Überschwemmungen auftreten, schützen zu können, aber auch um die Natur vor Verunreinigungen und negativen ökologischen Folgen zu schützen. Herkömmliche „End of pipe“- Abwassersysteme sind nicht immer in der Lage bei Extremwetterereignissen das Abführen von Regenwasser ohne Überschwemmungen zu gewährleisten. Laut Sieker (1995) ist das rigorose Ableiten von

Regenwasser überhaupt nicht von Nöten um Flächen zu entwässern und so zu schützen. Eine Versickerung in den Boden, wo dies möglich ist, oder eine Retention des Regenwassers ist naturnaher, ökologischer und auch wirtschaftlicher. Die fehlende Infiltration in den Grundwasserkörper, der somit absinkt, von sauberem Regenwasser oder solchem, welches der Boden selbst reinigen kann, ist für das natürliche Gleichgewicht und die Biosphäre als schädlich anzusehen. Hier können Maßnahmen der grünen und blauen Infrastruktur greifen, die eine saubere Infiltration gewährleisten und den natürlichen Wasserkreislauf als Vorbild und zum Ziel haben (Sieker 1995).

### 3.1.1 Natürlicher Wasserkreislauf

Bevor der Fokus auf das System Stadt gelegt werden kann, ist das Verständnis über den Wasserkreislauf in einem natürlichen System wichtig, um die Auswirkungen der Siedlungstätigkeiten auf den Kreislauf zu verdeutlichen. Der Kreislauf tauscht ständig Wasser zwischen der Erde und der Atmosphäre und den unterschiedlichen Aggregatzuständen aus, ist ein in sich geschlossenes System und befindet sich im Gleichgewicht. Angetrieben durch die solare Einstrahlung verdampft Wasser, steigt vertikal auf, wird durch Winde verbreitet, kondensiert zu Wolken und fällt als Niederschlag in unterschiedlichen Formen zur Erde zurück. Hier läuft er als oberflächlicher Abfluss oder als Grundwasserabfluss den großen Speichervolumina wie Gletschern, Ozeanen oder Seen zu, oder wird an Pflanzen aufgefangen, verdampft dort, oder an anderen Oberflächen. Oberirdische Gewässer werden zum Großteil durch das Grundwasser über Quellen gespeist. Der Wasserkreislauf ist also für den Transport von Wasser verantwortlich, und ist in Abbildung 8 schematisch dargestellt (Oke 2017).

**Abbildung 8: Schematische Darstellung des natürlichen Wasserkreislaufs**



Quelle: Wittenberg 2011

Durch Siedlungstätigkeiten wird der Wasserkreislauf allerdings in seinem natürlichen Verhalten gestört. Wie unterschiedlich die Größenordnungen des Wasserstransports in bestimmten Arealen sind, lässt sich mit Hilfe der Wasserbilanz beschreiben, die wie folgt lautet:

$$P = ET + \Delta S + G + \Delta R$$

**P:** Niederschlag (Precipitation); **ET:** Evapotranspiration;  **$\Delta S$ :** Änderung des Speichers (Storage); **G:** Grundwasseranreicherung (Groundwater Recharge); **R:** Oberflächenabfluss (Runoff) (Oke 2017).

### **Evapotranspiration ET:**

Evapotranspiration ist die Kombination der Verdunstung von Wasser aus und auf dem Boden und von Wasseroberflächen, als auch jener Teil der Verdunstung der von der Vegetation selbst stammt. Die Messung der Verdunstung ist sehr kompliziert, und unterliegt starken kleinräumigen Schwankungen (Patt 2018). Verdunstung führt Wasser direkt dem Kreislauf wieder zu, wobei die Menge an Regenwasser das abgeleitet oder gespeichert werden müsste, verringert wird (Grimm 2010). Für die Verdunstung wird sehr viel Energie benötigt, die der Atmosphäre entzogen wird, und somit am jeweiligen Standort nicht mehr für andere Erwärmungsprozesse zur Verfügung steht. Je mehr Verdunstungspotenzial eine Oberfläche besitzt, desto höher ist ihr Potential Energie für Verdunstung aufzubrauchen. Der Verdunstungsprozess wird dabei so lange fortgesetzt, so lange Wasser zur Verfügung steht und die Luft nicht wasserdampfgesättigt ist. Auf Asphaltflächen werden 20% und auf Rasengittersteinen 43% der jährlichen Strahlungsbilanz für Verdunstung benötigt. Dieser Vergleich zeigt, dass moderne Stadt- und Raumplanung, die einen ausgeprägten Fokus auf Klimaorientierung und Klimaanpassung legt, durch den Einsatz anderer Materialien in der Bodengestaltung zum lokalen Klimawohlbefinden beitragen kann (Hupfer & Kuttler 2006).

### **Änderung des Speichers $\Delta S$ :**

Unter der Änderung des Speichers wird die zeitliche Retention von Regenwasser verstanden. Wasser, das in den Boden eindringt, durchläuft eine längere Zeitspanne bis es entweder in das Grundwasser versickert oder verdunstet bzw. als oberflächlich abfließendes Wasser wieder austritt. Die Interzeption, der Rückhalt von Niederschlag an der Oberfläche von Pflanzen zählt überdies hierzu (Sieker 2001).

### **Grundwasseranreicherung G:**

Grundwasseranreicherung oder Infiltration trifft auf jenen Anteil des Regenwassers zu, der durch den Boden in den Grundwasserkörper eindringen kann. Dabei sind die Bodenbeschaffenheit, die Vegetationsdichte und die Sättigung des Bodens für die

Infiltrationsrate verantwortlich. Eine stabile Anreicherung des Grundwassers ist sowohl für die Trinkwasserversorgung als auch für die Vegetation essenziell (Sieker 2001).

### **Oberflächenabfluss R:**

Als Oberflächenabfluss wird jener Teil des Niederschlags verstanden, der weder versickert noch verdunstet. Zum Oberflächenabfluss kommt es, wenn das Wasser nicht in den Boden eindringen kann, oder der Boden bereits wassergesättigt ist. Natürliche Einzugsgebiete weisen geringe Raten von Oberflächenabfluss auf (Sieker 2001).

Die Aufrechterhaltung des natürlichen Wasserkreislaufs ist ein erklärtes Ziel des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (Pucher et al. 2018). Denn es ergeben sich eine Reihe von Vorteilen, die durch entsprechende Regenwassermanagementpläne verfolgt und umgesetzt werden. Zu diesen Vorteilen zählen:

- Beibehaltung des natürlichen Kreislaufes
- Versorgung des Bodens mit Wassers
- Grundwasseranreicherung
- Erhöhung der Luftfeuchtigkeit und dadurch kühlende Wirkung
- Gewässerschutz
- Hochwasserschutz (Grimm 2010)

### **3.1.2 Urbane Wasserbilanz**

Die urbane Wasserbilanz gibt Aufschluss über die Luftfeuchtigkeits- und Niederschlagsverhältnisse in Siedlungsräumen. Sie unterscheidet sich von der Wasserbilanz natürlicher Oberflächen durch das Hinzufügen anthropogener Faktoren, wie das Ein- und Ausleiten von Wasser mit Hilfe von Kanälen sowie der Wasserfreisetzung durch Verbrennungsprozesse. Des Weiteren ist sie durch einen geänderten Oberflächenabfluss, Evapotranspiration und anderes Speicherverhalten vom natürlichen Wasserkreislauf abweichend. Die Gleichung zur Wasserbilanz in urbanen Gebieten lautet daher (Oke 2017):

$$P + I + F = ET + \Delta S + G + \Delta R$$

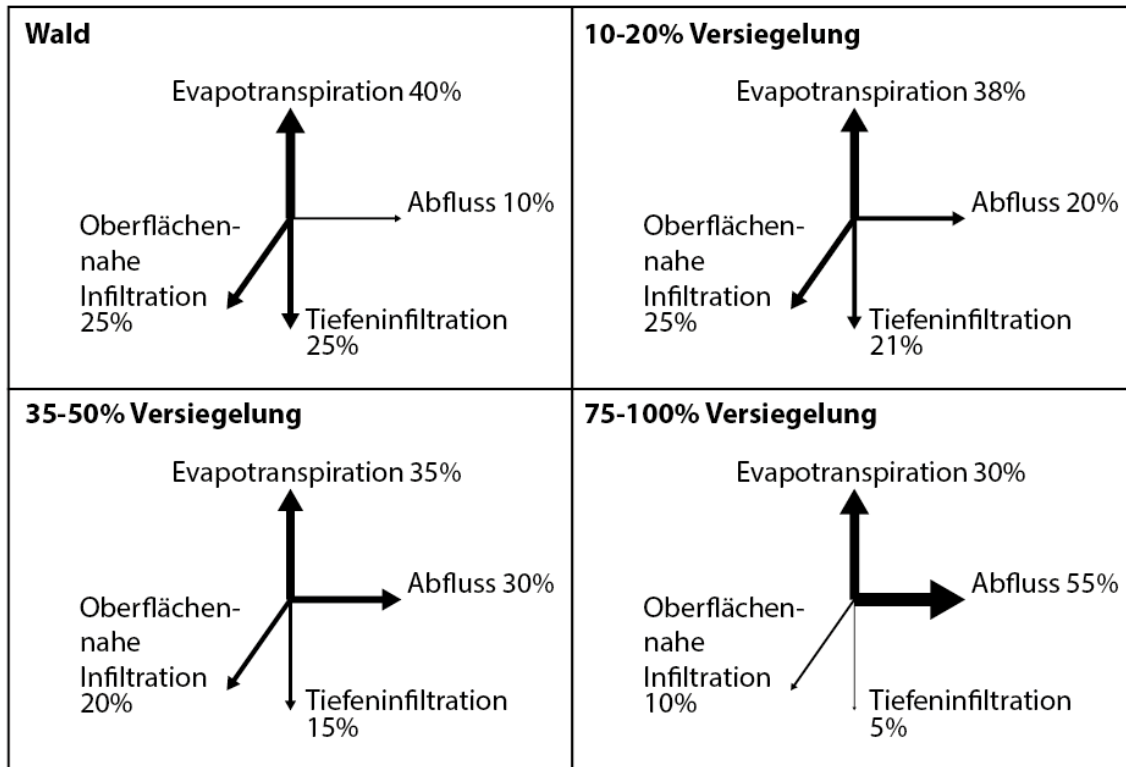
**P:** Niederschlag (Precipitation); **I:** kanalisierter Zufluss (imported water); **F:** Wasserfreisetzung durch Verbrennungsprozesse (fuels); **ET:** Evapotranspiration; **ΔS:** Änderung des Speichers (Storage); **G:** Grundwasseranreicherung (Groundwater Recharge); **R:** Oberflächenabfluss (Runoff)

Die zusätzlich hinzugefügten Elemente der Gleichung, wie etwa der kanalisierter Zufluss, gehen auf die menschliche Aktivität zurück, wobei der Mensch auch Einfluss darauf hat, in welchem Ausmaß und für welchen Zweck das Wasser verwendet wird. Während die Wasserfreisetzung durch Verbrennungsprozesse (F) und die kanalisierte Wasserzufuhr (W) direkt gesteuert werden können, sind die Kontrolle der Evapotranspiration (ET), des Oberflächenabflusses ( $\Delta R$ ) und der Wasserspeicherung ( $\Delta S$ ) indirekt durch den Versiegelungsgrad beeinflusst (Oke 2017). Ausschlaggebend für das Mikroklima sind vorrangig die Faktoren des Oberflächenabflusses und der Evapotranspiration, weshalb diese detaillierter behandelt werden. Durch das rasche Ableiten von nicht, oder nur leicht belastetem Regenwasser steht dieser Anteil des Niederschlags dem natürlichen Wasserkreislauf nicht mehr zur Verfügung, weshalb das Gleichgewicht verschoben wird. Die Folge hiervon ist unter anderem eine verminderte Evapotranspirationsrate, geringere Bodenfeuchte und Grundwasserneubildungsraten sowie eine geringere Wasserverfügbarkeit für die Vegetation, als auch ein erhöhter Abflussbeiwert. Die Siedlungstätigkeit mit ihrer Flächeninanspruchnahme übt großen Einfluss auf den Wasserhaushalt und das Abflussregime von Gewässern, als auch auf die Vegetation und Beschaffenheit der Gewässer selbst aus. Die Anforderungen an die Stadtplanung und den Siedlungswasserbau sind deshalb sowohl in ökologischer Sicht und aus klimatischer Sicht für die Bevölkerung von Bedeutung (Sieker et al. 1996). Der natürliche Wasserkreislauf ist deshalb als Vorbild für die Umgestaltung von bestehenden Flächen, und von neu zu planende Entwässerungssysteme in Siedlungen zu sehen um den negativen Folgen der Siedlungstätigkeiten entgegenzuwirken (Kleidorfer et al. 2019).

### **3.2 Bodenversiegelung in Bezug auf die Hydrologie**

Die Bodenversiegelung ist der Hauptgrund für den geänderten Oberflächenabfluss in Siedlungsgebieten. Bereits bei 2% Versiegelung treten Änderungen im Vergleich zum natürlichen Abflussregime auf. Ab 5% Versiegelungsgrad sind Schäden am natürlichen Kreislauf messbar (Uhl, Henrichs 2017). In Abbildung 9 sind schematisch für unterschiedliche Böden und Versiegelungsgrade die Wasserbilanzfaktoren dargestellt. Die Höhe des Abflusses, die mit Hilfe des Abflussbeiwerts  $\Psi$ , der sich aus dem Quotienten von Wasserabflusses und gefallenem Niederschlag ergibt, ist abhängig vom Versiegelungsgrad eines Gebietes, den dort eingesetzten Materialien und ihren spezifischen Eigenschaften, der Bodenbedeckung, der Vegetationsdichte, der Bodenfeuchte, sowie der Niederschlagsintensität und –dauer (Hupfer & Kuttler 2006, Henninger 2011).

Abbildung 9: Wasserbilanz unterschiedlicher Böden



Quelle: eigene Darstellung nach Hupfer & Kuttler (2006)

Hohe Abflussbeiwerte treten dabei in dicht versiegelten Gebieten auf, die nicht in der Lage sind das Wasser zurückzuhalten, zu speichern oder aufzunehmen. In Tabelle 7 sind für einige urbane Oberflächentypen die Abflussbeiwerte angegeben. Der Abflussbeiwert nimmt bei intensiven Niederschlägen im zeitlichen Verlauf zu (Grimm 2010), weshalb der Abflussbeiwert im Sommerhalbjahr größer ist als im Winter. Grund hierfür sind die Art und Weise wie sich Niederschläge bilden. Im Sommer fällt dieser vermehrt als konvektiver Niederschlag mit hoher Intensität, im Winterhalbjahr vorrangig als advektiver Landregen, mit oft längerer Dauer, aber geringerer Intensität (Henninger 2011; Endlicher 2012).

Tabelle 7: Abflussbeiwerte nach Oberfläche

Art der Oberfläche	Abflussbeiwert
Hart gedeckte Dächer	1,0
Befestigte Wege	0,8 - 1,0
Kieswege (verdichtet)	0,6 - 0,8
Kiesflachdächer	0,7
Begrünte Dächer	0,4-0,7
Grünflächen & Rasengittersteine	<0,5
begrünte Flachdächer	bis zu 0,3
Flache Gärten	bis zu 0,1

Quelle: eigene Darstellung 1) ÖNORM B2506-1 (2013); 2) Grimm (2010)

### 3.3 Starkniederschlag und pluviale Hochwässer

Starkregen liegt dann vor, wenn in fünf Minuten mehr als 5 Millimeter Niederschlag fallen (Grimm 2010). Durch die Klimaänderung ist mit einer Zunahme der Intensität von Starkniederschlagsereignissen zu rechnen. In Folge dessen kann es zu gewässerunabhängigen, pluvialen Hochwasserereignissen kommen (BMNT 2017), weshalb diesem Gefahrenpotential vermehrt Aufmerksamkeit in der Planung gewidmet werden muss (APCC 2018), da durch den Klimawandel Siedlungsräume mit besonderen hydrologischen Problemen konfrontiert werden (Brassuer et al. 2017).

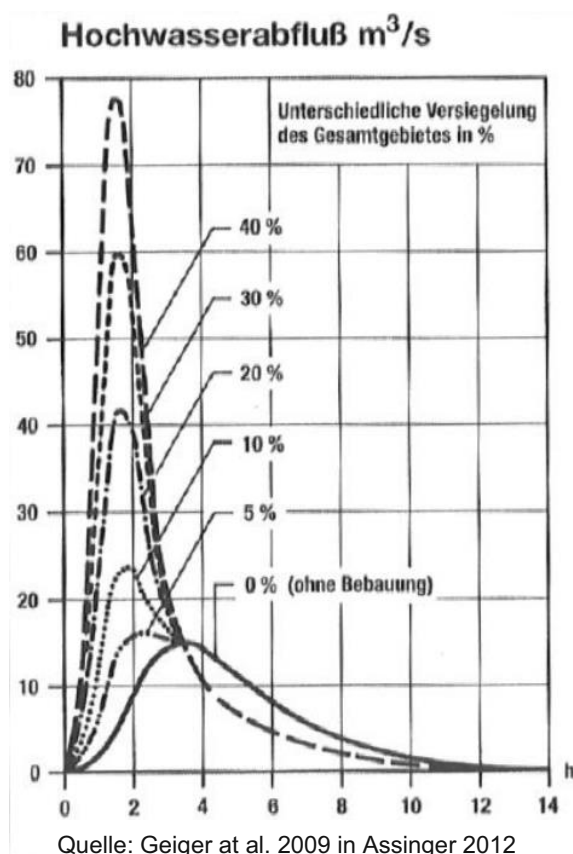
Als Hochwasser gilt laut EU-Hochwasserrichtlinie die „zeitlich beschränkte Überflutung von Land, das normalerweise nicht mit Wasser bedeckt ist“ (BMNT 2018 S.6). Dabei ist zwischen fluvialen und pluvialen Ereignissen zu differenzieren. Fluviale Hochwässer haben ihren Ausgang von Fließgewässern, pluviale haben keinen Bezug zu Gewässern und treten in Folge von Oberflächenabflüssen auf (BMNT 2018). Starkregeninduzierte Hochwässer abseits von Gewässern nehmen immer mehr Bedeutung in der Planung ein und wurden 2018 erstmals im Bericht zur vorläufigen Bewertung des Hochwasserrisikos (BMNT 2018) explizit erwähnt. Es wird davon ausgegangen, dass die Hälfte der hochwasserinduzierten Schäden in Österreich auf solche pluvialen Ereignisse, Grundwasseranstieg und Kanalisationsrückstau zurückzuführen sind (Umweltbundesamt 2019). In Deutschland geht mittlerweile die Hälfte der verursachten Wasserschäden durch von Starkregenereignisse verursachte pluviale Überschwemmung aus (Umweltbundesamt 2016). Demzufolge ist in der Bewertung und in der Planung zum Schutz gegen Hochwasser eine Trennung zwischen pluvialen und fluvialen Events anzustreben, um gezielt Maßnahmen setzen zu können (Umweltbundesamt 2019).

Bei Niederschlagsereignissen in Gebieten mit hohen Abflussbeiwerten tritt das abfließende Wasser ohne zeitliche Verzögerung durch die Kanalisation in die Vorfluter ein, was zu einem schnelleren und höheren Scheitel von Hochwasserereignissen führen kann. Folgen des raschen Abflusses sind eine hohe Erosion der Sohlen und Uferböschungen bei Flüssen, eine verstärkte Ausspülung von organischem Material und eine damit einhergehende Verschlechterung der Habitatfunktion von Fließgewässern, als auch eine Verdichtung der Intervalle von Hochwasserereignissen (Henninger 2011; Endlicher 2012). Die Vorwarnzeit von pluvialen Ereignissen ist sehr kurz. Für die Installation von etwaigen mobilen technischen Schutzmaßnahmen bleibt deshalb kaum Zeit, umso wichtiger ist es vorbereitend auf solche potentiellen Schadensereignisse nachhaltige Vorsorgemaßnahmen zu treffen. Der Schutz vor Gefahren durch Wasser darf sich deshalb nicht nur auf gewässernahe Bereiche beschränken sondern muss, insbesondere auf Grund des lokalen Charakters dieser Ereignisse auch lokale Maßnahmen umfassen, wie die Niederschlagsrückhaltung und ein nachhaltiges Flächenmanagement. Beiden ist gemein, dass sie anstreben, den Anteil der versiegelten

Fläche, über den das Wasser besonders rasch abfließen kann, zu reduzieren, um den Abflussbeiwert zu senken um dem Wasser die Möglichkeit zu geben am Ort des Niederschlages zu versickern (Umweltbundesamt 2016). Die zeitweise Zwischenspeicherung von Wasser, sowie die Retention von Niederschlag an Pflanzen und im Boden sind für die Vermeidung von Hochwasser von besonderer Bedeutung (Patt 2019). Umso höher die Anteile an Retentions- und Versickerungsflächen sind, desto widerstandsfähiger ist ein System gegen wiederkehrende Hochwässer (Grimm 2010). Versiegelte Flächen sollten deshalb, sofern sie nicht entsiegelt werden können, mit Hilfe von Ausgleichsflächen und Retentionsflächen kompensiert werden. Dabei kommt vor allem den Dächern ein besonderer Stellenwert zu, weil sie in Siedlungen einen sehr großen Anteil der versiegelten Fläche einnehmen und deshalb begrünt werden sollten, um den Abfluss in die Kanalisation zu reduzieren (Umweltbundesamt 2016).

Neben der Geschwindigkeit ist auch das deutlich höhere Volumen an abzuleitendem Wasser Ursache viele Probleme. Fezer 1995 nennt für Wohnviertel eine Ableitungsrate von Niederschlagswasser in das Kanalnetz von 30-50% und für Geschäftsviertel von 70-95% (Fezer 1995). Der Zusammenhang zwischen Versiegelungsgrad und Hochwasserabfluss ist in Abbildung 10 dargestellt. Wie zu erkennen sind die Spitzen und das unter der Kurve liegende Volumen direkt von der Versiegelung abhängig. Es ist kaum eine zeitliche Verzögerung der Abflussspitze feststellbar.

**Abbildung 10: Zusammenhang zwischen Hochwasserabfluss und Versiegelungsgrad**



Die Intensität von Starkregenereignissen liegt oftmals über den für den Kanalbau herangezogenen Bemessungsregen, wodurch die hydraulische Kapazität des Systems überschritten wird. Zusätzlich wird durch die zunehmende Versiegelung auch im Bestand die zu entwässernde Fläche für die bestehende Infrastruktur immer größer, was die Leistungsfähigkeit verringern kann, sofern das System nicht an die zusätzliche Fläche angepasst wird (Brasseur et al. 2017). Die Folge sind Überschwemmungsereignisse auf Grund des hohen abzuleitenden Regenwasservolumens. Die unmittelbare Einleitung von nicht gereinigtem Mischwasser (im englischen sewage overspill bezeichnet) in



die Vorfluter mit sehr hohen Abflussspitzen, führt neben der Verschmutzung zu zusätzlichen hydraulischen Druck auf das Gewässer. Die Reduktion der versiegelten Fläche sowie die Infiltration und Retention von Niederschlagswässern können dieser Problematik entgegen wirken und sind durch raumplanerische Maßnahmen in den Gemeinden steuerbar (Patt 2018). Teilweise gehen Starkniederschläge mit Hagel einher, wodurch die Gefahr von lokalen Überschwemmungen noch mehr verschärft wird, da der Hagel die Kanalgitter verstopfen kann. Darüber hinaus zählt das nicht regulierte Abfließen von Niederschlagswassers über freies Gelände außerhalb von Gewässern zu den Gefahren von Starkniederschlagsereignissen (Umweltbundesamt 2016). Eine Trendvorhersage bezüglich der Häufigkeit und Intensität sowie des räumlichen Bezugs von Starkniederschlagsereignissen ist schwer vorherzusehen, da die Erfassung solcher Ereignisse kaum möglich ist und die Vorhersage dadurch ebenso (Haas et al. 2008).

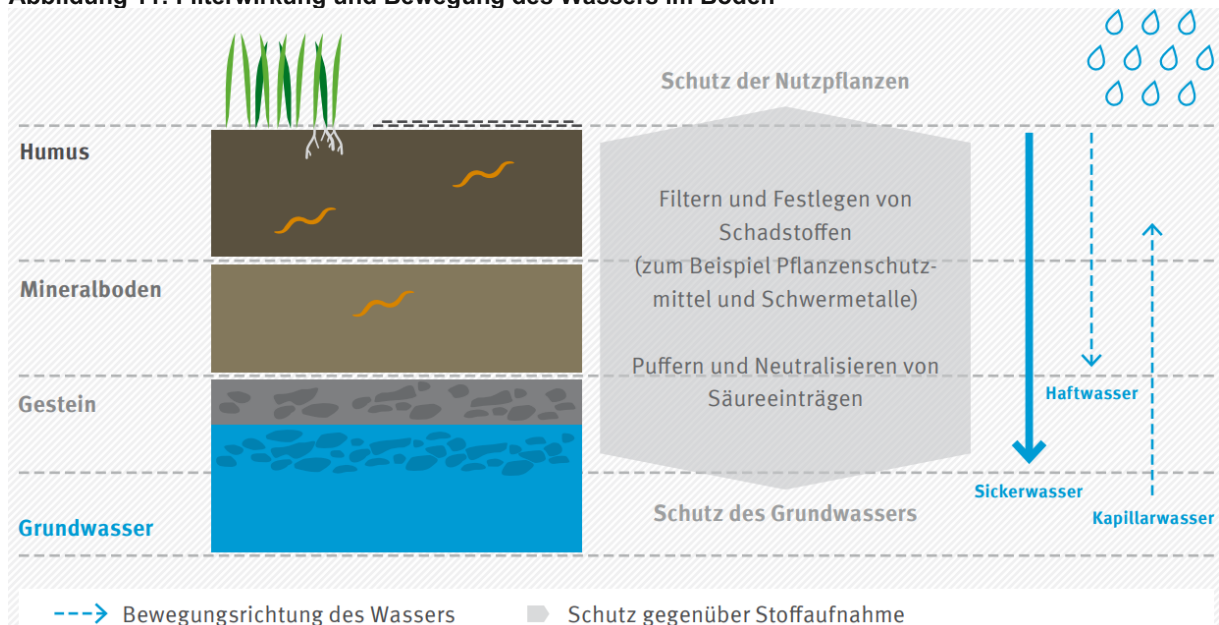
Dem nachhaltigen Flächenmanagement kommt bei der Bewältigung von pluvialen Ereignissen ein großer Stellenwert zu. Die Flächennutzung sollte die Überflutungsgefahr reduzieren indem Retentionsräume mit Böden, die gute Versicherungsfähigkeiten besitzen, geschaffen oder erhalten werden. Besonders von einer weiteren Zunahme der Versiegelung muss Abstand genommen werden. Auf lokaler Ebene eignen sich Parks und Spielplätze als temporäre Freihalteflächen. Ihnen kann im Ereignisfall eine temporäre Funktion als Retentionsbecken oder Rückhaltebecken zu kommen. Die Erfassung von gefährdeten Arealen, die Ermittlung und Entfernung von potentiellen Abflusshindernissen und die Optimierung der Abflusswege als auch die Errichtung von alternativen Notwasserwegen zur sicheren Ableitung von extremen Regenmengen sind zu nennen (Umweltbundesamt 2016). Dabei sind spontane Fehlanpassungen zu vermeiden und auf eben diese zusätzlich Nutzung der Maßnahmen zu achten um positive Synergien zu erschaffen. Insbesondere die fortschreitende Versiegelung von Flächen verstärkt das Problem und erweist sich als äußerst kontraproduktiv im Umgang mit pluvialen Risiken (BMNT 2018).

Das Ziel, besser mit Starkregenereignissen auf lokaler Ebene umzugehen, kann durch dezentrale Maßnahmen, grüne und blaue Infrastruktur sowie Regenwassermanagement erreicht werden. Daneben ist ein ressourcensparender Umgang mit Wasser nicht nur nachhaltig sondern auch erforderlich. Eine Strategie gegen Niederrwasser, die durch Dürreperioden auf Grund des Klimawandels verstärkt in Erscheinung treten werden, sollte deshalb auch bei der Planung berücksichtigt werden. Die Planung hat deshalb zur Aufgabe, sich rechtzeitig auf Gefahrenszenarien vorzubereiten, Risiken vorzubeugen, und aus entstandenen Risikoereignissen die Konsequenzen für zukünftige Entwicklungen zu setzen (Koch 2015).

### 3.4 Bodeninfiltration

Ob der Abfluss von Niederschlag ober- oder unterirdisch erfolgt hängt einzig von der Infiltration ab. Unter Infiltration wird der Teil des Niederschlagsvolumens verstanden, der weder verdunstet noch abläuft. Ob Wasser in den Boden infiltrieren kann, hängt dabei von der Beschaffung des Bodens und ob dieser gesättigt oder ungesättigt ist, ab. Gesättigt und ungesättigt geben Aufschluss darüber wieviel Wasser sich zwischen den Poren im Boden befindet. Die Menge des Wassers die in das Grundwasser einsickern kann und wieviel Wasser im Boden verweilt hängt von der Bodenart sowie der Struktur des Bodens ab. Stadtböden besitzen auf Grund der langen Bautätigkeiten sehr unterschiedliche Eigenschaften die Bodeninfiltration betreffend. Der Infiltration fällt daher ein außerordentlich hoher Stellenwert in der Wasserbilanz zu. Es ist folglich anzuraten, je nach Standort, Informationen zum Boden einzuholen, bevor mit der Planung zu Regenversickerungsanlagen begonnen wird. Verschmutzungen von Gewässern sind dabei sorgfältig zu vermeiden. Hier kommt auch die Funktion des Bodens als Reinigungs- und Filtrationsebene zum Tragen. Dadurch können Schadstoffe natürlich gefiltert und durch den Boden selbst umgewandelt werden. Dies ist nur so lange möglich, so lange die Speicherkapazität nicht überschritten ist (Marahrens et al. 2015). Den größten Anteil an der Filterwirkung durch chemische, biologische, mechanische und physikalische Wirkmechanismen, die schematisch in Abbildung 11 dargestellt ist, haben die obersten 30cm einer Humusschicht (Grimm 2018).

**Abbildung 11: Filterwirkung und Bewegung des Wassers im Boden**



(Quelle: Marahrens et al. 2015)

Wie bereits im Vorfeld erwähnt, fällt die Verdunstung im urbanen Raum geringer aus als in einer naturnahen Umgebung auf Grund der raschen Ableitung des Niederschlagswassers aber auch auf Grund von porösen Oberflächenmaterialien, wie Kies, der Wasser schnell in den

Boden überführt (Hupfer & Kuttler 2006). Neben der Grundwasserneubildungsrate ist auch die Qualität des städtischen Abflusswassers im Bezug auf das Grundwasser wichtig für die ökologische Integrität der Umwelt. Der Transport von oberflächlichen Schadstoffen, wie Schwermetallen, Ölen, Reste des Straßenbelags, sowie Düngemittel erfolgt dabei vorrangig durch Regenwasser. Ein ungefiltertes Eindringen in das Grundwasser oder in die Vorfluter stellt ein ökologisches Problem dar, insbesondere dann, wenn das jeweilige Gewässer als Quelle für die Wasserversorgung der Bevölkerung dient (Henninger 2011).

Der ÖWAV unterscheidet fünf Typen von Flächen nach deren Verschmutzungsgrad. Die stoffliche Belastung stellt einen wichtigen Teil in der Planung im Umgang mit Niederschlagswasser dar, weil der Schutz und die Reinhaltung des Grundwassers ein erklärtes Ziel der Abwasserbewirtschaftung sind. Je nach Kontaminationsgrad ist eine entsprechende Reinigung des Wassers nötig, die auch durch entsprechend gestaltete Filter- und Reinigungsfunktionen des Sickerbodens während des Versickerungsprozesses gewährleistet sein kann (Geiger et al. 1995). Tabelle 8 kategorisiert die mögliche Regenwasserverunreinigung nach Art der Fläche und die nötige Anforderung an die Reinigung und Versickerung.

**Tabelle 8: Flächentypen und Reinigungsanforderungen nach Flächentyp**

Flächentyp	Art der Fläche	Anforderung
F1	Dachflächen, normal verschmutzt, mit üblichen Anteilen an unbeschichteten Installationen aus Cu, Zn, und Pb (<5-10% der Gesamtfläche)	Die Versickerung über die Oberbodenpassage ist anzustreben; die unterirdische Versickerung ohne Oberbodenpassage gilt aber als unbedenklich.
F2	Rad und Gehwege. Hofflächen und Parkplätze für PKW ohne häufigen Fahrzeugwechsel in Wohngebieten und mit diesen vergleichbare Gewerbegebiete, saisonal genutzte Parkplätze (z.B. Badeteiche) mit einem durchschnittlichen Verkehrsaufkommen (DTV) bis 500 Kfz/24h. Straßen mit einem durchschnittlichen Verkehrsaufkommen (DTV) bis 500 Kfz/24h (Wohnstraße)	Die Versickerung über die Oberbodenpassage ist anzustreben. Die unterirdische Versickerung ohne Oberbodenpassage kann in Ausnahmefällen toleriert werden, wenn auf Grund der Untergrundverhältnisse eine Verunreinigung des Grundwassers nicht zu erwarten ist und eine geeignete Vorreinigung (z.B.: Schlammfänge, Adsorptionsfilter(matten)) ausgeführt wird. Die Flächenversickerung über durchlässige Beläge ist in der Regel zulässig.
F3	Straßen mit einem durchschnittlichen Verkehrsaufkommen (DTV) von 500 bis 15.000 Kfz/24h. Parkplätze für PKW ohne häufigen Fahrzeugwechsel, die nicht dem Typ F2 zugeordnet werden können. Park- und Stellflächen für LKW, sofern eine wesentliche Verschmutzung des Niederschlagswassers durch Emissionen aus den Fahrzeugen (z.B.: Verlust von Treib- und Schmierstoffen, Frostschutzmittel, Flüssigkeiten aus Brems- und Klimatisierungssystemen etc.) mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. Betriebe Verkehrsfläche, sofern eine wesentliche Verschmutzung des Niederschlagswassers durch Ladegutverlust oder Manipulation (Tätigkeiten auf diesen Fläche) mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann.	Die Versickerung über die Oberbodenpassage ist in der Regel zulässig und anzustreben. Die Flächenversickerung über durchlässige Beläge ist in Ausnahmefällen zulässig, wenn auf Grund der Untergrundverhältnisse eine Verunreinigung des Grundwassers nicht zu erwarten ist.
F4	Dachflächen mit erhöhten Anteilen an unbeschichteten Eindeckungen und Installationen aus Cu, Zn und Pb, wenn bei Versickerungsanlagen $A_{\text{Metall}} > 50\text{m}^2$ und bei Einleitung in Oberflächengewässer $A_{\text{Metall}} > 500\text{m}^2$ ist. Parkplätze für PKW mit hohem Fahrzeugwechsel (z.B. Einkaufszentren). Straßen mit einem durchschnittlichen Verkehrsaufkommen (DTV) über 15.000 Kfz/24h (Straßen mit in der Regel mehr als zwei Fahrspuren) und überregionaler Hauptverkehrsstraße unabhängig vom Verkehrsaufkommen. Straßen, Plätze und Hofflächen mit starker Verschmutzung z.B. durch Landwirtschaft, Fuhrunternehmen, Reiterhöfe und Märkte	Die Versickerung über die Oberbodenpassage ist in der Regel zulässig und anzustreben. Eine Vorbehaltung von der Versickerung ist in der Regel erforderlich. Die Versicherungsleistung ist unabhängig von der Durchlässigkeit ( $k_f$ Wert) des verwendeten Bodens höchstens mit $10^{-5}$ m/s (= 0,6mm/min) anzusetzen.
F5	Park- und Stellplätze für LKW mit häufigem Fahrzeugwechsel, sofern eine wesentliche Verschmutzung des Niederschlagswassers durch Emissionen aus den Fahrzeugen nicht mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. Betriebe Verkehrsflächen, sofern eine wesentliche Verschmutzung des Niederschlagswassers durch Ladegutverlust oder Manipulation (Tätigkeiten auf diesen Flächen) nicht mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann.	Die Versickerung ist in der Regel nur mit Vorbehandlung vor der Versickerungsanlage mit anschließender Kontrollmöglichkeit zulässig.

Quelle: ÖWAV Regelblatt 35 (2003)

### 3.5 Kanalnetz

Das städtische Kanalnetz leitet Abwasser und Regenwasser aus hygienischen und gesundheitlichen Gründen, sowie zur Vermeidung von Überflutungen in Siedlungsgebieten und zum Schutz der Umwelt und des Grundwassers ab. In Österreich sind alle Siedlungsgebiete mit mehr als 2.000 EinwohnerInnen an eine Kanalisation und ein Klärwerk angeschlossen, wodurch ein Schutz des Grundwassers und der Umwelt erreicht werden kann.

In der EU Wasserrahmenrichtlinie wurde spätestens für 2027 das Ziel gesetzt, für alle Gewässer einen guten Zustand erreichen. Kanäle und Klärwerke sind wesentlich zum Beitrag dieser Ziele verantwortlich (BMTN 2019). Zu den daran beteiligten Infrastrukturkomponenten zählen Pumpen, Reservoirs, Kanäle, Rohre und Leitungen sowie Abwasseraufbereitungsanlagen. Diese Infrastruktur, die dem Schutz der Bevölkerung und Gebäude dient, ist neben dem hohen Versiegelungsgrad in Siedlungsgebieten für die rasche Ableitung von Regenwasser in die Vorfluter und für die gehemmte Einsickerung in den Boden verantwortlich. Für verunreinigte und mit Schadstoffen kontaminierte Abwässer ist dieses „End of Pipe“ System immer noch Stand der Technik, für die Ableitung von sauberem Regenwasser ist allerdings ein Umdenken erkennbar und anstrebenswert. So wurden vom österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband Richtlinien und Normen bezüglich der Verbringung von Niederschlagswässern überarbeitet, dass diese, sofern sie nicht stark belastet sind, durch Versickerung dem natürlichen Wasserkreislauf zugeführt werden (ÖWAV-RB 9 2008). Rechtlich betrachtet ist die Ableitung von Niederschlagswasser über die Bauordnung sowie über diverse Bestimmungen in Gesetzen der Länder verankert (Kleidorder et al. 2019).

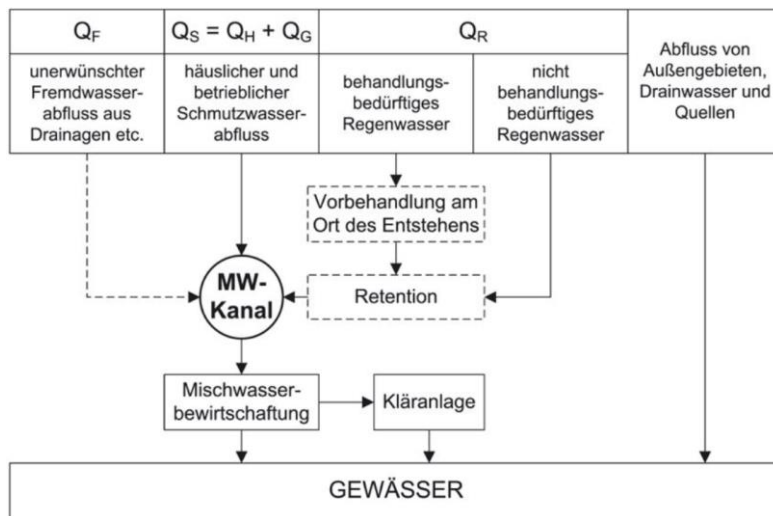
Hinsichtlich der Ableitung von Abwässern lassen sich zwei grundlegende Typen unterscheiden, die zusätzlich jeweils eine modifizierte Variante mit Versickerungsmöglichkeiten für Regenwasser enthalten. Diese sind nachfolgend kurz beschrieben.

### 3.5.1 Mischsystem

Unter einem Mischsystem versteht man das gemeinsame Ableiten von Schmutz- und Niederschlagswasser. Das Regenwasser müsste nicht notwendigerweise in einer Kläranlage nachbehandelt werden. Der Anteil des Schmutzwassers beträgt nur wenige Prozent des maximalen Regenvolumens, weshalb die Bemessung des Kanals anhand des Regenabflusses erfolgt. Um sowohl den Kanal, aber auch die Kläranlagen nicht zu überlasten, sind innerhalb des Systems Retentionsbecken erforderlich, die allerdings bei extremen Niederschlagsvolumina an ihre Kapazitätsgrenze stoßen. Um diesen Problemen entgegen zu wirken, ist es wichtig die Abflussspitzen des Regenwassers zu reduzieren in dem es vor Ort zwischengespeichert und zeitverzögert in das System eingeleitet wird. Zu den Vorteilen des Mischsystems zählen unter anderem die geringeren Errichtungskosten, der geringere Platzbedarf, weil nur ein Kanal benötigt wird, sowie die einfachere Gestaltung des Netzes und der Bauwerke. Nachteilig ist anzusehen, dass es zu Ablagerungen auf Grund von zu geringer Durchflussvolumina, wenn nur Schmutzwasser transportiert werden kann, die größere Dimensionierung und Einbautiefe des Kanals der für Regenwassermengen konzipiert werden

muss, und die starken Schwankungen im Abflussregime zur Kläranlage. In Abbildung 12 ist das Schema des Mischsystems dargestellt (ÖWAV Regelblatt 9, 2008).

**Abbildung 12: Schema des Mischsystems**

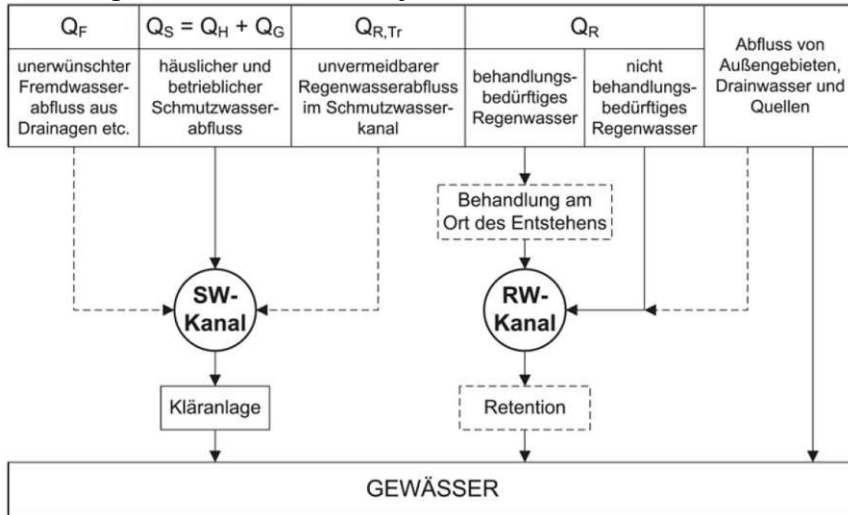


Quelle: ÖWAV Regelblatt 9, 2008

### 3.5.2 Trennsystem

Wie vom Namen des Systems abgeleitet werden kann, wird das Schmutzwasser und das Niederschlagswasser jeweils in getrennten Kanalrohren abtransportiert. Das Schmutzwasser wird vollständig zur Aufbereitung in die Kläranlage transportiert, wobei eine Einleitung von nicht behandlungsbedürftigen Wasser zu vermeiden ist, um das Schmutzwasser nicht unnötig zu verdünnen und somit die Aufbereitung zu erschweren. Regenwasser wird dabei je nach Schadstoffbelastung vor Ort gereinigt, oder bei geringer Belastung direkt in einen Vorfluter, der die entsprechende hydraulische Kapazität aufweisen muss, entwässert. Je nach Kapazität des Vorfluters ist eine weitere Retention des Niederschlagswassers vor Ort nötig. Als Vorteile des Trennsystems gelten die gleichmäßige Belastung der Kläranlage, die dadurch effizienter wirken kann und die geringere Gefahr von Ablagerungen im Schmutzwasserkanal. Darüber hinaus können Retentionsbecken für das Regenwasser oberflächlich und naturnahe angelegt werden und in die Landschaftsplanung miteinbezogen werden. Nachteilig sind die größeren Baukosten und das längere Kanalnetz anzusehen (ÖWAV Regelblatt 9, 2008)

**Abbildung 13: Schema des Trennsystems**



Quelle: ÖWAV Regelblatt 9, 2008

### 3.5.3 Transportmulden und Gräben

Neben unterirdisch verlaufenden Kanälen sind auch oberflächlich verlaufende Transportrillen für Niederschlagswasser geeignet. Diese können naturnahe gestaltet sein, wodurch das Wasser durch die höhere Oberflächenrauigkeit langsamer abfließt und Abflussspitzen abgeflacht werden. Sie können den Regen in Retentionsbecken, Versickerungsmulden oder Vorfluter einleiten, wobei das Wasser auf dessen Weg zusätzlich Verdunsten und Versickern kann (Grimm 2010).

### 3.5.4 Grundwasser

Grundwasser steht für einen bestimmten Bereich im Boden, der mit Wasser gesättigt ist und in dem sich das Wasser auch weiterbewegt. Für Österreich bedeutende Vorkommen liegen als Porengrundwasser in Tal- und Beckenlagen, sowie in den Alpen als Karst- und Klufftgrundwasser vor. Das Grundwasser ist für die Trinkwasserversorgung äußerst wichtig und bedarf eines besonderen Schutzes. Durch menschliche Aktivität, wie Siedlungsbau oder Landwirtschaft können Schadstoffe in das Grundwasser eindringen (Umweltbundesamt 2019).

Die verminderte Grundwasserneubildungsrate sowie ein sich absenkender Grundwasserspiegel im urbanen Raum sind Folgen der hohen Versiegelung, die eine Infiltration von Niederschlagswasser in den Boden hemmen. Materialien mit hohen Fugenteilen und Kies, der als Verdunstungssperrschicht aufgetragen wurde, können allerdings auch eine verbesserte Neubildung von Grundwasser hervorrufen als landwirtschaftliche Nutzflächen. Als Ursache führen Hupfer und Kuttler (2006) den durch die

Oberflächenversiegelung verbesserten Schutz gegen Verdunstung im Untergrund an. Dies ist allerdings nur für sehr geringe Anteile an der Gesamtversiegelung so. Durch längere Trockenperioden auf Grund der Klimaänderung nehmen die Pegelstände von Gewässern, aber auch jene des Grundwasserköpers ab, was insbesondere nördlich der Alpen in Österreich zu einer Reduktion des Grundwasserspiegels führt (BMNT 2018). Ökologische Stresssituationen treten auch bei städtischem Grün auf, dass durch einen verminderten Grundwasserspiegel in Kombination mit der Überhitzung der Stadt zu Schäden, Austrocknung und früherem Laubabwurf führt. Dies wiederum senkt die Evapotranspirations- und Interzeptionsverdunstungsrate in der Flora, was in weiterer Folge zu vermehrter Hitzebelastung führt (Henninger 2011). Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass Böden im urbanen Raum trockener sind als in ruralen Gebieten. Ist der Wasserspeicher im Boden erschöpft und keine Evaporation mehr möglich, ist die Oberflächentemperatur fast ausschließlich vom Albedo der Oberfläche sowie der Materialeigenschaften abhängig (Oke 2013).

### 3.6 Hydrologische Herausforderungen in Kleinstädten

Planung mit dem Umgang von oberflächlich abfließenden Wasser stellt innerhalb des Siedlungsraums einen wichtigen Teil zur Wahrung der naturräumlichen Integrität, des Mikroklimas und dem Schutz gegen Überschwemmungsereignisse dar. Durch eine Planung, die sich am natürlichen Wasserkreislauf und Abflussverhalten orientiert, können negative Einflüsse der Überwärmung durch fehlende Verdunstungsvorgänge, Überlastung der Kanalisation durch rasche Ableitung des Regenwassers und lokale Überflutungsgefahren bei extremen Wetterereignissen reduziert werden.

Konventionelle Abwasserentsorgungssysteme leiten das komplett anfallende Abwasser aus Siedlungsräumen gemischt und verdünnt zu einer zentralen Kläranlage, die das Wasser aufwändig reinigt. Gebiete mit geringer Siedlungsdichte, wie dies in Kleinstädten häufig gegeben ist, weisen hohe Infrastrukturkosten, auch für die Wasserver- – und Entsorgung auf. Als leitungsgebundene Infrastrukturen mit langer Nutzungsdauer unterliegen sie einer geringen Flexibilität im Bezug zu neuen Rahmenbedingungen und haben hohe, nicht rückgängig machbare Investitionskosten. Auf Grund von Veränderungen von außerhalb, wie demographische Verschiebungen, die die Nutzerzahlen der Kanalisation ändern, und des Einflusses des Klimawandels ist eine nachhaltige und langfristige Planung von besonderer Bedeutung. So können sich in Zukunft vor allem in gering verdichteten Gebieten sehr hohe Kostensteigerungsraten ergeben, weshalb sich in diesen Gebieten vor allem dezentrale bis



semidezentrale Konzepte als vorteilhaft erweisen. Dezentral aufgebaute Netze und Ansätze können in diesen Raumstrukturen sinnvolle Optionen und Ergänzungen zu den herkömmlichen Systemen darstellen. Dabei können mit Hilfe integrierter Sanitärssysteme unterschiedliche Abwasserteilströme ihrer jeweilig notwendigen Wasseraufbereitung zugeführt werden und weiterverwendet werden. Behandeltes Grauwasser, etwa Abwässer aus Dusche und Bad, und Regenwasser kann technisch zu Betriebswasser aufbereitet werden oder im Außenbereich für die Bewässerung eingesetzt werden, wodurch vor allem in Sommermonaten, bei starkem Wasserverbrauch ein ressourcenschonender Umgang vollzogen werden kann. Die zu entsorgenden Gesamtmenge des Abwassers sinkt, wodurch bei der Klärung ein geringerer Energie- und Chemikalieneinsatz geschaffen werden kann. Die Integration von neuen Wasserinfrastrukturen verläuft dabei in weiten Teilen an der Grenze zwischen öffentlichem und privaten Bereich, wodurch sich neben der direkten Auswirkungen auf den Nutzer auch Auswirkungen für andere AkteurInnen, wie BetreiberInnen und Gemeinden ergeben, weshalb ein weitreichender Informations- und Einbindungsprozess aller beteiligten Personen für das positive Zustandekommen der Projekte sinnvoll ist (Hillenbrand et al. 2016).

Vor den zu erwartenden exogenen Veränderungen sowohl in demographischer als auch klimatischer Sicht ist die Anwendung von neuen innovativen Konzepten in der Siedlungswasserwirtschaft anzustreben und auf die jeweiligen lokalspezifischen Anforderungen und Bedingungen, die die jeweiligen Kleinstädte und Siedlungen stellen, anzupassen (Hillenbrand et al. 2016). Es sind daher Maßnahmen und Projekte zu entwickeln, die auch bei sich in Zukunft ändernden Rahmenbedingungen ihre ursprüngliche Zielerfüllung auch in Zukunft ausüben können. Dabei ist es wichtig, dass der Fokus nicht nur auf einen kleinen Raum gelegt wird, sondern der Fokus auf zusammenhängende Räume gerichtet wird, um robuste Systeme zu entwickeln. Dezentrale Maßnahmen im Umgang mit Niederschlagswasser in Siedlungen zählen zu solchen robusten Systemen. Die Schaffung der notwendigen Flächen kann gezielt und rechtlich bindend, etwa durch Flächenwidmungs- und Bebauungspläne vollzogen werden. Während über örtliche Entwicklungskonzepte und Flächenwidmungspläne geregelt ist, welche Nutzung den Flächen langfristig zukommt, kann mit Hilfe des Bebauungsplanes eine detaillierte Maßnahme zur Verbringung des Niederschlagswassers festgelegt werden. Darüber hinaus lässt sich die Gestaltung von Flächen und die Versiegelung mit diesem Instrument steuern (Simperler et al. 2018). Eine Vielzahl von Maßnahmen der grünen und blauen Infrastruktur sind in der Lage den Beeinträchtigungen entgegen zu wirken. Darunter fallen unter anderem begrünte Flachdächer, eine infiltrationsfähige Flächengestaltung sowie begrünte Filterretentionsbecken, die die Fähigkeit, den natürlichen Wasserkreislauf wieder zu beleben, besitzen und dabei im Einklang

mit den Zielen des Österreichischen Wasser- und Abfallbewirtschaftungsverband (ÖWAV), die in den Regelblättern (ÖWAV RB 9; 2013) und Normen (EN 752; 2017) vermerkt sind, stehen.

Die Umsetzung hängt dabei von der teilräumlichen Entwicklungsdynamik und des Transformationsaufwandes ab. Die teilräumliche Entwicklungsdynamik wird dabei vor allem von ökonomischen Rahmenbedingungen beeinflusst, wie den Immobilienwerten und den langfristigen Verwertungserwartungen. Eine hohe Dynamik liegt bei hoher Investitionsbereitschaft in infrastrukturelle und bauliche Adaptierungen vor. Während die Kernzonen und innenstadtnahe Lagen von Großstädten diese Dynamik besitzen, sind in peripherere Teilräume, wie etwa auch Kleinstädte, diese Entwicklungsdynamiken nicht im selben Ausmaß gegeben. Ein Um- oder Ausbau der städtischen Infrastruktur ist deshalb nicht im selben Maße wahrscheinlich, weshalb Stadtteile in Großstädten eher einer Transformation unterzogen werden (Felmeden et al. 2010). Auf eine Umgestaltung zu verzichten wäre allerdings sowohl in klimatischer, ökologischer als auch aus nachhaltiger Sicht mit negativen Auswirkungen verbunden. Weshalb sowohl aus energie-, wasser- und umweltpolitischer Sicht die Vernachlässigung der Nutzung der Ressourcen, sowie deren Schutz, keine realistische Perspektive darstellt (Michel 2011). Deshalb müssen die bestehenden, teilweise veralteten Wasserinfrastrukturen möglichst frühzeitig an die kommenden Herausforderungen adaptiert werden und flexibel ausgestattet werden, um auf weitere Veränderungen entsprechend reagieren zu können, wodurch auch das Verständnis für einen integrierten Planungsansatz weiter an Bedeutung gewinnt (Hillenbrand et al. 2016).

## 4 Kleinstädte und lokale Klimazonen

Ogleich der Begriff der Kleinstadt im Sprachgebrauch gängig ist und es eine persönliche Vorstellung darüber gibt, was eine Kleinstadt ausmacht und welche Kleinstädte es gibt, ist der Begriff in wissenschaftlicher Sicht deutlich komplexer zu fassen. Weder gibt es eine einheitliche Definition noch eine allgemein gültige Vorgangsweise, auf Basis welcher Daten und welcher Kriterien eine Kleinstadt eingegrenzt werden könnte. Die Soziologie oder die Wirtschaftswissenschaften würden eine Kleinstadt nach anderen Merkmalen abgrenzen. Dieses Kapitel widmet sich den Fragen, wie eine Kleinstadt in Hinsicht auf den Klimawandel definiert werden kann, wo diese Kleinstädte in Niederösterreich liegen und welche Merkmale eine Kleinstadt beschreiben. Zweitens wird der Frage nachgegangen mit Hilfe welcher Modelle man räumliche Strukturen hinsichtlich des Klimas einteilen kann und welche Aussagen sich aus solchen Modellen und Einteilung ergeben.

### 4.1 Definitionsproblem Kleinstadt

Die Definition und Abgrenzung einer Kleinstadt zu anderen Siedlungstypen ist eine komplexe Aufgabenstellung und an regionale, kulturelle und nationale Begebenheiten gebunden. Dass der Begriff Stadt an sich schon schwer einzuteilen ist und in unterschiedlichen Lehr- und Sachbüchern verschieden aufgefasst wird, verdeutlicht die Komplexität dieses Begriffs darüber hinaus (Borsdorf & Bender 2010). Dabei ist die strikte Trennung zwischen Dorf und Stadt, die noch in Denkmustern zu finden ist, in Tatsache nicht mehr gegeben. Die Vielfältigkeit dörflicher und städtischer Siedlung hat zugenommen, wobei sie sich dabei unter anderem in ihrer Physiognomie einander angenähert haben, weshalb die Zunahme, auf Grund der Bandbreite und Variationen, die Definition zwischen Dorf und Stadt zusätzlich (Borsdorf & Bender 2010), und in Folge dessen auch die Abgrenzung der Kleinstadt sowohl zum Dorf hin als auch zur Stadt hin, erschwert. Die Größeneinteilung zwischen Stadt und Dorf und innerhalb von Städten hängt dabei darüber hinaus vom regionalen Kontext ab und kann sich von Land zu Land unterscheiden (Servillo et al. 2017).

Des Weiteren ist der Stadtbegriff, bzw. der Kleinstadtbegriff in Abhängigkeit vom jeweiligen Forschungsfeld zu betrachten. Siedlungen lassen sich, je nach der an sie gestellten Forschungsfrage, nach unterschiedlichen Aspekten einteilen, wie etwa deren zentralörtliche Funktion, wirtschaftliche und demographische Aspekte oder der Erreichbarkeit. In Anbetracht der hier vorliegenden Arbeit zum Thema Klimawandel, sind nicht die sozialen Strukturen

innerhalb der Kleinstadt ausschlaggebend, sondern typologische und ökologische Faktoren, die das Klima in der Stadt modifizieren (vgl. Kapitel 2.2.4) (Borsdorf & Bender 2010).

Borsdorf und Bender (2010) definieren Stadt demgegenüber wie folgt: „*Städte sind Gruppensiedlungen mit einem relativ kompakten, das heißt dichten und geschlossenen Baukörper mit hoher Wohn- und Arbeitsstätdichte, in denen nicht-agrarische Tätigkeiten dominieren, die Arbeitsteilung weit entwickelt ist und die Marktfunktion und einen Bedeutungsüberschuss gegenüber ihrem Umland (Zentralität) besitzen, die räumlich und funktional stark differenziert sind, überdurchschnittliche Anteile von Einpersonenhaushalten aufweisen, eine hohe Verkehrswertigkeit haben, weitgehend künstlicher Umweltgestaltung ökologisch relativ stark belastet sind und ein städtisches Leben aufweisen*“ (S. 80). Neben der Einteilung von Kleinstädten anhand von Merkmalsausprägungen hinsichtlich Bevölkerungszahlen und Dichte unterscheiden sich Kleinstädte von Großstädten zusätzlich anhand von unterschiedlichen Strukturmerkmalen (Borsdorf & Bender 2010). Borsdorf und Bender (2010) nennen hierfür unter anderem die Ausdehnung, die Morphologie und den Grad der Verdichtung als Faktoren, mit denen sich Räume homogener Struktur von benachbarten Räumen differenzieren lassen. Neben der Unterscheidung nach der Anzahl der BewohnerInnen grenzt sich die Kleinstadt auch hinsichtlich weiterer Eigenschaften von anderen Siedlungstypen ab. Zu diesen zählen die quantitativen Eigenschaften von mäßiger Dichte, mäßigem Freiraumanteil sowie einem hohen Anteil an Einfamilienhäusern als auch einem nicht stark ausgeprägten Wahrnehmungsraum. Morphologische Eigenschaften wie der zentrale Platz mit geschlossenen, mehrgeschossigen Häuserfronten sind charakteristische Faktoren vieler, wenn auch nicht grundsätzlich aller Kleinstädte (Hicke 2012). Spiegler (1998) sieht als wichtiges Merkmal der Kleinstadt, dass sie die Einheit der Landschaft nicht, wie etwa eine Großstadt durchbrechen, und das eine Kleinstadt und die sie umgebende Landschaft, ähnlich wie bei einem Dorf, eine Einheit bilden. So trennt er damit auch die Kleinstadt von der Großstadt ab, die die Landschaft durchtrennt und in der sich die umgebende Landschaft von der Stadt aus nicht mehr direkt erleben lässt. Folglich ist eine Kleinstadt erheblich von der sie umgebenden Landschaft geprägt, die Auswirkungen auf ihre Bedeutung und Gestaltung etwa als Kurort oder Bergwerksstädte haben. Eine Kleinstadt ist deshalb als Repräsentant des ländlichen Raumes anzusehen in der sie liegt, und sie ist in ihrer inneren Ausgestaltung, begründet durch die kulturhistorische Geschichte der Umgebung, charakteristisch für die jeweilige Landschaft (Spiegler 1998). Die Abgrenzung zur ländlichen Siedlung, deren genaue Definition oft genauso vermieden wird wie jener der Stadt, lässt sich am ehesten auf das äußere Erscheinungsbild zurückführen. Denn diese habe durch die historisch bedingte agrarische Ausstattung an Gebäuden ein Erscheinungs- und ein Ortsbild, das heute noch als solches sichtbar ist, obwohl die Produktion von agrarischen Gütern eventuell nicht mehr Hauptzweck der Siedlung ist. Dazu weisen ländliche Siedlungen Siedlungsmerkmale von

geringer Größe, Dichte und Höhe der Bebauung, überwiegendem Anteil an Ein- und Zweifamilienhäusern sowie einer geringen Zentralität und Verknüpfung untereinander auf (Borsdorf & Bender 2010). Der unterschiedliche Charakter der Kleinstädte ergibt sich aus deren ursprünglichen Funktion, der Bauweise und verwendeten Baumaterialien, sowie, wie des kulturellen Umfelds (Dower 1998).

Erschwert wird die Klassifizierung darüber hinaus dahingehend, dass es in Österreich keine Norm hinsichtlich einer Definition einer Kleinstadt gibt. Laut Artikel 116 des Bundesverfassungsgesetzes besitzen Gemeinden mit einer Einwohnerzahl von mindestens 20.000 Menschen das Recht auf eigenes Statut (Stadtrecht). Sie kann deshalb zur Statutarstadt ernannt werden (B-VG Art.116 (3)). Für Deutschland wurde 1887 eine Kleinstadt mit einer Einwohnerzahl zwischen 5.000 und 19.999 EinwohnerInnen als solche definiert (Borsdorf, Bender 2010). Dass die statistische Kleinstadtdefinition weniger wichtig ist, lässt sich auch daran festmachen, dass Gemeinden auch über dem Mindestwert der jeweiligen Kleinstadtdefinition liegen können und trotz allem, auf Grund ihrer inneren Struktur und Beschaffenheit als rural und nicht als kleinstädtisch anzusehen sind. Umgekehrt ist dies ebenso möglich, und einwohnerschwache Gemeinden besitzen auf Grund in ihrer Ausstattung und baulichen Struktur den Charakter einer Kleinstadt (Elsasser 1998). Historisch bedingt kam es zur Verleihung des Stadtrechts auch bei deutlich einwohnerschwächeren Gemeinden, weshalb von der rechtlichen Definition nicht auf die Einwohnerzahl, Bevölkerungsdichte oder Größe der Stadt geschlossen werden kann (Fassmann 2009), und in Folge nicht auf klimatische Begebenheiten innerhalb einer solchen Stadt. Es ist daher immer notwendig die Einwohnerzahl im Verhältnis zur Siedlungsstruktur und Fläche zu betrachten. Dabei ist vor allem die Bevölkerungsdichte, als Maß für die Geschlossenheit des Ortes zu berücksichtigen (Borsdorf, Bender 2010).

#### **4.1.1 Einteilung nach ESPON Town**

Obwohl ein signifikanter Bevölkerungsteil der Europäischen Union in kleinen und mittelgroßen Städten lebt, und somit einen wichtigen Aspekt in Geschichte und Entwicklung Europas einnehmen, nehmen sie keinen hohen Stellenwert in der urbanen Forschung ein, weshalb der Großteil von urbanen Studien sich mit Großstädten und Metropolräumen beschäftigt (Servillo et al. 2017). Um der Problematik der unterschiedlichen Einteilung und Benennung von Kleinstädten entgegenzutreten wurden bereits einige Studien hinsichtlich einer einheitlichen Kategorisierung von urbanen Siedlungen durchgeführt. Zudem gab es die Bestrebung einer gesamtheitlichen Definition von urbanen Räumen, um diverse Studien auf Basis einer einheitlichen Nomenklatur besser vergleichbar zu machen. 2011 wurde von der Europäischen

Kommission in Zusammenarbeit mit der OECD eine neue Definition von urbanen Siedlungen, basierend auf der Bevölkerungszahl und der Einwohnerdichte erlassen und durch die Generaldirektion „Regio“ veröffentlicht (Servillo et al. 2013). Die Unterteilung erfolgt dabei auf LAU 2 Ebene, was in Österreich der Gemeindeebene entspricht, in den drei Klassen: Städte (dicht bewohnte Gebiete); Kleinstädte und Vororte (mittelstark bewohnte Gebiete); sowie rurale Gebiete (dünn besiedelte Gebiete) (eurostat 1, online). Im Projekt „ESPON Town“ wurde aufbauend auf dieser Einteilung eine detailliertere Definition für Kleinstädte entwickelt. Zum einen wurde der Fokus auf die Klassifizierung von Städten unterhalb der 50.000 EinwohnerInnengrenze gelegt, und zum anderen erfolgt die Analyse auf Basis eines Rasters in der Größe von einem Quadratkilometer und nicht mehr auf LAU 2 Ebene (Servillo et al. 2013). Ziel war es dabei auch die Wissensbasis bezüglich dieser Städte, die in der Forschung nicht viel Beachtung finden, zu vertiefen und die Bedeutung der kleinen und mittleren Städte aufzuzeigen (Servillo [2013] in Andreolli et al. 2014). Als Datengrundlage für die Einteilung dient hierfür ein Rasterdatensatz mit 1km<sup>2</sup> Ausdehnung pro Zelle, der die Anzahl der Bevölkerung, die in diesem Quadratkilometer lebt, enthält.

Diese Bevölkerungsraster wurden in Clustern zu Polygonen zusammengefasst, wobei der Fokus auf jenen Clustern lag, die weniger als 50.000 EinwohnerInnen besitzen. Kleinstädte, der Definition von „ESPON Town“ folgend, haben deshalb folgende Eigenschaften:

- Polygone mit einer Bevölkerungsdichte zwischen 300 und 1.500 Einw./km<sup>2</sup> und einer Bevölkerung zwischen 5.000 und 50.000 Menschen
- Polygone mit einer Bevölkerungsdichte von mehr als 1.500 Einw./km<sup>2</sup> aber einer Bevölkerung von weniger als 50.000 Menschen
- Polygone mit einer Bevölkerung von mehr als 50.000 Einwohnern aber einer Bevölkerungsdichte von weniger als 300 Einw./km<sup>2</sup> (Servillo et al. 2013 S. 8)

Polygone über 1.500 Einw./km<sup>2</sup> und eine Bevölkerung über 50.000 Einwohnern werden als high density urban cluster definiert, und werden im Projekt „ESPON Town“ nicht mehr zu den Kleinstädten gezählt (Servillo et al. 2013). In Niederösterreich befinden sich zwei high density urban clusters in direkter Nachbarschaft zueinander. Es handelt sich dabei um den südlich von Wien gelegenen Siedlungszusammenschluss und umfasst dabei unter anderem die Gemeinden Mödling, Guntramsdorf, und Baden, wie in Abbildung 14 zu sehen ist. Auf Grund der vielfältigen Bedeutung dieses Siedlungsraumes für Niederösterreich, und weil diese Städte im Laufe der Zeit durch immer stärker wachsende Siedlungstätigkeiten zusammengewachsen sind, sich der ursprüngliche Kleinstadtkern aber im Zentrum noch erkennen lässt, werden in der vorliegenden Arbeit diese zwei high density urban clusters im weiteren Verlauf berücksichtigt.

Polygone mit mehr als 300 Einw./km<sup>2</sup> aber eine Bevölkerung von unter 5.000 Einwohnern sind zu klein, um als Kleinstadt definiert zu werden und fallen in die Kategorie very small town (Servillo et al. 2013). Sie werden im weiteren Verlauf dieser Arbeit nicht berücksichtigt,

In der nachfolgenden Tabelle 9 sind die Siedlungskategorien nach deren Kriterien sortiert. SMST steht dabei für die ESPON Kategorisierung und bedeutet „small and medium sized towns“

**Tabelle 9: Kriterien für die Einteilung nach ESPON Town**

		Bevölkerungsdichte (Einw./km <sup>2</sup> )		
		< 300	> 300 und < 1500	> 1500
Einwohnerzahl	< 5.000	Other settlement	VST (very small town)	
	> 5.000 bis < 25.000	Other settlement	small SMST	
	> 25.000 bis < 50.000	Other settlement	medium SMST	
	> 50.000	Other settlement	large SMST	HDUC (high density urban clusters)

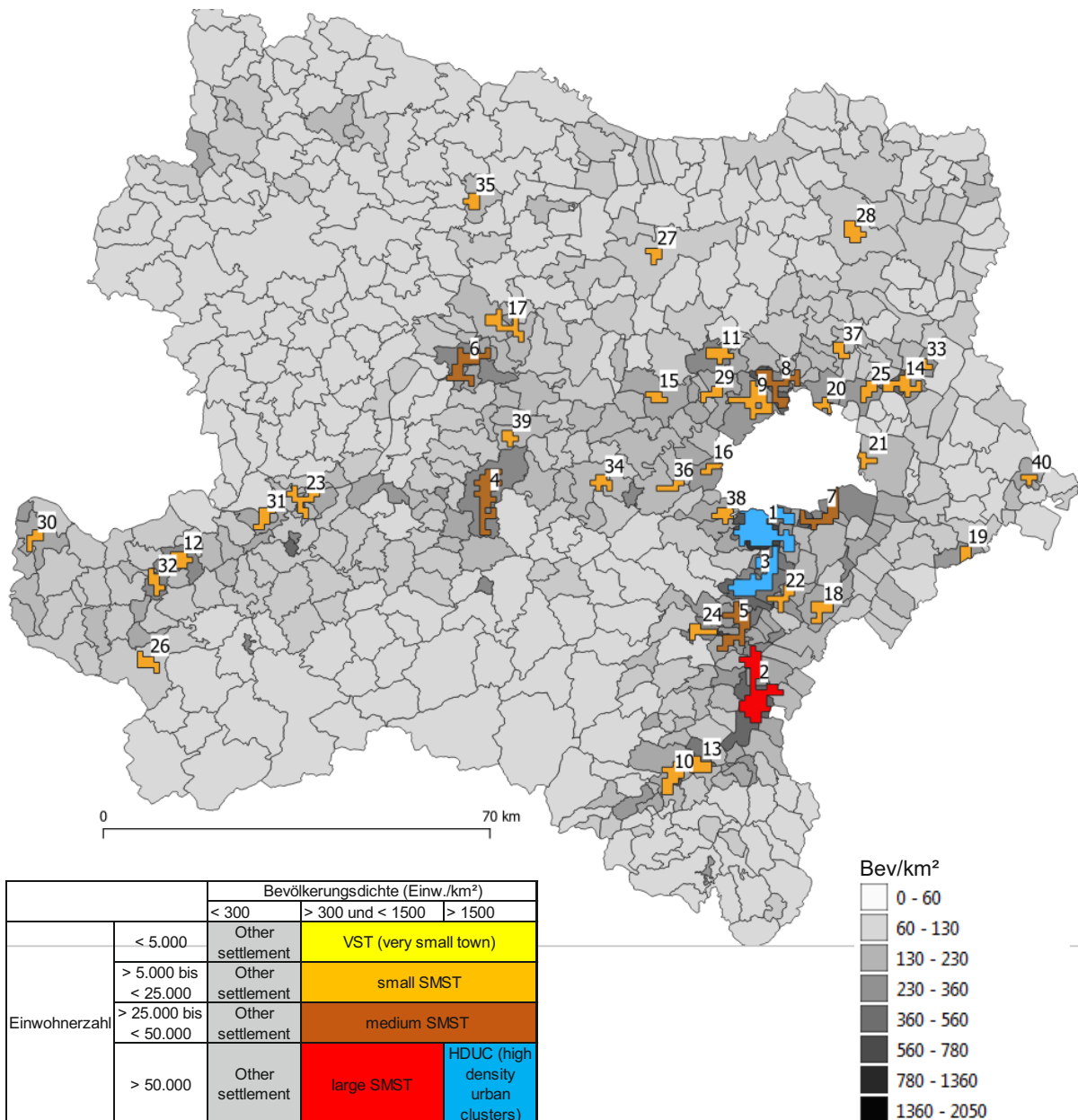
Quelle: Servillo et al. (2013)

Die vorgestellten Kriterien wurden für die hier vorliegende Arbeit nach dieser Methodik für Niederösterreich angewandt, um niederösterreichische Kleinstädte zu definieren. Die Auswertung erfolgt dabei auf Basis des Bevölkerungsrasters von eurostat (eurostat 2, online) mit einer Rastergröße von 1 km<sup>2</sup> in QGIS. Diagonale Verbindungen der Rasterzellen an den Eckpunkten waren dabei nicht zugelassen.

Der Vorteil der Einteilung der Kleinstädte auf Basis von 1 km<sup>2</sup> Rastern ist, dass im Unterschied zu einer Einteilung auf Gemeindeebene, jene Gemeinden nicht berücksichtigt werden, die zwar mehr als 5.000 EinwohnerInnen im Gemeindegebiet haben, diese aber nicht in einer zusammenhängenden Siedlung mit der angeführten MindesteinwohnerInnenendichte leben, sondern etwa in mehreren Siedlungen, verteilt über die Gemeinde, wohnhaft sind. Als anschauliches Beispiel lässt sich hier die Gemeinde Zwettl, mit knapp 11.000 EinwohnerInnen nennen. Würde man alle Gemeinden mit mindestens 5.000 EinwohnerInnen als Kleinstadt definieren, wäre Zwettl anzuführen, da aber das Stadtgebiet von Zwettl nur ca. 3.600 EinwohnerInnen umfasst und die übrige Bevölkerung in weiteren Siedlungen lebt, fällt es nach dieser Einteilung nicht unter die Kategorie einer Kleinstadt. Die Polygone zeigen überdies zusammenhängende Stadtgebiete an, die aus mehreren einzelnen Städten bestehen, aber im Laufe der Zeit zusammengewachsen sind, wie dies etwa im südlichen Umland von Wien der Fall ist. Ein Nachteil dieser Methode ist, dass Siedlungsgrenzen auf Grund des 1 km<sup>2</sup> Rasters nicht scharf abgrenzbar sind, und somit durchaus Polygone entstehen, die größer sind als tatsächliche Städte und auch auf Rasterebene zusammenhängend sind, obwohl sie dies in Realität nicht sind. Eine tiefergreifende Analyse zur Identifikation dieser Sonderformen ist aber

für die Beantwortung der hier vorliegenden Forschungsfragen nicht zwingend notwendig und wurde deshalb nicht durchgeführt. Für Niederösterreich haben sich mit der vorgestellten Methode 39 Kleinstadtcluster und 2 Cluster die dem Typ der „high density urban cluster“ umfassen definieren. Im Verlauf der Arbeit werden alle Cluster bis auf die Kategorien „other settlement“ und „very small town“ berücksichtigt. In ihnen leben ca. 640.000 Menschen (eigene Berechnung, Datenbasis: eurostat 2, online).

Abbildung 14: Niederösterreichs Kleinstadtcluster und Bevölkerungsdichte auf Gemeindeebenen



Quelle: Eigene Darstellung, eigene Berechnungen, Daten: eurostat 2; statistik.at

In der nachfolgenden Tabelle 10 sind alle in Niederösterreich ermittelten Kleinstadtbereiche aufgelistet. Die Bevölkerungsdaten können von üblichen Gemeindedaten abweichen, da nicht die Gemeindegebiete zur Bemessung herangezogen wurden, sondern Rasterdaten, auf deren



Basis die Kleinstadtbereich ermittelt wurden. Die Bereiche können auch mehrere Ortschaften umfassen. Es wurde bei der Benennung jeweils nur eine Ortschaft pro Kleinstadtbereich genannt.

Tabelle 10: Kleinstadtbereiche in Niederösterreich

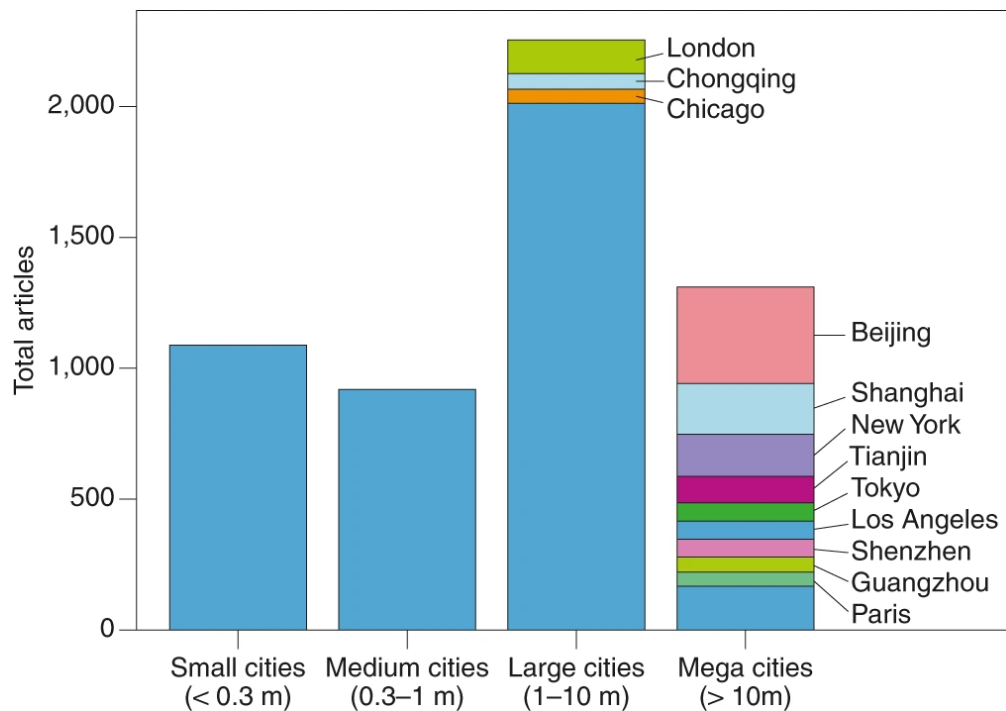
Nummer	Kleinstadtbereich	Anzahl Einw.	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Bev.Dichte [EW/km <sup>2</sup> ]	ESPON Klasse
1	Mödling	98.025	54	1.815,3	HDUC
2	Wr. Neustadt	58.904	45	1.309,0	large
3	Baden	54.730	33	1.658,5	HDUC
4	St. Pölten	43.757	31	1.411,5	medium
5	Bad Vöslau	29.557	23	1.285,1	medium
6	Krems	27.371	22	1.244,1	medium
7	Schwechat	26.578	19	1.398,8	medium
8	Korneuburg	25.883	22	1.176,5	medium
9	Klosterneuburg	22.510	21	1.071,9	small
10	Ternitz	15.530	15	1.035,3	small
11	Stockerau	14.872	10	1.487,2	small
12	Amstetten	13.305	9	1.478,3	small
13	Neunkirchen	12.459	10	1.245,9	small
14	Strasshof	11.258	16	703,6	small
15	Tulln	11.094	6	1.849,0	small
16	Purkersdorf	9.588	5	1.917,6	small
17	Langenlois	9.554	16	597,1	small
18	Ebreichsdorf	9.031	11	821,0	small
19	Bruck a. d. Leitha	8.824	5	1.764,8	small
20	Gerasdorf	8.686	5	1.737,2	small
21	Groß-Enzersdorf	8.584	6	1.430,7	small
22	Oberwaltersdorf	8.125	10	812,5	small
23	Pöchlarn	8.042	14	574,4	small
24	Berndorf	7.985	8	998,1	small
25	Deutsch Wagram	7.610	8	951,3	small
26	Waidhofen a. d. Ybbs	7.465	9	829,4	small
27	Hollabrunn	7.183	6	1.197,2	small
28	Mistelbach	7.001	11	636,5	small
29	St. Andrä-Wördern	6.740	7	962,9	small
30	St. Valentin	6.490	7	927,1	small
31	Ybbs a. d. Donau	6.467	9	718,6	small
32	Hausmening	6.426	8	803,3	small
33	Gänserndorf	6.204	4	1.551,0	small
34	Neulengbach	5.921	8	740,1	small
35	Horn	5.733	7	819,0	small
36	Pressbaum	5.671	6	945,2	small
37	Wolkersdorf	5.589	6	931,5	small
38	Breitenfurt	5.452	8	681,5	small
39	Herzogenburg	5.410	6	901,7	small
40	Hainburg	5.029	4	1.257,3	small
<b>Summe</b>		<b>644.643</b>	<b>530</b>		

Quelle: eigene Darstellung; eigene Berechnungen, Daten: eurostat 2

## 4.2 Klimaforschung in Kleinstädten

Seit dem fünften Sachstandsbericht des IPCC im Jahr 2014 hat das wissenschaftliche Forschungsinteresse am Themenkomplex der Klimawandelanpassung zugenommen. Allerdings liegt der Fokus der Studien dabei zu einem großen Teil auf Großstädten, wobei je größer und bekannter eine Stadt ist, desto mehr Aufmerksamkeit wird ihr Seitens der Wissenschaft gewidmet, wie Lamb et al. (2019) feststellten und wie in Abbildung 15 dargestellt ist.

Abbildung 15: Verteilung der Klimastudien nach Stadtgröße



(Quelle: Lamb et al. 2019) [www.nature.com/articles/s41558-019-0440-x](http://www.nature.com/articles/s41558-019-0440-x)

Kleine Städte werden in der Auswertung von Lamb et al. (2019) als Städte mit bis zu 300.000 EinwohnerInnen definiert. Daraus wird ersichtlich wie groß der Unterschied der Einwohnerzahl zwischen einer Kleinstadt aus globaler Sicht und einer Kleinstadt aus Sicht für Österreich ist. Aus der Grafik lässt sich das Überangebot an Klimastudien für Großstädte erkennen, und die daraus oft folgenden Handlungsempfehlungen, die sich vorrangig an Großstädte richten. Servillo (2017) gibt an, dass kleinen und mittleren Städten in der Forschung nicht viel Aufmerksamkeit geschenkt wird, und der Fokus vor allem auf Großstädten liegt. Er fordert, die Bedeutung der kleinen und mittelgroßen Städte in Europa stärker anzuerkennen.

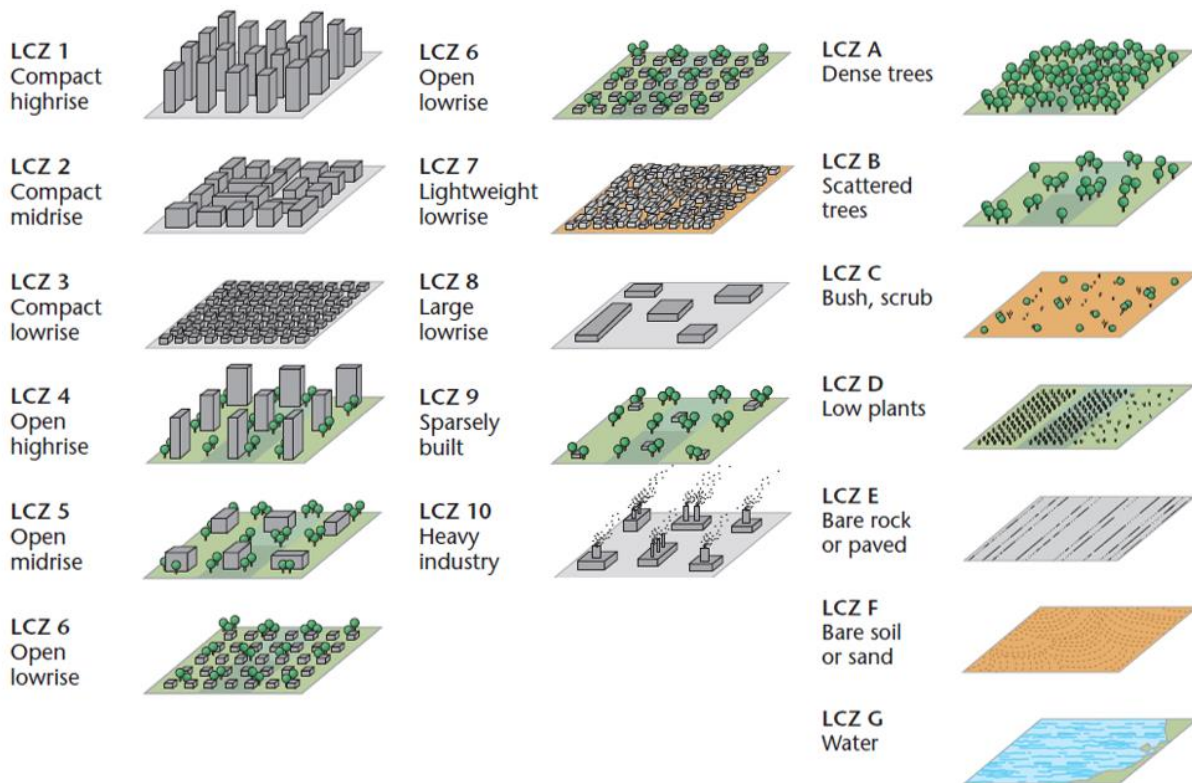
Der Herausforderung der Definition, was eine Kleinstadt ist, kann mit der Einteilung nach „ESPO Town“ Abhilfe geschaffen werden. Eine nicht einheitliche Definition erschwert den internationalen Vergleich zwischen den diversen Klimastudien unterschiedlicher Städte und in

weitere Folge möglicher Anpassungsstrategien, die sich auch national und auf Kleinstadtebene anwenden lassen würden. Eine weitere Hilfe, sowohl zum Vergleich von verschiedenen Städten anhand von einheitlichen Strukturmerkmalen und Klassen, als auch zur Abschätzung der Überwärmung innerhalb von Siedlungen, bieten die lokalen Klimazonen von Stewart und Oke (2012).

### 4.3 Modell der lokalen Klimazonen

Obwohl es zahlreiche Studien zum urbanen Wärmeinseleffekt, der als Temperaturdifferenz zwischen einem urbanen und ruralen Standort angegeben ist (Oke 2017), gibt, fehlte eine einheitliche internationale Klassifizierung, was ein urbaner oder ruraler Standort ist, weshalb es schwierig ist, die unterschiedlichen Studien und die genannten Temperaturen miteinander zu vergleichen (Alexander & Mills 2014). Auch Guerreiro et al. (2018) stellen fest, dass die Übertragbarkeit und Vergleichbarkeit von Klimastudien zwischen einzelnen Städten nicht vollends möglich ist. Neben der Vergleichbarkeit ist vor allem die unterschiedliche Ausprägung der Wärmeinsel innerhalb des urbanen Gebiets von Bedeutung, um Anpassungsmaßnahmen räumlich zu planen. Die Einteilung in „urban“ und „rural“ reicht hierfür alleine nicht aus, weil unterschiedliche Bebauungstypologien und Siedlungsformen - auch in derselben Stadt - andere Überwärmungstendenzen besitzen, weshalb eine detaillierte Sichtweise für die Ermittlung der urbanen Wärmeinseln (Stewart & Oke 2012) und in weiterer Folge für die Wahl von geeigneten Anpassungsmaßnahmen, nötig ist. Anhand der von Stewart und Oke (2012) entwickelten Systematik der lokalen Klimazonen (engl.: local climate zones), lassen sich Städte und Freiräume anhand ihrer Eigenschaften, die für das oberflächennahe Klima relevant sind, in unterschiedlichen Klassen, den lokalen Klimazonen, einteilen, vergleichen und Schlussfolgerungen über das dortige Klima ziehen (Stewart & Oke 2012). Deshalb werden lokale Klimazonenkarten immer mehr für das Verständnis sowie die Darstellung des urbanen Mikroklimas herangezogen (Johnson & Jozdani 2019). Im Zusammenhang mit dieser Klassifizierungssystematik wird lokal als räumliche Ausdehnung von  $10^2$  bis  $10^4$  Metern verstanden, das Klima als Lufttemperatur auf Straßenniveau und die Zone als Gebiet mit ähnlicher, vergleichbarer Oberflächenbeschaffenheit, Landbedeckung und Lufttemperatur (Stewart 2011). Die lokalen Klimazonen bestehen aus einem Set von siebzehn Typen und sind in Abbildung 16 abgebildet. Zehn davon lassen sich als urban (LCZ 1-10) einordnen, und sieben als rural (LCZ A bis G). Sie sind in Abbildung 16 graphisch dargestellt.

Abbildung 16: Lokale Klimazonen nach Stewart und Oke



Quelle: Oke et al. (2017)

Zur Oberflächenstruktur zählen die Höhe (highrise bis lowrise, bzw. no rise) und der Abstand von Gebäuden (compact bis sparse) sowie jener der Vegetation. Bei der Bedeckung wird zwischen unversiegelten und versiegelten Böden unterschieden. Unterteilt man die Landschaft nach diesen Gesichtspunkten, entstehen die Gruppierungen der lokalen Klimazonen. Jeder Typ ist durch eine Reihe von numerischen Werten, die die Oberfläche beschreiben, zuordnungsbar. Zu diesen Werten, zählen die durchschnittliche Gebäudehöhe, der Anteil der versiegelten Fläche, der anthropogene Wärmefluss und der sky view factor für die urbanen Typen (Stewart & Oke 2012). Die angeführten Faktoren spielen eine wesentliche Rolle in der Beeinflussung des Mikroklimas unter anderem durch die Beeinflussung des Windes, Verlust von Evapotranspirationsleistung oder die Rückstrahlung von Energie unterhalb des Dachniveaus (Demuzere et al. 2019). Das Modell der lokalen Klimazonen stellt somit ein Klassifizierungssystem dar, das bei der Beurteilung der Überwärmung und der urbanen Wärmeinsel hilfreich ist, und das unterschiedliche Standorte auf Basis gleicher Merkmalsausprägung zuordnen und vergleichbar machen kann (Stewart et al. 2012). Da die in der Literatur verbreite einfache Unterteilung in urbane und rurale Standorte in der Bewertung des Wärmeinseleffekts nicht ausreichend ist, bietet diese Klassifizierung den Vorteil, die zu vergleichenden Strukturen besser einteilen und dadurch verschiedene Städte und Studien

vergleichbar zu machen. Die duale Einteilung wird folglich durch eine detailliertere ersetzt, weil die Begriffe „urban“ und „rural“ sonst zu weit griffen.

Die lokalen Klimazonen lassen sich auf Basis der detaillierten Beschreibung der Zonen mit Hilfe geeigneter Mitteln gut in der Praxis anwenden, wie unter anderem von Demuzere et al. (2019) gezeigt wurde und im nachfolgenden Kapitel vorgestellt wird. Allerdings dürfen die lokalen Klimazonen nicht mit Klimatopen oder stadtklimatischen Bewertungskarten verwechselt werden. Bei Klimatopen handelt es sich um ein Klassifizierungssystem, das Gebäudestruktur, Landnutzung und Vegetation, aber vor allem lokale Windbedingungen und Temperaturregime berücksichtigt (Stewart & Oke 2012). Ebenso werden bei den stadtklimatischen Bewertungskarten präzise lokale Klimadaten, Geländedaten und Daten zur Bebauung, Vegetation und Landnutzung herangezogen. Bei den lokalen Klimazonen, die einen Überblick über die gängigsten Strukturtypen bieten sollen, fehlt der Input von lokalen Klimadaten. Es können aber Vorhersagen über die Überwärmendenenzen unterschiedlicher Zonen im Vergleich zu ihrem Umland getroffen werden. Die fehlenden Einflüsse von lokalen Gegebenheiten, wie des Reliefs oder der Straßenorientierung, müssen dabei aber berücksichtigt werden. Die Klassifizierung lässt sich durch Luftbilder, Fernerkundungstechniken und das direkte Messen des Höhen-Breiten Verhältnisses der Straßen und Gebäude zuordnen (Oke et al. 2017). Die lokalen Klimazonen sind eine effektive Klassifizierung, um die unterschiedlichen Energiebilanzen darstellen zu können, die die urbane Wärmeinsel beeinflussen (Stewart et al. 2012; Alexander & Mills 2014).

#### **4.3.1 Temperaturverteilung in den lokalen Klimazonen**

In zahlreiche Studien (vgl.: Alexander & Mills 2014; Cardoso et al. 2018; Fenner et al. 2014; Kovacs et al. 2012; Leconte et al. 2014; Long et al. 2018; Lotfian et al. 2019; Milosevic et al. 2016; Müller et al. 2014; Puliafito et al. 2013; Stewart et al. 2014; Verdonck et al. 2018) konnte ein Zusammenhang zwischen lokalen Klimazonen und der Temperatur festgestellt werden. Dieser Zusammenhang, der das Prinzip der LCZ untermauert, wurde in vielen Städten, darunter Dublin, Nancy, Budapest, Genf, Vancouver, Nagano, oder Novi Sad in mehrtägigen bis mehrjährigen Messreihen bewiesen.

Es wurde festgestellt, dass die LCZ 2 (compact midrise) im Vergleich zu LCZ D (low plants) wärmer ist (Verdonck et al. 2018), wobei die Temperaturunterschiede 3,2°C für Nagano, 3,5°C für Uppsala (Stewart et al. 2014) und Presidente Prudente (Cardoso et al. 2018), 4,2°C für Dublin (Alexander & Mills 2014) und 4,4°C für Nancy (Leconte et al. 2014) zwischen den beiden Zonen betragen. Müller et al. (2014) und Lotfian et al. (2019) geben die lokale

Klimazone 8 (large low rise) als fast ident mit LCZ 2 (compact midrise) an. Nur in Novi Sad war LCZ 5 (open midrise) unter Tags wärmer als LCZ 2 (compact midrise), wobei aber LCZ 2 (open midrise) in der Nacht am wärmsten war (Milosevic et al. 2016).

Als zweitwärmste Zone nach LCZ 2 (compact midrise) im Vergleich zu LCZ D (low plants) wird LCZ 3 (compact lowrise) von Alexander et al. (2014) und Cardoso et al. (2018) genannt, mit einem Temperaturunterschied von 3,1°C in Dublin, 3,6°C in Szeged und 3,8°C in Presidente Prudente. Von Milosevic et al. (2016) wird hingegen LCZ 5 (open midrise) als zweitwärmster Bereich während der Nacht angeführt. Ebenso kommen Müller et al. (2014) und Leconte et al. (2014) auf dieses Ergebnis.

Daran anschließend folgt die lokale Klimazone 6 (open lowrise), die von Leconte et al. (2014), Fenner et al. (2014), Lotfian et al. (2019) und Müller et al. (2014) kühler als die vorhergehenden Zone (LCZ 2 (compact midrise); LCZ 3 (compact lowrise) bzw. 8 (large lowrise)) aber wärmer als die nachfolgenden Zone (LCZ 9 (sparsley built) und D (low plants)) betrachtet werden.

Zur kühlfsten bewohnten Zone zählt die LCZ 9 (sparsley built), die sehr ähnliche Temperaturskalen aufweist wie die LCZ D (low plants) (Milosevic et al. 2016; Lotfian et al. 2019; Verdonck et al. 2018).

Daraus ergibt sich folgende Reihenfolge im Bezug zur Überwärmung: **LCZ 2/8 > LCZ 3/5 > LCZ 6 > LCZ 9/D (compact midrise/ large lowrise > compact lowrise/open midrise > open lowrise > sparsley built/ low plants)**. Verdonck et al. (2018) stellte jeweils einen signifikanten Temperaturrückgang zwischen LCZ 3 (compact lowrise) auf LCZ 6 (open lowrise), sowie von LCZ 6 (open lowrise) auf LCZ 9 (sparsley built) fest, der einhergeht mit der Zunahme an Vegetation.

Lokale Klimazonen mit ähnlichen Werten die Oberflächenstruktur (z.B.: Gebäudehöhe), Landbedeckung (versiegelt oder unversiegelt) und den Materialeigenschaften (z.B. Albedo) betreffend, besitzen auch ähnliche Temperatursprägungen (Milosevic et al. 2016). Folgende Zonen weisen ähnliche Temperaturen auf: 2 (compact midrise) und 8 (large lowrise) (Müller et al. 2014; Lotfian et al. 2014), 2 und 3 (Milosevic et al. 2016; Cardoso et al. 2018), 9 (sparsley built) und D (low plants) (Milosevic et al. 2016; Lotfian et al. 2019; Verdonck et al. 2018).

Die vorgestellten Studien konnten beweisen, dass die Klassifizierung der lokalen Klimazonen in vielen Städten ähnliche, bis fast idente Werte zur Überwärmung von bestimmten Zonen im Vergleich zu ihrem lokalen, nicht bebauten Umland liefern. Long et al. (2014) konnten ableiten, dass alle urbanen LCZ die urbane Wärmeinseln beeinflussen, aber dass vor allem die spezifischen, lokale Klimabedingungen, die Topografie sowie das Windregime Einfluss auf die

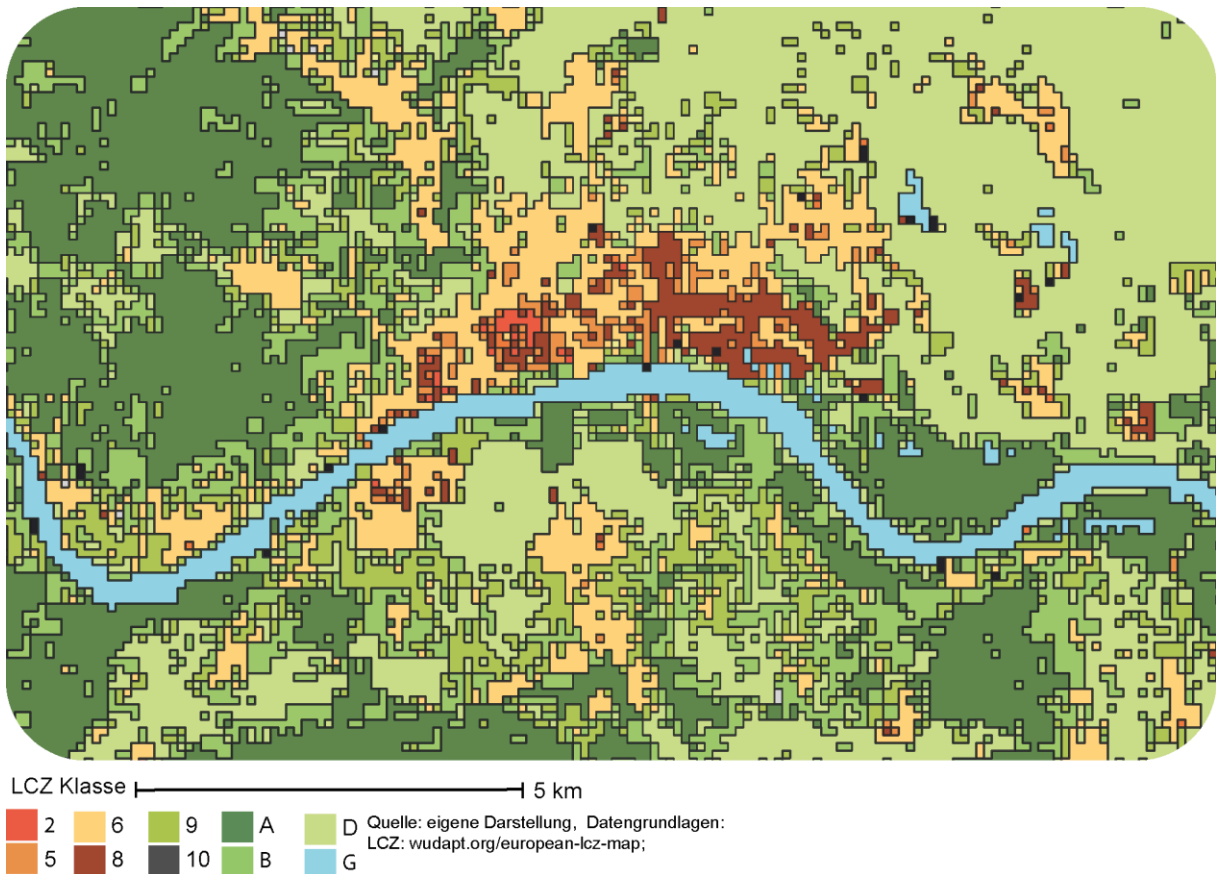
tatsächlichen Temperatursausprägungen ausüben. Vor diesem Hintergrund, dass lokale Klima- und Windverhältnisse sowie die Topografie immer noch Einfluss auf das tatsächliche Klima üben, erscheinen die lokalen Klimazonen als universell anwendbar und demzufolge auch für Niederösterreich und die dortigen Kleinstädte anwendbar. Die gewonnenen Erkenntnisse, welche lokale Klimazone eher zur Überwärmung neigen, lassen sich somit für raumplanerische Zwecke zur Klimawandelanpassung nutzen, um jene Bereiche, sowohl auf strategischer als auch auf lokaler Ebene zu erkennen, die erhöhten Anpassungsbedarf aufweisen. Die Abschätzung der Temperaturunterschiede für Stadtquartiere im Vergleich zum Umland sind auf andere Städte anwendbar und dies erlaubt die Abgrenzung von Gebieten ähnlicher Merkmalsausprägung und ähnlichen Temperaturunterschieden. Die tatsächliche Überwärmung ist dabei immer im Bezug zu den lokalen Gegebenheiten zu sehen.

Aus der Erkenntnis, welche Stadtstruktur besonders von Überwärmung betroffen ist und welche demzufolge hohen Anpassungsbedarf besitzt, können lokal zu setzende Maßnahmen identifiziert werden und Schwerpunkte in der Anpassung gesetzt werden (Hackenbruch 2018), denn Städte sind durch den größeren Bevölkerungszuwachs und –zuzug besonders gefährdet (APCC 2018). Mit Zunahme der städtischen Verdichtung und dadurch erfolgter Zunahme der Versiegelung ist es notwendig, auf den verbliebenen Freiflächen den Grünanteil deutlich zu steigern, da Begrünungsmaßnahmen und Entsiegelung zu einer mikroklimatischen Verbesserung beitragen (Wende et al. 2011) und Synergieeffekte beim Umgang mit Niederschlagswasser hergestellt werden können und müssen (BMNT 2018).

#### **4.3.2 Lokale Klimazonen in Niederösterreich**

In Niederösterreich nimmt der Siedlungsraum auf Basis der lokalen Klimazonen 9,8% der Landesfläche ein (eigene Berechnung, Datengrundlage: Demuzere et al. 2019). Siedlungen und Städte nehmen daher einen sehr geringen Teil der Oberfläche ein, und sind dennoch zum großen Teil Verursacher und Betroffener des Klimawandels zugleich. Um Stadtgrenzen zu überwinden und Wärmeinseln auf globaler Ebene vergleichbar zu machen, wurden im Projekt „Mapping Europe into local climate zones“ durch Demuzere et al. (2019) die lokalen Klimazonen für ganz Europa auf Basis eines 100x100 Rasters dargestellt. In Abbildung 17 ist ein Ausschnitt dieser Kartierung im Gebiet um Krems in Niederösterreich dargestellt. Die Vorteile der lokalen Klimazonen, wie unter anderem das Aufzeigen von räumlich ähnlichen Strukturen und Zonen, die von Überwärmung betroffen sind, die im vorangegangenen Kapitel vorgestellt wurden, werden durch die verfügbare Karte auch im Detail auf Niederösterreich anwendbar. Unterschiedliche urbane Siedlungen und Städte lassen sich miteinander, über den ursprünglichen Zweck der lokalen Klimazonen, hinsichtlich ihrer urbanen Form und Funktion

Abbildung 17: Lokale Klimazonen in Niederösterreich – Krems und Umgebung



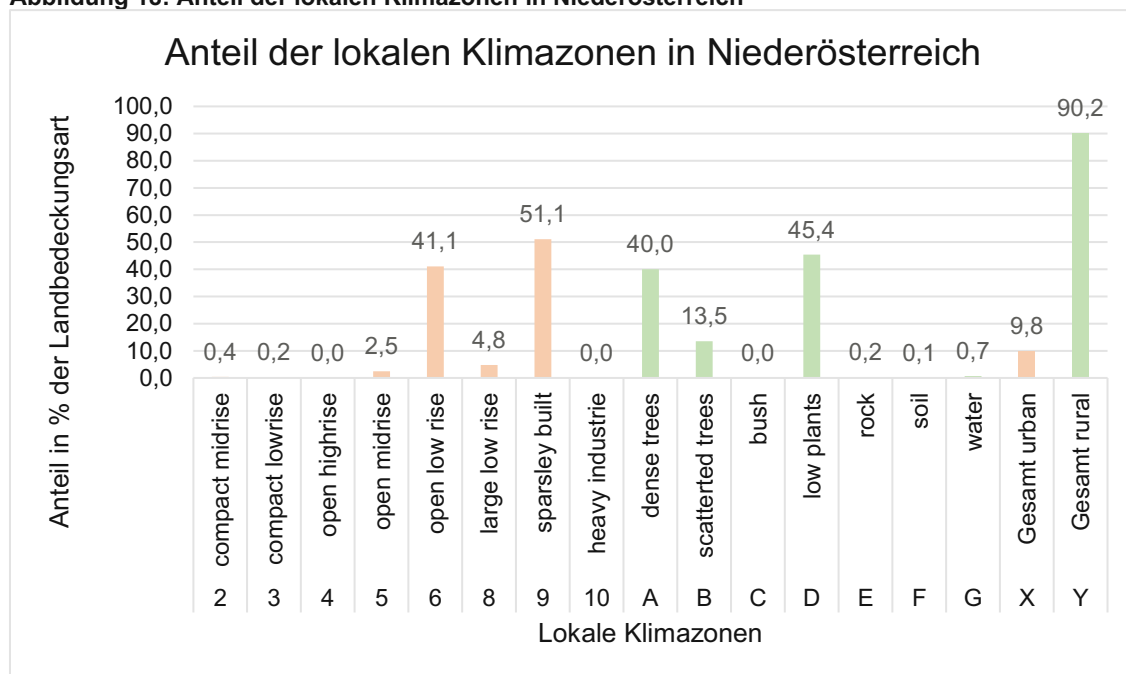
vergleichen und Areale gleicher Typologie werden erkennbar (Danylo et al 2016). Gebiete, die zur Überwärmung neigen, lassen sich auch ohne weiterführende Daten feststellen und Areale gleicher lokaler Klimazonen können sich mithilfe von ähnlichen Maßnahmen, wie den Grünflächenanteil zu erhöhen, an die Folgen des Klimawandels anpassen. Die Einschätzung zur Überwärmung erfolgt dabei allerdings immer vor dem Hintergrund, dass den lokalen Klimazonen keine Klimadaten oder Geländedaten, die auch das Klima beeinflussen, zugrunde liegen. Trotz allem sind die Vorteile als groß anzusehen, und der Nutzen, die gleichen Strukturtypen in allen Kleinstädten lokalisieren zu können, und darauf aufbauend Anpassungsstrategien benennen zu können, für die Raumplanung sehr hilfreich.

In der nachfolgenden Abbildung 18 sind die Anteile der entsprechenden lokalen Klimazone jeweils im Bezug zur Gesamtfläche der anthropogenen Zonen (LCZ Klasse 2 bis 6; 8 bis 10) beziehungsweise der natürlichen Zonen (A bis G) angegeben. Der Gesamtanteil an den anthropogenen und natürlichen Zonen an der Gesamtfläche ist ebenfalls angegeben. Aus der Abbildung 18 geht hervor, dass knapp 90% der niederösterreichischen Gesamtfläche aus den unbebauten, natürlichen Landbedeckungsklassen A-G bestehen, und knapp 10% aus den anthropogenen, menschlich beeinflussten Zonen 2-6; 8-10. Die Landbedeckungsklassen 1 und 7 kommen in Europa nicht vor. Bei den anthropogenen lokalen Klimazonen ist erkennbar, dass mehr als die Hälfte (51,1%) von der Kategorie 9 (sparsley built) gebildet werden, wobei



diese Zone vorwiegend von natürlichen Oberflächen geprägt ist, weshalb sie von Demuzere et al (2019) an sich nicht zu den anthropogenen beeinflussten Zonen gezählt wird. Die a priori Annahme, dass Niederösterreich Großteils von ländlichen Siedlungen geprägt ist, lässt sich neben dem hohen Anteil der Zone 9, die überwiegend von natürlichem Oberflächen ausgestaltet ist, und vor allem Einfamilienhäuser und Höfe umfasst, zusätzlich durch den hohen Anteil der Zone 6 (open low rise) bezeugen. Mit knapp 5% Anteil an der gesamten urbanen Flächenklassifizierung folgt die Zone 8 (large lowrise) auf dem dritten Platz. Die übrigen Zonen haben nur einen geringen Anteil an der Gesamtfläche, spielen aber für das lokale Mikroklima dennoch eine entscheidende Rolle und dürfen nicht außer Acht gelassen werden.

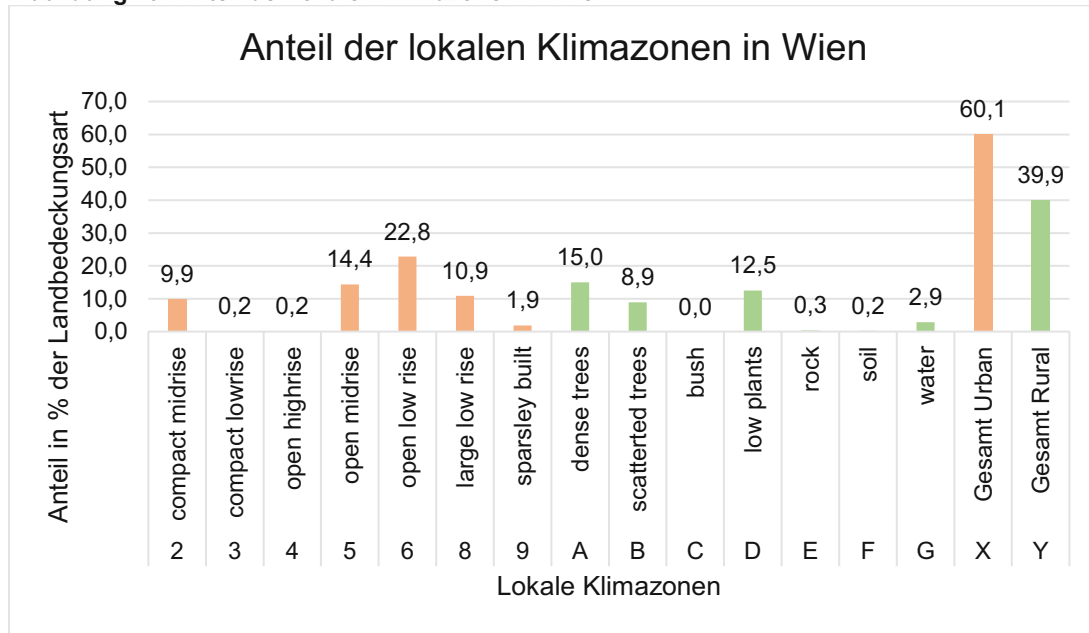
**Abbildung 18: Anteil der lokalen Klimazonen in Niederösterreich**



Quelle: eigene Darstellung, eigene Berechnung; Datengrundlage: wudapt.org/european-lcz-map

Im Vergleich zu Niederösterreich sind in Abbildung 19 die Anteile der lokalen Klimazonen an der jeweiligen Gesamtfläche (urban/rural) für Wien angeführt. Im Unterschied zur Verteilung der LCZs in Niederösterreich ist erkennbar, dass die Klasse 9 (sparsly built) nur zu geringen Anteilen vorkommt. Den Hauptanteil an der Fläche der urbanen Bebauung bildet wiederum die Klasse 6 (open low rise), gefolgt von den Klassen 5 (open midrise) und 8 (large lowrise). Die Klassen der lokalen Klimazone 3 (compact lowrise) und 4 (open highrise) haben nur geringe Anteile an der Gesamtfläche der urbanen Klassen.

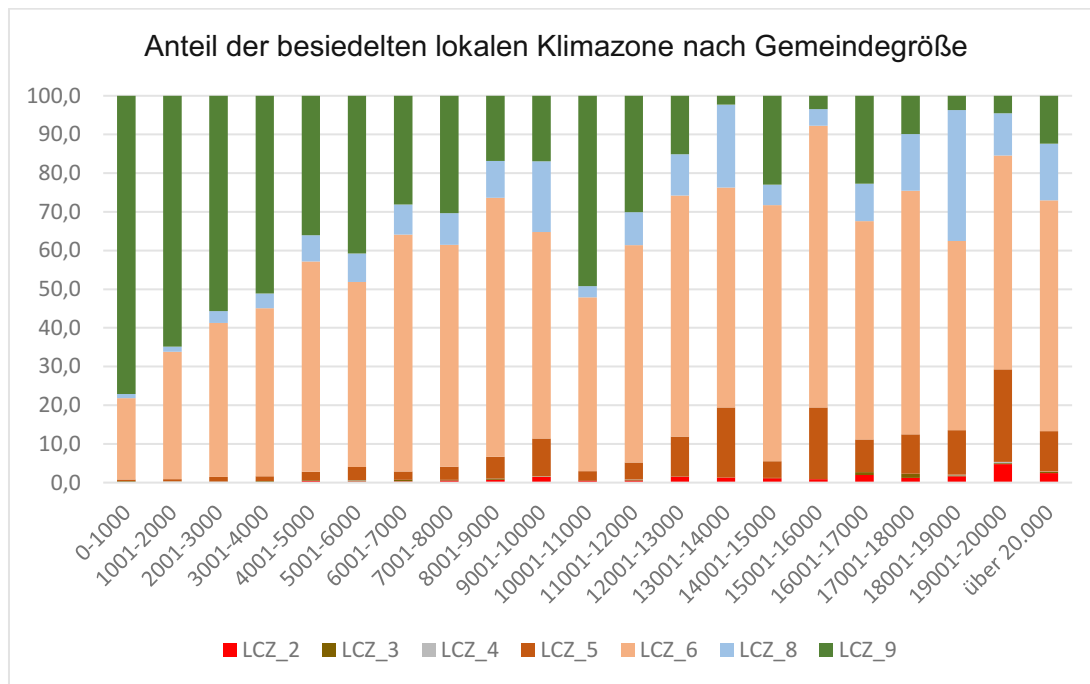
Abbildung 19: Anteil der lokalen Klimazonen in Wien



Quelle: eigene Darstellung, eigene Berechnung; Datengrundlage: wudapt.org/european-lcz-map, statistik.at

Betrachtet man die in Abbildung 20 dargestellte prozentuale Verteilung der lokalen Klimazonen auf Basis der Einwohnerzahl pro Gemeinde, fällt auf, dass mit steigender Klimazonen auf Basis der Einwohnerzahl pro Gemeinde, fällt auf, dass mit steigender Bevölkerungszahl der Anteil an Zone 9 (sparsely built) zurückgeht. Eine Ausnahme ergibt sich in den Gemeinden, die eine Einwohnerzahl zwischen 10.001 und 11.000 besitzen. Hier beträgt der Anteil an Zone 9 knapp 50%. Dies lässt sich auf die Gemeinde Zwettl zurückführen, die sehr dünn besiedelt ist (42,5 Ew/km<sup>2</sup> Gemeindefläche; bzw. 437 Ew/km<sup>2</sup> Siedlungsfläche). Mit Zunahme der Gemeindebevölkerung steigen auch die Anteile der LCZ 2 (compact highrise) und LCZ 3 (compact lowrise), wobei der Anteil der LCZ 2 generell sehr niedrig bleibt.

**Abbildung 20: Anteil der lokalen Klimazone nach Gemeindegröße**

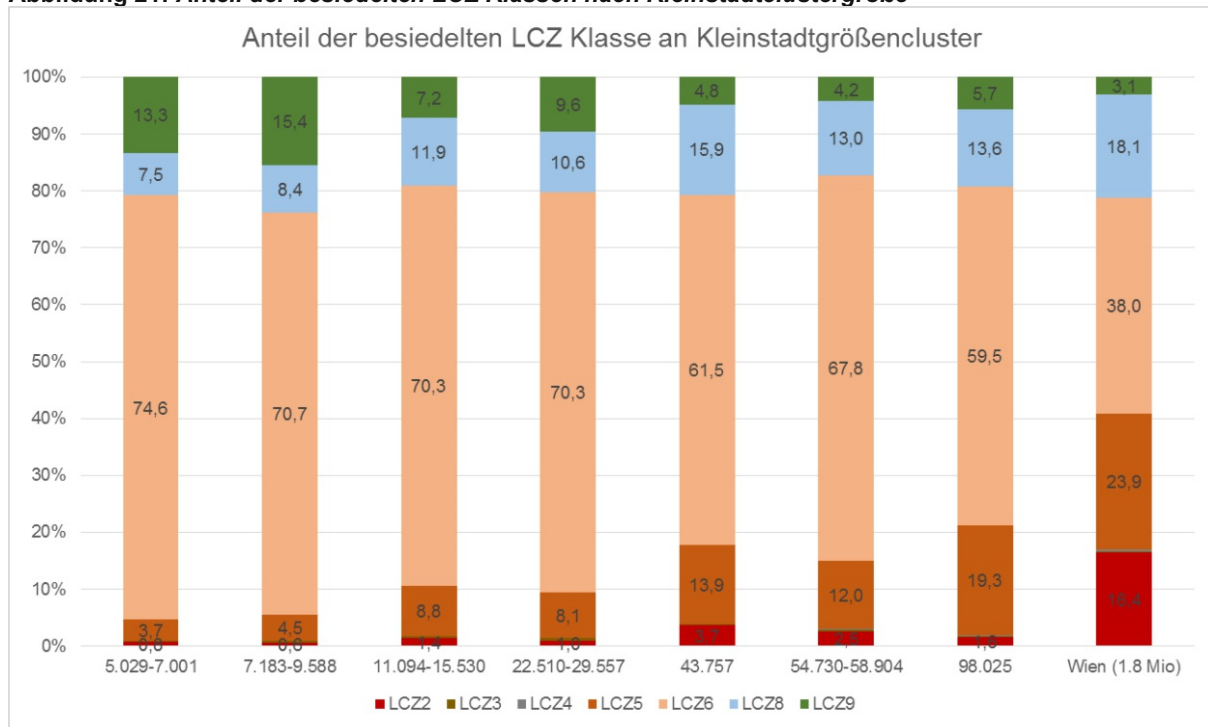


Quelle: eigene Darstellung, eigene Berechnung; Datengrundlage: wudapt.org/european-lcz-map, statistik.at

In Abbildung 21 sind für die berechneten Kleinstadtcluser (siehe Kapitel 4.1.1), die nach Bevölkerungsgröße in sieben Gruppen eingeteilt wurden, die Anteile der besiedelten LCZ Klassen (Klassen 2-6; 8-9) dargestellt. Zum Vergleich ist die Verteilung der bewohnten LCZ Klassen für Wien angegeben. Der Anteil der locker besiedelten Klasse LCZ 9 ist in Kleinstädten mit 10.000 EinwohnerInnen am deutlichsten vertreten, während der Anteil der Klasse LCZ 6 mit steigender Einwohnerzahl rückläufig ist, weil dichter bebaute LCZ Klassen, wie etwa LCZ 3 zunehmen. Die Klasse 6 bleibt dennoch die vorherrschende lokale Klimaklasse in Niederösterreichs Kleinstädten und ist in jedem Kleinstadtcluster die am meisten vertretene Klasse. Als Gründe sind hier vor allem die große Flächeninanspruchnahme der Bebauungstypologie in dieser Klasse zu nennen, die vorwiegend aus Einfamilienhäusern sowie Mehrparteienhäusern und einem geringen Anteil von Gebäuden mit Handels- und Gewerbefunktion, bestehen. Der Grünflächenanteil, insbesondere der Anteil der privaten

Gärten, gemessen an der Gesamtfläche ist in dieser Klasse mit bis zu 60% (Oke 2012), sehr hoch und ist nur in der lokalen Klimazone 9, die überwiegend von natürlichen Oberflächen bestimmt wird (Demuzere et al. 2019) höher.

**Abbildung 21: Anteil der besiedelten LCZ Klassen nach Kleinstadtclustergröße**



Quelle: eigene Darstellung, eigene Berechnung; Datengrundlage: wudapt.org/european-lcz-map, statistik.at

Die lokalen Klimazonen bieten eine weitere Möglichkeit, neben den statistischen Merkmalsausprägungen und den ortscharakteristischen Kennzeichen eine Großstadt von einer Kleinstadt zu unterscheiden. Vor allem die markante Ausprägung der Klasse LCZ 2 in Wien im Unterschied zu den Kleinstädten, wo diese mit maximal 3,7% vertreten sind, lässt auf einen flächigen, dicht bebauten und geschlossenen Siedlungskörper schließen, der in dieser Form in Kleinstädten, wie a priori anzunehmen war, nicht vorhanden ist. Zwar sind die Stadtzentren auch in Kleinstädten vielfach (27 von 39 Kleinstadtclustern) in dieser Landbedeckungskategorie kategorisiert, durch die geringe Ausdehnung in der Fläche aber prozentuell nur gering vertreten. Hingegen kommt die Klasse 6 in Kleinstädten in überwiegendem Maße vor, weshalb diese Klasse als Kleinstadtcharakteristisch angesehen werden kann. Während der Anteil der Klasse 6 bei steigender Bevölkerungszahl rückläufig ist, nimmt jener der Klasse 5 zu, was auf eine Zunahme des innerstädtischen Siedlungskörpers schließen lässt.

Durch die Kartierung der lokalen Klimazonen durch Demuzere et al. (2019) wurde eine einheitliche europaweite Basis zum Klimastudienvergleich zwischen Städten geschaffen. Die lokalen Klimazonen eignen sich als Annäherung an Gebiete, die zur Überwärmung tendieren, vor allem in jenen Bereichen wo feinkörnigere Datengrundlagen und Klimastudien nicht

verfügbar sind, was in Kleinstädten oft der Fall ist. Dabei darf aber nicht außer Acht gelassen werden, dass es sich nur um eine Annäherung handelt, und das lokale Klima, die Topografie und die großräumliche Lage der Stadt nicht miteinbezogen sind.

### 4.3.3 Lokale Klimazonen im Vergleich mit urban fabrics

2014 wurde Wien im Rahmen des Projekts „urban fabrics“ anhand seiner stadtmorphologischen Struktur und urbanen Landschaft in neun Stadtraumtypen und zusätzlichen neun Unterklassen eingeteilt, um die mikroklimatischen Zusammenhänge zwischen der urbanen Struktur sowie der Freiraumstruktur detailliert nachvollziehen zu können, um darauf aufbauend Maßnahmen und Handlungsempfehlungen ableiten zu können. Die Klassen wurden, ähnlich wie die Einteilung von Stewart und Oke (2012), nach Faktoren, die die urbanen Struktur widerspiegeln, eingeteilt, wobei zusätzlich regionalspezifische Parameter als auch klimatische und topographische Daten in die Analyse einfließen (Stiles et al. 2014).

Ein Vergleich der weltweit anwendbaren Kategorisierung der lokalen Klimazonen, und der Typisierung von Wien ist interessant, um einerseits die Temperaturunterschiede, die auch bei Stiles et al. (2014) für die dortigen Klassen anzutreffen sind, mit jenen der lokalen Klimazonen zu vergleichen, und aus diesen Rückschlüsse für Niederösterreich ableiten zu können, und andererseits um die Klassifizierung für die Stadt Wien mit der Klassifizierung der lokalen Klimazonen innerhalb von Wien miteinander vergleichen zu können, um eine Validität der lokalen Klimazonen ableiten zu können. In der nachfolgenden Tabelle 11 wurden den Stadtraumtypen aus dem Projekt „urban fabrics“ visuell anhand der verfügbaren Karte die deckungsgleichen und am häufigsten vorkommenden Klassen der lokalen Klimazonen zugeordnet.

**Tabelle 11: Stadtraumtypen und zuordenbare lokale Klimazone**

Stadtraumtyp	Name	Ähnlichste lokale Klimazone
1	Industrie und Gewerbe	8 (large low-rise)
2	Dichtes Stadtgebiet	2 (compact midrise)
3	Stadterweiterung in der Ebene	5 (open midrise), 6 (open low-rise), 8 (large low-rise)
4	Freistehende und durchgrünte Bebauung in Hanglage	5 (open midrise), 6 (open low-rise)
5	Siedlungsrand in der Ebene (Wiener Becken)	6 (open low-rise)
6	Flussraum (Donau)	B (scattered trees), D (low plants), G (water)
7	Landwirtschaftliche Flächen	B (scattered trees), D (low plants), G (water)
8	Siedlungsrand in Hanglage zu Waldflächen	5 (open midrise)
9	Bewaldetes Hügelland (Wienerwald)	A (dense trees)

Quelle: eigene Darstellung, Stadtraumtypen aus Stiles et al. 2014, eigene Erhebung

Während der Zuweisung konnte die räumliche Übereinstimmung des Stadtraumtyps 2 „Dichtes Stadtgebiet“ zur lokalen Klimazone 2 – compact midrise festgestellt werden. Eine Übereinstimmung konnten ebenso für die Stadtraumtypen 5, 8 und 9 ausgemacht werden. Die ruralen Stadtraumtypen des Flussraumes und der landwirtschaftlichen Flächen konnten den jeweiligen ruralen lokalen Klimazonen, nämlich den Kategorien B, D und G; zugeordnet werden. Die größten Unterschiede konnten im Stadtraumtyp 3 – Stadterweiterung in der Ebene – ausgemacht werden. Hier fanden sich vor allem die lokalen Klimazonen 5, 6 und 8 wieder (open midrise, open low rise sowie large low rise). Eine Zuordnung die allerdings plausibel erscheint und auf Grund der unterschiedlichen Methoden der Zuweisung ausgemacht werden kann. Nachdem die Stadtraumtypen 4 und 8 vor allem die Topographie miteinbeziehen, und dies in den lokalen Klimazonen nicht der Fall ist, fallen diese Stadtraumtypen in die lokale Klimazonen 5 und 6. Wobei im Stadtraumtyp 4 vor allem auch die lokale Klimazone 5 anzutreffen ist. Aus der Analyse ergibt sich, dass die Einteilung nach Stadtraumtypen vor allem im Hinblick auf die Miteinbeziehung der topographische Lage feinkörniger ist, dass es aber großflächig betrachtet gute Übereinstimmung zwischen den Stadtraumtypen und den lokalen Klimazonen gibt, insbesondere im Hinblick auf die Stadtraumtypen 1, 2, 5, und 8, denen allen sehr eindeutig die korrespondierende lokale Klimazone zugewiesen werden konnte.

Nachdem die gute Übereinstimmung zwischen den jeweiligen Klassen eruiert werden konnte, sollen in weiterer Folge die Temperaturverhältnisse der Stadtraumtypen von Stiles et al. (2014) auf die lokalen Klimazonen übertragen werden bzw. mit den Ergebnissen der Studien aus dem vorangehenden Kapitel überprüft werden. Den Stadtraumtypen wurden eine Reihe von Klimakennwerten zugeordnet, die in Tabelle 12 angeführt sind. Die Tabelle ist absteigend nach der Anzahl der heißen Nächte sortiert. Da in Stiles et al. (2014) die Klimakennzahlen pro Subtyp der Stadtraumtypen angegeben ist, wurde der Durchschnitt berechnet und angeführt.

**Tabelle 12: Stadtraumtypen und die Anzahl an heißen Nächten und Tagen**

Stadtraumtyp	Name	Ähnlichste LCZ Klasse(n)	Anzahl heißer Nächte	Anzahl heißer Tage
2	Dichtes Stadtgebiet	2	24,2	8,22
1	Industrie und Gewerbe	8	16,24	8,72
3	Stadterweiterung in der Ebene	5; 6; 8	14,9	8,59
5	Siedlungsrand in der Ebene (Wiener Becken)	6	13,81	9
7	Landwirtschaftliche Flächen	B; D	13,14	8,87
6	Flussraum (Donau)	B; D; G	13,1	8,97
4	Freistehende und durchgrünte Bebauung in Hanglage	5; 6	11,38	7,57
8	Siedlungsrand in Hanglage zu Waldflächen	5	8,38	6,63
9	Bewaldetes Hügelland (Wienerwad)	A	8,01	4,6

Quelle: Stiles et al. 2014, eigene Darstellung

Wie aus der Tabelle ersichtlich ist, folgt die Reihenfolge der Anzahl der heißen Nächte im Projekt „urban fabrics“ der Reihenfolge der Überwärmung der lokalen Klimazonen (LCZ 2/8 > LCZ 3/5 > LCZ 6 > LCZ 9/D) die aus der Literatur in Kapitel 4.3.1 herausgefunden werden konnte. Ausnahmen stellen die Stadtraumtypen 4 und 8 dar. Sie sind zwar als lokale Klimazone 5 bzw. 6 klassifiziert, da der Einfluss des Wienerwaldes und des Reliefs eine kühlende Wirkung erzielt, finden sie sich aber im Unterschied zu denen in der Literatur genannten Überwärmungen am Ende der Reihenfolge und zählen zu den kühlest Gebieten des Stadtgebietes. Hier wird die Schwäche der lokalen Klimazonen-Systematisierung nochmals deutlich, die eben wichtige Klimafaktoren, wie Lage und Topographie, nicht berücksichtigt.

Der Vergleich zwischen den Stadtraumtypen und den lokalen Klimazonen, als auch die zahlreichen Studien die ähnliche Temperaturunterschiede in den selben lokalen Klimazonen nachweisen konnten, zeigt, dass die Einteilung in lokale Klimazonen ein geeignetes Mittel zur Feststellung von Bereichen, die zur Überwärmung tendieren, ist. Jene Bereiche können rasch und effizient mit der verfügbaren Kartengrundlage von Demuzere et al. (2019) festgestellt werden, wodurch diese für Planungsinstitutionen auf allen Ebenen geeignet ist, um Prioritätsbereiche für die Anpassung an den Klimawandel definieren zu können. Dies ist vor allem dort hilfreich, wo detailliertere Datengrundlagen zum lokalen Klima, wie Klimatopkarten, fehlen. Solche Datengrundlagen sind für Großstädte, wie Wien, verfügbar, weshalb diese Städte noch detailliertere Einschätzungen zur Überwärmung liefern können, wie etwa in Stiles et al. (2014) gezeigt werden konnte. Für Kleinstädte oder andere Gemeinden, die eine solche Grundlage nicht besitzen, ist die Eignung der lokalen Klimazonen als zusätzliche Planungsgrundlage anzusprechen. Zusätzlich ist es in der Forschung erstrebenswert, die ursprüngliche verfolgte Idee der lokalen Klimazonen, die bessere Vergleichbarkeit

unterschiedlicher Standorte, weiter zu vertiefen, was auf Grund der europaweit verfügbaren Karte besser möglich sein sollte. Studien, aber auch Anpassungsstrategien, die Anführen in welchen lokalen Klimazonen eine Anpassung stattgefunden hat und wie die Auswirkungen auf das Klima daraus sind, können somit besser auf andere Städte und Kleinstädte übertragen werden.

#### **4.4 Schlussfolgerung Kleinstadt und lokale Klimazonen**

Die Forschung zum Thema Klimawandel fokussiert sich vor allem auf Großstädte, und lässt Kleinstädte dabei in weiten Teilen unberücksichtigt Servillo (2017). Es ist deshalb von Interesse, zukünftige Herausforderungen, auch abseits des Klimawandels, im Kontext von Kleinstädten zu betrachten, leben doch alleine in Niederösterreichs Kleinstädten, nach der vorgestellten und angewandten Definition, über 644.000 Menschen, das sind immerhin 38% der Gesamtbevölkerung des Bundeslandes (eigene Berechnung, Datenbasis: eurostat 2, online). Nachhaltige Nutzung von vorhandenen Ressourcen und der zielgerichtete Einsatz von Maßnahmen gegen den Klimawandel sind deshalb auch in Kleinstädten erforderlich, um die Lebensqualität und Sicherheit der Bevölkerung zu sichern. Mit Hilfe der Definition nach ESPON ist es möglich Kleinstadtbereiche über Bevölkerungsdaten abseits der Gemeindeebene zu klassifizieren.

Des Weiteren lässt sich mit Hilfe der lokalen Klimazonenklassifizierung ein Bild von Kleinstädten zeichnen, das vor allem im Vergleich mit der Stadt Wien, geprägt ist von Bebauungstypologien mäßiger Dichte und deutlich geringerem Anteil an dichter Bebauungsstruktur. Da der Siedlungsraum, vor allem in den kleineren Kleinstädten, geringer ausfällt, ist der Einfluss der umliegenden Landschaft, sowohl was das Erscheinungsbild des Ortes betrifft als auch hinsichtlich des Klimas, größer ausgeprägt, wodurch die Aussage von Spiegler (1998) wonach „das Wesen der Kleinstadt in bedeutendem Maße von der sie umgebenden Landschaft“ (Spiegler 1998; S. 27) bestimmt wird, auch auf klimatologische Faktoren ausgedehnt werden kann und soll.

In der Klimawandelanpassung übernehmen lokale Verwaltungsebenen, zu denen auch Kleinstädte gehören, einen wichtigen Aspekt der Umsetzung und es lassen sich eine Reihe von Argumenten finden, die bestätigen, dass die regionale Ebene wichtig ist. Denn jene steht im engsten Austausch und Kontakt mit den BürgerInnen, wodurch sich durch den direkten Kontakt viele Möglichkeiten der Problemwahrnehmung und der gemeinsamen Problembekämpfung ergeben. Darüber hinaus gibt es eine starke Relation zwischen der Stadtgröße und der Umsetzungsmöglichkeit von Policy Strategien, inklusive der Klimawandelanpassung, hinsichtlich Wissensverfügbarkeit, Erfahrung und



Ressourcenverfügbarkeit. Städte, die die verfügbaren Ressourcen aufbringen können, sind in der Lage, nachhaltige Umwelt Policies zu formulieren und zu implementieren, und verfügen über eigene Planungsabteilungen, die sich mit diesem Schwerpunktthema beschäftigen. Kleinstädte hingegen sind oft nicht in der Lage, diese Grundansprüche zu erfüllen, wodurch die Klimawandelanpassung häufig nicht behandelt wird (Hoppe et al. 2014).

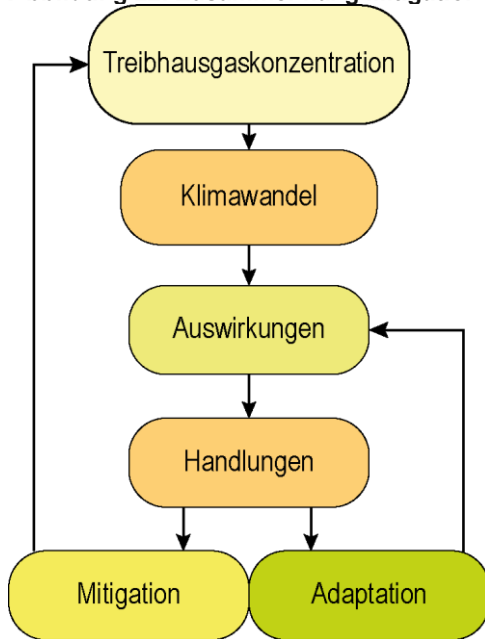
Die lokalen Klimazonen, die mittlerweile europaweit in einem einheitlichen Datensatz zur Verfügung stehen, ordnen Gebiete gleicher Merkmalsausprägung derselben lokalen Klimazone zu. Zu den relevanten Strukturmerkmalen, die für die Berechnung herangezogen werden, zählen unter anderem die Bebauungsdichte, der sky-view-factor, das Höhen-Breitenverhältnis von Straßen oder den Grünflächenanteil und die Bodenbeschaffenheit. In Folge können Abschätzungen der Temperaturunterschiede zwischen den diversen lokalen Klimazonen vollzogen werden, wodurch auch ohne wünschenswerte, aber oftmals fehlende Detaildaten zum lokalen Klima, Abschätzungen der Überwärmung in Siedlungen getroffen werden können. Dabei haben jene lokalen Klimazonen, die durch hohe Versiegelungsanteile geprägt sind, wie etwa die lokale Klimazone 2, und durch eng bebaute Stadtstrukturen charakterisiert sind, die höchsten Temperaturunterschiede zum Umland. Die Unterteilung von Flächen gleicher Merkmalsausprägung mit Hilfe der lokalen Klimazonen erlaubt die Betrachtung von kleinen städtischen Quartieren und deren lokalräumlichen Charakteristika im Bezug zum räumlichen Temperaturunterschied, welche für planungsrelevante Entscheidungen von Bedeutung ist. Die lokalen Klimazonen erweitern dabei das Verständnis über die Stadtstrukturen und deren Einfluss auf die urbane Wärmeinsel, denn die Temperaturverteilung innerhalb einer Siedlung kann über die lokalen Klimazonen abgeleitet werden. Für Gemeinden, die nicht über die nötigen Ressourcen verfügen, oder in denen es keine lokalen Klimastudien gibt, um detailliertere Aussagen hinsichtlich ihres spezifischen lokalen Klimas treffen zu können, stellt dies eine Hilfe für Politik und Planung dar, um Gebiete, die von Überwärmung betroffen sind, benennen zu können und dort entsprechende Handlungen zu setzen.

Ein weiterer Anwendungsfall der lokalen Klimazonen kann im Vergleich unterschiedlicher Klimastudien gesehen werden. In diesen wird vielfach der Begriff urban, als Temperaturstandort für einen städtischen Punkt und rural für einen Referenzpunkt des Temperaturvergleichs außerhalb der Stadt gelegt, ohne diese detaillierter zu beschreiben. Durch die Einteilung in lokale Klimazonen können Studien besser verglichen werden, weil die Temperaturstandorte einheitlich definiert werden können und somit Rückschlüsse auf die Bebauung und weitere klimarelevante Standortwerte gestellt werden kann.

# 5 Klimawandelanpassung

Aktuelle Klimapolitik beruht auf zwei komplementären Säulen. Der Klimawandelanpassung, der Adaptation, sowie des Klimaschutzes, der Mitigation. Ein effektives und nachhaltiges Handeln in den Bereichen Klimaschutz, aber auch in der Anpassung an die Folgen des Klimawandels, sind deshalb notwendig, um die beschriebenen negativen klimatischen und hydrologischen Auswirkungen in Siedlungen abzumildern. Während es fraglich ist, ob sich die Klimaschutzziele, allen voran die Reduktion der Erderwärmung auf unter 2°C zu senken, unter den aktuellen Gegebenheiten verwirklichen lassen (Sommer & Müller 2016), ist man sich einig, dass die Kombination aus Mitigations- und Adaptationsstrategien wirksam im Umgang mit dem Klimawandel und dessen Folgen sind (IPCC 2014). Die richtige Kombination aus Adaptation und Mitigation ist in der Abmilderung der negativen Effekte des Klimawandels erfolgsversprechend. Städten und urbanen Siedlungsräumen kommt dabei ein wesentlicher Teil der Klimawandelanpassung zu (Endlicher 2012). Beim ökosystembasierten Ansatz beider Richtungen steht der Erhalt und die Nutzungsmöglichkeit von Ökosystemen als auch die Resilienz, die Widerstandsfähigkeit der Ökosysteme im Vordergrund (Naumann et al. 2015b).

Abbildung 22: Zusammenhang Mitigation und Adaptation



Quelle: eigene Darstellung nach Locatelli (2011)

### 5.1.1 Klimaschutz – Mitigation

Mitigation wird vom zwischenstaatlichen Ausschuss für Klimaänderung, (engl. Intergovernmental Panel on Climate Change, kurz IPCC) als „menschliche Intervention zur Reduktion der Ursachen oder zur Optimierung bei der Verringerung von Treibhausgasen“ definiert (IPCC 2014, S. 125). Mitigation greift also die Wurzel des Problems an, indem sie anstrebt, die Treibhausgasemissionen zu reduzieren, die Geschwindigkeit mit der die Klimaänderung voranschreitet zu verlangsamen und die Frequenz von Extremwetterereignissen zu reduzieren. Dabei steht vor allem die Reduktion von CO<sub>2</sub> an erster Stelle, wie dies in diversen Abkommen, wie etwa im Kyoto Protokoll, oder auch in Gesetzen, zum Beispiel dem österreichischem Klimaschutzgesetz, bekräftigt wurde. Diesen gesetzlichen Rahmenbedingungen ist gemein, dass sie den Treibhausgasausstoß in einem gewissen Zeitrahmen um einen definierten Prozentsatz des heutigen Ausstoßes verringern wollen, um das fossile Zeitalter möglichst schnell zu beenden und den Energiebedarf durch nachhaltige Systeme decken zu können. Neben dem Ziel der Reduktion von CO<sub>2</sub> wurde ein weiterer Zielrichtwert erlassen. Der Anstieg der weltweiten Durchschnittstemperatur im Vergleich zur Zeit vor der industriellen Revolution soll auf 2°C festgesetzt werden. Um diese Vorgaben zu erfüllen ist es von Bedeutung, die vorhandenen Energiequellen nachhaltiger als bis jetzt zu nützen. Dies kann neben internationalen und nationalen Vereinbarungen und Gesetzen auch durch Raumplanungsmaßnahmen und regionale policy-Strategien erfolgen (Endlicher 2012).

### 5.1.2 Klimawandelanpassung - Adaptation

Die Anpassungsstrategien stehen erst seit wenigen Jahren im Fokus von Politik und Wissenschaft. Die zwei Säulen, die ergänzend aufeinander wirken, unterscheiden sich unter anderem dadurch, dass Adaptationsmaßnahmen vorrangig lokal wirken, während Mitigationsprozesse eher internationalen Fokus und Wirkungsbereich besitzen (Biesbroek et al. 2009). Die Netto-Benefits von Mitigation sind auf globaler Skala größer als auf regionaler. Die Netto-Vorteile von Adaptation sind demgegenüber auf regionaler Ebene größer anzusehen als auf globaler Ebene, und wirken umso besser desto kleinräumiger sie geplant und umgesetzt werden (Zhao et al. 2018). So wirken auf lokaler Ebene durchgeführte Klimaschutzmaßnahmen auch auf einer globalen Ebene, während Anpassungsmaßnahmen eine deutliche räumliche Dimension und Begrenzung ihrer Wirkungen aufweisen. Dabei sind lokal betriebene Minderungsmaßnahmen, wie die Treibhausgasreduktion, letztlich auf internationale Vereinbarungen wie das Kyoto Protokoll zurückzuführen, das durch nationale Gesetze und policy-Vereinbarungen auf eine lokale Ebene zurückgebracht wird (Biesbroek et al. 2009). Die IPCC definiert Adaptation als den „Prozess der Anpassung an das tatsächliche

oder das zu erwartende Klima und dessen Effekte, um Gefahren entweder abzumildern oder zu vermeiden, als auch Vorteile zu verwenden“ (IPCC 2014, S.118). Während das Verständnis von Klimaschutz weit verbreitet ist, ist jenes der Anpassungsmaßnahmen schwieriger zu verstehen. Adaptation wird dabei oft in Zusammenhang mit Resilienz gesehen, da resiliente Systeme die Eigenschaft besitzen, besser auf Änderungen reagieren zu können (Niehoff 2017). Adaptation erfordert das aktive Handeln und Steuern von Entwicklungen, während Resilienz an eine reaktive Position gebunden ist, die in der Lage ist, Gefahrenereignisse abzufangen und abzuschwächen (Bager et al. 2017). Auf eine Verwechslung der beiden Ausdrücke sollte dabei allerdings geachtet werden, da durch menschliches Handeln mit Hilfe von Adaptationsmaßnahmen, wie die Entsiegelung von versiegelten Oberflächen, die Resilienz erhöht werden kann (Niehoff 2017).

Ziel von Klimawandelanpassung ist es, auf die aktuellen und die in Zukunft noch zu erwarteten negativen Klimafolgen zu reagieren, um Schäden abzuwenden. Denn ungeachtet der Anstrengungen im Bereich des Klimaschutzes ist eine Anpassung notwendig (UBA, online, 2019). Anpassung ist eine Querschnittsmaterie, deren scharfe Definition in der Praxis nicht vollends möglich ist. Positive Maßnahmen zum Schutz der Umwelt und des Klimas können auch ohne die Notwendigkeit des Klimawandels nützlich sein. Der Klimawandel erhöht allerdings den Druck, die Maßnahmen tatsächlich und zeitnah umzusetzen. Bei der Setzung von Maßnahmen ist auf die Vermeidung von Fehlanpassungen zu achten. Darunter versteht man reaktiv gesetzte Symptombekämpfungsmaßnahmen, deren Wirkungsdauer zeitlich begrenzt ist, und über lange Sicht sogar negative Folgen vorweisen können, sowie das gegenseitige konterkartieren der Maßnahmen. Fehlanpassungen können die Vulnerabilität weiter erhöhen, und müssen bereits in der Planungsphase ausgeschlossen werden. Das Pariser Übereinkommen von 2015 (Europäische Kommission, online) verweist auch darauf, dass stets auf eine nachhaltige Entwicklung der Maßnahmen zu achten sei (BMLFUW 2012).

## 5.2 Mitigation-Adaptation-Verhältnis

Das Verhältnis zwischen Mitigation und Adaptation hat sich in den letzten Jahren geändert. Die Entwicklung von angemessenen Policy-Strategien, sowohl was die wissenschaftliche als auch die politische Orientierung betraf, fokussierte sich dabei zu Beginn vornehmlich an der Bekämpfung der Ursachen. Policy-Strategien entwickelten sich für Mitigation und Adaption unabhängig voneinander. Mitigation und Adaptation wurden zwar als komplementär, allerdings auch als zusammenhangslos betrachtet, bei denen ein etwaiger Synergieeffekt als marginal angesehen wurde. Die Gründe für diese Dichotomie, die Zweigleisigkeit, findet ihren Ursprung

in der Art und Weise, wie Wissen generiert und in Policies angewendet wird, im räumlichen und zeitlichen Rahmen sowie in der Komplexität institutioneller Systeme. Mitigationsstrategien werden hauptsächlich monodisziplinär entwickelt und oftmals in institutionalisiertem Rahmen umgesetzt. Als Beispiel kann das Kyoto Protokoll genannt werden, mit seinen messbaren Zielvorgaben für die einzelnen Länder. Dem gegenüber stehen Adaptationsstrategien, die von Haus aus multi- bzw. transdisziplinär sind und an die lokalen Gegebenheiten angepasste Policy-Strategien benötigen, um effektiv sein zu können. Der temporale Unterschied entsteht aus der Tatsache, dass Adaptationsmaßnahmen sowohl kurzfristig gesetzt werden können, als auch kurzfristig messbare Resultate erzielen können. Bei Mitigation können die Handlungen ebenso kurzfristig gesetzt werden, die Resultate brauchen aber deutlich länger um mess- und spürbar zu werden. Hinzu kommt, dass Anpassungsmaßnahmen vorwiegend reaktionär eingesetzt werden, und Mitigationsmaßnahmen vorwiegend proaktiv gesetzt werden, wobei das proaktive Setzen in beiden Handlungsfeldern sich am wirksamsten erweist, auch wenn der Zeithorizont im Kampf gegen den Klimawandel, als sehr langfristig anzusehen ist (Biesbroek 2009).

Ein weiterer Unterschied liegt in der räumlichen Ausbreitung. Klimaschutz ist vorwiegend international orientiert und Klimawandelanpassung eher lokal. Anpassungsmaßnahmen sind effektiver, wenn sie von einer lokalen Ebene über die regionale und nationale Ebene aufgebaut werden. Lokale Mitigationsmaßnahmen hingegen stammen vorwiegend von internationaler Ebene ab und wurden durch diverse Instanzen an die unterste Ebene weitergeleitet (Biesbroek 2009). Die beschriebenen und einige weitere Unterschiede zwischen Mitigation und Adaptation sind in Tabelle 13 angeführt.

**Tabelle 13: Unterschiede Mitigation und Adaptation**

	<b>Mitigation</b>	<b>Adaptation</b>
Zeitpunkt des Effekts	Vorteile treten zeitverzögert ein	Vorteile können sofort eintreten
Gewissheit des Effekts	ungewiss - hängt von globaler Umsetzung ab	Einige Vorteile sind gewiss, andere hängen von zukünftigen Klimaänderungen ab
Geographische Ausdehnung des Effekts "wer profitiert"	Global	Lokal
Entscheidungsfindung	Global und national (auch wenn lokal umgesetzt)	Lokal
Sektoraler Fokus	Treibhausgasverursacher	Sektoren und Handlungen die empfindlich auf Klimaänderungen reagieren
Nutzen und Kosten	Ziemlich unkompliziert vorherzusagen, zu vergleichen und zu verbinden	sehr komplex
Überwachung	Ziemlich unkompliziert zu messen und mit Zielvorgaben zu vergleichen	keine Zielwerte oder Indikatoren verfügbar um Anpassung zu messen
Verantwortlichkeit	Verursacher zahlen für den Klimaschutz	Die Verantwortlichen sind nicht zwangsläufig die Geschädigten

Quelle: eigene Darstellung; Biesbroek (2009)

## 5.2.1 Überwinden der Dichotomie

Nachdem die Gründe und Faktoren der Dichotomie dargestellt wurden, sollen Möglichkeiten zur Überwindung dieser Probleme aus raumplanerischer Sicht aufgezeigt werden. Die Vielzahl und Komplexität der gesetzlichen Rahmen und Entscheidungsebenen sind dabei als sehr komplex anzusehen, wodurch sich die policy-Bildung erschwert. Raumplanung kann hierbei in mehrerer Hinsicht dienlich sein. Auf der einen Seite bietet sie den formellen Rahmen um Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen in Bezug zum großen Ganzen einzusetzen. Auf der anderen Seite kann die Zusammenarbeit von transdisziplinären Akteursstrukturen durch Koordinationsmaßnahmen gefördert und optimiert werden. Die Unterschiede und die damit einhergehenden Herausforderungen in der zeitlichen, räumlichen und institutionellen Struktur können durch Raumplanungsmaßnahmen verringert werden. Durch die Raumplanung kann eine holistische Betrachtungsweise gefördert werden, die Mitigation und Adaptation, vor allem auf lokaler und regionaler Ebene, zusammenführt und Synergien entstehen lässt (Biesbroek et al. 2009). Die besondere Rolle der Raumplanung in der Umsetzung von Mitigations- und Adaptationsstrategien wird durch den starken räumlichen Bezug der Klimaänderungen auf eine Region oder Stadt, als auch durch die Art und Weise wie diese den Klimawandel selbst beeinflussen und mitunter verstärken, deutlich. So sind Maßnahmen in den Bereichen Bauen, Wohnen, Energie und Verkehr sowohl eng mit dem Bereich Klimaschutz und Klimawandelanpassung als auch mit Raumplanung verknüpft, wobei diese auf mehrere Arten helfen kann. Zu diesen Stärken zählen unter anderem ein gemeinwohlorientiertes Handeln, um nachhaltige Lösungen im Kampf gegen den Klimawandel einzusetzen, die sozio-ökonomisch sowie sozial gerecht sind und die Fähigkeit zwischen verschiedenen Interessensgruppierungen und Bestrebungen zu vermitteln und Spannungen zwischen wirtschaftlichen, sozialen und Umweltinteressen zu verringern. Planung kann durch zielgerichtete Anwendung Risiken rechtzeitig identifizieren und Aktionen proaktiv einsetzen um Schäden abzuwenden und um sich auf zukünftig ändernde Rahmenbedingungen vorzubereiten (Hurlimann 2012).

Des Weiteren gilt es eine Akzeptanz für die Anpassungsmaßnahmen innerhalb der Bevölkerung zu schaffen und die nötigen Koordinationsleistungen bereitzustellen (Baasch 2012). Hier sind moderne Lösungen und ein flexibles Handeln sowohl in der Umsetzung als auch in der Planung nötig, um auf bis dato unvorhergesehene Ereignisse reagieren zu können. Schlussendlich soll Planung auch immer einen weiten Planungshorizont haben, den andere Disziplinen eventuell nicht in diesem Ausmaß besitzen. Die Umstellung einer passiven Planung zu einer aktiven Planung mit einem klaren Nachhaltigkeitsdenken ist ein weiterer Schritt. Deshalb sind viele Probleme auch erst durch fehlende oder falsche Raumplanungsmaßnahmen entstanden. Als Beispiele können hier der immer noch sehr hohe

Flächenverbrauch, die wasserundurchlässige Flächenversiegelung oder der nur zaghafte Ausbau des öffentlichen Verkehrs genannt werden (Hurlimann 2012). Argumente, die für die erforderliche gemeinsame Betrachtung und für die Überwindung der Dichotomie von Mitigation und Adaptation sprechen können, lassen sich demnach wie folgt zusammenfassen:

- Behandlung von Ursache und Symptomen. Wie bei einem erkrankten Menschen ist es erforderlich, sowohl die Symptome zur Verbesserung der aktuellen Lage zu behandeln, als auch die Ursache, als immer wiederkehrender Auslöser der Symptome zu lokalisieren und dauerhaft zu bekämpfen. Würden nur die Ursachen behandelt werden, würde der Erfolg zu lange auf sich warten lassen, da der Klimawandel bereits zu stark vorangeschritten ist. Würde man nur die Auswirkungen symptomatisch behandeln, würden selbst immer stärkere Maßnahmen im Laufe der Zeit immer weniger nützen, da der Klimawandel und seine Folgen trotzdem voranschreiten.
- Klimaschutz und Klimawandelanpassung muss auf allen Ebenen zwischen regionaler und internationaler Ebene stattfinden. Die Klimawandelanpassung ist eher lokal ausgerichtet. Eine internationale Abstimmung ist zwar wünschenswert, allerdings nicht zwingend nötig. Klimaschutz auf der anderen Seite hingegen ist stark von internationalen Verpflichtungen abhängig, da lokale Ursachen auch weltweite Wirkungen zeigen.

### 5.3 Herausforderung von Klimawandelanpassung

Neben der bereits angesprochenen Problematik der Dichotomie zwischen Adaptation und Mitigation, die Notwendigkeit, Klimaschutz und Klimaanpassung gemeinsam zu betrachten, und die Frage mit welchen Maßnahmen es gelingen kann den Spalt zu überwinden, steht Klimawandelanpassung generell noch vor einer Vielzahl weiterer Herausforderungen. Die Anpassung ist generell ein sehr dynamischer Prozess, der sich auf immer wieder neu eintretende Situationen, wie unter anderem neue Forschungserkenntnisse oder weitere Klimafolgen, dynamisch anpassen muss. Dabei ist der richtige Umgang mit der Unsicherheit, die mit jeder Planung einhergeht, von besonderer Bedeutung. Die Unsicherheit resultiert dabei aus dem Mangel an Wissen, was in Zukunft passieren wird, wobei die Ungewissheit umso größer ist, je weiter der Zeithorizont gewählt wird. Planung und Prognosen setzen dabei auf Berechnungen und Klimamodelle, die aber nie vollständig die Realität widerspiegeln können. Auch die globale Entwicklung der Treibhausgasemissionen kann nur bis zu einem gewissen Grad präzise vorhergesagt werden. Auf Grund dessen, dass bei Planung insbesondere von Anpassungsmaßnahmen solche Unsicherheiten bestehen, sollten Maßnahmen ausgewählt

werden, die robust und vielseitig gegen Bedrohungen des Klimawandels wirken, um einen ressourcenschonenden Umgang bei gleichzeitiger Zielmaximierung zu erlangen (Prutsch et al. 2014).

Klimawandelanpassung ist, wie bereits erwähnt, eine Querschnittsmaterie, bei der eine Reihe von Wissenschaften, Politikbereiche und weiterer Stakeholder vertreten sind, wodurch ein großes Repertoire an Herausforderungen, trade offs aber auch positiver Synergien gegeben ist. Auch trade-offs, also negative Wechselwirkungen, die in einem Bereich eine positive Beeinflussung und in einem anderen Bereich eine negative Entwicklung hervorrufen, zählen dazu. Durch die breite Streuung der Thematik mit der Vielzahl an beteiligten AkteurInnen in allen Bereichen ist die Koordination und Abstimmung zur Vermeidung von Konflikten nötig. Eine sektorenübergreifende Behandlung der Thematik spielt dabei eine wichtige Rolle zur Minimierung negativer Folgen in diesem Bereich. Damit Anpassungsmaßnahmen erfolgreich sind, ist es wichtig, Fehlanpassungen zu verhindern. So können reaktive, direkte Maßnahmen auf Einzelauswirkungen des Klimawandels auf langfristige Sicht auch negative Auswirkungen haben, wie die Installation von Klimaanlage. Um diese spontanen Fehlanpassungen zu vermeiden, ist bei der Planung auf die Wirkungsdauer der Planung von mehreren Jahrzehnten, und auf die dann anzunehmenden klimatischen Rahmenbedingungen zu achten. Beispielsweise dürfen Maßnahmen z.B. den Klimaschutz nicht konterkartinieren, oder zu einer Erhöhung oder Verlagerung von Vulnerabilität führen. Auch muss darauf geachtet werden, dass die Umweltqualität nicht negativ beeinflusst wird und dass mit ressourcenschonend umgegangen wird (BMNT 2017).

Weitere Herausforderungen in der Klimawandelanpassungspolitik werden von Prutsch et al. (2014) im Handbuch „Methoden und Werkzeuge zur Anpassung an den Klimawandel“ genannt. Allgemein zählen zu diesen Herausforderungen:

- ein fehlendes politisches Bekenntnis, Anpassung voranzutreiben.
- ein fehlendes Zuständigkeitsbewusstsein / unzureichende Koordinierung
- Fehlende Kooperationen zwischen unterschiedlichen administrativen Ebenen
- Fehlende Ressourcen
- Wissenschaftliche Unsicherheiten
- Fehlende Verbindung zwischen Wissenschaft und Politik

Im Policy-Prozess kann es zu weiteren Schwierigkeiten bei der Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen in verschiedenen Stadien der Entwicklung kommen. Der Prozess wird dabei in drei Phasen gegliedert. In der ersten Phase soll die Basis für die Anpassung geschaffen werden, in der zweiten Phase sollen Risiken erkannt und Lösungen formuliert werden, und in der dritten Phase sollen Aktionen umgesetzt und begleitet werden (Prutsch et al. 2014).



### 5.3.1 Maßnahmen im Umgang mit Herausforderungen

Den im vorangegangenen Kapitel genannten Herausforderungen gilt es bei der Klimawandelanpassung mit geeigneten Maßnahmen zu begegnen, um negative Effekte zu vermeiden. Dazu kann das Phasenmodell von Prutsch et al. (2014) herangezogen werden, um die Maßnahmen nach ihrem zeitlichen Auftreten innerhalb des Anpassungsprozesses zu ordnen.

**Phase 1:** „Basis für die Anpassung schaffen“: Den in dieser Phase auftretenden Herausforderungen, u.a.: fehlendes Bewusstsein von Entscheidungsträgern oder falsches Einschätzen von Dringlichkeiten und Prioritäten, kann mit Wissensvermittlung, Informationsaufbereitung sowie Koordinationsmaßnahmen begegnet werden. Um Anpassungsmaßnahmen überhaupt auf die politische Agenda zu bekommen sind die Akzeptanz und die langfristige Bereitschaft, sich dem Anpassungsprozess zu widmen, wichtig. Auch die Sicherung von entsprechenden Ressourcen muss gewährleistet werden. Um Akzeptanz zu erreichen, ist ein entsprechendes Hintergrundwissen erforderlich, um die Handlungsbereitschaft zu erhöhen, weshalb Informationen und Wissen zielgerichtet verbreitet werden müssen. Die bereits mehrfach angesprochene Herausforderung der Querschnittsmaterie und die damit einhergehenden Herausforderungen treten auch in dieser Phase auf, weshalb bereits zu Beginn des Prozesses auf eine ausreichende Kommunikation und Koordination der beteiligten AkteurInnen geachtet werden muss. So lassen sich Synergien bilden und in Arbeitsgemeinschaften mit diversen Stakeholdern können alle Beteiligte voneinander lernen (Prutsch et al. 2014).

**Phase 2:** „Risiken erkennen und Lösungen finden“: Herausforderungen, die in dieser entscheidenden Phase auftreten können, liegen im Bereich von fehlendem Fachwissen der AkteurInnen, Interessenskonflikten, die eine Umsetzung verhindern, oder die unzureichende Auswahlmöglichkeit an Maßnahmen. Die Ergebnisse der Phase 2 liefern die Grundlage für die tatsächliche Umsetzung. Um den Anpassungsprozess in dieser Phase nicht zu gefährden sind folgende Handlungen als relevant anzusehen:

- *„Unsicherheiten in allen Schritten adressieren*
- *Bereits eingetretene und zukünftige Auswirkungen des Klimawandels identifizieren*
- *Breite Palette an möglichen Anpassungsmaßnahmen durchleuchten*
- *Anpassungsmaßnahmen beschreiben und priorisieren*
- *Bestehende Instrumente für die Anpassung nutzen*
- *Neue Instrumente für die Umsetzung schaffen*
- *Strategie und Aktionsplan erstellen“ (Prutsch et al. 2014 S. 28)*

**Phase 3:** „Aktionen setzen und begleiten“. Sobald Phasen 1 und 2 erfolgreich abgeschlossen wurden und die Entscheidung auf die Umsetzung einer Anpassungsmaßnahme getroffen wurde, muss diese noch erfolgreich in die Tat umgesetzt werden. Die Maßnahme muss dabei allerdings sowohl politisch, administrativ, rechtlich als auch technisch umsetzbar sein. Zu ambitionierte oder zu unpräzise Maßnahmen drohen an diesem Punkt zu scheitern. Maßnahmen müssen mit den zur Verfügung stehenden technischen Rahmenbedingungen auskommen und rechtlich einwandfrei sein, um erfolgreich abgeschlossen werden zu können. Sind diese Punkte geklärt ist es wichtig die Maßnahme dann auch tatsächlich in die Tat umzusetzen, die Umsetzungsmaßnahmen zu begleiten, zu beobachten und zu evaluieren, um für zukünftige Handlungen weitere Erfahrungen zu sammeln (Prutsch et al. 2014).

Da der Anteil an Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung erhöht werden muss, muss auch der Umgang mit Problemen der Integrierung von Anpassungsmaßnahmen mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden. Eine nachhaltige Umsetzung von Anpassungen, die Synergien ausnützt und negative Wechselwirkungen möglichst verhindert, benötigt unter anderem:

- Kohärenz zwischen Mitigations- und Adaptationszielen
- Kohärenz zwischen Klimazielen und Entwicklungszielen
- Governance Strukturen zur Erleichterung der Integration von Klimazielen in sektorale policies und zur vertikalen Vernetzung
- Horizontale und ebenenübergreifende Policy-Koordination

Di Gregorio (2017) sieht diese vier Maßnahmen als notwendig an, um eine Umgebung zu schaffen in denen policies klimawirksam und nachhaltig entwickelt werden können, um die Resilienz stärken zu können und nachhaltige Entwicklung mit Adaptation und Mitigation verknüpfen zu können.

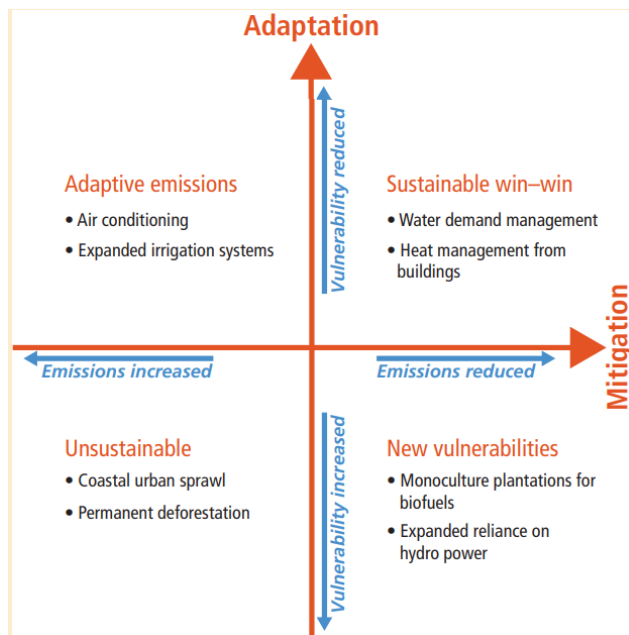
Neben der Dringlichkeit politische und kollektive Überzeugung zu schaffen um Klimaanpassungsmaßnahmen rasch umzusetzen, sieht Hurlimann (2012) vor allem auch Interessenskonflikte zwischen verschiedenen AkteurInnen, politische Entscheidungen, und fehlende Zuständigkeiten als Grund für ein Scheitern. Raumplanung kann hierbei hilfreich sein, um diese Probleme zu überwinden, steht sie doch in der Schnittstelle zwischen den beteiligten AkteurInnen und kann somit Wissen und Überzeugung vermitteln. An der Planung liegt es auch, sich von einer passiven Planung hin zu einer aktiveren Planung zu bewegen. Auch das Streben Einzelner nach Gewinnmaximierung muss dem Gemeinwohl deutlich hintangestellt werden, auch wenn gewisse Entscheidungen eventuell unpopulär sind, sich allerdings auf lange Sicht oder für die Mehrheit der Gesellschaft als positiv erweisen. Dabei steht das aktive

Gestalten in bestehenden Siedlungsgebiete im Vordergrund und weiters die weitere Ausdehnung des Planungshorizonts, um nötige Klimaanpassungsmaßnahmen einzubringen (Hurlimann 2012).

### 5.3.2 Synergien und trade-offs zwischen Mitigation und Adaptation

Dem zweigleisigen Umgang mit Mitigation und Adaptation wurde erst in der jüngeren Vergangenheit entgegengesteuert, um Synergien zwischen Mitigation und Adaptation aufzuzeigen und zu nützen beziehungsweise negative trade-offs zu vermeiden. Synergien lassen sich als Effekt beschreiben, bei dem die Aggregation der Nutzen der Maßnahmen in Summe die Summe des Nutzens der Einzelmaßnahmen übersteigt (Zhao et al. 2018). Synergie ist also die „Interaktion von Adaptation und Mitigation sodass ihr kombinierter Nutzen größer ist als die Summe der Nutzen, wenn sie alleine implementiert würden“ (Klein et al. 2007). Als Gleichung lässt es sich als „1+1>2“ darstellen. Als trade-offs bezeichnet man hingegen Maßnahmen, die zum Erreichen des eigenen Vorteiles eine oder mehrere negative Auswirkungen in einem anderen Bereich hervorrufen (Zhao et al. 2018). Zusammen lassen sich Synergie und trade-off Effekte in vier Bereichen wie in Abbildung 23 zu sehen ist, graphisch darstellen.

Abbildung 23: Beispiele für Adaptation und Mitigation und ihre Synergien und Tradeoffs



Quelle: Jones et al. 2014

Der obere rechte Bereich beinhaltet positive Synergien (+,+). Die dort positiv wirkenden Adaptationsmaßnahmen, wirken gleichzeitig auch positiv auf die Mitigation. Als Beispiel kann urbanes Grün genannt werden, was eine Vielzahl von positiven Wirkungen auf das Stadtklima hat und gleichzeitig positiv auf die CO2 Bilanz wirkt.

Die obere linke und die untere rechte Ecke betreffen trade-off Effekte (+,-) (-,+), wo jeweils eine Adaptations- oder Mitigationsmaßnahme negative externe Effekte auf den jeweils Anderen hat. Als

Beispiele können bei Adaptationsmaßnahmen die Errichtung von technischen Überflutungsschutz erwähnt werden. Dieser löst zwar das Problem der Überflutung, ist

allerdings sehr ressourcen- und herstellungsintensiv, wobei wiederum Treibhausgase emittiert werden.

Negative Synergien (-,-) sind jene Maßnahmen, die sich negativ auf beide Bereiche auswirken. Hierzu zählen z.B. die Zunahme des motorisierten Individualverkehrs und dessen Ausstoß von Treibhausgas und Luftverschmutzung.

Das Herausfinden und sich zum Nutzen machen von Synergieeffekten kann dabei helfen knappe Ressourcen, wie sie vor allem auch in Kleinstädten gegeben sind (Hoppe et al. 2014), zu schonen und eine nachhaltige Planung zu gewährleisten. Raumplanung tangiert dabei viele Bereiche, wie u.a.: Siedlungsentwicklung, Energieplanung und Verkehrsplanung und muss sich deshalb intensiv mit möglichen Synergie und trade-off Effekten beschäftigen, um nachhaltige Entscheidungen zu treffen (Zhao et al. 2018). Maßnahmen, die positive Synergien hervorrufen, haben den größten Wirkungseffekt und sind deshalb immer zu bevorzugen. Dabei können Adaptations- und Mitigationsmaßnahmen positive Effekte jenseits der Klimathematik bewirken. Die positiven Effekte wirken in der Steigerung von Resilienz in ökologischen und technischen Systemen, steigern unter anderem die Versorgungssicherheit von Trinkwasser und Nahrung und den Erhalt von Nutzflächen (Bager et al. 2017).

Ob positive oder negative Wechselbeziehungen auftreten hängt von den lokalen Gegebenheiten ab, insbesondere dann, wenn die Beziehungen in direktem Zusammenhang stehen und etwa dieselben Flächen in Anspruch nehmen oder dieselben Stakeholder tangieren. Das Bevorzugen der einen oder anderen Strategie kann große Auswirkungen auf die Siedlungsgestaltung oder das Wohlbefinden der Menschen in Städten haben. Das Ausbalancieren der Methoden geht über die Auswahl von entweder Adaptation oder Mitigation hinaus und ist ein komplexer, multidisziplinärer Prozess der allerdings notwendig ist. Die Anwendung von jeweils nur einer Policy Strategie kann zu negativen Effekten in anderen Zielbereichen führen, wohingegen die Anwendung von mehreren Strategien zu positiven Effekten in allen Bereichen führen kann. Eine klimasensitive Raumplanung, die die Balance zwischen Adaptation und Mitigation findet und die dadurch auf die positive Wirkungen der Synergien bauen kann, ist die Lösung. Diese Lösung muss rasch implementiert werden, da die daraus entstehenden Vorteile mit der Zeit durch den Einfluss des Klimawandels minimiert werden (Xu et al. 2019).

# 6 Die Rolle der Raumplanung bei der Klimawandelanpassung

Die Herausforderung der Anpassung an den Klimawandel stellt auch die Raumplanung vor neue Aufgabengebiete und ist, neben der weiteren Intensivierung von klimaschützenden Maßnahmen, umsetzungswürdig und erforderlich, um den nicht mehr umkehrbaren Folgen des Klimawandels zu begegnen. Dabei obliegt es der Raumplanung, in der Schnittstelle zwischen Politik und Verwaltung, die zukünftigen Funktionen und Nutzungen des Raumes im Hinblick auf den Klimawandel zu überprüfen und an die zukünftig zu erwartenden Gegebenheiten anzupassen und dabei die Funktion und Verwendung des Raumes neu zu denken. Kommunikation und Kooperation zwischen allen beteiligten AkteurInnen und Betroffenen gewinnen mehr an Bedeutung und es eröffnen sich neue Aufgabenfelder für die Raumplanung. Als interdisziplinär und integrierende Fachrichtung kommt ihr eine wichtige Schlüsselposition im Umfeld von Politik und Verwaltung zu, um die potentiellen zukünftigen Gefahren und Herausforderungen erkennen zu können, Konflikte abmildern zu können und einen Ausgleich zwischen den diversen Ansprüchen an den Raum zu erwirken. Der Raumplanung als Querschnittsmaterie muss hierbei eine noch intensivere Rolle in der Koordinierung der verschiedenen Politikebene und Fachplanung zukommen (Frank et al. 2013). Dabei stellt die Identifizierung von urbanen Bereichen, die hinsichtlich des Klimas vor neue Herausforderungen gestellt werden, sowie die Sicherung und Wiederherstellung von Flächenstrukturen, die einen positiven klimatologischen Effekt ausüben, eines der Ziele der Siedlungsklimatologie, die als Bindeglied zwischen den physikalischen Aspekten und den planungsrelevanten Aspekten fungiert, dar (Henninger & Weber 2020). In Zusammenarbeit mit den unterschiedlichen räumlichen Fachplanungen müssen neue zukunftsfähige Leitbilder und Ziele vor allem auf Ebene der Regionalplanung erschaffen werden. Es gilt dabei Räume zu schaffen, die sowohl den Mitigationsstrategien als auch den Adaptionstrategien, im optimalsten Fall in Synergie, Rechnung tragen. Leistungsfähige Strategien für den Umgang mit dem Klimawandel sind dabei neben einer effektiveren Planungspraxis, die die Umsetzung der Anpassungsmaßnahmen bewerkstelligen, von großer Bedeutung (Franck et al. 2013; Frommer et al. 2013). Hierzu verfügt die Raumplanung auf allen politischen und planerischen Ebenen, angefangen auf EU-Ebene bis hinunter auf Gemeindeebene über unterschiedliche Einflussmöglichkeiten und kann sowohl auf formelle als auch informelle Instrumente zurückgreifen, um Anpassungsmaßnahmen klimawirksam einzusetzen (Frommer et al. 2013).

Konkrete Zielsetzungen und Leitbilder, die auf Basis von fachlichen, wissenschaftlichen und administrativen Diskursen entwickelt wurden und in Zusammenarbeit mit der Politik als Schwerpunktmaßnahmen eingesetzt werden, sind vor allem dann erfolgreich, wenn sie in der

Gesellschaft gut kommuniziert werden und zu einem „Wir-Gefühl“ führen (Franck et al. 2013). Adaptationsstrategien erfordern darüber hinaus einen integrierten, disziplinübergreifenden Ansatz, der das Ziel der Adaptation mit anderen gesellschaftspolitischen Zielen verbindet (IPCC 2014).

Die Raumplanung entfaltet dabei ihre Wirkung sowohl direkt, durch die Festlegung von Nutzungsarten auf bestimmten Flächen, als auch indirekt durch die Beeinflussung der Handlungsmöglichkeiten. Die Wirkung wird dabei auf Flächen und Anlagen, als auch auf Sozialgebilde, darunter versteht man Organisationen, Einrichtungen aber auch das Verhalten von Einzelpersonen, erzielt (Stadtschreiber 2017). Die wesentlichsten Handlungsmöglichkeiten der Raumplanung in Bezug auf die Klimawandelanpassung lassen sich wie folgt in Tabelle 14 zusammenfassen:

**Tabelle 14: Beispiele für die Handlungsmöglichkeiten der Raumplanung**

Standorte ausweisen	Anlagen errichten	Einrichtungen ausrichten	Verhaltensweisen steuern
Sicherung großflächiger Kaltluftentstehungsgebiete und Frischluftschneisen	Baumpflanzungen	Einsatz von StadtklimaexpertInnen im Planungsprozess	Individuelles Verhalten anpassen
Ausweisung innerstädtischer Grün- und Freiräume	Entsiegelung	Ausrichtung von Gesundheitssystemen	Anthropogene Wärmeemissionen im Außen- und Innenraum reduzieren
Vernetzung von Grün- und Freiräumen	Gebäudebegrünung	Verbesserung des Zusammenwirkens von Behörden, Gesundheitssystemen und Rettungsorganisationen	Nachbarschaftshilfemodelle bilden
Festlegung oder Ausschließen von Standorten für hitzeintensive Nutzungen	Errichtung von Wasserflächen	Information und Warnung im Fall von Hitzeperioden	
	Errichtung von Parkanlagen	Flexibilisierung der Arbeitszeit	
	Alternative Beschattungsformen von Gebäuden und Freiräumen	Anpassung der Öffnungszeiten	
	Rückbau	Die Gründung von Vereinen fördern, deren Tätigkeit zur Verbesserung des Stadtklimas beiträgt	
	Albedoerhöhung	Zugänglich machen von thermischen Erholungsräumen in öffentlichen Einrichtungen	

Quelle: Stadtschreiber (2017)

Als generelle Aufgabe und Zielsetzung der Stadtplanung hinsichtlich der Klimawandelanpassung muss der von Mayer 1989 geprägte Begriff des idealen Stadtklimas angesehen werden. Es soll Ziel der Planung sein, dass keine thermisch belasteten Gebiete im Außenbereich entstehen, dass die Luftschadstoffkonzentration gering sei und dass den Menschen „eine große Vielfalt an urbanen Mikroklimaten zur Verfügung gestellt werde“ (Henninger & Weber 2020. S.: 159). Diesem idealen Stadtklima soll sich durch gezielte Maßnahmen der Planung angenähert werden.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Handlungsmöglichkeiten der Raumplanung im Bezug der Klimawandelanpassung in den verschiedenen hierarchischen Verwaltungsebenen behandelt. Dabei ist eine enge Verbindung zwischen Klimawandelvermeidungsstrategien und Anpassungsmaßnahmen erkennbar. Es wurde versucht, die wesentlichsten rechtlichen Bestimmungen und Raumplanungsinstrumente anzuführen, wobei kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben wird.

## **6.1 Klimawandelanpassung auf EU-Ebene**

Im Jahr 2002 wurde im sechsten Umweltprogramm der EU vereinbart, dass bei Investitionsentscheidungen der Klimawandel zu berücksichtigen sei und dass regionale Klimamodelle gefördert werden sollen. Diese sollen zur Sensibilisierung der BürgerInnen dienen und als Vorstufe zu regionalen Anpassungsmaßnahmen dienen (Frommer et al. 2013).

2007 wurde mit dem Grünbuch der Kommission zum Thema Anpassung an den Klimawandel die Notwendigkeit eines rechtzeitigen Anpassens an den Klimawandel herausgestrichen. Als Eckpfeiler, die dieser Entwicklung dienlich sind, wurden außenpolitische Maßnahmen, Verringerung der Unsicherheit durch Erweiterung des Wissens, rechtzeitiges Handeln und die Zusammenarbeit zwischen Wirtschaft, Gesellschaft und öffentlichen Stakeholdern genannt um eine koordinierte Anpassung zu ermöglichen. Vor allem wird die Bedeutung der Anpassung als zweites Standbein neben dem Klimaschutz anerkannt und erste Anpassungsinitiativen dargeboten. Raumplanung, die explizit als Querschnittsmaterie genannt wird, wird im Bericht als probates Mittel der Wahl zur Festlegung von Anpassungsmaßnahmen angesehen, da durch diese die Flächennutzung unter dem Gesichtspunkt der Anpassung festgelegt werden kann. Die Entscheidung soll dabei aber auf regionaler Ebene erfolgen und nicht auf EU Ebene. Das Problembewusstsein muss nachhaltig gefördert werden um auch auf lokaler Ebene Veränderungen herbeizuführen und lokale Risiken erkennen zu können. Die EU kann helfen die erforderlichen Maßnahmen zu koordinieren, um sowohl alle nötigen AkteurInnen mobilisieren zu können, als auch in Grenzregionen länderübergreifende Maßnahmen

einsetzen zu können. Darüber hinaus können wirtschaftlich stärkere Länder den wirtschaftlich schwächeren Ländern helfen und Erfahrungen frühzeitig austauschen (Europäische Kommission 2007).

Vor dem Hintergrund, dass viele Projekte zur Anpassung an den Klimawandel sehr lokal und regional begrenzt sind und oftmals nicht sektorenübergreifend sind, wodurch Synergien oftmals nicht ausgenutzt werden könnten, wurde im Jahr 2013 ein weiteres Strategiepaket entworfen. Die EU-Strategie zur Anpassung an den Klimawandel setzt sich zum Ziel, die lokalen, regionalen und nationalen Bemühungen durch einen gemeinsamen Handlungsrahmen zu intensivieren (UBA online 2020b). Die EU besitzt keine nominelle Raumordnungskompetenz, obwohl sich die EU mit Hilfe des Prinzips der begrenzten Einzelermächtigungen ein äußerst wirksames Stück Kompetenz in der Raumentwicklung gesichert hat. So werden für umweltpolitische Maßnahmen, in denen die Raumplanung gefordert ist, besondere Formvorschriften und Anforderungen gestellt, wodurch die EU auch legislative Maßnahmen im Bereich der Raumplanung nutzen darf. Auf dieser Grundlage beruhen zahlreiche Richtlinien den Klimaschutz und die Klimawandelanpassung betreffend (Frommer et al. 2013). Auch die EU-Kohäsionspolitik und EU-Agrarpolitik, sowie Bereiche der Umweltpolitik und Verkehrspolitik zählen als Gemeinschaftspolitiken zu wirksamen Raumplanungsinstrumenten (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, online).

Die Wirkung der Europäischen Ebenen auf die Raumplanung erfolgt somit oftmals indirekt über EU-Richtlinien. Als Beispiel sei hier etwa die Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie zu erwähnen, deren wichtigstes Hauptziel die Etablierung von Natura-2000-Schutzgebieten war. Nachdem Naturschutz in Österreich in die Kompetenz der Länder fällt, musste die EU-Richtlinie in diversen Landesrechten umgesetzt werden. Zu diesen zählen etwa Naturschutz-, Nationalpark- oder Raumordnungsgesetze, sowie weiterführende Verordnungen (UBA online 2020c). Die nationale und subnationale Raumplanung als auch die Regionalplanung muss in weiterer Folge ihre Planung in Abstimmung mit diesen Gesetzen vollziehen. Die Maßnahmen auf EU-Ebene werden somit über fast alle Instanzen und Verwaltungsebenen bis auf die Gemeindeebene weitergegeben und wirken dementsprechend dort (BMNT 2017).

## 6.2 Bundesebene

Die EU-Richtlinien müssen in nationale Gesetze umgewandelt werden, wodurch sie ein wichtiges Element der Klimawandelanpassung auf Bundesebene sind. In den vier Gesetzen zum Klimaschutz, Emissionszertifikaten, Energieeffizienz und Ökostrom finden sich die



zentralen Bereiche zum Thema Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel. Neben diesen Gesetzen, die viele Bereiche vor allem des Klimaschutzes direkt ansprechen, ist es vor allem Aufgabe der Raumplanung, den Fortschritt zur Klimawandelanpassung zu steuern. Aufgrund des, die Kompetenzen der Länder regelnden, Artikels 15 des Bundes-Verfassungsgesetzes (B-VG) fallen alle Angelegenheiten der Raumplanung in die Zuständigkeit der Länder, sofern diese nicht ausdrücklich dem Bund zugewiesen sind (BMLFUW 2017). Die dem Bund zur Verfügung stehenden rechtlichen Planungsinstrumente befinden sich in Einzelgesetzen für jene Sachbereiche, für die ausdrücklich der Bund laut B-VG zuständig ist. Dies betrifft vor allem die Bereiche Bundesstraßen, Forstwesen, Starkstromwege, wenn diese über zwei oder mehr Länder führen, sowie Wasserrecht, Eisenbahnrecht, Bergwesen und Denkmalschutz. Umgekehrt dürfen die Länder nur für jene Bereiche Gesetze und Verordnungen erlassen, die in ihre Zuständigkeit fallen. Daraus ergibt sich, dass Bund und Länder parallel an der Raumordnung, in ihren jeweiligen Wirkungsbereichen, agieren (Schindegger 1999). Somit gibt es kein alleinstehendes Raumordnungsgesetz in Österreich. Die Gesetzgebung der Länder bildet die gesetzliche Grundlage für die überörtliche und örtliche Raumplanung (BMLFUW 2017). Die Raumordnung wird dennoch österreichweit über die österreichische Raumordnungskonferenz (ÖROK) unverbindlich koordiniert. Die ÖROK erstellt dabei das österreichische Raumentwicklungskonzept, dessen letzter Bericht 2017 erschien, sowie verschiedene Richtlinien, die einzelne Sachgebiete betreffen. Der Bericht enthält dabei ein eigenes Kapitel zum Thema Klimawandel, Anpassung und Ressourceneffizienz (ÖROK 2017).

### **6.2.1 Österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel**

Die Raumplanung auf Bundesebene erfolgt vor allem indirekt und auch informell durch Strategien und Vorgaben, die von den Ländern umgesetzt werden müssen. Zu einer dieser Strategien zählt die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel. Klimawandelanpassung hat je nach Lösungsansatz eine tiefgreifende räumliche Dimension. Die Auswirkungen des sich ändernden Klimas führen zu anderen Nutzungsmöglichkeiten und Ansprüchen an Flächen und führen auch zu neuen Nutzungskonflikten. Dies wurde in Österreich bereits frühzeitig erkannt und die Bedeutung von Anpassungsmaßnahmen wurde 2012 durch die Veröffentlichung der Strategie zur Anpassung an den Klimawandel, der auch konkrete Handlungsempfehlungen abgibt, sichergestellt (BMLFUW 2012). Diese Strategie bildet einen bundesweiten Rahmen für klimawirksame Maßnahmen und wurde 2016 mit aktuellen Ergebnissen und der politischen Entwicklung aktualisiert. Es wird angestrebt, den Bericht alle 5 Jahre zu erneuern, um die Erfahrungen aus den Fortschrittsberichten einfließen

zu lassen (klimawandelanpassung.at). Nachstehende Handlungsempfehlungen, die die Raumplanung direkt betreffen, werden vorgestellt:

- *„Klimatologische Verbesserung urbaner Räume, insbesondere Berücksichtigung von mikro/mesoklimatischen Bedingungen bei der Stadt- und Freiraumplanung (BMNT 2017, S. 8)*
- *„Erhaltung und Verbesserung der Einbettung und Vernetzung von Schutzgebieten und Lebensräumen“ (ebd. S. 10).*
- *„Berücksichtigung von mikro-/mesoklimatischen Bedingungen bei der Stadt- und Freiraumplanung“ (ebd. S. 8).*
- *„Sicherung von Frisch- und Kaltluftentstehungsgebieten, Ventilationsbahnen sowie „grüner“ und „blauer Infrastruktur“ innerhalb des Siedlungsraums“ (ebd. S.11).*
- *„Forcierung des quantitativen Bodenschutzes und Berücksichtigung der Bodenqualität bei der Flächeninanspruchnahme“ (ebd. S. 11).*
- *„Integration der Bewertung der Bodenfunktion in Raumplanungsverfahren zur Verbesserung des quantitativen Bodenschutzes“ (BMLFUW 2017 S.27).*
- *„Etablierung einer risikoorientierten Raumplanung: eine risikoorientierte Raumnutzung soll dazu beitragen, dass keine wesentliche Erhöhung des Schadenpotentials bzw. eine Reduktion möglicher Schäden durch Naturgefahren erfolgt sowie durch eine frühzeitige Berücksichtigung von Naturgefahren im Planungsprozess keine untragbaren Risiken entstehen“ (ebd. S. 172).*
- *„Reduktion der Abflussspitzen durch Sicherung des Wasserrückhalts in der Fläche“ (ebd. S. 173).*
- *„Sowohl in der überörtlichen (z. B. im Entwicklungsprogramm) als auch in der örtlichen Raumplanung (z. B. örtliches Entwicklungskonzept, Flächenwidmungsplan oder Bebauungsplan) sind entsprechende Maßnahmen zur Sicherung des Wasserrückhalts in der Fläche zu verankern“ (ebd. S. 173).*

Die vorgestellte Strategie sieht die Raumplanung als wichtige Schnittstelle zwischen unterschiedlichen Ebene der Verwaltung und Politik und als Querschnittmaterie an. In wesentlichen Bereichen der Planung nimmt das Strategiepapier einen direkten Bezug zur Raumplanung und gibt Anreize, welche Maßnahmen auf Landesebene in die Gesetzgebung miteinbezogen werden sollten und welche spezifischen Handlungsbereiche in Bezug auf den Klimawandel in Zukunft zu berücksichtigen seien (BMNT 2017).

## 6.3 Landesebene am Beispiel Niederösterreichs

Nach Betrachtung der raumplanerischen Maßnahmen für die Klimawandelanpassung auf nationaler Ebene, werden die Instrumente und Möglichkeiten auf Landesebene am Beispiel Niederösterreichs behandelt. Auf regionaler Ebene sind vor allem die Betrachtung der regionalen Eigenschaften, wie Topografie und deren Auswirkungen auf das Klima, Kaltluftentstehungsareale, und klimatologische Gegebenheiten in einem Maßstabbereich von ca. 1:50.000 relevant (Henninger % Weber 2020).

Die Länder formulieren auf Landesebene ihre jeweiligen Raumordnungsgesetze. In diesen sind Zielformulierungen und Planungsgrundsätze enthalten, welche in der überörtlichen Planung als Grundlage zum Tragen kommen. Die Gesetze nennen dabei für die überörtliche Ebene Planungsinstrumente, wie Landesentwicklungsprogramme, regionale Entwicklungsprogramme oder auch sektorenspezifische Sachprogramme. Auch für die regionalen Raumordnungsprogramme sind die entsprechenden Instrumente und der gesetzliche Rahmen angegeben. Aufgabe dieser Programme ist es, die Raumordnungsgesetze zu konkretisieren und für die ihr nachgeordneten Ebenen Vorgaben zu erlassen (BMLFUW 2017).

### 6.3.1 Niederösterreichisches Raumordnungsgesetz

Im Niederösterreichischen Raumordnungsgesetz (NÖ ROG 2014) werden zu Beginn Leitziele formuliert, die den Vorrang der überörtlichen vor der örtlichen Planung angeben, und unter anderem eine Erhaltung und Verbesserung des Orts- und Landschaftsbildes und einer Vermeidung von Gefahren für Gesundheit der Bevölkerung nennen. Ein direkter Bezug zum Thema Klimawandelanpassung lässt sich nur in folgenden Punkten finden.

- *„Vermeidung von Gefahren für die Gesundheit und Sicherheit der Bevölkerung. Sicherung bzw. Ausbau der Voraussetzungen für die Gesundheit der Bevölkerung insbesondere durch“*
  - *„Sicherung der natürlichen Voraussetzungen zur Erhaltung des Kleinklimas einschließlich der Heilkimate und Reinheit der Luft“ (§ 1 Abs. 19. Zif. 2. Lit i NÖ ROG 2014)*

Sowie in der Widmung zum Grünland, wo Gebäude nicht als erhaltenswert gewidmet werden dürfen, wenn sie u.a. *„ungünstiges Kleinklima oder eine andere Auswirkung natürlicher Gegebenheiten gefährden“* (§ 20 Abs. 4 Zif. b NÖ ROG 2014).

Bei der Erstellung oder bei erheblichen Änderung von überörtlichen Raumordnungsprogrammen ist eine strategische Umweltprüfung durchzuführen, welche auch klimatische Faktoren, sowie hydrologische Gesichtspunkte zu berücksichtigen hat (§ 4 Abs. 6. Zif. 6 NÖ ROG 2014). Eine Zielsetzung zur klimaangepassten Raumordnung, die tiefgreifende Änderungen beinhaltet, lässt sich aber vermissen.

### 6.3.2 Regionale Raumordnungsprogramme

In Niederösterreich gibt es für sieben Regionen regionale Raumordnungsprogramme in denen unter anderem Siedlungsgrenzen, Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete und erhaltenswürde Landschaftsteile formell, in Form von Verordnungen durch die Landesregierung erlassen werden, festgelegt werden. Die regionalen Raumordnungsprogramme konkretisieren im Wesentlichen die Leitziele des Raumordnungsgesetzes für bestimmte Regionen (Raumordnung Niederösterreich, online)

Vor allem die Begrenzung der Siedlungsausdehnung, bzw. die Lenkung möglicher Siedlungserweiterungen durch die Landesebene, als auch die Festlegung von regionalen Grünzonen stellen wichtige Anpassungsmöglichkeiten auf regionaler Ebene dar, die das Mesoklima beeinflussen können. So wird der Innenentwicklung Vorrang gegenüber der Außenentwicklung in Siedlungen eingeräumt, wodurch der Flächeninanspruchnahme und Flächenversiegelung entgegenwirkt werden kann (LGBl. Nr. 64/2015). Die regionalen Raumplanungsprogramme sprechen die Anpassung an den Klimawandel höchstens indirekt etwa durch die Vernetzung der Biotope oder den Schutz der Grundwasserkörper an. Eine explizite Anpassung der Siedlungen oder Regionen an die Folgen des Klimawandels wird nicht extra erwähnt.

Zur Vermeidung von Naturgefahren ist die Erstellung von detaillierten Planungsgrundlagen und Gefahrenhinweiskarten sowohl auf Bundes- als auch auf Landesebene zu forcieren. Lokale Tiefstellen in der Landschaft sind bei ausreichend großen Regenmengen durch pluviale Hochwässer gefährdet, wenn sich dort auf Grund von reduzierter Versickerungsfähigkeit das Wasser sammelt. Neue Wege, Straßen, und eine geänderte landwirtschaftliche Nutzung können diese Ereignisse durch Veränderung des Abflussbeiwerts, verstärken. Die Gefahrenhinweiskarte zur pluvialen Hochwässern und Hangwässern sind daher in der Planung als Grundlage zu berücksichtigen. Darüber hinaus dienen sie der Öffentlichkeit als Informationsquelle und zur Bewusstseinsbildung (ÖROK 2018).

### 6.3.3 Informelle Instrumente

Neben diesen gesetzlichen, nominellen Raumplanungsinstrumenten gibt es noch eine Reihe informeller Instrumente, die unter anderem zur Klimawandelanpassung hilfreich sind, wie etwa regionale Entwicklungskonzepte, die im Unterschied zu den Entwicklungsprogrammen nicht verbindlich sind.

Da die Anpassung an den Klimawandel einen langfristigen Planungshorizont erfordert und zwischen der Entscheidung zur Umsetzung und dem Eintritt der Wirkungen der Maßnahme viel Zeit vergeht, ist es wichtig, die Leitbilder deutlich zu formulieren, um zu einer eindeutigen Zielsetzung zu führen. Auf diesen Zielen können Maßnahmen erarbeitet und umgesetzt werden (Franck et al. 2013). Das niederösterreichischen Klima- und Energieprogramm 2020 kann als solches Leitbild mit einer klaren Zielformulierung gesehen werden. Denn dass die Anpassung an den Klimawandel eine große Herausforderung darstellt wird im niederösterreichischen Klima- und Energieprogramm 2020 gleich zu Beginn angeführt. Das Programm sieht sich als Umsetzungsschnittstelle für eine Reihe von Inhalten, darunter unter anderem die Österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel, das Klimaschutzgesetz des Bundes und die niederösterreichische Klima- und Energiepolitik. Das Programm sieht sich als Vernetzung und Koordinierungsschnittstelle zwischen den zahlreichen Dienststellen und Partnerorganisationen. Es enthält 224 Einzelinstrumente, die die gesetzten Zielvorgaben im Klimaschutz und der Anpassung an den Klimawandel in den Bereichen Gebäude, Mobilität und Raumentwicklung, Kreislaufwirtschaft, Landwirtschaft und Energieversorgung umsetzen sollen. Im Bereich der Mobilität und Raumentwicklung werden die steigenden Temperaturen, Hitzewellen und Starkregenereignisse als besondere zukünftige Herausforderungen dargestellt, die gesundheitliche Belastungen, erhöhte Naturgefahrenpotentiale und ein erhöhtes Raumnutzungskonfliktpotential beherbergen. Die Raumplanung soll daher stärker auf Klimaschutz und Klimawandelanpassungsaspekte ausgerichtet werden. Dazu wird ein umfangreiches Maßnahmenpaket, das die in Abbildung 24 aufgelisteten acht Maßnahmen mit jeweils einer Vielzahl an Instrumenten enthält, angeführt.

**Abbildung 24: Maßnahmen für den Bereich Mobilität und Raumentwicklung im niederösterreichischen Klima- und Energieprogramm**

Maßnahmen bis 2020		Anzahl Instrumente bis 2020
Bereich Mobilität und Raumentwicklung		
M1	Siedlungsentwicklung stärker auf Energieeffizienz und sparsame Inanspruchnahme von Boden ausrichten	5
M2	Siedlungsschwerpunkte zur Sicherung der Lebensqualität stärken	6
M3	Siedlungsentwicklung und Verkehrsnetze untereinander abstimmen	6
M4	Bewusstseinsbildung und Teilhabe der Bevölkerung in Raumplanungsfragen erhöhen	5
M5	Energieeffizienz im Personenverkehr erhöhen	3
M6	Umweltfreundlichen Verkehrsträgermix (Umweltverbund) erhöhen	7
M7	Klimagerechte Verkehrsinfrastruktur stärken	7
M8	Anteil alternative Antriebe erhöhen	7

Quelle: Obricht et al. (2017)

Darüber hinaus werden die Maßnahmen eigens nach ihrer Klimawandelanpassungswirkung klassifiziert. In Tabelle 15 sind folgende Maßnahmen im Bereich der Mobilität und Raumentwicklung angeführt, die einen hohen Bezug zur Raumplanung aufweisen, und im Programm als hoch wirksame Anpassungsmaßnahmen angesehen werden (Obricht et al. 2017).

**Tabelle 15: Hoch wirksame, raumplanungsbezogene Anpassungsmaßnahmen**

M1 Siedlungsentwicklung stärker auf Energieeffizienz und sparsame Inanspruchnahme von Boden ausrichten	
1 Örtliche Siedlungsentwicklung auf sparsamen Umgang mit Fläche / Boden verbindlich ausrichten	Die verbindliche Ausrichtung der örtlichen Siedlungsentwicklung auf sparsamen Umgang mit Fläche/ Boden soll in einer Novelle des NÖROG festgelegt werden. Dabei ist der Innenentwicklung gegenüber der Außenentwicklung Vorrang einzuräumen.
3 Widmungsinstrument „Vorbehaltsfläche“ weiterentwickeln	Prüfung der Erweiterung des Anwendungsbereichs und Beschränkung auf ein Baurecht für die Gemeinde anstelle einer Flächenenteignung in einer Novelle des NÖROG.
M2 Siedlungsschwerpunkte zur Sicherung der Lebensqualität stärken	
3 Siedlungsentwicklung konzentrieren	Verbindliche Konzentration der örtlichen Siedlungsentwicklung an den best ausgestatteten Standorten
6 Klimarelevante Bepflanzungen in Ortszentren und Siedlungskernen in Zusammenhang mit Gebäuden und Verkehrsflächen forcieren	Zur aktiven Etablierung und Gestaltung von Kleinklimazonen (Stichwort: eingrünen, umgrünen, durchgrünen, beschatten, kühlen, ...) werden regionale und lokale Umsetzungen angestrebt. In einem landesweiten Konzept sollen relevante Rahmenkriterien zusammengefasst und anhand konkreter Beispiele die Wirksamkeit geprüft werden.

Quelle: Obricht et al. (2017)

Leitbilder, wie dieses, tragen als wichtiges informelles, da nicht bindendes, Instrument der Raumplanung dazu bei, die Ziele und Maßnahmen öffentlichkeitswirksam vorzustellen und

erleichtern die Umsetzung der Maßnahmen und die Einbindung diverser beteiligter AkteurInnen (Obricht et al. 2017).

Darüber hinaus existieren eine Reihe von Leitfäden, etwa der Leitfaden zur Regenwasserbewirtschaftung (Kleidorfer et al. 2019), der Leitfaden zur naturnahen Oberflächenentwässerung für Siedlungsgebiete (Grimm & Achleitner 2010), oder die Urban Heat Island Strategie der Stadt Wien (Brandenburg et al. 2015), die sich direkt mit dem Thema der Klimawandelanpassung im Detail beschäftigen, dabei konkrete Problemfelder beleuchten und detaillierte Handlungsempfehlung und Maßnahmen vorschlagen, die in der Praxis umgesetzt werden können. Sie dienen dazu, das vorhandene Wissen über zukünftige Klimaänderungen und Lösungsansätze an die Verwaltungs- und Entscheidungsebenen, vor allem in jenen Gemeinden, die nicht über eigene Planungsabteilungen verfügen, wie dies etwa in personenschwachen Gemeinden und Kleinstädten sehr häufig der Fall ist, weiterzugeben (Kleidorfer et al. 2019).

## 6.4 Gemeindeebene

Der Gemeindeebene kommt in der Anpassung an den Klimawandel die größte Bedeutung zu. Sie ist jene Ebene, die von den BürgerInnen am deutlichsten wahrgenommen wird, und in der zahlreiche lokale Anpassungsmaßnahmen umgesetzt werden können, aber in der auch die Folgen des Klimawandels direkt sichtbar und spürbar werden. Die Relevanz der Klimawandelanpassung ergibt sich dabei unter anderem aus der Möglichkeit der Gemeinde Grün- und Freiflächen zu widmen, Vorbehaltsflächen freizuhalten oder etwa Grünkorridore und Bäume in der Straßengestaltung zu verwirklichen, welche wichtigen Funktionen sowohl hinsichtlich der Reduktion des Hitzeinseleffekts, als im Umgang mit Niederschlagswasser haben (Frommer et al. 2013). Durch die vielfältigen Modifikationsmöglichkeiten, die die Planung auf das Stadtklima ausüben kann, sind eine vorausschauende Planung und die Berücksichtigung lokaler Einflussfaktoren von außerordentlicher Bedeutung. Der Erhalt und die Neugestaltung von Frischluftleitbahnen, urbanen Freiflächen und Orte von positiver mikroklimatischen Eigenschaften, die darüber hinaus eine Erholungsfunktion bieten als auch, vor allem in Neuplanungsbereich, die Orientierung und Form von Gebäuden sowie die Auswahl klimagünstiger Materialien (Henninger & Weber 2020) stellen an die Planung, vor allem auf Gemeindeebene große, und auch bedeutende Herausforderungen. Darüber hinaus schlagen Henninger und Weber (2020) vor, bei Planungsvorhaben klimatische Faktoren gegenüber den ökonomischen Faktoren stärker zu berücksichtigen. Es sollte von einem separaten Betrachtungsansatz, der nur einen Faktor in den Fokus rückt, auf ein umfassenden,

einen integrativen Ansatz, der die Gesamtheit der Funktionszusammenhänge berücksichtigt, übergegangen werden, um sowohl die ökologische als auch ökonomische Faktoren zu beachten (Henninger & Weber 2020).

Die örtliche Raumplanung fällt auf Basis von Art 118 Abs. 3 Z. 9 B-VG in die direkte Zuständigkeit der Gemeinden, wobei sie sich an die Gesetze und Verordnungen der hierarchisch höheren Ebene, also Bund und Land, zu halten hat. (B-VG). In Niederösterreich ist jede Gemeinde verpflichtet, ein örtliches Raumordnungsprogramm sowie einen Flächenwidmungs- und Bebauungsplan zu erstellen und zu verordnen. Die Gemeinden dürfen darüber hinaus ein Entwicklungskonzept, in dem die Ziele des örtlichen Raumordnungsprogrammes konkretisiert werden, als Teil des örtlichen Raumordnungsprogramms verordnen. Die Erstellung und Änderung des örtlichen Raumordnungsprogrammes muss auf Basis einer detaillierten Grundlagenforschung über den natürlichen, sozialen und kulturellen Zustand der Gemeinde erfolgen. Zusätzlich ist bei der Erstellung des örtlichen Raumordnungsprogramms eine strategische Umweltprüfung durchzuführen (§ 13 NÖ ROG 2014). Die Gemeinde entscheidet autonom über die Widmung der Flächen, und welche Bauten innerhalb der jeweiligen Widmung zulässig sind. Sie muss aber bei der Widmung auf die übergeordnete Planung und Gesetzeslage Rücksicht nehmen (Raumordnung Niederösterreich 2, online), dabei ist sie aber keiner Weisungspflicht unterlegen (Art 118 Abs. 4 B-VG). Schlussendlich finden alle Leitziele, die in den verschiedenen Ebenen der Raumplanung definiert worden sind, über die Flächenwidmungs- und Bebauungspläne ihre konkrete Anwendung in der Baubewilligung über die in Form eines Bescheids entschieden wird.

Problematisch in der Umsetzung von Klimawandelanpassungsmaßnahmen in der Praxis, vor allem in Kleinstädten und Gemeinden, die keine ausreichenden Ressourcen für die Planung und keine eigenen Planungsabteilungen besitzen, wie das etwa Großstädte der Fall ist, ist, dass besonders jene Bereiche betroffen sind, welche vielfach zu den Stadtstrukturen zählen die über einen langen Zeitraum historisch gewachsen sind und dass die Anpassung im dortigen Bestand nur schrittweise erfolgen kann und dass darüber hinaus oft nicht ausreichend Flächen verfügbar sind, weshalb die Maßnahmen zur Stadtsanierung und Dorferneuerung besondere Bedeutung erlangen (Henninger & Weber 2020). Hierzu sei auf Kapitel 6.4.3 verwiesen.



### 6.4.1 Flächenwidmungsplan

Der Flächenwidmungsplan kann als sehr effektives Mittel für die Klimawandelanpassung gesehen werden, weil er eine Reihe von Einflussfaktoren steuern kann, die die städtische Wärmeinsel, als auch den Wasserhaushalt modifizieren, indem er die Flächen innerhalb des Gemeindegebiet, aufbauend auf die festgelegten Ziele, widmet (§ 14. Abs. 1 NÖ ROG 2014). Der Flächenwidmungsplan tritt rechtsverbindlich als Verordnung in Kraft, weshalb er neben den strategischen Planungsinstrumenten als rechtlich verbindliches Wirkungsinstrument seine Wirkung entfalten kann. Im Flächenwidmungsplan ist neben dem zu erreichendem Ziel einer geordneten Siedlungsstruktur, in dem keine gegenseitige Beeinträchtigung der Widmungen vorliegt, auch der Umweltschutz sowie die Berücksichtigung von Naturgefahrenzonen zu beachten (Hauer et al. 2006). Darüber hinaus kann mit sorgsamem Einsatz dieses Instruments die nachhaltige Raumentwicklung durchgesetzt, die sparsame Verwendung von Bauland gewährleistet, der Landschaftszerschneidung vorgebeugt und der Innenentwicklung, vor der Außenentwicklung, in Siedlungen Vorrang eingeräumt werden. Durch den Flächenwidmungsplan wird jeder Parzelle nach Zielsetzung des örtlichen Raumordnungsprogramms eine Widmung zugewiesen und folgt dabei zwei Aspekten. Auf der einen Seite der Ordnungsfunktion, die zukünftige Konflikte erkennen und vorausschauend vermeiden soll, und auf der anderen Seite der Entwicklungsfunktion, durch die gewünschte Gemeindeentwicklungen vorangetrieben werden sollen (Weber (2006) zitiert in Waigl (2014)). Die Klimawirksamkeit des Instruments Flächenwidmungsplan entfaltet sich folglich aus den Zuweisungen der Nutzungsmöglichkeiten auf einer Flächen (Stadtschreiber 2017).

Klimatologisch betrachtet befindet man sich in der Maßstabsebene von ca. 1:10.000, in der die räumliche Lage, Siedlungsstruktur und Bebauungstypologie als auch Luftleitbahnen planungstechnisch modifizierbar sind. Der urbane Wärmeinseleffekt als auch human-biometrologische Fragen nehmen in dieser Planungsebene einen wichtigen Stellenwert ein, weshalb auf dieser Maßstabsebene die Klassifizierung von unterschiedlichen stadtklimatologischen Bereichen wichtig ist, um eine entsprechende klimawandelangepasste Planung ermöglichen zu können (Henninger & Weber 2020). Das Modell der lokalen Klimazonen kann, als Hilfestellung für die Feststellung von Gebieten sein, die durch Überwärmung besonders betroffen sind.

Darüber hinaus können mit Hilfe von Flächenwidmungs- und auch Bebauungsplänen vor allem bei der Neuerschließung von Siedlungsgebieten Aspekte des nachhaltigen Regenwassermanagements bereits früh integriert werden, um die nötigen Flächen für blaue und grüne Infrastruktur frei zu halten (Simperler et al. 2018). Grimm und Achleitner (2010) nennen den §16 Abs. 4. Nö ROG „Fertigstellung oder Sicherstellung der Ausführung

infrastruktureller Einrichtungen“ als „Instrument zur Absicherung der Umsetzung einer naturnahen Oberflächenentwässerung“ (Grimm & Achleitner, 2010, S. 45).

Im örtlichen Entwicklungskonzept können auf Basis von Gefahrenhinweiskarten Risikogebiete freigehalten werden. Durch den örtlichen Charakter von pluvialen Hochwässern lässt sich das Risiko von Schäden mit Hilfe der Freihaltung von Flächen für Fließwege und Abflussgassen im Flächenwidmungs- und Bebauungsplan reduzieren. Die Freihaltung dieser Flächen bestimmt in weiterer Folge die Straßenführung und die Flächenwidmung. Des Weiteren soll auf die Versickerungsfähigkeit des Bodens im urbanen Raum geachtet werden (ORÖK 2018).

### 6.4.2 Bebauungsplan

Stadtklimatologisch betrachtet finden sich auf Ebene des Bebauungsplans mikroklimatische und thermische Strukturen im Maßstabbereich von 1:5000 wieder. Lokale Flurwinde, Kaltluftbereiche und lokale Windverhältnisse sind ebenso feststellbar, wenn auch vor dem Hintergrund, dass höhere Skalenebenen diese beeinflussen, wie die kleinräumige Unterscheidung von Emissionsquellen. Ebenso ist die Betrachtung von stadtklimatologischen Fragestellungen und Anwendungen zulässig, da lokale Beschattungen, Evapotranspiration und lokale Belüftung einen direkten Einfluss auf den Menschen ausüben. Aussagen zum human-biometrischen Wohlbefinden sind in dieser Maßstabebene von großer Bedeutung (Henninger & Weber 2020).

Dem Bebauungsplan kommt entsprechende Bedeutung zu, weil durch diesen die Bebauung und die verkehrliche Erschließung im Detail festgelegt werden, und in diesem auf das Ortsbild und auf die Umwelt Rücksicht genommen werden muss. Im Bebauungsplan werden die Bebauungsweise und die Bebauungshöhe festgelegt, als auch, die Bebauungsdichte und die Ausgestaltung von Freiflächen. Dadurch hat der Bebauungsplan den größten direkten Einfluss auf die Art und Weise der Bebauung. In Bezug auf das nachhaltige Regenwassermanagement können auf Ebene des Bebauungsplans Zonen verordnet werden, in denen Niederschlagswässer von versiegelten Flächen oder Dachflächen versickern können (§ 30. NÖ ROG 2014). Der Bebauungsplan kann dabei für das gesamte Gemeindegebiet oder für abgrenzbare Teilflächen entworfen werden (§ 29. NÖ ROG 2014), wobei allerdings die Umgestaltung im Bestand nur auf sehr langfristige Sicht erfolgt und bestehende Siedlungsstrukturen kaum adaptiert werden können.

Es ist der Gemeinde möglich, detaillierte Bestimmungen und Verbote für die zu planenden Flächen festzulegen und dabei neben der Sicherung von überörtlichen Planungszielen auch

den nötige Planungsspielraum zu behalten (Hauer et al. 2006). Durch die Flächenwidmungspläne und Bebauungspläne ist es möglich, lokale Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel umzusetzen und eine Adaptation an das zukünftige Klima zu schaffen. So kann parzellenscharf konkreter Einfluss auf die Bebauung und Bauweise genommen werden, wodurch auf klimarelevante Faktoren, wie Versiegelungsgrad oder Bebauungsdichte, Einfluss genommen werden kann, wodurch sich in weitere Folge die urbane Wärmeinsel modifizieren lässt. Grünflächenausweisungen, Bepflanzungsgrad und Dachbegrünungen können festgelegt werden, wodurch sich zusätzlich zur klimatischen Verbesserungen der Abflussbeiwert innerhalb der Siedlung regulieren lässt. Dadurch lässt sich bei Starkregenereignissen das Gefahrenpotential durch Überschwemmungen verringern (Frommer et al. 2013; ORÖK 2018). Die detaillierte Festlegung der Straßenfluchtlinie und des Straßenniveaus innerhalb des Bebauungsplanes erlaubt die Vorbereitung für Regenwassermanagementsysteme. Durch eine klimasensitive Standortwahl von Gebäuden können Schäden durch pluviale Hochwässer in Zukunft vermieden werden, weshalb Tiefenlinien des Geländes für natürliche Entwässerung freigehalten werden müssen (Grimm Achleitner, 2010). Konzepte zur nachhaltigen Oberflächenentwässerung zusammenhängender Gebiete können ebenfalls im Bebauungsplan festgelegt werden. Ferner ist es möglich detaillierte Vorgaben zur Gebäudeanordnung am Grundstück, die Bestimmung oder Verbot von Geländeänderungen, Flutmulden und Ableitungsbauwerke zu verordnen. Nach Möglichkeit soll eine Versickerung des Niederschlagswassers am Grundstück gewährleistet werden, bevor technische Maßnahmen errichtet werden (ORÖK 2018). Für die Entwässerungssicherheit sind die Installationen dabei auf öffentlichen Grund zu treffen, wohingegen Maßnahmen, die zur Verbesserung des Mikroklimas und des Wasserhaushalts beitragen, sowohl auf öffentlichen als auch auf privaten Grund liegen können (Grimm & Achleitner 2010).

Die aktuell gültigen Rahmenbedingungen für den Bebauungsplan lassen zwar große Potentiale für die Klimawandelanpassung erkennen, allerdings entfalten sie ihre Wirkung vorrangig in zukünftigen Siedlungserweiterungsflächen und Planungsgebieten. Die offen gehaltenen Formulierungen der Zielsetzungen lassen zwar genügend Handlungs- und Interpretationsspielraum zu, eine konkretere Formulierung und Fokussierung der gesetzlichen Rahmenbedingungen wären aber wünschenswert, um die Anpassung an den Klimawandel gesetzlich stärker zu verankern und voranzutreiben. Denn eine große Herausforderung bleibt die Bereitstellung von ausreichend großen Flächen für die Klimawandelanpassung und in diesem Sinne auch für ein dezentrales Regenwassermanagement.

### 6.4.3 Umsetzungsmöglichkeiten im Bestand

Die Gemeinden sind gefordert, dass sie bei heutigen Planungsentscheidungen die zukünftigen Gegebenheiten berücksichtigen. Dies ist ein langfristiger, jahrzehntelanger Prozess. Die Raumplanungsinstrumente geben den nötigen Rahmen, um die Anpassungsmaßnahmen umzusetzen. Jedoch muss für diese Umsetzung erst die Bereitschaft von Politik und Bevölkerung gegeben sein. Kleinstädte verfügen oft nicht über die nötigen finanziellen und personellen Kapazitäten und Ressourcen, um Umwelt Policies und Klimawandelanpassungsmaßnahmen in ihrem Wirkungsbereich etablieren zu können (Hoppe et al. 2014). Dieser Ressourcenmangel führt dazu, dass Gemeinden oft nicht in der Lage sind von sich selbst die Initiative zu ergreifen, weil sie mit den bereits bestehenden Arbeitsaufgaben überfordert sind. Die Komplexität und der Zeithorizont des Klimawandels führen des Weiteren dazu, dass akute Problemlösungsmaßnahmen der Vorrang gegenüber langfristig, vorsorgenden Projekten gegeben wird (Frommer et al. 2013). Hoppe et al. (2014) nennt nach Bulkeley und Betsill (2003) fünf Faktoren, die nötig sind um auf lokaler Ebene Klima Policies zu etablieren. Es benötigt hierzu 1) eine engagierte Persönlichkeit in der lokalen Verwaltungsebene, welche 2) eine starke Haltung zum Thema Klima einnimmt, 3) die Verfügbarkeit von nötigen Fördermitteln 4) Einflussmöglichkeiten in den entsprechenden Institutionen hat und 5) die den politischen Willen zur Anpassung hat. Wenn die Verwaltung und Politik nicht selbst reagiert, oder wenn nur eine Freiwilligkeit, aber kein Anreiz zur Anpassung besteht ist, ist neben dem Vorhandensein von Klimarisiken und Stressfaktoren, ausgelöst durch den Klimawandel, vor allem eine starke Zivilgesellschaft erforderlich, die eine Wandlung einfordert. Formierten Gruppen ist es möglich die Politik und Verwaltung aufmerksam zu machen, und Kapazitäten einzufordern und lokale Anpassungsmaßnahmen auf die politische Tagesordnung zu bringen (Zahran et al. 2008). Biesbroek et al. (2009) nimmt auch an, dass bottom-up Ansätze in der Umsetzung von Adaptationsmaßnahmen besser geeignet sind, als top-down Ansätze, die für die Mitigation besser geeignet scheinen (Biesbroek et al. 2009).

Die Anpassung an den Klimawandel im Bestand ist eine große Herausforderung. Während durch die Adaptierung der Planungsziele und der klimagerechten Anwendung von Flächenwidmungs- und Bebauungsplan vorrangig auf neu zu planende Fläche starker Einfluss genommen werden kann, bleibt der Großteil des vorhandenen Siedlungsgebietes unberührt, obwohl dort das Schadenspotential durch Hitzewellen und Starkniederschlagsereignisse besonders ausgeprägt ist (Frommer et al. 2013).

Für eine klimagerechte formelle Planung ist die Beteiligung und Bewusstseinsbildung der BürgerInnen, als auch der EntscheidungsträgerInnen von großer Bedeutung. Diese

Bereitschaft zur Anpassung muss allerdings in vielen Fällen den EntscheidungsträgerInnen, der Politik sowie der Bevölkerung vermittelt werden (Pütz & Kruse 2010). Vor allem in der Umsetzung von Bauprojekten durch private Bauherren sowie weiterer AkteurInnen wird Verantwortung, auch im Sinne von klimagerechter Zukunft, an Private übertragen. Deshalb müssen vor allem auch private AkteurInnen gefordert sein, sich an der Klimawandelanpassung zu beteiligen. Bürgerforen und Partizipationsprozesse im Kontext des Klimawandels und der lokalen Folgen sind anzustreben (Frommer et al. 2013).

Eine formelle Möglichkeit zur Klimawandelanpassung im Bestand kann durch Dorferneuerungsmaßnahmen erfolgen. Das Land Niederösterreich unterstützt *„die Gemeinde bei der Durchführung von Stadt- und Dorferneuerungsmaßnahmen, die auf Initiative und unter Beteiligung der Bürger erfolgen“* (§ 23 NÖ ROG 2014). Unter Dorferneuerung werden besondere Maßnahmen verstanden, *„die in Abstimmung mit dem örtlichen Raumordnungsprogramm Verbesserungen der räumlich strukturellen Lebensbedingungen in den Bereichen Gesellschaft, Kultur, Wirtschaft und Ökologie bringen sollen“* (§ 1 Abs. 1. Zif. 3 NÖ ROG 2014).

## 6.5 Grenzen der Raumplanung

Der Klimawandel stellt die Raumplanung vor neue spezielle Herausforderungen. Neben dem Problem, dass Anpassungsmaßnahmen unterschiedlicher Sektoren konkurrierend aufeinander und auf die zu beanspruchende Flächen wirken können, ergeben sich Planungsunsicherheiten auf Grund der ungewissen zukünftigen Entwicklung (Franck et al. 2013). Die Unsicherheiten bestehen auf Grund von:

- Unsicherheiten bei der Klimaprojektion
- Globale Auswirkungen der Emissionsentwicklung
- Unsicherheiten bei der Eintrittswahrscheinlichkeit und hinsichtlich des Ausmaßes von Prognosen
- Unbekannte Wechselwirkungen zwischen diversen Bereichen
- Der langfristige Zeithorizont des Klimawandels, der länger als die üblichen Planungshorizonte der Planung ist
- Die Vielzahl der beteiligten AkteurInnen auf vielen Ebene und in unterschiedlichsten Sektoren (Franck et al. 2013)

Alle Unsicherheiten können dabei sowohl während des Prozesses als auch während der Entscheidungsfindung und in der Umsetzung auftreten. Die Raumplanung hat aber den

Anspruch, ihre Planung auf fundierte Wissensbasis und Datengrundlagen zu stellen. Das birgt Schwierigkeiten, da die zukünftigen Prognosen dieser Erwartungshaltung nicht in allen Aspekten gerecht werden können. Zusätzlich sind auf Basis der Klimamodelle weitere Analysen nötig, um Handlungserfordernisse ableiten zu können. Auch eine Planung über den üblichen Planungszeithorizont von etwa 10 bis 15 Jahren ist nötig, da der Klimawandel eine Langfristigkeit der Planungs- und Lösungsansätze erfordert und viele Folgen erst in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts eintreten werden. Dadurch entsteht eine besonders weitreichende Planungsvorschau und Handlungen müssen heute gesetzt werden, obwohl die Folgen erst viel später eintreten werden, weshalb eine Weiterentwicklung der aktuellen Planungsinstrumente erforderlich ist (Franck et al. 2013). Pütz und Kruse (2010) sehen ein Defizit heutiger Planungsinstrumente darin, dass eine antizipative und langfristige Planung schwer möglich sein wird, sind doch die meisten Instrumente auf einen Zeithorizont von 10 bis 15 Jahren ausgerichtet. Dabei dürfen diese Herausforderungen die Handlung nicht stoppen, weshalb bereits im zweiten Sachstandsbericht des IPCC von der no-regret Planung gesprochen wird. *„No-Regret-Strategien basieren auf Konzepten und Verhaltensweisen, die unabhängig vom Klimawandel ökonomisch, ökologisch und sozial sinnvoll sind. Sie werden vorsorglich ergriffen, um negative Auswirkungen zu vermeiden oder zu mindern. Ihr gesellschaftlicher Nutzen ist auch dann noch gegeben, wenn der primäre Grund für die ergriffene Strategie (hier: Anpassung an den Klimawandel) nicht im erwarteten Ausmaß zum Tragen kommt“* (Birkmann et al. 2013 S.:16). Sie sind auch dann als erfolgreich anzusehen, wenn die ursprüngliche Erwartung gegenüber dem Klimawandel anders ausfällt als erwartet. Die Maßnahmen sind rasch umsetzbar und unter den heutigen klimatischen Bedingungen als umsetzungswürdig anzusehen (Birkmann et al. 2013).

Bei der Suche nach Best Practices-Beispielen, die auch in österreichischen Städten Anwendung finden könnten, ist darauf zu achten, dass die Anpassung auch vor dem Hintergrund einer ähnlichen Vulnerabilität erfolgt. So sind Anpassungsstrategien für nordeuropäische Städte, die einen Fokus auf den Umgang mit Hochwässern oder Sturmfluten legen, nicht so sehr für mitteleuropäische Städte, die vor allem einen Schwerpunkt auf den Umgang mit Hitzewellen und Dürren legen müssen, geeignet (Guerreiro et al. 2018).

Trotz und vor allem wegen der genannten Grenzen und Sicherheiten der Planung besteht die Pflicht, die Anpassung an den Klimawandel zeitgerecht durchzuführen. Das bereits heute vorhandene Wissen ist anzuwenden, und Maßnahmen sind so zu planen, dass sie sich an neue Erkenntnisse anpassen lassen. Eine Flexibilität der Anpassungslösungen ist erstrebenswert, um die durch die Klimamodellen, die eine gewisse Unsicherheit innehaben, entstehende Planungsunsicherheit zu kompensieren.

# 7 Urbane grün-blaue Infrastrukturmaßnahmen

Sowohl die EU-Strategien zur Anpassung an den Klimawandel (europa.eu 1) als auch zur Grünen Infrastruktur (Europäische Union 2014) machen auf die Notwendigkeit der Klimawandelanpassung neben dem Klimaschutz aufmerksam. Durch grüne und blaue Infrastrukturmaßnahmen ist es möglich, Vorteile für Gesellschaft und Umwelt zu schaffen, die nötigen Anpassungsmaßnahmen im urbanen Raum zu etablieren und mit Hilfe von Biotopvernetzungen und besseren Lebensräumen für Flora und Fauna die Biodiversität zu erhalten und auszubauen. Dabei beruht *„grüne Infrastruktur auf dem Grundsatz, dass der Schutz und die Verbesserung der Natur und der natürlichen Prozesse und die zahlreichen Nutzen, die die Natur der menschlichen Gesellschaft bietet, bei Raumplanung und territorialer Entwicklung bewusst berücksichtigt werden müssen“* (Europäische Union 2014, S.:3). Grüne und blaue Infrastruktur kann dabei helfen, die Natur wieder in die urbane Landschaft zu integrieren (Hoang; Fenner 2016). Unter urbanen Raum wird dabei nicht nur der großstädtische Raum verstanden, sondern die Gänze des Siedlungsraumes und somit auch zum Beispiel Kleinstädte und ländliche Siedlungen (Kleidorfer et al. 2019). Im Kontext der Siedlungsklimatologie steht dabei die Verbesserung des lokalen Klimas und die Steigerung des menschlichen Wohlbefindens sowie die Auswirkungen der urbanen Veränderungen auf das Ökosystem zu reduzieren, im Vordergrund (Henninger & Weber 2020), weshalb im weiteren Verlauf dieses Kapitels grüne und blaue Infrastruktur im Kontext der Klimawandelanpassung im Siedlungsraum betrachtet wird. Auch den vielfältigen Herausforderungen im Umgang mit Regenwasser und der Ressourcenschonung von Trinkwasser im urbanen Raum kann mit Hilfe von blauer Infrastruktur im Kontext eines naturnahen, dezentralen und robusten Regenwassermanagements begegnet werden. Grüne und blaue Infrastruktur ist dabei der breitest gewählte Ansatz zur Behandlung dieser Problematiken, wodurch neben den Zielen der Siedlungswasserwirtschaft die Maximierung des ökologischen Nutzens und der Klimawandelanpassung verfolgt werden (Kleidorfer et al. 2019).

## 7.1 Grüner Infrastruktur

Grüne und blaue Infrastruktur ist nicht einheitlich definiert und die Bandbreite der vorhandenen Definitionen ist sehr weitreichend. Die Definitionen in der Literatur haben oft einen engen Fokus auf den jeweiligen Forschungsschwerpunkt der Autorin / des Autors und reichen von ökologischen Gesichtspunkten, Biodiversitätsfragen bis hin zu Policy Schwerpunkten. Obgleich die Anzahl der Definitionen steigend ist, gibt es einige Elemente die stets

vorkommen. Zu diesen vorkommenden Worten, die regelmäßig in Definitionen anzutreffen sind, zählen unter anderem: *Zugang, Multifunktionalität, Vorteile für Natur und Mensch, Nachhaltigkeit und Verbindung*. Zusätzlich ist vielen Definitionen gleich, dass grüne Infrastruktur als Teil eines größeren ökologischen Netzwerks gesehen werden soll, das verschiedene Aufgaben und Gebiete verbindet (Mell 2010). In der Strategie der europäischen Union zur grünen Infrastruktur wird diese wie folgt definiert:

*„Grüne Infrastruktur kann definiert werden als ein strategisch geplantes Netzwerk wertvoller natürlicher und naturnaher Flächen mit weiteren Umweltelementen, das so angelegt ist und bewirtschaftet wird, dass sowohl im urbanen als auch im ländlichen Raum ein breites Spektrum an Ökosystemdienstleistungen gewährleistet und die biologische Vielfalt geschützt ist.“* (Europäische Kommission 2014 S.7).

Bei der Minderung von urbanen Wärmeinseleffekten und beim Umgang mit Starkregenniederschlägen kommt grüner und blauer Infrastruktur großes Potential zu, die auch in der Steigerung der urbanen Ästhetik gesehen werden kann (Hoang; Fenner 2016). Darüber hinaus soll aber auch die Gesellschaft der Natur mehr Raum geben, denn diese nützt die Ökosystemdienstleistungen, wie saubere Luft und Wasser (Europäische Union 2014). Neben der Europäischen Union wird auch von nationaler Seite, etwa in der Urban Heat Island Strategie der Stadt Wien (Brandenburg et al. 2015) die Bedeutung von grünen und blauer Infrastruktur hervorgehoben und von der Europäischen Umweltagentur wird sie als eine Möglichkeit zur Klimawandelanpassung in Städten genannt (EEA 2012).

In Österreich werden die Anpassungsmaßnahmen in der „Strategie zur Anpassung an den Klimawandel“ in Anlehnung an die europäische Kommission unterteilt in „graue“, „grüne“, sowie „smarte“ Maßnahmen. Dabei stehen graue Maßnahmen für rein technische Maßnahmen, wie etwa Siedlungsentwässerung über Kanalsysteme. Grüne Maßnahmen zielen auf den Schutz, Erhalt und Optimierung der natürlichen Funktion des Ökosystems ab, mit dem Ziel die Resilienz gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels zu erhöhen oder eine solche zu erzeugen. Darüber hinaus sind smarte, auch bekannt als softe Maßnahmen, die sich auf die Vermehrung von Wissen und eine Bewusstseinsbildung fokussieren (BMLFUW 2012). Während grüne und graue Infrastrukturen an sich zwei unterschiedliche Konzepte darstellen, ist die strikte Trennung zwischen den beiden weder möglich noch immer zielführend. Wie in einer Farbtabelle zwischen grün und grau gibt es Schattierungen und Abstufungen zwischen den Farben, die man als ein grün-grau Kontinuum ansehen kann (Davis et al. 2006). Zum Beispiel können Dach- und Fassadenbegrünung, als in der Mitte zwischen grüner und grauer Infrastruktur liegend, angesehen werden.



Grüne Infrastruktur bietet den großen Vorteil, dass auf einer Fläche mehrere Funktionen sowohl für den Menschen als auch für die Natur nebeneinander stattfinden können. Sie ist daher multifunktional, ein Vorteil gegenüber der grauen Infrastruktur, die oft zweckgebunden ist, und nicht im selben Ausmaß mehrere Aufgaben erfüllen kann. Grüne Infrastruktur setzt sich aus einer Reihe unterschiedlicher Elemente zusammen. Diese reichen von Bäumen, Hecken und grünen Straßen, über begrünte Dächer und Fassaden, bis hin zu naturbelassenen oder renaturierten Flüssen und Auwäldern (Europäische Union 2014). Grüne und blaue Infrastrukturen unterscheiden sich dabei in vielfältiger Weise in ihrer Dimension, weshalb sie in unterschiedlichen örtlichen Gegebenheiten integrierbar sind. Auch sind sie, im Unterschied zur grauen Infrastruktur, die oft neu errichtet werden muss, auf bestehenden (Frei-) Flächen integrierbar (Hoang & Fenner 2016). Den Unterschied zwischen einer herkömmlichen Grünfläche und einer Grünfläche die zur grünen Infrastruktur zählt, macht der Biotopverbund aus. Erst im Verbund und durch die Kombination verschiedener Ökosystemdienstleistungen, wie z.B. Frischluftgenerierung oder Retentionsflächen für Regenwasser wird aus einer grünen Fläche eine grüne Infrastrukturfläche (Europäische Union 2014). Die Vernetzung von Grünräumen fördert dabei die Verteilung von Kalt- und Frischluft in der Stadt, was dem Hitzeinseleffekt entgegenwirkt (Brandenburg et al. 2015). Dem erfolgreichen Einsatz dieser Systeme liegt eine gute Planung zugrunde. Es müssen bereits bei Projektbeginn die entsprechenden Flächen an den passenden Stellen berücksichtigt werden. Auch müssen die entsprechenden Stakeholder und das interdisziplinäre Team von Beginn an zusammenarbeiten, um den Umweltaspekt genügend Stellenwert zu schenken (Woods Ballard et al. 2015). Landwirtschaftliche Nutzflächen zählen, sofern diese nicht besonders umweltschonend bewirtschaftet werden, nicht zum Teil der grünen Infrastruktur (Europäische Union 2014), obwohl sie als Kaltluftentstehungsfläche von Bedeutung für das Klima sind.

## 7.2 Blaue Infrastruktur und Regenwassermanagement

Eine eindeutige Trennung zwischen grüner und blauer Infrastruktur gibt es nicht und ist auch nicht zwangsläufig zielführend. Auch die Europäische Kommission trennt nicht zwischen den beiden. Blaue Infrastruktur ist als Teil der grünen Infrastruktur anzusehen, die einen besonderen Fokus auf den Umgang mit der Ressource Wasser, Wasserflächen, deren Vorteile sowie dem nachhaltigen Umgang mit Regenwasser legen. Henninger und Weber (2020) nennen blaue Infrastruktur als Gewässerflächen, die zu einer Entlastung des lokalen Klimas beitragen und zu denen fließende und stehende Gewässer zählen (Henninger & Weber 2020). Hoang und Fenner (2016) nennen grüne Infrastruktur und „sustainable urban drainage“ in ihrer

Arbeit sehr oft gemeinsam, wodurch die thematische Nähe zwischen den beiden Infrastrukturen deutlich wird.

Einen besonderen Stellenwert nehmen dabei Regenwassermanagementsysteme, deren Grundidee die Annäherung an den natürlichen Wasserkreislauf ist, ein und dabei sehr intensiv auf begrünte Oberflächen setzen (Hoang & Fenner 2016), und dabei neben den siedlungswasserwirtschaftlichen Zielen auch andere ökologische Funktionen erfüllen (Kleidorfer et al. 2019). Als Funktionen von blauer Infrastruktur lassen sich unter anderem das Zwischenspeichern und Nutzen von Regenwassern von Dächern, oder versiegelten Oberflächen, Bioretentionsbecken, Bäume, oder halbdurchlässige Oberflächen die Regenwasser versickern lassen, aber trotzdem begeh- und befahrbar sind, nennen (Woods Ballard et al. 2015). Ziel eines nachhaltigen Regenwassermanagement ist es, die vielseitigen Probleme, wie unter anderem der veränderte Wasserhaushalt in urbanen Räumen, Überflutung oder stoffliche Belastung, die durch die rasche, direkte Ableitung des Regenwassers mit Hilfe von Kanäle entstehen, zu lösen und den Wasserkreislauf wieder einem natürlicherem Regime anzugleichen. Durch das Mehr an Wasser im städtischen Umfeld wird auch der urbanen Wärmeinseln durch Verdunstungsflächen entgegengewirkt. Die grundlegenden Ziele des Regenwassermanagements lassen sich in vier Gruppen zusammenfassen:

- Regulierung der Menge des Abflusses
- Regulierung der Qualität des Abflusses
- Schaffung und Aufrechterhaltung der Aufenthaltsqualität für Menschen
- Schaffung und Aufrechterhaltung der Umweltqualität (Woods Ballard et al. 2015).

Denn neben den ursprünglichen Hauptzielen im Umgang mit dem Niederschlag, nämlich der Überflutungssicherheit und dem Schutz der Gewässer vor Verunreinigung, rückt ein nachhaltiger und naturbezogener Wasserhaushalt immer mehr in den Fokus der Planung, um negativen Auswirkungen der Urbanisierung und Flächeninanspruchnahme entgegenzuwirken (Kleidorfer et al. 2019). Dabei soll das oberflächlich abfließende Niederschlagswasser als Ressource vor Ort genutzt werden und dabei Möglichkeiten zur Versickerung in Grundwasserkörper und zur Evapotranspiration ermöglichen, sowie der Abflussbeiwert und die Abflussgeschwindigkeit auf ein natürliches Maß reduziert werden, um negative Folgen eines zu schnellen Abflusses zu minimieren (vergleiche Kapitel 3.3). Durch die sinnvolle Kombination verschiedener Maßnahmen lassen sich vielfältige Synergien bilden. So kann Niederschlagswasser etwa in Zisternen zwischengespeichert und für Brauchwasser in Haushalten oder zur Bewässerung genutzt werden. Löschwasser kann in Teichen und Becken bereitgestellt werden, wodurch neben landschaftsplanerischer Gestaltung auch Trinkwasser

im Löschfall eingespart werden kann, weil die Teiche durch Regenwasser befüllt werden. Begrünte Dächer können Niederschlag zeitverzögert in Mulden am Boden entwässern (Hillebrand et al. 2016). Mit Schadstoffen belastetes Wasser soll gefiltert werden, um den Schutz des Grundwassers und der Fließgewässer vor Verunreinigungen zu gewährleisten (Woods Ballard et al. 2015), was in Österreich durch die ÖWAV Regelblätter detailliert beschrieben wird (ÖWAV Regelblatt 35, 2003). Darüber hinaus stellt der Schutz von Mensch und Eigentum durch das zunehmende Überschwemmungsrisiko, vor allem durch pluviale Ereignisse, einen sehr hohen Nutzen der blauen Infrastruktur dar, sowie auch der Schutz gegen Austrocknung und Habitatsverlust von Gewässern und des Grundwassers. Dabei soll nicht nur auf heutige Ereignisse Rücksicht genommen werden, sondern insbesondere die zukünftigen Veränderungen des Klimas in Betracht gezogen werden. Die Vorteile für den Umgang mit Wasser und für das Mikroklima sowie die Schutzmaßnahmen lassen sich dabei bereits in sehr kleinen Flächen etablieren. Blaue Infrastruktur stellt eine nachhaltige und robuste Lösung gegenüber sich ändernden Wetterphänomenen dar, die über die in den letzten Jahrzehnten typischen klimatischen Gegebenheiten hinausgehen und für die unter anderem das Abwassersystem in der Vergangenheit konzipiert wurden (Woods Ballard et al. 2015). Die Implementierung von grüner und blauer Infrastruktur löst im sehr komplexen System Stadt eine Kaskade weiterer positiver Nebeneffekte aus, die über die eigentliche Nutzung und Zielsetzung hinausgehen (Hoang % Fenner 2016). Mit Hilfe von blauer Infrastruktur kann im urbanen Raum neben der Resilienz, die Aufenthaltsqualität und die Ästhetik durch den Einsatz von Wasser und grünen Elementen im öffentlichen Raum gesteigert werden und es können multifunktionale Flächen errichtet werden (Woods Ballard et al. 2015). Im Fokus des nachhaltigen Regenwassermanagements stehen der Umgang mit Starkregen sowie die Vermeidung der negativen Folgen des Klimawandels weshalb im strategischen Sinne alle Möglichkeiten zur dezentralen Nutzung, Retention und gedrosselten Ableitung auszunutzen. Vor allem in gering verdichteten Gebieten ergeben sich für semi- und dezentrale Konzepte viele Handlungsmöglichkeiten (Hillenbrand et al. 2016). Bei der Implementation in Altstädten ist Rücksicht auf den Erhaltung des historischen Ambientes zu achten, wobei durch die Ausgestaltung und das Aussehen der Elemente im Detail oder etwa den Einsatz von durchlässigen Bodenbelägen diesem Aspekt Rechnung getragen werden kann (Woods Ballard et al. 2015).

Je nach Flächenverfügbarkeit, der Versickerungsfähigkeit des Bodens, dem Ursprung des Niederschlagswassers (Muschalla et al. 2014), den natürlichen Randbedingungen wie Topographie oder Grundwasserstand, als auch dem Bebauungsbestand und der Versiegelung sind verschiedene Elemente des Regenwassermanagements sinnvoll und umsetzbar (Simperler et al. 2018). Die Kombination unterschiedlicher Infrastrukturmaßnahmen ist dabei als effizient im Umgang mit den diversen Herausforderungen anzusehen. Es ist allerdings

darauf zu achten, dass jene Böden, die gute Sickerfähigkeit aufweisen, mit Elementen der Versickerung und Speicherung ausgestattet werden, und das Retentionselemente in jenen Gebieten eingesetzt werden, deren Böden nur eine geringe Sickerfähigkeiten besitzen (Muschalla et al. 2014).

Die Implementierung von blauer Infrastruktur und ein nachhaltiger Umgang mit Niederschlagswasser erfordert ein Umdenken im Umgang mit dem Abfluss. Eine Trennung im Ableiten von Schmutz- und Niederschlagswasser ist deshalb in allen lokalen Klimazonen notwendig. Dazu ist es notwendig, bei möglicher Eignung, die zu entwässernden Flächen von der Kanalisation abzukoppeln, um dezentrale Entwässerungssysteme zu errichten. Mit Hilfe unterschiedlicher Anreizsysteme, etwa getrennter Gebühren für die Entsorgung von Schmutz- und Niederschlagswasser, der staatlichen Förderung von blauer Infrastruktur (Kleidorfer 2019), sowie Information der beteiligten AkteurInnen über die Vorteile, kann eine kontinuierliche Umwandlung erfolgen. Auch die strengere Auslegung und Handhabung von bereits bestehenden Gesetzen, wie etwa § 45 Abs. 2 NÖ Bauordnung 2014, in dem es heißt, dass grundsätzlich nur die Schmutzwässer in die Kanalisation abzuleiten sind, stellt eine geeignete Maßnahme, vor allem im Neubaubereich, dar. Zusätzlich kommt §3 Abs. 3 & 4 Allg. Abwasseremissionsverordnung zum Zug, wo es sinngemäß heißt, dass gering verunreinigtes Niederschlagswasser vor der Einleitung in die Kanalisation dem natürlichen Wasserkreislauf zurückgegeben werden soll, beziehungsweise falls nötig nach dem Stand der Technik zuvor gereinigt werden soll (Allgemeine Abwasseremissionsverordnung – AAEV).

Über den Umgang mit Niederschlagswasser hinausgehend ist die nachhaltige Nutzung sowohl des Niederschlagswassers selbst, des zugeleiteten Trinkwassers als auch der Abwässer als Teilgebiet der blauen Infrastruktur anzusehen. So umfassen dezentrale und semizentrale Abwasserreinigungskonzepte, zum Beispiel Kleinkläranlagen mit innovativen Betriebskonzepten, denen die lokale Nähe zum Ort der Abwasserentstehung gemein ist. Durch die in Gebieten mit geringer Siedlungsdichte anfallenden hohen Infrastrukturkosten können solche dezentralen Konzepte eine nachhaltige Lösung darstellen, da die Kosten für eine Kleinkläranlage bereits nach etwa 15 Jahren abgeschrieben werden können. Die lokale Aufbereitung des anfallenden leicht verschmutzten Grauwassers, etwa aus Dusche und Bad und von Regenwasser, kann für Toilettenspülung oder für die Bewässerung vor Ort wiederverwendet werden. Damit kann ein Teil des kanalisiert zugeführten Wassers, sowie des gespeicherten Regenwassers als Brauchwasser wiederverwendet werden, während der übrige Teil der Natur zugeführt wird, wodurch insgesamt weniger Trinkwasser verbraucht wird und vor allem in Gebieten mit Trinkwasser aus Grundwasserbeständen dieses geschützt wird. Abwasser aus Toilette und Küche werden im herkömmlichen Weg in den Kanal abgeführt. Vor allem in den Sommermonaten ergeben sich auch klimatische Vorteile, da grüne und blaue

Infrastruktur befeuchtet werden muss, um ihren positiven Kühlungseffekt aufrecht zu erhalten, und diese Bewässerung durch die Inanspruchnahme von aufbereitetem Grauwasser reduziert werden kann (Hillenbrand et al. 2016).

### 7.3 Die Bedeutung der Vegetation auf das Mikroklima in Siedlungen

Der positive Einfluss von Vegetation und urbanen Frei- und Grünflächen auf das Mikroklima in Siedlungen wurde in zahlreichen Studien bestätigt (Matzarakis 2001; Weber 2009; Bowler et al. 2010; Wende et al. 2011; Hackenbruch 2018). Insbesondere auf die durch den Klimawandel zu erwartenden längeren und intensiveren Hitzeperioden ist auf eine intensivere Durchgrünung von Siedlungen zu setzen, um das Mikroklima positiv zu regulieren. Die bereits bestehenden kühlenden Eigenschaften von vorhandenen Grünflächen müssen dabei weiter intensiviert und neue Flächen geschaffen werden. Hierbei besitzen auch kleine grüne Flächen das Potential, ihre lokale Umgebung zu kühlen (Hackenbruch 2018). Die Wirkung der Vegetation beruht dabei vor allem auf den spezifischen Eigenschaften der Evapotranspiration, Schattenspendung sowie der Aufnahme von solarer Energie. Das in Kapitel 2.2.2 vorgestellte Bowen-Verhältnis wird durch den Anteil von Vegetation im Verhältnis zur Versiegelung beeinflusst. Ist der Anteil von Vegetationsflächen reduziert, wird mehr Energie in sensible als in latente Wärme umgewandelt, wodurch das Bowen-Verhältnis größer als 1 ist und dadurch die fühlbare Temperatur steigt. Mit der Zunahme von grüner und blauer Infrastruktur kann dem gegenüber eine Steigerung des latenten Wärmeflusses bewirkt werden, wodurch das Bowen-Verhältnis, und damit auch die Temperatur sinkt (Oke 2017). Ein Großteil der solaren Einstrahlung wird von der Vegetation entweder reflektiert oder absorbiert und die Energie zur Transpiration und Photosynthese genutzt, wodurch diese Energie, im Unterschied zu versiegelten oder künstlichen Materialien, nicht mehr für die Wärmebildung zur Verfügung steht. Deshalb besitzen Grünflächen einen positiven direkten Einfluss auf die Oberflächentemperatur und bieten eine gute Möglichkeit das Mikroklima zu regulieren (Weber 2009). Chàfer et al. (2020) verglichen in einer Studie zwei Pergola-Elemente, von denen eines begrünt war, und das andere nicht. Die Lufttemperatur unterhalb der mit Vegetation besetzten Pergola war in der Nacht um ca. 3°C und unter Tags um ca. 2,5°C kühler, als jene, die keine Vegetation aufwies. Des Weiteren verglichen sie die Orientierung der Pergola-Systeme und kamen zu dem Schluss, dass nach Westen orientierte Systeme effizienter sind, als nach Osten orientierte (Chàfer et al. 2020).

Für eine nachhaltige Reduktion der Hitzebelastung in Städten wird eine sehr intensive und flächendeckende Zunahme der Vegetationsflächen benötigt (Zuvela-Aloise 2016), denn neben

den klimatischen Faktoren verringert ein guter Zugang der Bevölkerung zu Grünflächen das Sterberisiko durch Herz-Kreislauferkrankungen (APCC 2018). Mit Zunahme der städtischen Verdichtung und einem damit verbundenen Anstieg des Versiegelungsgrads ist es notwendig auf den verbliebenen Freiflächen den Grünanteil zu steigern, da Ausgleichsflächen notwendig sind um die negativen Effekte der Versiegelung auszubalancieren (Wende et al. 2011). Urbanes Grün wirkt also als Regulativ für den Klimahaushalt von Siedlungen. Es sollte daher ein dichtes, verteiltes Netz an grünen Freiflächen innerhalb des Siedlungsgebietes angestrebt werden. Kleine vernetzte Flächen sind dabei effektiver als nur einige wenige große Flächen. Parks haben den größten Effekt, wenn sie von Wasser- und Wiesenflächen mit einer lockeren Anordnung von schattenspendenden Bäumen ausgestaltet sind. Die Wirkung hängt von der Zusammensetzung der Bäume, dem Abstand zwischen Bäumen und den offenen Flächen sowie der Größe des Parks ab (Wende et al. 2011). In Tabelle 16 sind für gängige Bodenbedeckungsklassen und Vegetationsstrukturen die klimatischen und lufthygienischen Auswirkungen zusammenfassend angeführt.

**Tabelle 16: Klimatische und lufthygienische Wirksamkeit von Bodenbedeckungen und Vegetationsstrukturen**

Bodenbedeckung	Temperaturabsenkung	Evapotranspiration	Windbremsung	Kaltluftentstehung
Versiegelte Flächen	Keine	--	--	--
Teilversiegelte Flächen	-- bis -	-	--	-
Offene Böden	0 (-/+)*	0 (-/+)*	--	0 (-/+)*
Rasen	++	0	-	++
Ruderales Pioniervvegetation (geringe Deckung)	+	-	-	+
Wiesen/Staudenfluren	++	+	0	++
Niedrige Gebüsch	+	+	+	+
Hohe Gebüsch, Baumgruppen	+	++	++	+
Wald	0	++	++	0
Gewässer mit Ufervegetation	-	++	--	-

(-- sehr gering, -gering, 0 mittel, + hoch, ++ sehr hoch, \* in Abhängigkeit der Bodenfeuchte)

Quelle: Stiles et al. (2014), nach Pierkes et al. (1994); verändert von Mathey et al. (2011)

Die Verteilung und Erreichbarkeit der mikroklimatisch wirksamen Flächen ist für die Bevölkerung und für die kühlende Funktion der Flächen innerhalb der Siedlung entscheidend,

damit diese auch entsprechend ihrer klimatischen Funktion wirken können und allen sozialen Strukturen gleichermaßen zur Verfügung stehen. Dementsprechend ist Sorge dafür zu tragen, dass eine ausreichende Erreichbarkeit sowie Angebot an Grün- und Freiflächen im Wohnumfeld gewährleistet ist, als auch, dass die Flächen entsprechend untereinander vernetzt sind. (Henninger & Weber 2020).

### 7.3.1 Die Bedeutung von blauer Infrastruktur auf das Mikroklima

Wasserflächen üben ebenso wie Vegetationsflächen einen positiven Einfluss auf die urbane Energiebilanz durch Kühlungs- und Temperatureausgleicheffekte und in Folge dessen auf das urbane Klima aus, was ebenso wie der positive Effekt der Vegetation in zahlreichen Studien bewiesen wurde (Henninger & Weber (2020) nennen unter anderem: Völker et al. (2013); Löhmus & Balbus (2015); Hasse (2015)). Das Fehlen von Wasser und von Evapotranspiration ist ein Grund für die Bildung des Hitzeinseleffekts (Oke 1987). Da sich Wasser, auf Grund der großen Wärmekapazitätsdichte, langsamer erwärmt als versiegelte Oberflächen, sind Wasserflächen tagsüber oft kühler als diese (Henninger & Weber 2020). Die Ursache dieses Kühlungseffektes liegt in der Verdunstungsleistung und in der Absorption der Strahlung durch die Wasserflächen. Es spielt aber vor allem auch die nicht vorhandene Oberflächenrauigkeit, die den Windstrom nicht behindert und für gute Durchlüftung sorgt, eine Rolle (van Hove et al. 2011; Henninger & Weber 2020). Wasser besitzt deshalb eine wichtige Rolle in der Hitzeanpassung von Siedlungen, die vor allem auf drei wesentliche Eigenschaften beruht:

- Evapotranspiration. Für die Verdunstung wird sehr viel Energie aus der Umgebung benötigt, welche somit für anderen Erwärmungsprozesse nicht mehr zur Verfügung steht. Hohe spezifische Wärmekapazität von Wasser, etwa 4 mal so hoch wie andere urbane Materialien, sowie die thermische Trägheit, die als Dämpfer für die Erwärmung fungiert,
- Niedrige Albedoeigenschaften, wodurch durch die Reflexion andere Oberflächen nicht mehr angestrahlt werden, und sich somit nicht aufwärmen können (Dominguez & Sanchez de la Flor 2016).

Die Eigenschaft zur Evapotranspiration stellt dabei die wesentlichste Eigenschaft im Umgang mit dem städtischen Hitzeinseleffekt dar, die insbesondere auf Straßenniveau durch kleine Teiche, Brunnen und Spraytürme wirksam ist. Wobei mit Hilfe von Sprühduschen, die einen künstlichen Nebel erzeugen, dessen Wasser an der warmen Luft rasch evaporiert, die Luft sehr wirksam gekühlt werden kann, auch wenn dies zur technischen und nicht rein grünen Infrastruktur zählt. Beim Einsatz dieses Systems muss darauf geachtet werden, dass die

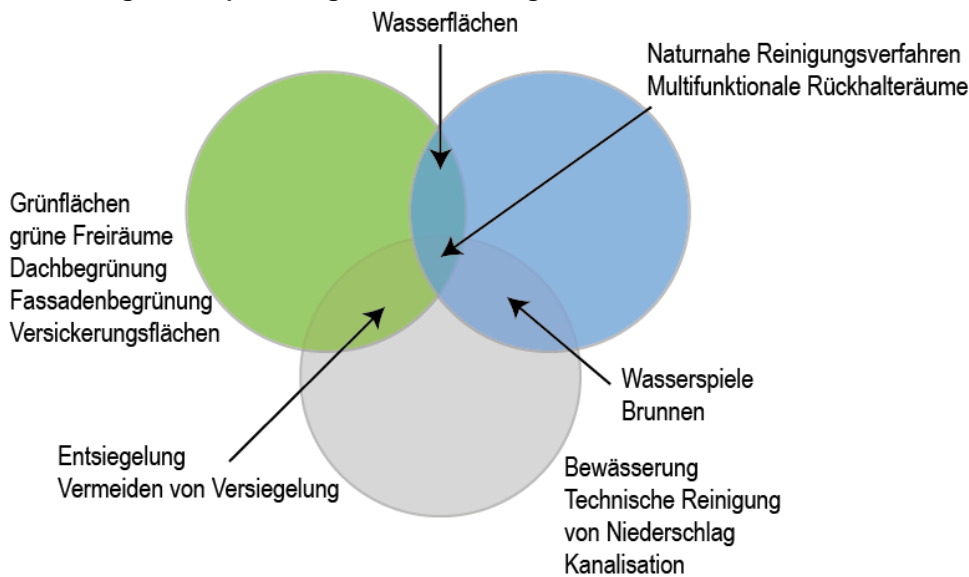
Bevölkerung nicht nass wird, sondern dass der Nebel fein genug bleibt, und dass die relative Luftfeuchtigkeit angenehm niedrig, unter 65% gehalten wird (Dominguez & Sanchez de la Flor 2016). Wie gut Wasser das lokale Klima modifizieren kann, hängt in Folge von der Art des Gewässers (Fließ-, oder Stillgewässer), der Wassertiefe, der Größe und der Lage im Stadtsystem ab, wobei alle Elemente, die man zur (grün-) blauen Infrastruktur zählt, unter anderem wie etwa Teiche, Retentionsbecken, Bioswales oder Wasserspiele klimawirksam sind und die Umgebungstemperatur senken können. Dabei haben Auen und stark befeuchtete Freiflächen den größten positiven Effekt, wohingegen Teiche ein geringes Abkühlungspotential der Umgebung aufweisen (Henninger & Weber 2020). Henninger und Weber (2020) nennen nach Yu und Hien (2006) offene, urbane Wasserflächen im Vergleich mit Straßenbegleitgrün und grünen Elementen der Dach- und Fassadenbegrünung als gleichwertig und mitunter sogar besser geeignet zur Kühlung der Umgebung untertags auf. Demgegenüber steht die Aussage von Lehnart et al. (2020), der Mcwest et al. (2019) zitiert, der aussagt, dass Elemente der blauen Infrastruktur im Vergleich mit Bäumen deutlich schlechter geeignet sind die Umgebungsluft zu kühlen. Kleine Wasserelemente haben dabei fast keinen Einfluss auf den thermischen Komfort, und Brunnen überhaupt keinen. Der Einsatz von Sprühnebel wird ebenso als nicht effektiv angesehen. Als geeignet wird hingegen die Kombination aus Bäumen mit blauen Elementen genannt (Lehnart et al. 2020). Je nach Wassertemperatur, Lage der Wasserfläche in Relation zur Siedlung, und Windverhältnissen ist die positive Wirkung auf das Stadtklima stärker oder schwächer ausgeprägt, wobei bei steigender Wassertemperatur im Vergleich zur Umgebungstemperatur der positive Kühlungseffekt nachlässt, oder sich auch umkehren kann, nämlich dann, wenn die Wasserfläche auf Grund höherer Wassertemperatur die Umgebung aufwärmt (Zuvela-Aloise et al. 2016).

## 7.4 Beispiele für grüne und blaue Infrastrukturmaßnahmen

Im nachfolgenden Kapitel werden grünen und blauen Infrastrukturmaßnahmen erläutert vorgestellt werden. Außerdem können Kopplungen zwischen zwei und drei Maßnahmen vorliegen. Abbildung 25 verdeutlicht, dass die Infrastrukturen überschneidende Bereiche haben, und dass oft keine klare, scharfe Trennung zwischen den jeweiligen Begriffen besteht. Außerdem können Kopplungen zwischen zwei und drei Maßnahmen vorliegen. Unter gekoppelten Infrastrukturen versteht man die Abhängigkeit zwischen zwei Infrastrukturen oder wenn diese miteinander interagieren. Es kommt dabei zu einer Wechselbeziehung zwischen den jeweiligen Systemen (Winker et al. 2020). Das Konzept der gekoppelten Infrastrukturen,



Abbildung 25 Beispiele für grüne, blaue und graue Infrastrukturen



Quelle: Winker et al. (2020)

das Zusammenspiel von grauen und grün-blauen Maßnahmen kann als effizient im Umgang mit Überwärmung in städtischen Bereichen, sowie dem durch Urbanisierung und Flächenversiegelung gestörten Wasserhaushalt angesehen werden. Zusätzlich entfalten die begrünten und teilweise mit Wasser versehenen Flächen eine ästhetische und positive Wirkung auf das urbane Ambiente, die noch dazu Funktionen der Klimawandelanpassung besitzen. Sie sind dabei als dezentrale Ergänzung und Erweiterung zur grauen Infrastruktur auf allen Ebenen, von der Gebäudeseite bis zur regionalen Seite, anzusehen. Durch die Integration dieser Maßnahmen kann das vorhandene Ökosystem gestärkt, sowie die Anpassungsfähigkeit und die Resilienz ausgebaut werden (Hauber 2019). Das Zusammenwirken zwischen den Infrastrukturen ist deshalb wichtig, da die jeweiligen Elemente im Extremfall nicht die ausreichenden Kapazitäten, etwa für Starkniederschlagsereignisse, aufweisen. So ist blaue Infrastruktur alleine nicht in der Lage das primäre Ziel, den Schutz der Bevölkerung vor Wasserschäden, zu erfüllen, jedoch in Kombination mit Kanälen ist sie dazu in der Lage, wobei diese durch die Kombination mit grün- blauer Infrastruktur entlastet werden können. Werden darüber hinaus Retentionsbecken in das System integriert, vergrößert sich der Nutzen in Folge. Daraus folgt, dass eine Kombination aus den drei Infrastrukturen den besten Erfolg verspricht, da sie sich jeweils ergänzen (Alves et al. 2019).

## 7.4.1 Kaltluftentstehungsflächen



Oft am Übergang zwischen Siedlung und unbebauten Umland anzutreffen, kommt diesen Arealen auf Grund ihrer Möglichkeit rasch Wärme abzugeben und sich deshalb im Vergleich zur bebauten Fläche schneller abzukühlen besondere Bedeutung in der Klimaregulierung zu (Henninger & Weber 2020). Gras- und Wiesenflächen, in der lokalen Klimaklassifizierung als Zone D eingeteilt, besitzen in der Nacht ein hohes Ausstrahlungspotential und kühlen deshalb zeitnah nach Ausbleiben der solaren Einstrahlung ab (Weber 2009). Durch die geringere Rauigkeit der Oberfläche ist der Luftaustausch erhöht, wodurch etwa überwärmte Luft durch Wind leichter abtransportiert werden kann (Wende et al. 2011). Gras- und Wiesenflächen heizen sich unter Tags rascher auf, kühlen aber im Unterschied zu Wäldern in der Nacht stärker ab (Matzarakis 2001). Unter Tags können sie oft wärmer als urbane Fläche sein (Henninger & Weber 2020). Auch Lehnart et al. (2020) kamen zum selben Schluss, wie einige weitere Studien, die er in seiner Arbeit erwähnt, dass niedrige Vegetation kaum einen positiven Einfluss auf den Hitzeinseleffekt unter Tags hat (Lehnart et al. 2020). Nach Sonnenuntergang kühlen sie allerdings sehr rasch aus und sind mehrere Stunden nach Sonnenuntergang, also wenn die Ausstrahlung lange ungehindert stattfinden konnte, am kühlfesten (Henninger & Weber 2020). Dabei spielt vor allem der Kaltlufttransport von diesen Flächen in thermisch belastete Areale, wie etwa dichte Siedlungsquartiere, eine wichtige Rolle im Wohlbefinden der Bevölkerung, insbesondere in den Nachtstunden. Diese thermische Luftströmung, die „urban park breeze“ genannt wird, leitet kühle Luft, etwa von Parks oder kühleren Freiflächen, in Bodennähe zu wärmeren Gebieten. Die Reichweite dieses Windes und des Kühlpotentials der Fläche ist dabei stark abhängig von der Größe der Grünfläche, sowie der sie umgebenden Bebauungsstruktur. Die Zufuhr der Kaltluft steht in Abhängigkeit zur Größe des Entstehungsgebietes, der Hangneigung, der Breite der Schneise und der Menge und Form der Strömungshindernisse entlang dieser Bahn. Als Schätzwert der horizontalen Reichweite des Kühlungseffekts kann die Breite des Parks angenommen werden, sofern keine dichte Blockrandbebauung angrenzend ist. Als Gegenäquivalent zu urbanen Wärmeinseln bezeichnet man sie in Folge als Park-Kälteinsel (Henninger & Weber 2020). Bowler et al. (2010) fand in seiner Literaturstudie heraus, dass Parks im Durchschnitt  $0.94^{\circ}\text{C}$  kühler unter Tags waren als die städtische Umgebung. Zusätzlich war eine niedrigere Temperatur auf Grund von einzelnen Bäumen und Baumgruppen, sowie von Grasflächen im Vergleich zu versiegelten Flächen nachweisbar. Grund für diesen „park cool island“ genannten Effekt, der vorwiegend an klaren und windruhigen Nächten erkennbar ist, ist die Kombination aus Evaporationskühlung, Beschattung und Ausstrahlung (Bowler et al. 2010). Die Kühlwirkung auf Grund der Evapotranspiration kann allerdings nur dann erfolgen, wenn ausreichend Wasser zur Verdunstung vorhanden ist. Vor allem in den heißer werdenden Sommern muss

deshalb eine immer intensivere Bewässerung vorgenommen werden, die neben dem zusätzlichen Druck auf die Ressource Wasser selbst, auch Druck auf das Budget von Gemeinden auf Grund der Trinkwassergebühren ausübt (Winker et al. 2019). Während sich Wälder zwar als Entstehungsgebiete eignen, sind sie in ihrer Funktion als Transportwege schlechter geeignet. Ein zu dichter Baumbestand, der einem niedrigeren sky view factor (svf, siehe Kapitel 2.2.4) gleichkommt, wirkt sich nicht förderlich für die Kaltluftproduktion aus, da sich dieser, im Vergleich zu Freiflächen, am Abend und in der Nacht weniger rasch abkühlt (Bowler et al. 2010).

Für die Planung der Grünflächen ist die Unterteilung der Kaltluftflächen hinsichtlich des zeitlichen Auftretens ihrer Wirkung entweder unter Tags oder unter Nachts relevant. So entfalten Flächen mit dichtem Baumbestand und bewässerten Parkflächen, deren Kühlwirkung vorrangig auf eine geringere Oberflächentemperatur durch Beschattung und Evapotranspirationskühlung zurückzuführen ist, am Nachmittag und frühen Abend ihren größten Nutzen. Demgegenüber stehen Flächen, die durch geringen Baumbestand und trockene bis spärlich bewässerte Flächen charakterisiert sind (Henninger & Weber 2020). Daraus folgt, dass Gebiete die unter Tags stark genützt werden, wie etwa Innenstadtzonen, Freiflächen und Parks ausreichend Vegetationsdecke und Beschattung aufweisen sollten. Außerdem müssen diese Flächen ausreichend bewässert sein, um die Kühlwirkung aufrecht zu erhalten. Gras alleine stellt dabei keine ausreichende Kühlquelle dar, da kein Schattenwurf, wie durch Bäume oder Büsche, vorhanden ist. Bei dürrerem Gras ist keine Kühlwirkung der Fläche mehr vorhanden. Nächtliche Kaltluftentstehungsgebiete sollten demgegenüber einen nur spärlichen Baumbestand aufweisen. Diese können dort geplant werden, wo sich unter Tags nur wenige Menschen aufhalten, etwa am Siedlungsrand. Da Kleinstädte in Niederösterreich oft von Ackerflächen umgeben sind, stellen diese somit nächtliche Kaltluftentstehungsgebiete dar. Es muss daher bei Siedlungstätigkeiten darauf geachtet werden, diese Flächen zu erhalten. Selbst wenn landwirtschaftliche Nutzflächen, sofern diese nicht besonders umweltschonend bewirtschaftet werden, nicht zum Teil der grünen Infrastruktur gezählt werden (Europäische Union 2014), kommt ihnen im Bezug zur Klimaregulierung von Siedlungen ein wichtiger Aspekt zu, auch wenn die Aufenthaltsqualität vor allem bei landwirtschaftlichen Nutzflächen als gering anzusehen ist. Wasserflächen zählen nicht zu den nächtlichen Kaltluftentstehungsflächen, da die Abkühlung, auf Grund der großen Wärmespeicherkapazität nur langsam erfolgt, sind sie in der Nacht wärmer als ihre Umgebung (Henninger & Weber 2020).

Neben dem Problem der fehlenden Bewässerung stellt sich insbesondere für Kleinstädte in Niederösterreich das Problem, dass zentral gelegene Parkanlagen fast nicht vorhanden sind. Die Pflege von Parks und die Zunahme einer intensiven Bewässerung stellen die Gemeinde

vor zusätzliche Herausforderungen. Öffentliche Parkanlagen und deren klimarelevante Funktion sind in Kleinstädten nicht im selben Ausmaß vorhanden, wie dies etwa in Wien der Fall ist. Zwar ist das kühlere Umland auf Grund der Siedlungsfläche einer Kleinstadt näher an der Innenstadt gelegen, doch werden diese Umlandflächen nicht im selben Ausmaß bewässert oder begrünt, sondern für meist landwirtschaftliche Zwecke genutzt. Das Fehlen von Parkanlagen kann deshalb, neben den anderen bereits zuvor in dieser Arbeit genannten Faktoren, als klimarelevanter Unterschied zwischen Klein- und Großstadt angesehen werden kann. Demgegenüber steht das Mehr an privaten Gärten und Grünflächen, vor allem in der lokalen Klimazone 6. Diese privaten Freiflächen und deren klimarelevante Bedeutung können mit Hilfe von Informationskampagnen gefördert und erhalten werden, weil sie nicht im selben Ausmaß wie eine öffentliche Fläche gesteuert werden können. Die Motivation der Bevölkerung zum Erhalt und zur Pflege der Gärten, sowie zum Ausbau der Biodiversität und zum nachhaltigen Umgang mit Regenwasser auf diesen privaten Grundstücken ist deshalb förderungswürdig und muss in Zukunft stärker in den Fokus rücken.

#### 7.4.2 Stadtbäume



Unter Stadtbäumen versteht man jene Baumarten, die sich auf Grund des geänderten Klimas, Bodens und Wasserverfügbarkeit in Siedlungen bewährt haben. Dazu zählen vor allem der Ahorn, die Linde, die Esche und in Wien etwa die Rosskastanie (Wundsam & Henninger 2015). Bäume sind die kostengünstigste Methode, um dem städtischen Hitzestress effektiv zu begegnen (Livesley et al. 2016), und bewirken grundsätzlich einen positiven Effekt auf das lokale Klima wie zahlreiche Studien beweisen können (Livesley et al. 2016, Bowler et al. 2017, Hackenbruch 2018, Henninger & Weber 2020). Folgende Eigenschaften sind besonders in Bezug auf den urbanen Wärmeinseleffekt hervorzuheben:

- Abflachung der Temperaturspitzen
- Verringerung der Oberflächentemperatur
- Reduktion der lokalen Effekte des Wärmeinseleffekts
- Steigerung von Luft- und Wasserqualität
- Steigerung des menschlichen Wohlbefindens
- Möglichkeit zur Erholungs (Wundsam & Henninger 2015).
- Umwandlung der solaren Einstrahlung in Biomasse und Sauerstoff (Chäfer et al. 2020)

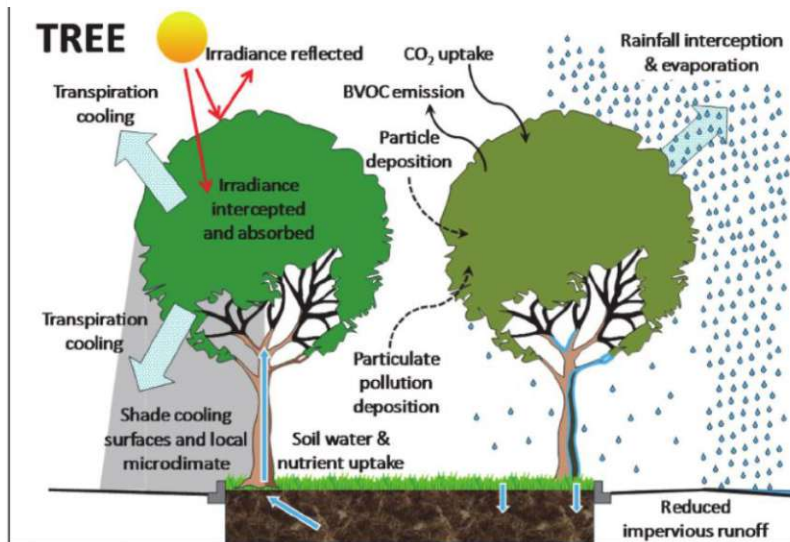
Auf Grund dieser Fähigkeiten eignet sich der Einsatz von Bäumen zur Reduktion von Wärmeinseln, wobei vor allem Bäume im städtischen Umfeld gepflanzt werden müssen, die

sowohl der Hitze, als auch den veränderten Umweltbedingungen in der Stadt widerstehen können (Wundsam & Henninger 2015). Die Reduktion der lokalen Temperatur beruht dabei auf der Verdunstungsleistung durch Evapotranspiration und der Verschattung der darunterliegenden Oberfläche (Henninger & Weber 2020; Lehnert et al. 2020), vor allem im direkten Bereich ihrer Schattenspendung (Hagen et al. 2014), weshalb die Schattenspendung dort erfolgen sollte, wo sich viele Menschen aufhalten (Weber 2009). Die Beschattung sollte darüber hinaus vorrangig auf breiten Straßen, die in Ost-West Richtung verlaufen, auf deren nördlichen Straßenseite, erfolgen, die auf Grund der längeren solaren Einstrahlung durch mehr Überwärmung gekennzeichnet sind. Die Straßen, die in Nord-Süd Richtung verlaufen, erhalten demgegenüber nur während der Mittagsstunden maximale solare Einstrahlung und heizen sich deshalb nicht so lange auf (Stiles et al. 2014). Im Vergleich zu künstlichen Verschattungselementen üben Bäume eine besser Beschattungs- und Kühlfunktion bei Hitzebelastung aus (Lehnert et al. 2020). Die lufthygienische Regulationsfunktion von Bäumen wirkt sowohl über die Anreicherung der Luft mit Sauerstoff aus dem Baum wegen der Photosynthese, als auch über die Filterung von Feinstaub aus der Luft (Bowler et al. 2017). Die Leistungsfähigkeit ist allerdings vom Wasserangebot und der Durchlüftung abhängig und nimmt mit zunehmendem Hitzestress des Baumes ab. Falls möglich, so empfehlen Wundsam und Henninger (2015) sollten Bäume gepflanzt werden die eine silbern-weiße Blattfläche aufweisen, und diese bei Bedarf der Sonne zuwenden können, wodurch die Reflexion erhöht wird. Bei der Auswahl eines geeigneten Baumes ist zu beachten, dass sich seine Verschattungsleistung, im Gegensatz zu technischen Schattenelementen, mit dem Wachstum des Baumes verändert, wodurch vorausschauend geplant werden muss, wobei niedrig wachsende Bäume geringere Abweichungen in ihrer Lebenszeit verzeichnen, als hoch wachsende (Wundsam & Henninger 2015). Dennoch haben große Bäume mit breiten Kronen einen besseren klimawirksamen Effekt (Stiles et al. 2014).

Die Baumgeometrie spielt darüber hinaus eine wesentliche Rolle für die Lufthygiene, weshalb Straßenbegleitgrün nicht grundsätzlich immer als positiv anzusehen ist. Eine dichte und geschlossene Baumanordnung, sowie entsprechende Kronendachgeometrie kann zu geringerem Luftaustausch unterhalb des Baumes und einer Luftschadstoffakkumulation bei entsprechender Verkehrsbelastung der Straße führen (Henninger et al. 2017). Deshalb ist darauf zu achten, dass straßenbegleitenden Bäumen locker gesetzt werden, um die Luftzirkulation aufrecht zu erhalten (Arlt et al. 2005; Flohr 2010) und dass Bäume entsprechend der vorliegenden Straßenverhältnisse gesetzt werden (Bowler et al. 2010), wobei der positive Effekt von Bäumen in breiten Straßen mehr zur Geltung kommt als in engen Straßen, in denen die Bäume kaum Einfluss ausüben können. Um den Luftaustausch über dem Dachniveau nicht zu beeinflussen sollten Bäume nicht über die Dächer reichen (Henninger & Weber 2020). Der öffentliche Raum sollte intensiv durchgrünt werden, wobei jene Straßen begrünt werden

müssen, die bis dato noch nicht begrünt sind. Eine etwaige Argumentation, dass ein Bereich aus historischen Gründen nicht begrünt werde, ist angesichts der zunehmenden negativen Auswirkungen des Klimawandels nicht mehr zu rechtfertigen (Hensold 2013). Die vielfältigen positiven Eigenschaften eines Baumes sind schematisch in Abbildung 26 zusammengefasst.

Abbildung 26: Positive Eigenschaften von Bäumen



Quelle: Livesley et al. (2016)

Neben der Wirkungsentfaltung auf das Stadtklima und die Luftqualität kommt Bäumen ein weiterer positiver Effekt in der Mitigation von Starkregenereignissen zu. So hält die Baumkrone einfallendes Niederschlagswasser auf, was man als Interzeption versteht. Dadurch gelangt der Niederschlag zeitverzögert

und in reduzierter Menge auf den Boden. Werden Bäume in Bioretentionsbecken eingesetzt, so können große Mengen des am Ort anfallenden Niederschlags am selben Ort wieder dem Wasserkreislauf über Evapotranspiration zurückgegeben werden. Darüber hinaus dienen Bäume, sowie grüne Infrastruktur generell, als Tierhabitat, Verschönerungsmaßnahmen des Stadtbildes und steigern die Aufenthaltsqualität und Gesundheit der Menschen (Chäfer et al. 2020).

### 7.4.3 Dach- und Fassadenbegrünung



Gebäude können sowohl am Dach als auch fassadenseitig begrünt werden, und bieten damit, vor allem auf die verfügbare Fläche bezogen, enormes Begrünungspotential an. Dabei lässt sich zwischen intensiver und extensiver Begrünung unterscheiden. Extensive Dachbegrünung, bestehend vor allem aus Sukkulenten, wie Sedum, kann auch nachträglich auf Flachdächern aufgetragen werden, da ihr Gewicht gering ist. Intensive Begrünung kann sehr vielfältig und reichhaltig mit Bäumen, Wegen und Wasserflächen gestaltet sein (Sieker, online 2020). Neben der Reduktion der Temperatur auf Dachniveau, sowie einem positiven Beitrag zur Strahlungsbilanz, wird ein besserer Wärmedämmeffekt für die Gebäude erreicht (Senatsverwaltung Berlin 2010). Das

Niederschlagswasser wird zwischengespeichert und zeitverzögert abgeleitet, was vor allem im Starkniederschlagsfall von großer Bedeutung ist. Durch diese Retention werden die Kanäle stark entlastet und der Abflussbeiwert wird demzufolge positiv beeinflusst. Der Abfluss beträgt im Vergleich zu einem versiegelten Dach, bei dem 80% bis 100% direkt abfließen nur 30% (bei <15% Neigung) (Henninger et al. 2017). Das anfallende Niederschlagswasser verbleibt so zum Teil auf dem Dach und kann dort verdunsten oder aber auch in weitere Folge mit zusätzlichen Elementen der blauen Infrastruktur kombiniert werden und vor Ort in den Boden versickern oder am Boden verdunsten, in dem die direkte Ableitung vom Fallrohr in die Kanalisation auf eine entsprechende Fläche umgeleitet wird (Muschalla et al. 2014).

Dachbegrünungen üben ihre positive Wirkung vorwiegend auf Dachniveau aus und daher auf das Stadtklima auf Mesoebene, nicht allerdings auf Straßenebene. Fassadenbegrünungen haben höhere Auswirkungen auf das Klima auf Straßenebene und deshalb auf das direkte Umfeld des Menschen. Erst bei flächenhafter und stadtweiter Begrünung stellt sich ein positiver Effekt auf das gesamte Stadtklima dar (Alexandri & Jones 2006). Positiv sei der nicht zusätzlich nötige Flächenverbrauch und die Steigerung der Freiraumqualität zu nennen (Kleidorfer et al. 2019). Co-Benefits von Dach- und Fassadenbegrünung lassen sich im ästhetischem Aussehen, der besseren Aufenthaltsqualität durch das Mehr an Grün im urbanen Raum und Einsparungen bei der Erhaltung von herkömmlichen Dachflächen finden (Machác et al. 2016).

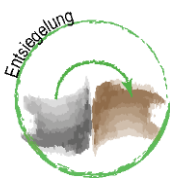
Problematisch bei Dachbegrünungen ist die flächendeckende Umsetzbarkeit, die für eine klimarelevante Wirkung aber von großer Bedeutung ist. Zwar sind Dachbegrünungen für die Retention von Niederschlagswasser relevant, deren Umsetzbarkeit und Realisierbarkeit im Bestand ist jedoch stark reduziert. Auch wenn der zusätzliche Flächenbedarf fast null ist, da keine neuen Flächen in Anspruch genommen werden müssten. Vor allem im privaten Eigentumsbereich, in dem viele Menschen wenig Dachflächen besitzen, sowie in historischen Stadtzentren ist die flächenhaft nötige Begrünung aktuell auf Grund der Kosten für die Eigentümer nur schwer vorstellbar und umsetzbar. Weshalb die Umsetzungswahrscheinlichkeit auch auf längerfristige Sicht als gering anzunehmen ist. Generell ist die Umsetzbarkeit von Regenwasserbewirtschaftungssystemen in dichten Bebauungsformen stark reduziert, in solchen in denen die Versiegelung nicht so stark ist, ist die Umsetzbarkeit höher (Geiger et al. 2009). In Gewerbebetrieben, wo wenige Eigentümer, die noch dazu üblicherweise als finanzkräftiger als Privathaushalte angesehen werden können und über große Dachflächen, vor allem in Form von Flachdächern, verfügen, kann die Möglichkeit zur Umsetzung als besser angesehen werden.



Während Dachbegrünung häufig durch das auf das Dach fallende Niederschlagswasser bewässert wird, und bodengebundenen Systemen einen Teil ihres Wasserbedarf vom örtlichen Niederschlag beziehen können, benötigen Systeme, die nur an der Wand fixiert sind, eine technische Lösung zur Bewässerung mit Trinkwasser. Fassadenbegrünung trägt wesentlich zur Verdunstung bei (Sieker, online 2020). Weitere Wirkungen die hervorgehoben werden können sind Beiträge zur Verbesserung der Luftqualität, hier insbesondere durch die Filtrationswirkung auf den Feinstaubgehalt, und die, vor allem bei intensiver Begrünung entstehende Habitatfunktion für Fauna und Flora (Henninger et al. 2017; Machác et al. 2016). Der Effekt der Gebäudebegrünung hängt dabei von der Straßengeometrie ab. Desto breiter eine Straße ist, desto geringer fällt der Nutzen der Gebäudebegrünung hinsichtlich ihrer Kühlwirkung aus (Alexandri & Jones 2006).

Der Wasserrückhalt von Fassadenbegründung bei Starkniederschlagsereignissen bleibt allerdings gering (Sieker, online 2020), weshalb vor allem die positive kühlende Wirkung dieser Maßnahme erwähnt werden muss. Ein zentraler Vorteil der Fassadenbegrünung, ebenso wie der der Dachbegrünung ist, dass fast kein zusätzlicher Platzbedarf besteht. Deshalb sind Fassadenbegrünungen in Straßenzügen, die auf Grund ihrer räumlichen Dimensionierung keine anderen Maßnahmen zulassen, besonders interessant und umsetzungswürdig. Etwa in historisch gewachsenen und engen Innenstadtbereichen, in denen hoher Flächennutzungsdruck vorliegt, und in denen die Umwandlung in offene Freiräume nicht möglich ist. So kann Fassadenbegrünung den Grünflächenanteil, auf einer sonst nicht benutzten Oberfläche, deutlich steigern. Vertikale Elemente können darüber hinaus, ohne viel Flächen in Anspruch zu nehmen, den Stadtraum strukturieren (Hagen 2011). Dabei muss vor allem auch die öffentliche Hand Lösungen finden, wie sie diese Systeme flächenhaft umsetzen kann, wobei etwa anzudenken wäre, dass die Systeme nicht direkt an den Häusern selbst, sondern auf dem öffentlichen Grund davor zu installieren sind.

#### 7.4.4 Entsiegelung



Neben dem Erhalt und dem weiteren Ausbau von großen Kaltluftentstehungsflächen am Siedlungsrand und außerhalb der Siedlung sowie geeigneten Kaltluftleitbahnen in die Siedlung hinein, ist die innerörtliche Entsiegelung und die Erhöhung des Grünvolumens für die Anpassung an den Klimawandel von großer Relevanz. Dabei kommt der doppelten Innenentwicklung eine wichtige Bedeutung zu. Diese sieht vor, dass Flächenreserven im Siedlungsgebiet nicht nur nach baulichen Aspekten zu betrachten sind, sondern vor allem im Sinne einer ökologischen



Perspektive. Bei zwingender Flächeninanspruchnahme am Siedlungsrand sollen vorrangig ökologisch und klimatisch wertvolle Flächen vor Versiegelung geschützt werden (Hensold 2013). Flächen bei denen eine völlig Entsiegelung oder Begrünung nicht möglich sind, sollten mit Materialien versehen werden, die entweder die Albedo, und oder die Wasserdurchlässigkeit des ursprünglichen Bodenbelages optimieren. Wasserdurchlässige Flächenbeläge weisen eine erhöhte Verdunstungsleistung auf und tragen somit positiv zum Stadtklima bei. Darüber hinaus steigt durch die weitere Versiegelung der Einzugsbereich von bereits jetzt oftmals an der Kapazitätsgrenze befindliche Kanalsysteme, mit den entsprechenden negativen Konsequenzen. Entsiegelung kann bei Gebäuden mit Hilfe von Gründächern erfolgen, und bei Verkehrswegen mit wasserdurchlässige Flächenbelägen. Diese ermöglichen eine Befestigung der Fläche, die allerdings nicht einer vollständigen Versiegelung gleicht (Dierkes 2015). Gill et al. (2007) fand heraus, dass die Zunahme des Grünflächenanteils in urbanen Räumen um 10% die Abflussmenge um 4,9% reduziert. Die Zunahme der Baumbedeckung um denselben Wert, bietet eine 5,7%ige Reduktion, jeweils gemessen an einem Niederschlagsereignis mit 28mm (Gill et al. 2007). Bei Parkplätzen ist etwa eine vollständige Versiegelung nicht unbedingt erforderlich. So können Stellplätze entlang von Straßen als auch Parkplätze mit versickerungsfähigen und begrünten Materialien, wie etwa Rasengittersteinen oder Schotterrasen ausgestattet werden, um den jeweiligen positiven Effekt zu steigern (Stadt Karlsruhe 2015). Ist die Bereitschaft der Eigentümer vorhanden, so empfehlen sich Gründächer und wasserdurchlässige Bodenbeläge, wie etwa Rasengittersteine, für die Minimierung des Oberflächenabflusses (Muschalla et al. 2014).

Die Vorteile der Entsiegelung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Höhere Verdunstung aus dem Boden
- Niedrigere Oberflächentemperatur und Reduktion der thermischen Belastung
- Niedrigerer Abflussbeiwert und Reduktion des Abflusses
- Wasserspeicherung im Boden
- Gesteigerte Grundwasserneubildungsrate
- Synergieeffekte zwischen thermischer Anpassung und Regenwassermanagement
- Biotopfunktion (Stadt Karlsruhe 2015)

Da die Versickerung langsam erfolgt, ist im Falle eines angedachten Überflutungsschutzes die Kombination mit Retentionselementen erforderlich (Grimm & Achleitner 2010). Eine nachträgliche Umgestaltung von versiegelten Flächen in nicht versiegelte Flächen ist anzustreben, wobei städtische Böden so kompakt und dicht sind, dass sie erst aufgelockert werden müssen um für Wasser durchlässig zu sein. Dort wo es sich anbietet ist das An-die-Oberfläche-legen von Wasserrinnen mit begleitenden Gestaltungsmaßnahmen, um die

Aufenthaltsqualität, aber auch die klimatischen Effekte von offenen Wasser zu steigern, empfehlenswert (Woods Ballard et al. 2015).

#### 7.4.5 Versickerungsanlagen



Die Versickerung ermöglicht die natürliche Rückführung des Niederschlagswassers in den Wasserkreislauf und ist ein wesentliches Element des Regenwassermanagements, der als Teil beziehungsweise Folge von Entsiegelungsmaßnahmen angesehen werden kann. Sie sollte ortsnah erfolgen und ist vor allem abhängig von der Flächenverfügbarkeit und der Bodenbeschaffenheit. Die Versickerung ist, bis auf den Flächentyp F5 (siehe Tabelle 8), das sind Park- und Stellflächen für LKW mit häufigem Fahrzeugwechsel, sowie betrieblichen Verkehrsflächen, in der Regel immer zulässig und umsetzungswürdig, bedarf allerdings je nach Verschmutzung einer entsprechenden Vorreinigung und Filterung. Deshalb ist je nach Flächentyp eine Reinigung des Wassers durch eine Oberbodenpassage nötig (Muschalla et al. 2014). Dieser Bodenfilter entfaltet durch den Abbau und die Speicherung der Schadstoffe auf Grund des lebendigen Mutterbodens und den dortigen Pflanzen, des Bodenlebens von Mikroorganismen und der Adsorption der Schadstoffe, seine Wirkung (Grimm & Achleitner 2010). Gut geeignet sind sandige Böden. Da Versickerungsprozesse langsam erfolgen sind für den Schutz vor Starkregenereignisse dennoch Systeme für die Retention von Nöten um rasch aufkommende Wassermassen zu kontrollieren (Grimm & Achleitner 2010b). Sind die örtlichen Gegebenheiten des Bodens für eine Versickerung nicht geeignet ist die langsame Ableitung in die Kanalisation und die Vorfluter sinnvoll. Nur bei stark verschmutzten Flächen (Kategorie F5, siehe Tabelle 8) empfiehlt Muschalla et al. (2014) die sofortige Einleitung in die Kanalisation und zur Verbringung in die Kläranlage. Durch die Versickerung und Verdunstung können Niederschlagswasserabflüsse reduziert werden, wodurch die Überstauhäufigkeit und das Risiko für Überschwemmungen reduziert wird. Außerdem können positive Effekte in den Abwasserreinigungsanlagen erzielt werden, wenn durch das reduzierte Einleiten des Niederschlagswasser in die Mischkanalisation das zu reinigende Gesamtvolumen reduziert wird (Kleidorfer et al. 2019).

Bei der Möglichkeit und Bereitschaft zur Versickerung des Regenwassers kommen je nach benötigtem Speichervolumen und erwünschter Reinigungswirkung unterschiedliche Versickerungssysteme zum Einsatz (Muschalla et al. 2014). Versickerungsanlagen lassen sich in Flächenversickerung-, Muldenversickerung-, Rigolenversickerung-, und Retentionsraumversickerungssysteme unterteilen. In der englischsprachigen Literatur sind unter anderem die Begriffe Bioswales, Stormwater Planter oder Rain Gardens geläufig. Je

nach Nutzung der zu entwässernden Fläche unterscheidet die ÖNORM B2506-1 die Art des Versickerungselements. Das Wasser durchläuft bei der Versickerung eine bewachsene Mutterbodenschicht, die die Filterung der Schadstoffe aus dem Wasser übernimmt (Grimm & Achleitner 2010b). Die nachfolgende Tabelle 17 gibt hierzu eine Entscheidungshilfe.

**Tabelle 17: Wahl der Sickeranlage nach ÖNORM B 2506-1**

Sickeranlagen	Begrünte Sickermulden	Rasengittersteine	Rigolen (Schotterkörper) und unterirdische Sickerleitungen	Sickerschächte	
Entwässerungsflächen					
begrünte Flachdächer	++	++	++	++	
sonstige Dachflächen, Terrassen	++	++	+	+	
Rad- und Gehwege, Hofflächen in Wohnanlagen (nicht mit Kfz befahrbar)	++	++	+	-	
Hauszufahrten und vergleichbar schwach frequentierte Verkehrsflächen	++	++	-	-	
Pkw-Abstellflächen	++	+	-	-	
Lager- und Ladeflächen	++	+	--	--	
Verkehrsflächen (Straßen)	++	--	--	--	
landwirtschaftliche Hof- und Verkehrsflächen	+	--	--	--	
	++	im Regelfall zulässig			
	+	je nach Beschaffenheit der Wässer (unter Beachtung regionaler Vorschriften) zulässig			
	-	Versickerung problematisch, Reinigung meist erforderlich			
	--	in der Regel nicht geeignet			

Quelle: Grimm & Achleitner (2010) S. 31

### Flächenversickerung:

Bei Flächenversickerungen, die als Ergebnis von Entsiegelungsmaßnahmen angesehen werden können, wird Wasser ohne die Schaffung von Retentionsräumen direkt in der Fläche versickert. Die durchlässigen Oberflächen können etwa mit Schotterrasen, breitfugigen Pflasterungen oder Rasengittersteinen ausgestaltet sein. Desto geringer der Anteil der undurchlässige Materialien ist, desto geringer ist der Abflussbeiwert. Im Unterschied zu reinen Entsiegelungsmaßnahmen, die auch die selben Vorteile bietet, erfolgt bei der Flächenversickerung vor allem die Entwässerung von angrenzenden Flächen, etwa von Verkehrswegen mit geringer Frequenz, (Grimm & Achleitner 2010). Flächenversickerung eignet sich für jene Bereiche in denen große Freiflächen zur Verfügung stehen und wo die zu entwässernden Flächen wenig verunreinigt und von geringer Verkehrsbelastung geprägt sind. Dabei verdunstet und versickert ein Großteil des von der umgebenden Fläche verbrachten Niederschlagswassers vor Ort, wodurch eine Abkopplung vom Kanal möglich ist (Sieker, online 2020). Die Vorteile sind der geringe technische Installations- und Wartungsaufwand, die hohe Verdunstungsleistung und die vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten im Freiflächenbereich. Flächenversickerung nimmt allerdings viel Raum in Anspruch, deren weitere Nutzbarkeit eingeschränkt ist (Kleidorfer et al. 2019).

## Versickerungsmulden:

Versickerungsmulden sind bewachsene, längs gestreckte Geländevertiefungen mit einer geringen Einstautiefe von etwa 30 cm, die meistens mit Rasen begrünt ist. Sie zählen zu den Versickerungselementen mit einer kurzen oberirdischen Zwischenspeicherung des Niederschlags. Das Wasser wird von versiegelten Flächen in eine Mulde geleitet, wo es über eine aktive Bodenpassage, die eine gute Filterwirkung von Schadstoffen ermöglicht, versickern beziehungsweise verdunsten kann. Durch Mulden können Grundstücke, Dächer sowie Straßen entwässert werden. Rasen, Sträucher und Wiesen mit einer guten Durchwurzelung wirken einer zeitlichen Reduktion der Filtrationswirkung entgegen (Grimm & Achleitner 2010). Es ist allerdings ausreichend Fläche für dieses System nötig, wodurch bei beengten Platzangebot eine reine Muldenversickerung nicht realisierbar wäre, weshalb sich die Mulden-Rigolenversickerung anbietet (Sieker, online 2020). Durch den kurzfristigen Einstau besitzen Versickerungsmulden auch eine Retentionswirkung, wobei der Abfluss nur als Entlastung dienen sollte. Den Vorteilen des geringen bis mittleren technischen Aufwandes, der hohen Verdunstungs- und Reinigungsleistung sowie des gestalterischen Errichtungspotentials stehen Nachteile bezüglich des mittleren bis hohen Flächenbedarfs, der reduzierten Multifunktionalität der Fläche sowie den strengen Anforderungen an die örtlichen Gegebenheiten gegenüber (Kleidorfer et al. 2019).

Beckenversickerungsanlagen unterscheiden sich zu Muldenanlagen dadurch, dass die an sie angeschlossene Fläche größer ist, wodurch sich Beckenanlagen vorwiegend als zentrales Element eignen. Ihre Funktion ist aber denen der Versickerungsmulden entsprechend (Kleidorfer et al. 2019).

**Abbildung 27: Grafikskeizze zu Fläche- & Mulden-; Rogolen-; und Mulden-Rigolenversickerung**



Quelle: Grimm & Achleitner 2010b

## Rigolenversickerung:

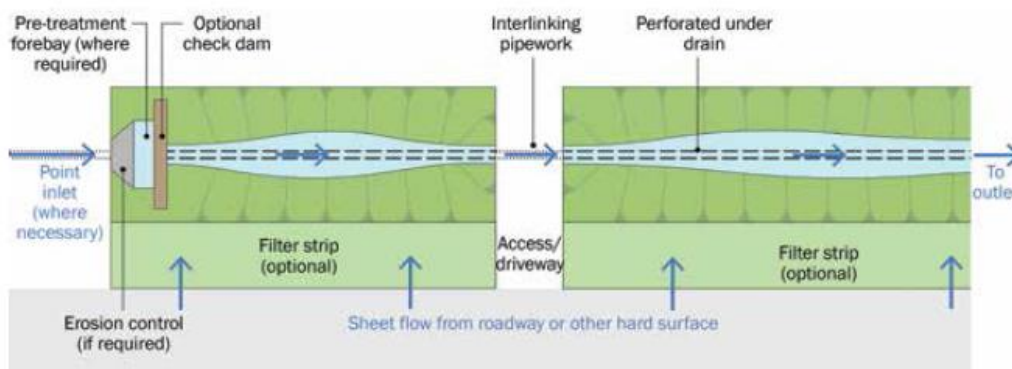
Bei der Ableitung von Niederschlagswasser von versiegelten Flächen in denen der Untergrund wenig sickerfähig ist und das Flächenangebot begrenzt ist, eignet sich die Installation von Rigolenversickerungssystemen. Es muss allerdings die geringere Reinigungsleistung berücksichtigt werden, da das Wasser in einen künstlich geschaffenen wasserdurchlässigen

unterirdischen Speicherkörper geleitet wird und direkt in den Untergrund, vorbei am filternden Mutterboden, versickert (Grimm & Achleitner 2010). Dadurch können nur gering verschmutzte Flächen entwässert werden. In Kombination mit einer gedrosselten Ableitung kann auch bei schlecht durchlässigen Böden eine Versickerung erfolgen. Da die Speicherung des Wassers im Untergrund erfolgt ist der oberirdische Platzbedarf gering. Es findet eine fast vollständige Versickerung statt, weshalb die Wirkung auf das Kanalnetz als sehr entlastend angesehen werden kann. Eine Verdunstungsleistung sowie eine Reinigungsleistung ist allerdings nicht gegeben (Sieker, online 2020; Kleidorfer et al. 2019).

### Mulden-Rigolenversickerung:

Als Lückenschluss zwischen reinen Versickerungsanlagen und technischen Ableitungssystemen ist das Mulden-Rigolensystem zu nennen, die die jeweiligen positiven Eigenschaften kombiniert. Dabei wird das Niederschlagswasser in einer Mulde zwischengespeichert und versickert in die darunterliegende Rigole, wo es langsam in den umliegenden Boden weiterversickert. Einzelne Elemente können durch Verbindungsrohre zu einem System gekoppelt werden. Da der Platzbedarf geringer als bei reinen Muldensystemen ist und auch gering sickerfähige Böden in Frage kommen, ist der Anwendungsbereich vielfältig (Sieker, online 2020).

**Abbildung 28: Mulden-Rigolensystem**



Quelle: Woods Ballard et al. (2015)

### Baum Rigolen:

In baulich stark verdichteten Gebieten eignet sich der Einsatz von Baumrigolen. Neben den Vorteilen der Bäume an sich, ergibt sich aus wasserwirtschaftlicher Sicht eine Reduktion des Abflusses und eine Steigerung von Verdunstung und Versickerung. Durch diese dreifache Wirkung kommt der Baumrigole eine sehr hohe Wirkung im Bezug auf die Klimawandelanpassung zu. In ihren Grundsätzen ähnelt sie der Mulden-Rigole, wobei ein Teil des Rigolenraums Platz für die Wurzeln bietet. Es muss darauf geachtet werden, dass die zu entwässernden Flächen nicht stark belastet sind, da die Filterwirkung auf Grund einer

geringeren Oberbodenpassage vermindert ist (Sieker, online 2020). Bäume können große Mengen von Wasser aufnehmen, und auch dadurch den Abfluss zum Positiven beeinflussen. Schadstoffe werden durch Bäume in solchen Versickerungsbecken besser gefiltert werden als durch andere Pflanzen. Jedoch muss bei der Wahl der Bäume darauf geachtet werden, dass jene Arten benutzt werden, die mit schwankenden Bodenverhältnissen zwischen trocken und feucht gut zurechtkommen (Livesley et al. 2016).

#### Schachtversickerung:

Sind die Platzverhältnisse sehr eingeschränkt, kann die Versickerung über einen Schacht erfolgen, sofern die abzuleitenden Niederschlagswässer nicht belastet sind. Dafür kommen etwa Terrassen und Dachflächen in Frage. Weitere Voraussetzungen sind eine gute Bodendurchlässigkeit und das Nicht-Vorhandensein eines Trinkwasserschutzgebietes. Durch einen zum Beispiel mit Kies gefüllten Hohlraum im Boden kann das Wasser bis in die wasserdurchlässige Bodenschicht geführt werden, wo es versickert und die positiven Wirkungen von Grundwasserneubildung, Reduktion der Abflussspitzen und Wasserrückhalt erzielt werden (Grimm & Achleitner 2010).

Für alle Versickerungsmaßnahmen gilt, dass ein Mindestabstand zwischen nicht wasserdichten Kellern und Versickerungselement einzuhalten ist, dass die Anreicherung des Grundwassers keine negativen Folgen verursachen darf, und dass die Anreicherung stets über einen Bodenfilter erfolgen muss. Des Weiteren ist Sorge dafür zu tragen, dass der sickerfähige Boden vor Verdichtung geschützt wird und dass an die Pflege der Anlagen und an die Zugänglichkeit in allen Phasen der Nutzung gedacht wird, und, falls dies nicht möglich ist, auf eine möglichst natürliche Bepflanzung, die wenig Pflege bedarf, gesetzt wird (Grimm & Achleitner 2010).

#### **7.4.6 Bioretentionsanlagen**



Dort, wo auf Grund der städtischen Entwicklung die Nutzung, die Infiltration oder die Interzeption, von Niederschlagswasser nicht umsetzbar ist, und somit der Runoff nicht kontrolliert werden kann, sollten Retentions- und Zwischenspeichersysteme installiert werden, um das Abflussvolumen auf ein nicht schädliches Level zu minimieren. Bioretentionsanlagen sind flache Vertiefungen oder Becken, die durch ihren Bewuchs die Abflussgeschwindigkeit reduzieren, und wo das Wasser, falls gewünscht, auch versickern kann. Sie besitzen Ähnlichkeit mit den Versickerungsmulden. Retentionsanlagen können dabei auf vielfältige Art ausgestaltet sein und reichen von kleinen

Systemen, sogenannten Rain Gardens, die etwa auf ein einzelnes Grundstück wirken, bis zum Systemverbund einer Straße, in der mehrere Retentionsbecken im Verbund stehen (Woods Ballard et al. 2015). Retentionsanlagen setzen sich dabei aus einem Speicher, dies können unter anderem offene und geschlossene Becken, Mulden, Rigolen oder Schächte sein und einer Einrichtung zur Drosselung des Wassers zusammen (Sieker, online 2020). Mit Hilfe des zeitlichen Zwischenspeichers von Niederschlagswässern und der geänderten Fließzeit des Wassers durch die Beschaffenheit des Retentionsraumes lassen sich Abflussspitzen abflachen und die Überstauhäufigkeit reduzieren. Normal starke Regenfälle können innerhalb des Beckens versickern, während stärkere Regenfälle in den Becken bis zum Überlauf ins nächste Becken zwischengespeichert werden. (Kleidorfer et al. 2019). Abfließendes Oberflächenwasser soll aus Abflussbahnen in Retentionsbecken und Flächen geleitet werden, wo es entweder versickern kann, oder zeitlich versetzt entleert werden kann. Die Errichtung solcher Retentionsflächen bietet sich oberhalb der Abflussrichtung der betroffenen Gebiete an und kann bei bereits starker anthropogen beeinflusster Landschaft noch erfolgen (Sieker, online 2020), weil die Ausgestaltung der Systeme sehr flexibel in Größe und Gestalt ist (Woods Ballard et al. 2015), wobei Gebiete mit geringer Neigung auf Grund des geringeren Materialaushubs vorzuziehen sind. Als straßenbegleitendes Grün mit Retentionsfunktion steigert sie die Aufenthaltsqualität der Straße. Dabei kann die Retentionsmulde feucht oder trocken, je nach Wiederholungsrate der Befüllung, ausgestaltet sein (Grimm & Achleitner 2010b). Weitere Vorteile sind, wie auch in anderen Elementen der blauen Infrastruktur, die Verschönerung des städtischen Umfelds, der Habitats und Biodiversitätszuwachs sowie positive Effekte auf das lokale Klima durch das Mehr an Wasser (Woods Ballard et al. 2015).

#### **7.4.7 Regenwassernutzung**

Sind Niederschlagswässer nicht mit Schadstoffen belastet können sie gesammelt und für die Bewässerung von Grünflächen, als Nutzwasser im Haushalt oder als Betriebswasser in Unternehmen herangezogen werden. Das Speichervolumen des Niederschlagswassers sollte so dimensioniert werden, dass eine drei- bis vierwöchige Nutzungsperiode ohne Nachspeisung erfolgen kann. Sind die Speicher kleiner, ist ein wirtschaftlicher Nutzen kaum gegeben. Während solche Speicher im Neubaubereich leicht und kostengünstig zu installieren sind und auch der oberirdische Flächenbedarf gering ist, ist eine nachträgliche Umsetzung in verdichteten Stadtgebieten kaum umsetzbar und auf Gebäudeebene nur bei größeren Umbaumaßnahmen sinnvoll. Bei vollem Speichertank ist das weitere Retentionsvolumen als sehr gering zu betrachten (Muschalla et al. 2014).

Die unterschiedlichen Regenwassermanagementsysteme, ihre Wirkungsarten auf Klima und Wasserhaushalt sind in Tabelle 18 zusammengefasst.

**Tabelle 18: Regenwassermanagementsysteme**

	Versickerung	Evapotr.	Speicherung	Abfluss	Reinigung
Mischwasserkanal	nein	nein	ja (durch Sonderbauwerke)	ja	ja (Vorbehandlung, Kläranlage)
Regenwasserkanal	nein	nein	nein	ja	nein
Transportmulden und Gräben	ja	ja	ja	ja	Je nach Ausführung
Speicherkanäle	nein	nein	Ja	nein	ja
Fassadenbegrünung	nein	ja	ja	nein	gering
Flächenversickerung	ja	ja	eingeschränkt	Nur als Entlastung	ja
Muldenversickerung	ja	ja	ja	Nur als Entlastung	ja
Beckenversickerung	ja	ja	ja	Nur als Entlastung	ja
Rigolen- oder Rohrversickerung	ja	nein	ja	Bei Anschluss an Kanalsystem	eingeschränkt
Mulden-Rigolen / Rohr-Versickerung	ja	ja	ja	Bei Anschluss an Kanalsystem	ja
Schachtversickerung	ja	nein	ja	nein	eingeschränkt
Retentionsraumversickerung (Teich)	ja	ja	ja	Nur zur Entlastung	ja
Dachbegrünung	nein	ja	ja	ja	ja
Regenwassernutzung	Eingeschränkt (bei Nutzung zur Bewässerung)	Eingeschränkt (bei Nutzung zur Bewässerung)	ja	ja	nein

Quelle: Kleidorfer et al. (2019)

Die Einteilung stellt dabei eine Verallgemeinerung dar, die einen Überblick über die Möglichkeiten der Regenwasserbewirtschaftung und deren Wirkungsweisen gibt. Die tatsächliche Eignung hängt von den exakten lokalen Gegebenheiten ab und muss mit diesen in Abstimmung gebracht werden. Dies erfordert unter Anderem detaillierte Kenntnisse über die Bodenverhältnisse vor Ort, hydraulische Berechnungen und Modelle, die im Zuge einer wasserrechtlichen Erhebung festgestellt werden müssen. So kann unter anderem das Grundwasser sehr oberflächennahe liegen, weshalb eine zusätzliche Anreicherung nicht anzustreben ist (Grimm & Achleitner 2010).



## 7.4.8 Anwendbarkeit von blauer Infrastruktur

Neben der raumplanerischen Eignung des Siedlungsgebietes, wie passende Zielformulierung und Flächenwidmung, Verfügbarkeit und Gestaltbarkeit der Flächen für die Versickerung, Retention oder Ableitung von Niederschlagswassers und der Kooperationsbereitschaft für die Umsetzung an sich, bedarf die Anwendbarkeit von blauer Infrastruktur auch passender Eigenschaften des Bodens, sowie der Kenntnisse der Ursprungsfläche des Niederschlages. Je nachdem welche Gegebenheiten vorliegen kommen unterschiedliche Systeme zum Einsatz. In Bezug auf den Boden müssen die Sickerfähigkeit, Filterwirkung und Speicherfähigkeit des Bodens gegeben sein. Dabei beeinflusst vor allem die Sickerfähigkeit, die sich auf Grund der Bodenart ergibt, die Wahl der blauen Infrastruktur, wie in Tabelle 19 aufgelistet ist (Grimm & Achleitner 2010).

**Tabelle 19: Bodenart und mögliche Regenwasserbehandlung**

Bodenart	Eigenschaft	mögliche Regenwasserbehandlung
Kies	gut versickerungsfähig	versickern
sandiger Kies		
Mittelsand	sickerfähig	versickern, eventuelle Zwischenspeicherung
Humus		
schluffiger Sand	schlecht sickerfähig	Speicherung und versickern
Schluff		
toniger Sand	nicht sickerfähig	Speicherung und Ableitung

Quelle: Grimm & Achleitner (2010)

Die Reinigung erfolgt über den Bodenfilter und sollte eine mindestens 30cm hohe Humusschicht aufweisen. Dabei wirkt sich ein hoher Humusanteil nicht nur positiv auf die Filtration sondern auch auf die Speicherung aus (Grimm & Achleitner 2010).

Über den Flächentyp von der das abfließende Wasser stammt (siehe Tabelle 8 auf Seite 43), kann die Belastung von Böden und Gewässern abgeschätzt werden und in einem weiteren Schritt die nötige Versickerungsart festgelegt werden. Der ÖWAV definiert einige Entwässerungssysteme mit unterschiedlichen Filtermethoden für die entsprechenden Flächentypen. Diese sind in Tabelle 20 angeführt.

**Tabelle 20: Eignung von Entwässerungsanlagen in Bezug auf die Herkunftsfläche**

Flächentyp	Systeme mit mineralischem Filter		Systeme mit Rasen			Systeme mit Bodenfilter	
	Sickerschacht	Rigolenversickerung (Unterirdischer Sickerkörper)	Rasenfläche	Rasenmulde	Rasenbecken	Bodenfilter in Muldenform	Bodenfilter mit Beckenform
F1	zulässig	zulässig	empfohlen	empfohlen	empfohlen	empfohlen	empfohlen
F2	-	-	empfohlen	empfohlen	empfohlen	empfohlen	empfohlen
F3	-	-	zulässig	-	-	empfohlen	empfohlen
F4	-	-	-	-	-	empfohlen	empfohlen
F5	-	-	-	-	-	Nachweis erforderlich	Nachweis erforderlich
"-"; Unzulässig aus Sicht des Grundwasserschutzes							

Quelle: ÖWAV (2015)

Technische Filtersysteme wurden in der Tabelle nicht berücksichtigt. Es geht aus der Auflistung hervor, dass vor allem Anlagen mit Bodenfilter die beste Variante für die Flächen F1 bis F4 darstellen und Systeme mit Rasen vor allem für gering verschmutzte Oberflächen in Frage kommen. Sickerschächte demgegenüber sind für verschmutzte Regenabflüsse nicht geeignet und kommen nur für wenig belastete Flächen des Typs F1, etwa Terrassen, in Frage (ÖWAV 2015). Die Schadstoffbelastung des Niederschlagswasser hängt mit der Dauer und Intensität des Niederschlages ab, wobei vor allem zu Beginn des Niederschlages, im ersten Schmutzstoß, dem sogenannten first flush die meisten Schadstoffe von den Oberflächen abtransportiert werden (Alias et al. 2014).

Der Landschaftsraum des Untersuchungsgebietes Niederösterreich, als auch die siedlungsstrukturellen Unterschiede der Kleinstädte in Niederösterreich, sind in vielfältiger Weise ausgestaltet. Für das Regenwassermanagement in Bezug auf die naturräumliche Gliederung für Niederösterreich ergibt sich, dass neben den vielfältigen sehr lokalen Einflussfaktoren, wie Flächentyp oder Neigung, auch regionale Faktoren, wie die Versickerungsfähigkeit des Bodens eine Rolle in der Auswahl der Infrastrukturen spielen. So finden sich im Weinviertel vor allem Böden mit geringer Durchlässigkeit auf Grund des hohen Lehmantils. In Folge dessen nimmt in dieser Region die Retention des Niederschlagswassers einen höheren Stellenwert ein als die oft nicht möglichen Versickerungsformen. Ein ähnlicher Umgang mit Niederschlagswasser muss auch im Alpenvorland, im Waldviertel, der Buckligen Welt, den Voralpen und Teilen des Wiener Beckens verfolgt werden, da die Versickerungsfähigkeit nicht entsprechend vorhanden ist.

Demgegenüber stehen die Landschaftszonen des Tullner- und Marchfelds und des südlichen Wiener Beckens, die auf Grund der dort vorherrschenden Bodeneigenschaften mit

überwiegendem Schotterkörper gute Versickerungsmöglichkeiten bieten. In Kombination mit geringen Jahresniederschlagssummen hat hier die Versickerung von Niederschlag, sofern dieser örtlich umsetzbar ist, Vorrang gegenüber anderen Maßnahmen. In Abbildung 29 sind für die naturräumlichen Zonen Niederösterreichs die hydrologischen Eigenschaften dargestellt

Abbildung 29: Hydrologische Karte Niederösterreich



# 8 Anwendung der Maßnahmen anhand der lokalen Klimazonen

In diesem Kapitel werden grüne und blaue Infrastrukturmaßnahmen beispielhaft in den unterschiedlichen lokalen Klimazonen in niederösterreichischen Kleinstädten angewendet. Anhand der lokalen Klimazonen wird aufgezeigt werden, welche grünen und blauen Infrastrukturen sich in den jeweiligen Räumen als umsetzungswürdig darstellen und welche Potentiale vorhanden sind. Ebenso werden Herausforderungen angesprochen, die die unterschiedlichen lokalen Klimazonen und die Siedlungsgestalt in diesen Zonen mit sich bringen. Ziel ist es, auf der einen Seite die aktuellen Defizite im Kontext des Klimawandels aufzuzeigen, und auf der anderen Seite die vielfältigen Chancen, die der vorhandene Raum bietet, darzustellen. Dabei ergeben sich, bedingt durch die lokalen Klimazonen und die darin befindlichen unterschiedlichen Siedlungsstrukturen, diverse Handlungsoptionen ebenso wie Restriktionen in der Umsetzbarkeit. Die Einteilung in lokale Klimazonen dient der Abschätzung der Überwärmung von Gebieten ähnlicher Merkmalsausprägung im Unterschied zum nicht bebauten Umland, und in weiterer Folge zur Benennung von potentiellen Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel, aber auch dem Aufzeigen und Darlegen von Anforderungen oder Restriktionen, wie etwa Platzmangel, die jene Gebiete und Örtlichkeiten an grüne und blaue Infrastrukturen stellen.

Die Auswahl der Untersuchungsbereiche pro lokaler Klimazone erfolgte so, dass ein möglichst zusammenhängender, für die jeweilige lokale Klimazone repräsentativer Bereich gewählt wurde. Ein solcher Bereich befindet sich in einer der ermittelten Kleinstadtcluster, die in Kapitel 4.1.1 festgelegt wurden. Pro Kleinstadtcluster wurde nur ein Bereich gewählt, um eine breite Übersicht über die lokalen Klimazonen und die verschiedenen niederösterreichischen Kleinstädte zu geben. Folgende lokale Klimazonen werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt: 1 (compact high-rise); 4 (open high-rise); 7 (lightweight low-rise); 9 (sparsley built); 10 (heavy industry). Die Gründe hierfür sind:

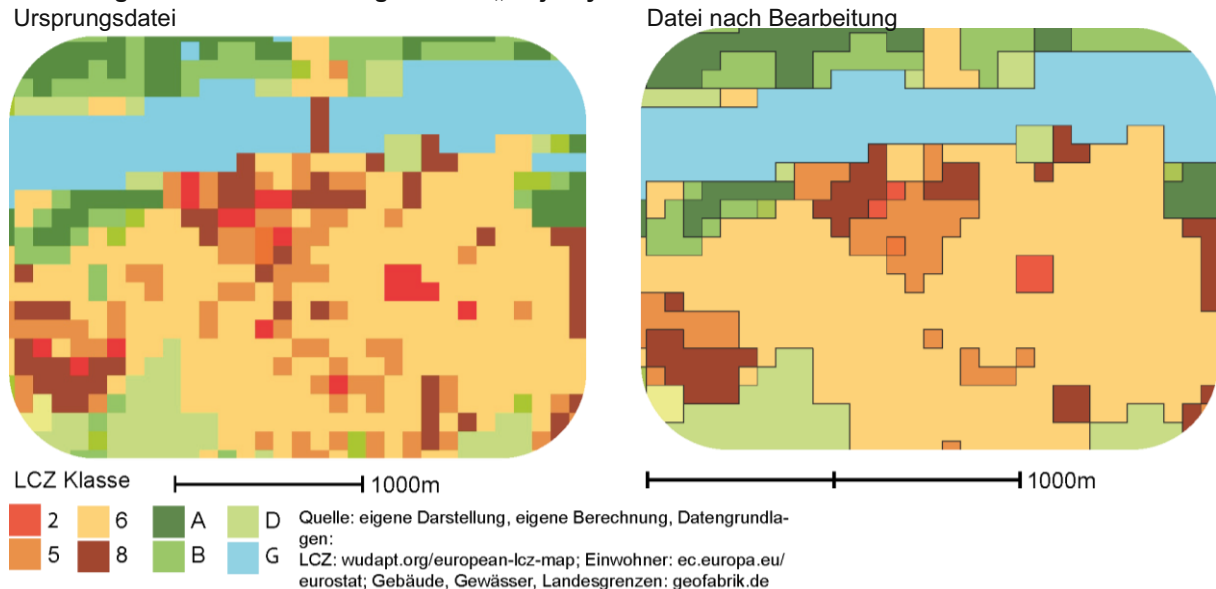
- LCZ 1 (compact high-rise): Diese Zone kommt in Österreich nicht vor.
- LCZ 4 (open high-rise): Die LCZ 2 (compact midrise), 4 (open high-rise) und 5 (open midrise) besitzen ähnliche Eigenschaften im Bezug des Anteils der Oberflächengestaltung (surface cover fraction) und unterscheiden sich vorrangig durch die Höhe der Gebäude (der roughness features). Dies hat zur Folge, dass insbesondere die Zonen 4 und 5 mit den heutigen Input-Daten kaum zu unterscheiden sind (Demuzere et al. 2019). Im vorliegenden Datensatz wurde ersichtlich, dass die

lokale Klimazone 4 bis auf einige wenige Ausnahmen in Niederösterreich nicht vorkommt, weshalb im weiteren Verlauf der Arbeit diese Zone nicht berücksichtigt wird.

- LCZ 7: Diese Zone kommt in Europa nicht vor.
- LCZ 9: Vorwiegend von natürlichen Oberflächen bestimmt und deshalb nicht als urban anzusehen. Keine bis maximal wenig Anpassung erforderlich (Demuzere et al. 2019).
- LCZ 10: Die Zone 10 kommt in Niederösterreich fast nicht vor und ist überdies mit einer deutlich höheren Unsicherheit der Klassifizierungswahrscheinlichkeit angegeben (Demuzere et al. 2019).

Vor Beginn der Bereichsauswahl wurden die Rasterzellen in QGIS, einem geographischen Informationssystem, bearbeitet, um etwaige Ausreißer und Datenfehler zu bereinigen und ein homogeneres Abbild zu erlangen. Bechtel (2019), der auch eine ähnliche Bereinigung in seiner Arbeit für Hamburg durchführte, nutzte einen „majority filter“ mit einer 3 Pixel (1 Pixel ist 100x100m) Auflösung. In der vorliegenden Arbeit wurde der gleiche Ansatz gewählt, jedoch mit einer Auflösung von nur einem Pixel (100m), um eine feinere Körnung, die für die nötige Auflösungsgenauigkeit in Kleinstädten – im Unterschied zu Hamburg - angebracht ist, zu gewährleisten. Die Unterschiede zwischen den ursprünglichen Daten und den bearbeiteten Datensatz sind in Abbildung 30 dargestellt. Die in diesem Kapitel verwendeten Berechnungen basieren alle auf dem geänderten Datensatz und können somit gegebenenfalls Abweichungen zu den Daten in Kapitel 4 aufweisen.

**Abbildung 30: Datenaufbereitung mit dem „majority filter“**



Die jeweiligen Zonen stehen dabei in Zusammenhang mit der Überwärmung, weshalb anhand der Klassifizierung Schlussfolgerungen bezüglich der Temperaturverteilung getroffen werden können, selbst wenn keine detaillierten Messwerte vorliegen (Alexander & Mills 2014). Die

Auflistung der lokalen Klimazonen erfolgt in absteigender Reihenfolge ihrer potentiellen Überwärmung: Zone 2 – Zone 8 – Zone 5 – Zone 6 (für Details siehe Kapitel 4.3.1). Das Überwärmungspotential einer Zone wird dabei in der Literatur im Vergleich zur jeweils örtlich vorhandenen Freifläche der lokalen Klimazone D (low plants), als ruraler Referenzpunkt angegeben (Long et al. 2014).

## 8.1 Entscheidungsmatrix für blaue Infrastruktur

Im Folgenden werden die vorgestellten blauen Infrastrukturen hinsichtlich ihrer Implementationseignung in den unterschiedlichen lokalen Klimazonen beispielhaft vorgestellt. Nachdem der Umgang mit Niederschlagswasser streng reguliert ist, und einer klaren Prioritätenreihenfolge unterliegt, nämlich in absteigender Reihenfolge, die Nutzung, das generelle Vermeiden von Abfluss durch versickerungsfähige Oberflächen und Entsiegelung, das Versickern vor Ort, die Retention und erst dann die Ableitung in die Kanalisation (Woods Ballard et al. 2015), soll die Entscheidung mit Hilfe der nachstehenden Entscheidungsmatrix getroffen werden. Die Entscheidungsmatrix und ihre Parameter sind in Tabelle 21 dargestellt. Die Informationen zur den Einflussfaktoren stammen dabei aus den genannten Quellen. Die Überprüfung der Eignung der Maßnahmen folgt dem Leitfaden Regenwasserbewirtschaftung und den dort angeführten Anforderungen (Kleidorfer et al. 2019).

**Tabelle 21: Entscheidungsmatrix für blaue Infrastruktur**

Einflussfaktoren		Blaue Infrastrukturmaßnahme							Quelle
Faktor	Situation im Gebiet	FV	VM	RV	MRV	BR	SV	RT	
Altlasten	nein								atlas.noe.gv.at
Grundwasserschutzzone	nein								altlasten.umweltbundesamt.at/altlasten
Flächentyp lt. ÖWAV-RB 35/45	F3								eigene Beurteilung
Durchlässigkeit des Bodens	versiegelt (nächstgelegene Art: mäßig)								bodenkarte.at
Mögliche Maßnahmen									eigene Beurteilung
FV ... Flächenversickerung; VM ... Versickerungsmulde; RV ... Rigolenversickerung; MRV ... Mulden-Rigolenversickerung; BR ... Baumrigolenversickerung; SV ... Schachtversickerung; RT ... Retentionsanlagen; Quelle: eigene Darstellung									

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an BMLFUW (2014)

## 8.2 Beispielübersicht und klimatische Rahmenbedingungen

Es wurden die Tabelle 22 angeführten Kleinstadtclustern ausgewählt. Zusätzlich ist die entsprechende Klimaregion, in der die Kleinstadt liegt, vermerkt, die nachstehend erläutert wird.

Tabelle 22: Beispielübersicht

LCZ	Kleinstadtcluster	Klimaregion
2	Baden bei Wien	östliches Flachland
	Bruck an der Leitha	östliches Flachland
8	Mistelbach	östliches Flachland
	Stockerau	Donauraum
5	Amstetten	Donauraum
	Neunkirchen	östliches Flachland
6	Horn	Waldviertel
	Herzogenburg	Donauraum

Quelle: eigene Darstellung

In Kapitel 2.1.1 wurden die sich zukünftig ändernden Klimabedingungen für Niederösterreich, wie Steigerung der Temperatur, Zunahme der Hitzetage und Starkniederschlagsereignisse angeführt. Um den gewählten Beispielen neben dem Bezug zu ihrer lokalen Klimazone auch einen Bezug zum Klima ihrer jeweiligen

Region zu geben, werden die Klimaregionen nachstehend beschrieben. Die Einteilung der Regionen erfolgt dabei auf Grund einer Systematik der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (Zamg), aufbauend auf den Klimaberechnung im Projekt ÖKS15 (ÖKS15). Die Klimaregionen und die Kleinstadtcluster sind in Abbildung 31 dargestellt.

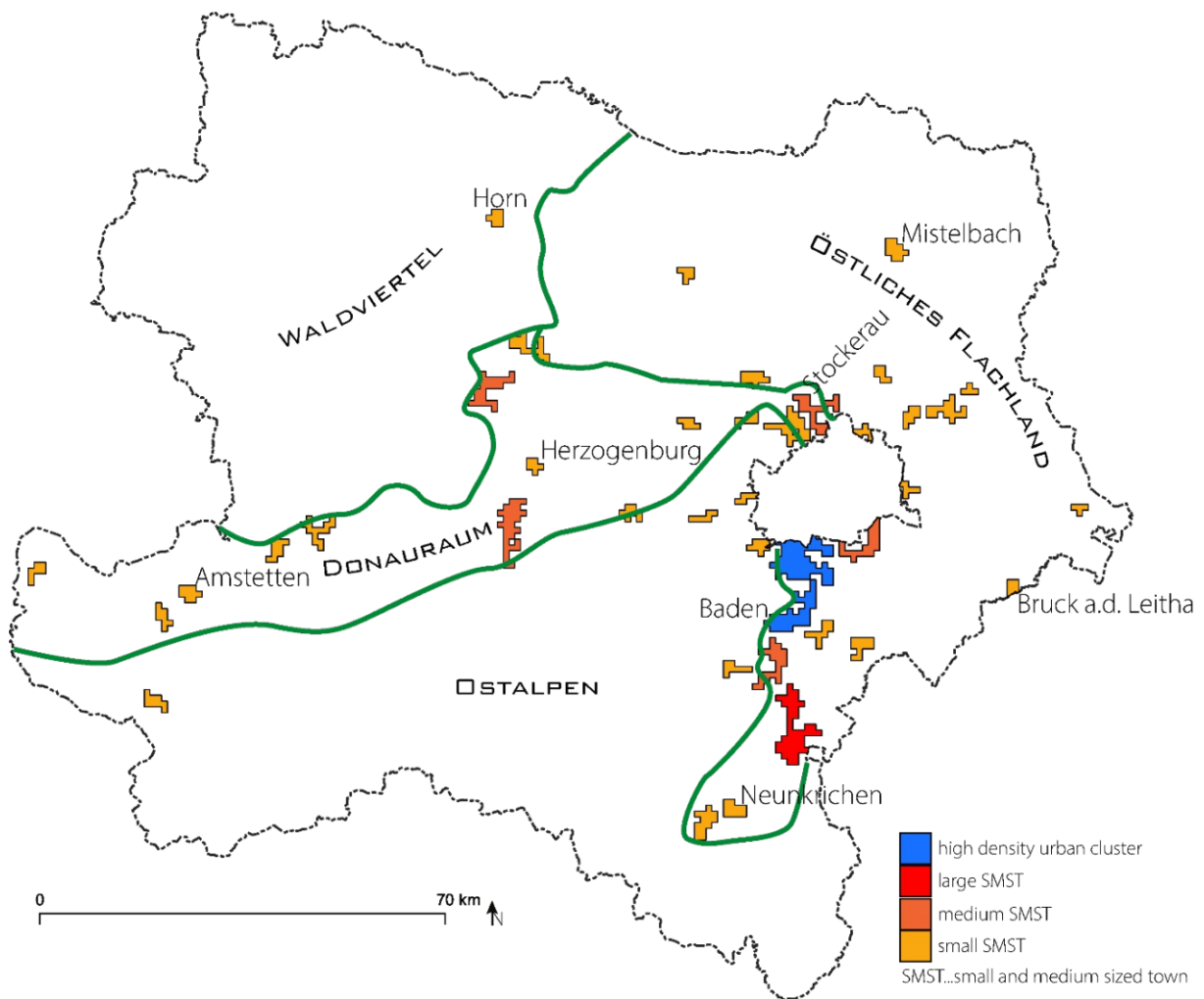
### Waldviertel:

Die Klimaregion des Waldviertels zeichnet sich aktuell durch ein kühles Klima mit kühlen Sommernächten, eine kurze Vegetationsperiode, niedrige jährliche Niederschlagssummen, aber vermehrte Häufigkeit von sommerlichen Gewittern aus. Die Jahresmitteltemperatur liegt bei 8,9°C. In naher Zukunft (2021-2050) wird sich die Anzahl der Hitzetage von aktuell durchschnittlich 3 auf 7 erhöhen, was im Vergleich zu anderen Regionen in Niederösterreich ein vergleichsweise niedriger Wert ist, wobei in Verbindung mit der steigenden durchschnittlichen Temperaturen sich dennoch eine Belastung für Mensch und Umwelt ergibt (umweltgemeinde, online). Im Waldviertel liegt der Kleinstadtcluster Horn, für den eine Steigerung der Hitzetage bei geringer Anstrengung im Klimaschutz um bis zu durchschnittlich 20 Tage für den Zeitraum 2071 bis 2100 prognostiziert wird (climamap, online).

### Östliches Flachland:

Diese Klimaregion umfasst neben dem Weinviertel und dem Marchfeld auch das östliche und südliche Wiener Becken und ist durch ein pannonisch-kontinentales Klima, mit trockenen warmen Sommern und kalten, trockenen Wintern gekennzeichnet. Die aktuelle Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei 11,2°C und der Jahresniederschlag bei 639 mm.

Abbildung 31: Klimaregionen Niederösterreichs



Quelle: eigene Darstellung, eigene Berechnung, Datengrundlage: eurostat 2; umweltgemeinde, online

Bereits aktuell werden durchschnittlich 80 Sommertage und 10 Hitzetage im Jahr gezählt. Die Anzahl der Hitzetage nimmt in dieser Region besonders signifikant zu und wird im Jahr 2050 im Mittel 18 Tage erreichen. Ebenso wird sich die Belastung durch Tropennächte um 3 Nächte auf im Durchschnitt 18 erhöhen (umweltgemeinde, online). In dieser Klimaregion befindet sich der Großteil der niederösterreichischen Kleinstadtcluster mit 20 an der Zahl, darunter Wiener Neustadt, Mistelbach oder Bruck an der Leitha. Im Vergleich mit den übrigen regionalen Klimazonen, ist es jene Klimaregion, die die höchsten Steigerungen der Temperatur, und der Hitzetage und somit der negativen Klimafolgen zu verzeichnen hat. Die Belastung für die dort lebenden Menschen wird dementsprechend groß sein.



### Donauraum:

In den westlichen Niederungen in Niederösterreich liegt die Klimaregion Donauraum die im Norden durch das Waldviertel und im Süden durch das Alpenvorland begrenzt wird. Das pannonische Klima übt vor allem durch hohe Sommertemperaturen und lange Trockenperioden großen Einfluss in der Region aus. Darüber hinaus nimmt hier der atlantische Einfluss zu. Die Jahresmitteltemperatur liegt etwas unterhalb jener des östlichen Flachlandes und beträgt 11°C. Der Jahresniederschlag beträgt, bedingt durch den feucht kühlen Einfluss des atlantischen Klimas 838 mm. Wie in den übrigen Regionen nimmt auch hier die Anzahl der Hitzetage zu, von aktuell 8 auf insgesamt 15 Tage im Durchschnitt (umweltgemeinde, online). Im Westen der Region nimmt auch die Anzahl der Starkniederschlagsereignisse um 2 bis 3, in einigen Gebieten auch über 3 Tage im Jahresdurchschnitt zu. In dieser Klimaregion befinden sich 13 Kleinstadtcluster, darunter St. Pölten, Amstetten oder Tulln.

### Ostalpen:

Die Region liegt im Übergangsbereich zwischen atlantisch und pannonisch geprägtem Klima und hat bedingt durch die Topographie der Alpen subalpine Klimaeinflüsse in den randalpinen Lagen vorzuweisen. Die Sommer sind kühl und die Winter Schneereich, dazu ist das Klima relativ feucht und weist Jahresniederschlagssummen von 1296 mm auf. Die Jahresmitteltemperatur liegt mit 9,1°C etwas höher als im Waldviertel. Die Hitzetage steigen vor allem in den tiefer gelegenen Regionen und den Tälern um 4 Tage auf insgesamt 7 im Jahresdurchschnitt, liegen dabei im Vergleich mit den Flachlandregionen auf einem immer noch niedrigen Wert (umweltgemeinde, online). In dieser Region konnten 7 Kleinstadtcluster ermittelt werden, darunter Waidhofen an der Ybbs, Purkersdorf oder Berndorf.

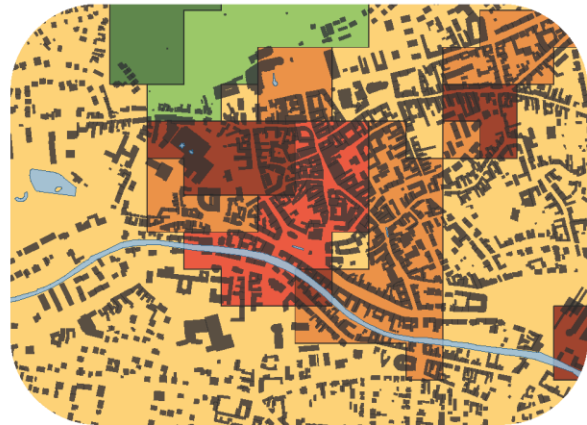
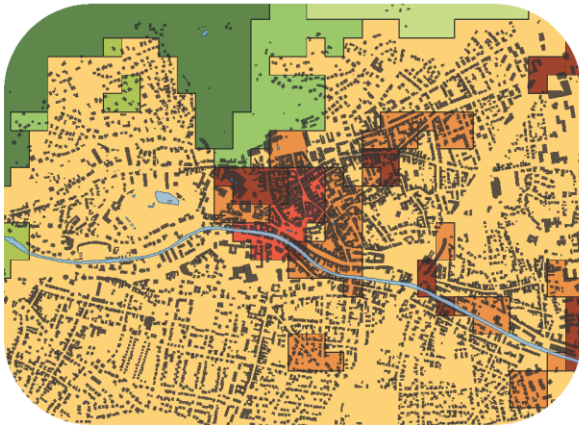
Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich die Flachlandregionen des Donauraums und des östlichen Flachlands in Zukunft durch signifikante Klimaänderungen kennzeichnen werden die zu einer deutlichen physischen Belastung der dort ansässigen Bevölkerung führen werden. Darüber hinaus nimmt der Stress auf die Umwelt, Flora und Fauna und den Wasserhaushalt zu. Es sind auch jene Regionen die die meisten Kleinstadtcluster aufweisen, weshalb hier deutlicher Handlungsbedarf besteht. Die übrigen Regionen tendieren auch zu einem im Vergleich zum aktuellen Klima veränderten Klima.

### 8.3 LCZ 2 in Niederösterreichs Kleinstädten - Übersicht

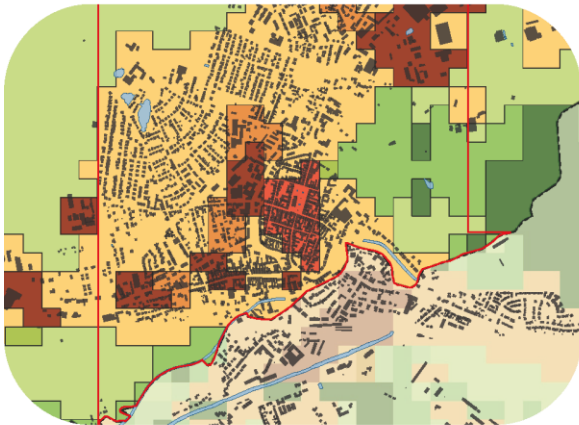
Charakteristisch für die lokale Klimazone 2 ist eine dichte und geschlossene Bebauung mit hoher Versiegelung (30% bis 50% Versiegelungsanteil), dichtem Gebäudebestand (bis zu 70% der Gesamtfläche), geringem Freiflächen- und Grünanteil (unter 20%) sowie niedrigem skyview Faktor und hoher Oberflächenrauigkeit, die die Windströmung behindert (Stewart & Oke 2012). Als Ergebnis der fast vollständigen Versiegelung der Oberfläche, des geringen Baumbestandes, der dreidimensionalen Vervielfältigung von wärmespeichernden Materialien und der nur geringen Anzahl von begrünten Innenhöfen ist das Potential für starke sommerliche Überwärmung in diesem Gebieten besonders markant ausgeprägt. Die lokale Klimazone 2 nimmt in Niederösterreichs Kleinstädten eine Fläche von insgesamt ca. 305 ha ein und ist überwiegend in den Lagen des Stadtzentrums und der stark verdichteten innerstädtischen Bebauung vorzufinden. In Abbildung 32 sind für die Beispiele Baden bei Wien und Bruck an der Leitha die lokalen Klimazonen dargestellt. Größere zusammenhängende Areale dieser Zone sind etwa in St. Pölten (40 ha), Wr. Neustadt (39 ha), Krems (22 ha), Baden (13 ha), oder Bruck an der Leitha (13 ha) vorhanden. Die Stadtzentren zeichnen sich

**Abbildung 32: Übersicht der Beispiele für die lokale Klimazone 2**

Baden bei Wien



Bruck an der Leitha



Quelle: eigene Darstellung, eigene Berechnung, Datengrundlagen:  
LCZ: wudapt.org/european-lcz-map; Einwohner: ec.europa.eu/eurostat; Gebäude, Gewässer, Landesgrenzen: geofabrik.de

vorwiegend durch jahrhundertalte, organisch gewachsene Straßenstrukturen und engmaschige Bebauungsweise mit gedrängten Platz- und Straßenbreitenverhältnissen aus, wodurch sich ein hoher Flächennutzungsdruck auf Grund der geringen Flächenverfügbarkeit ergibt. Der Klimawandelanpassung ist trotz der schwierigen Flächenverhältnissen viel Aufmerksamkeit zu schenken. Selbst in stark verdichteten Gebieten, wie sie innerhalb der lokalen Klimazone 2 anzutreffen sind, sind Potentiale für die Anwendung von grünen und blauen Infrastrukturmaßnahmen vorhanden und diese müssen ausgenutzt werden. Dabei gilt es insbesondere auch auf Grund der dichten Bebauung, die eine großflächige Umgestaltung verhindert, auf kleine Anpassungsmaßnahmen wie Dach- und Fassadenbegründung sowie Nutzung und Retention von Niederschlagswasser in vorhandenen Innenhöfen bei Blockrandbebauung, als auch lokale Entsiegelungsmaßnahmen zu berücksichtigen (Muschalla et al. 2014). Die Umgestaltung von stark versiegelten Plätzen in Stadtzentrumslage bietet sich hierfür besonders an, da dort ausreichend Fläche zur vielfältigen Umgestaltung vorhanden ist. Ziel ist es dabei durch Implementierung von Klimawandelanpassungsmaßnahmen das Mikroklima zu verbessern, vorhandene Hitzeinseln in Kühlinnseln umzuwandeln, den Umgang mit Niederschlag nachhaltig zu optimieren, die Widerstandsfähigkeit gegenüber Starkniederschlägen zu erhöhen und die Aufenthaltsqualität der Menschen im öffentlichen Raum zu steigern. Die Installation von Anpassungsmaßnahmen erfordert dabei eine Reorganisation und ein Umdenken in der Mobilität sowie der Flächenverteilung und Zuweisung der Platzverhältnisse der Verkehrsteilnehmerinnen in den entsprechenden Bereichen. Die nachfolgend vorgestellten Beispiele sollen einen Überblick über die Möglichkeiten der Klimawandelanpassung mit Hilfe der im vorangegangenen Kapitel vorgestellten Maßnahmen innerhalb der LCZ 2 in Niederösterreichs Kleinstädten auf Straßen- bzw. lokaler Ebene geben.

### **8.3.1 Baden bei Wien**

Baden bei Wien liegt in der niederösterreichischen Klimaregion des östlichen Flachlandes und wird von stark zunehmender Überwärmung und Anzahl an Hitzetagen betroffen sein (vgl. Kapitel 8.2). Die lokale Klimazone 2 in Baden bei Wien zeichnet sich durch ihre zentrale Lage aus und nimmt eine Fläche von 13ha ein. In Abbildung 33 ist eine Übersicht über die lokale Klimazone 2 in Baden dargestellt. Im nördlichen Teil umfasst die lokale Klimazone Teile der Altstadt mitsamt Fußgängerzone und engen, historischen Straßenzügen. Im mittleren Teil liegt das Quellschutzgebiet im Bereich des Josefplatzes, der bis auf einen kleinen Bereich fast vollständig versiegelt ist, aber in dessen Umfeld bereits erste blaue Infrastrukturmaßnahmen durchgeführt wurden (Energierreferat Baden 2019). Im südlichen Teil der lokalen Klimazone

eignen sich die umliegenden Straßenzüge für eine beidseitige Begrünung. Diese wurde bereits teilweise umgesetzt. Die Bäume befinden sich allerdings in kleinen dimensionierten Baumscheiben, mit etwa 2 m<sup>2</sup> Fläche. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass das Wachstum und die Vitalität des Baumes, durch den geringen zur Verfügung stehenden Platz, beeinträchtigt sind und in Folge dessen der Wirkungsgrad des Baumes in Bezug auf Beschattung und Evapotranspiration gehemmt ist. In der Stadt Baden wurden bereits einige Maßnahmen zur Klimawandelanpassung getroffen. Es wurden Projekte zur Aufnahme von Niederschlagswasser, zur genauen, wassersparenden Bewässerung und zur Gestaltung mit wasserdurchlässigen Materialien, und Entsiegelung durchgeführt. Die Maßnahmen konzentrierten sich dabei allerdings vorrangig auf den nördlich der Innenstadt gelegenen Park (Energierreferat Baden 2019). Eine Ausdehnung dieser Bestrebungen auf den verbauten Stadtraum in Zukunft ist anstrebenswert.

**Abbildung 33: Baden bei Wien Ist-Situation**



Quelle: eigene Darstellung, eigene Berechnung, Datengrundlagen:  
 LCZ: wudapt.org/european-lcz-map; Gebäude, Gewässer, Landesgrenzen: geofabrik.de

Der betrachtete Erzherzog Rainer Ring hat auf der südlichen Straßenseite einige Bäume in Baumscheiben im Bestand, während der übrige Straßenraum durch Stellplätze und eine zweispurige Fahrbahn vollständig versiegelt ist. Er ist daher als geeigneter Straßenzug für Anpassungsmaßnahmen zu betrachten, weil hier das Potential zur Bildung von Hitzeinseln besonders hoch erscheint. Die Gestaltung lässt sich auf weitere Straßenzüge im Gebiet anwenden, die in ähnlich starkem Ausmaß von Versiegelung geprägt sind. In Tabelle 23 sind für die blauen Infrastrukturmaßnahmen, die einer detaillierten Betrachtung bedürfen, die Kriterien und die Umsetzungsmöglichkeiten aufgelistet. Die örtliche Eignung der jeweiligen Maßnahmen ist grafisch in Abbildung 34 dargestellt.

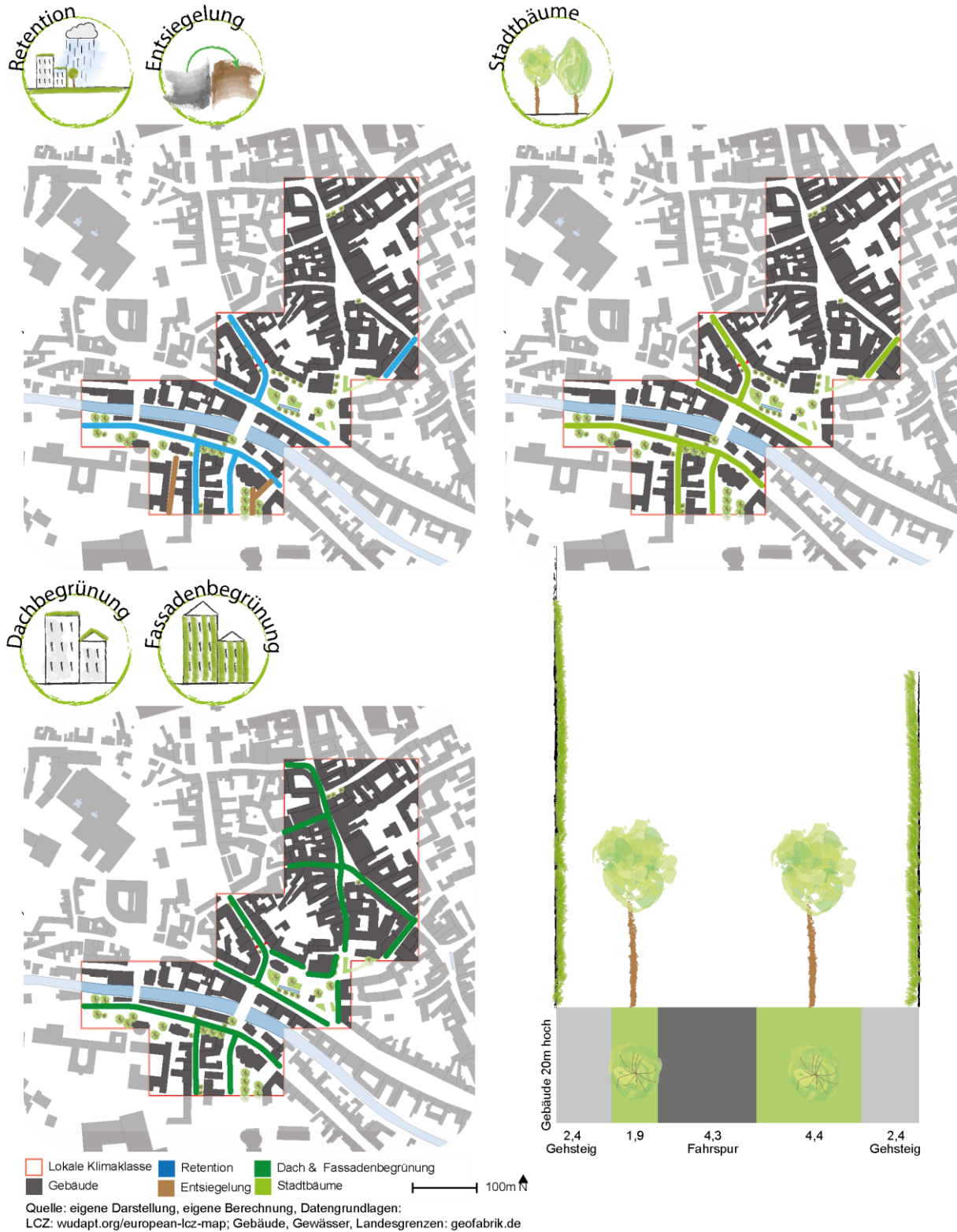
**Tabelle 23: Maßnahmeneignung Erzherzog Rainer Ring; Baden**

Einflussfaktoren		Blaue Infrastrukturmaßnahme						
Faktor	Situation im Gebiet	FV	VM	RV	MRV	BR	SV	RT
Altlasten	nein	1	1	1	1	1	1	1
Grundwasserschutzzone	nein	0	0	0	0	0	0	1
Flächentyp lt. ÖWAV-RB 35/45	F3	0	Mit Boden Filter	0	0	0	0	1
Durchlässigkeit des Bodens	versiegelt (nächstgelegene Art: mäßig)	0	0	0	0	0	0	1
Mögliche Maßnahmen		0	0	0	0	0	0	1
FV ... Flächenversickerung; VM ... Versickerungsmulde; RV ... Rigolenversickerung; MRV ... Mulden-Rigolenversickerung; BR ... Baumrigolenversickerung; SV ... Schachtversickerung; RT ... Retentionsanlagen; Quelle: eigene Darstellung								

**Blaue Infrastruktur:** Die Maßnahmenprüfung ergab, dass sich im Untersuchungsbereich nur die Retention von Niederschlagswasser, das auf Flächen des Typs F3 anfällt, eignet, da sich in unmittelbarer Nähe eine Quelle und dadurch eine Grundwasserschutzzone befindet. Dies hat ein Versickerungsverbot von Regenwasserabflüssen von Verkehrs-, Abstell-, und Lagerflächen zur Folge (Kleidorfer et al. 2019). Durch die Retention, zum Beispiel mit offenen Rinnen, kann dennoch ein positiver Beitrag zur Minderung von Abflussspitzen geleistet werden, und das Wasser auch in der Passage verdunsten. Das Mehr an offenen Wasserflächen im Straßenraum in Kombination mit der Vervielfältigung der Grünflächen verbessert das Bowen Verhältnis, optimiert in Folge das Mikroklima und erhöht zusätzlich die Aufenthaltsqualität. Im Bereich der Quellschutzzone wurde bereits ein Projekt zur Öffnung von Wasserflächen durchgeführt. Für die Zukunft führt die Stadt Baden in ihrer Klimawandelanpassungsstrategie an, dass eine Ausdehnung der Niederschlagswasserbewirtschaftung vorgesehen ist, dass Sickermulden in jenen Bereichen, wo dies zulässig ist, installiert werden und dass wassersparende Bewässerungssysteme genutzt werden sollen (Energierreferat Baden 2019).

**Stadtbäume:** Vor allem entlang der nördlichen Straßenseiten im Untersuchungsraum können die besonnten Fassaden und Gehsteige durch zusätzliche Pflanzung von Bäumen beschattet werden. In Kombination mit vegetierten Flächen kann ein grünes Netz entstehen, wodurch eine deutliche Steigerung des Grünflächenanteils in denen aktuell bis zu 100% versiegelten Straßenzügen etabliert werden kann. Bei Straßensanierungen ist in Zukunft von der Stadt

Abbildung 34: Baden bei Wien Gestaltungsszenarien



Baden vorgesehen, den Grünflächenanteil zu erhöhen und eine Fortsetzung der Erstbepflanzung mit klimawandelangepassten Gehölzen durchzuführen (Energierreferat Baden 2019).

**Entsiegelung:** In der Stadt Baden wurden bereits Erfahrungen mit dem Rückbau von versiegelten Flächen vor allem in Parkanlagen gesammelt. Dort wurden auch wassergebundene Decken, die das Kleinklima verbessern und die Versickerung erhöhen, eingesetzt. Diese Erfahrung gilt es für das übrige Stadtgebiet zu nutzen, um im bebauten und bewohnten Gebiet Entsiegelungsmaßnahmen umsetzen zu können (Energierreferat Baden 2019). MEHR

**Dach- und Fassadenbegrünungen:** In jenen Bereichen, die auf Grund ihrer Straßenbreite nicht für Bäume und weitere, bodengebundene, grüne und blaue Infrastrukturmaßnahmen geeignet sind, empfiehlt sich der platzsparende Einsatz von Fassadenbegrünung. Im vorliegenden Beispiel würde sich vor allem die Innenstadtzone anbieten, die durch ihren historisch gewachsenen Altstadtkern mit engen Gassen auf platzsparende Maßnahmen angewiesen ist. Für die Dachbegrünung ist je nach individueller Eignung der Gebäude in Bezug auf Traglast und Neigung des Daches ist eine Umsetzung in Betracht zu ziehen. Die Vielzahl der historischen Gebäude lässt annehmen, dass der flächenhafte Einsatz dieser Maßnahme schwer umsetzbar ist. Deshalb ist es umso notwendiger jene Dächer, die sich wahrscheinlich eignen würden, auch tatsächlich zu begrünen. Auf Grund der Höhe der Gebäude ist der Nutzen vor allem auf die Retention des Regenwassers beschränkt. Eine wesentliche Steigerung des Klimakomforts auf Straßenebene ist nicht anzunehmen (Alexandri & Jones 2006). Die Stadt Baden hat bereits einige Objekte im Stadtgarten begrünt und plant eine Prüfung, ob sich weitere Objekte eignen (Energierreferat Baden 2019).

### 8.3.2 Bruck an der Leitha

Bruck an der Leitha liegt im Osten von Niederösterreich in der Klimaregion des östlichen Flachlandes. Der Einfluss des pannonischen Klimas ist hier besonders deutlich ausgeprägt und in Zukunft ist mit einer markanten Überwärmung und Zunahme der Hitzetage und Tropennächte auszugehen (vgl. Kapitel 8.2). Die 13ha große lokale Klimazone 2 in Bruck an der Leitha umfasst fast vollständig den historischen Altstadtbereich, der durch seine dichte, geschlossene Bauweise und ausgeprägte Versiegelung mit keinen nennenswerten Grünstrukturen gekennzeichnet ist. Der zentral gelegene Hauptplatz beinhaltet zwar dem Namen nach den Schulpark, der allerdings sowohl hinsichtlich seiner Eignung zur Klimawandelanpassung als auch in Bezug auf seine Aufenthaltsqualität keine wesentlichen Vorteile bietet. Die übrigen Flächen des Hauptplatzes sind vor allem durch Stellflächen für den

motorisierten Individualverkehr und weitläufige Sonnenexposition und Überwärmung gekennzeichnet, wie der Abbildung 35 entnommen werden kann. Entlang der östlichen Seite sind einige Bäume gesetzt, diese stehen aber in kleinen, nicht begrünten Baumscheiben und lassen sonstige Grünstrukturen vermissen. Die umliegenden Straßenzüge sind ebenso durch eine vollständige Versiegelung ohne Bäume oder Grünflächen geprägt, weshalb sich der gesamte Altstadtbereich und die lokale Klimazone 2 als Wärmeinsel ohne Kühlfunktion darstellt. Die vorliegende Blockrandbebauung besteht zum Großteil aus historischen Gebäuden mit ein bis zwei Stockwerken Höhe und schrägen Dächern. Auf Grund der anzutreffenden Situation ist ein Handlungsbedarf zur Klimawandelanpassung auf alle Fälle notwendig, weil die eintreffende solare Strahlung fast vollständig auf Grund der Oberfläche in latente Wärme umgewandelt werden kann, ein stark nachteiliges Bowenverhältnis vorliegt, und die Aufenthaltsqualität im Straßenraum mangels Grünflächen als gering angesehen

**Abbildung 35: Bruck an der Leitha Ist-Situation**



Quelle: eigene Darstellung, eigene Berechnung, Datengrundlagen:  
LCZ: wudapt.org/european-lcz-map; Gebäude, Gewässer, Landesgrenzen: geofabrik.de



werden kann. Auf Grund der geringen Flächenverfügbarkeit ist der Einsatz von grüner und blauer Infrastruktur allerdings mit großen Hürden verbunden. Neben dem Hauptplatz, der auf Grund der zentralen Lage und des vorhandenen Platzangebots für großflächige Begrünungsmaßnahmen als geeignet zur Umgestaltung erscheint, stellt die Wiener Gasse eine für Bruck an der Leitha, sowie auch für weitere Straßenzüge in Niederösterreich, die sich in der lokalen Klimazone 2 befinden, ein veranschaulichendes Beispiel für Klimawandelanpassungsmaßnahmen dar. In der nachfolgenden Tabelle 24 sind für die Wiener Gasse die möglichen Maßnahmen, die eine detaillierte Überprüfung hinsichtlich ihrer Eignung erfordern, aufgelistet.

**Tabelle 24: Maßnahmeneignung Wiener Gasse; Bruck an der Leitha**

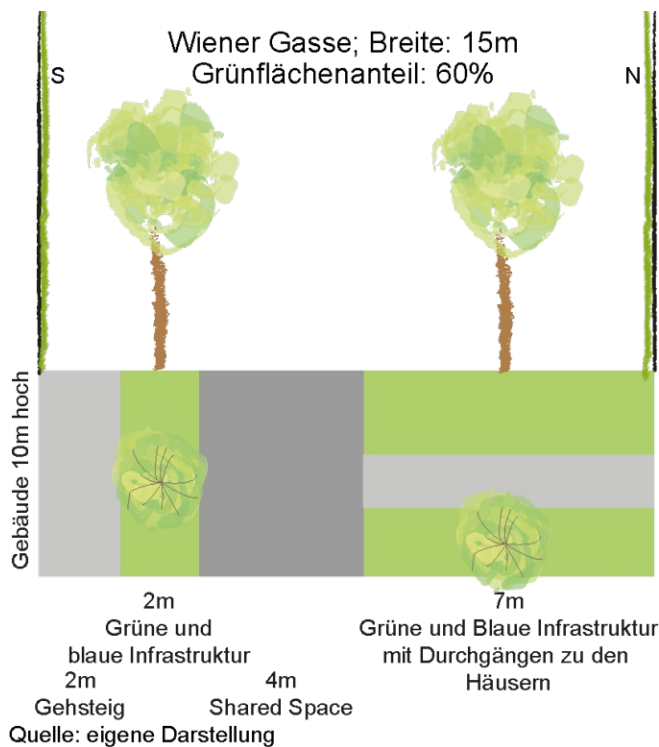
Einflussfaktoren		Blaue Infrastrukturmaßnahme						
Faktor	Situation im Gebiet	FV	VM	RV	MRV	BR	SV	RT
Altlasten	nein	1	1	1	1	1	1	1
Grundwasserschutzzone	nein	1	1	1	1	1	1	1
Flächentyp lt. ÖWAV-RB 35/45	F3	1	Mit Boden Filter	0	1	0	0	1
Durchlässigkeit des Bodens	versiegelt (nächstgelegene Art: mäßig)	1	1	1	1	1	1	1
Mögliche Maßnahmen		0	1	0	1	0	0	1
FV ... Flächenversickerung; VM ... Versickerungsmulde; RV ... Rigolenversickerung; MRV ... Mulden-Rigolenversickerung; BR ... Baumrigolenversickerung; SV ... Schachtversickerung; RT ... Retentionsanlagen; Quelle: eigene Darstellung								

**Blaue Infrastruktur:** Die Maßnahmenüberprüfung hinsichtlich der Eignung von blauer Infrastruktur ergab, dass im Untersuchungsraum der Einsatz von Versickerungsmulden, Mulden-Rigolenversickerung-, und Retentionsanlagen möglich ist. Etwaige Versickerungsmulden müssen auf Grund des Flächentyps F3 mit einem Bodenfilter ausgestattet sein (ÖWAV RB 35/45). Die örtliche Eignung der Maßnahmen ist in Abbildung 37 verzeichnet. Durch den Einsatz von vegetationsbedeckten Versickerungssystemen können die natürlichen Prozesse des Wasserhaushalts, der Schadstoffbindung sowie der Luftreinigung und Vorteile für das Mikroklima, die durch die Versiegelung verdrängt wurden, wieder in den Straßenraum zurückgeholt werden.

**Entsiegelung:** Auf Grund der Altstadtlage mit vorhandener Umfahrung ist anzunehmen, dass bis auf die Zu- und Abfahrten zum Hauptplatz mit einer geringen verkehrlichen Belastung, ohne Durchzugsverkehr in den übrigen Straßenzügen zu rechnen ist. Eine Entsiegelung der Fahrbahnen, zu mindestens aber der Stellflächen für Kraftfahrzeuge, die nicht in Grünflächen umgewandelt werden können, ist deshalb anzustreben um die Oberflächentemperatur sowie

den Abflussbeiwert zu verringern. Die Einschränkungen und Verengungen der Fahrbahnen, um den nötigen Platz für die Klimawandelanpassungsmaßnahmen zu schaffen, erfordert eine Reorganisation der Mobilität. Auch die Auflassung von Straßen und die Umwandlung dieser in Grünachsen, die für die Durchlüftung und den Kaltlufttransport wichtig sind, ist in Betracht zu ziehen.

**Abbildung 36: Bruck an der Leitha, Wiener Gasse  
Straßenquerschnitt**



**Stadtbäume:** Neben dem großflächigem Einsatz von Bäumen am Hauptplatz empfehlen sich vor allem die in Ost-West Richtung verlaufenden Straßenzüge, wie die Wiener Gasse, deren Gestaltungspotential in Abbildung 36 dargestellt ist, deren Breite den Einsatz von Bäumen grundsätzlich möglich machen. Diese sollten im Sinne einer optimalen Beschattungsleistung prioritär auf den nördlichen Straßenseiten angebracht werden, um die Gebäudefassaden zu beschatten (Stiles et al. 2014). In Kombination mit zusätzlichen Elementen der grünen und blauen Infrastruktur, zum Beispiel von

straßenbegleitenden Muldenversickerung, können die Straßen klimatisch zukunftssicher ausgestaltet werden.

**Dach- und Fassadenbegrünung:** Jene Straßenzüge, die auf Grund ihrer Breite nicht für den Einsatz von Bäumen oder sonstiger grüner oder blauer Infrastruktur in Frage kommen, sind mit Fassadenbegrünung auszugestalten, um auch in engen räumlichen Verhältnissen einen Vorteil bieten zu können. In Bruck an der Leitha ist insbesondere die südlich des Hauptplatzes verlaufende Fußgängerzone mit dieser Lösung auszustatten, weil durch die engen Platzverhältnisse keine größeren Maßnahmen realistisch erscheinen und dennoch eine Anpassung an die negativen Effekte des Klimawandels und zur Optimierung des Mikroklimas durchgesetzt werden muss. Auf Grund der Schräge der Dächer, der Vielzahl an Eigentümern, sowie auf Grund der historischen Bausubstanz ist die flächendeckende Umgestaltung zu Gunsten grüner Dächer schwer vorstellbar.

Abbildung 37: Bruck an der Leitha Gestaltungsszenarien



Quelle: eigene Darstellung, eigene Berechnung, Datengrundlagen:  
 LCZ: wudapt.org/european-lcz-map; Gebäude, Gewässer, Landesgrenzen: geofabrik.de

### 8.3.3 Fazit LCZ 2

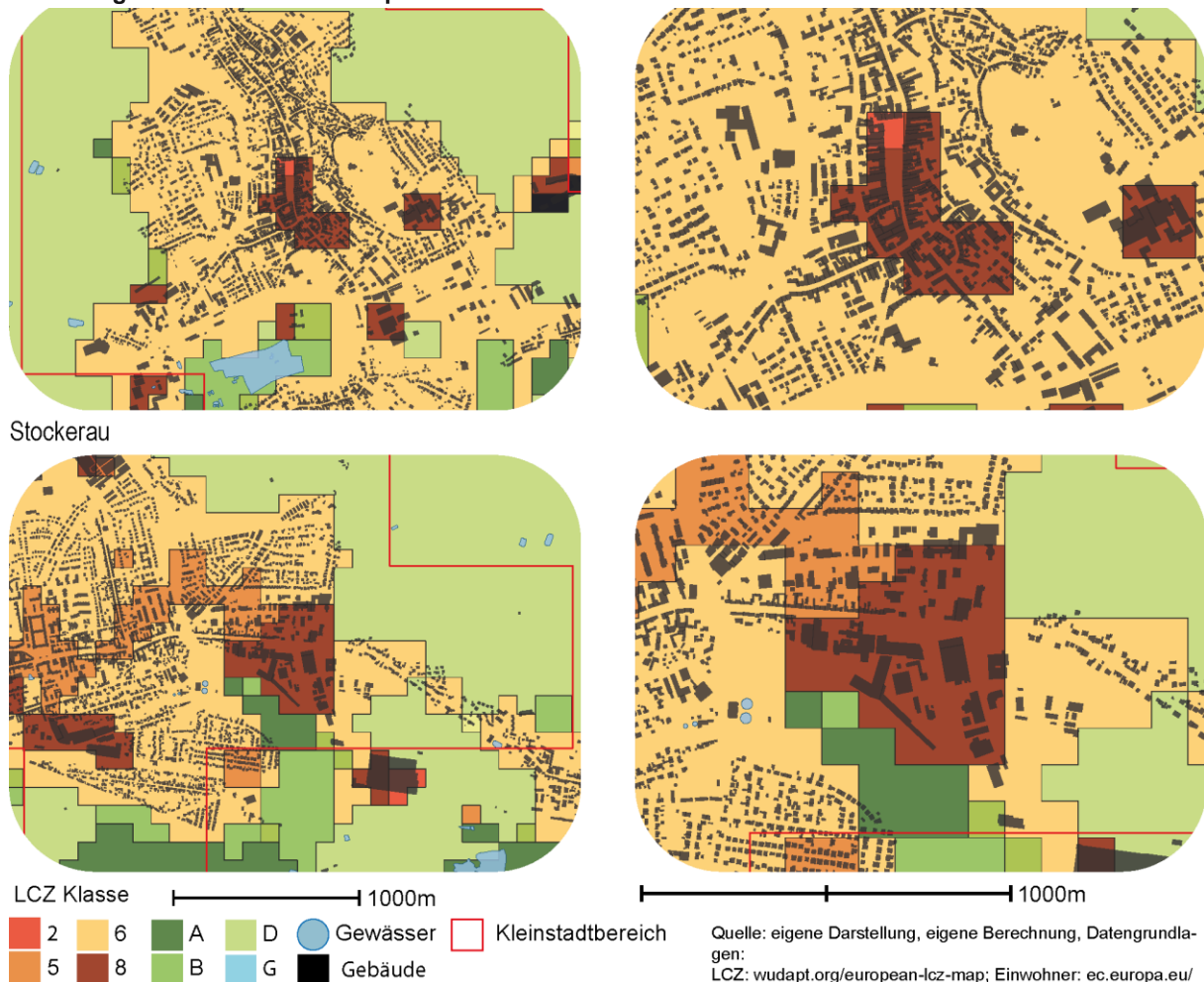
Charakteristisch für diese Klimazone sind Bebauungsformen mit hoher Versiegelung, Dichte und geschlossener Bebauung wie sie in Alt-, und Innenstadtbereichen zu finden sind. Handel, Gewerbe, öffentliche Einrichtungen sowie Wohnen sind die vorherrschenden Nutzungsfunktionen. Die stark verdichteten und versiegelte Siedlungsstruktur in der lokalen Klimazone 2 erfordert es, dass Klimawandelanpassungsmaßnahmen vor allem auf öffentlichem Grund, wie etwa dem Straßenraum, stattfinden, da auf den privaten Grundstücken und Grundflächen fast kein Platz für entsprechend notwendige Maßnahmen gegeben ist (Grimm & Achleitner 2010b). Es lassen sich folgende Handlungsempfehlungen für diese Zone treffen, die aber stets lokalen Veränderungen auf Grund der konkreten Situation vor Ort unterliegen. Erstens ist, wie in jeder lokalen Klimazone, die Nutzung des Niederschlags anzustreben. Darüber hinaus ist vorwiegend die Versickerung des anfallenden Regenwassers über einen Bodenfilter auf Grund der zu erwarteten Oberflächenverschmutzung der Flächen in dieser lokalen Klimazone anzustreben. Die Evapotranspiration sowie die oberirdische Ableitung des Regenwassers bedürfen einer jeweiligen individuellen Beurteilung der örtlichen Gegebenheiten durch die entsprechenden Fachdisziplinen, sind aber grundsätzlich zulässig. Von einer Versickerung ohne Bodenfilter über einen Rasenfilter oder mineralischen Filter sollte Abstand genommen werden (Simperler et al. 2018; Kleidorfer et al. 2019). Durch die Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen kann der negative Einfluss der Urbanisierung abgeschwächt, und die Wasserbilanz einem natürlicherem Regime angeglichen werden (Kleidorfer et al. 2019). Zweitens ist der Anteil der Vegetation und im speziellen der Baumbestand im Straßenraum deutlich zu erhöhen, um die sonnenexponierten und versiegelten Flächen zu beschatten und vorhandene Hitzeinseln abzumildern oder in Kühlinnseln umzuwandeln. Drittens sind jene Flächen, die nicht zwangsläufig versiegelt sein müssen, mit wassergebundenen Oberflächen auszugestalten. Die Maßnahmen erfordern ein Umdenken der aktuellen Mobilität, denn der nötige Platz für die Umgestaltung muss vor allem im öffentlichen Raum gesucht werden. Das trotz der engen Platzverhältnisse und dichten Bebauung gegebene Umgestaltungspotential muss ausgenutzt werden, um in Zusammenarbeit mit den entsprechenden Fachdisziplinen, etwa Bauingenieurwesen, Verkehrsplanung oder Statikern, aber vor allem auch der politischen Ebene und den AnwohnerInnen zukunftsorientierte Handlungen zu schaffen. Dabei darf die Anpassung an den Klimawandel und die nötige Umgestaltung, die eine deutliche Veränderung im Raum erfordert, nicht als Restriktion und Einschnitt, sondern als Fortschritt angesehen werden. Bei Maßnahmen, die auf Grundstücksebene durchgeführt werden müssen, etwa Fassaden- oder Dachbegrünungen, ist nicht so sehr die technische Hürde zu nennen, sondern das Engagement und die Bereitschaft der EigentümerInnen, da formelle Planungsinstrumente dort an ihre Grenzen stoßen. Deshalb sind vor allem die Aufklärung und die Bewusstseinsbildung

wichtig, um möglichst viele Eigentümer anzusprechen und zu einer Implementierung von Klimawandelanpassungsmaßnahmen in ihrem Eigentum zu überzeugen (Simperler et al. 2018). Auch kleine Grünflächen zeigen schon eine Wirkung, sollten aber durch Grünzüge klimawirksam vernetzt werden (Wende et al. 2011).

## 8.4 LCZ 8 in Niederösterreichs Kleinstädten - Übersicht

Die lokale Klimazonen 8 nimmt in Niederösterreichs Kleinstädten eine Fläche von ca. 2.723 ha ein und ist im Bezug zur Überwärmung ähnlich der lokalen Klimazonen 2 situiert (vergleiche Kapitel 4.3.1). Charakteristisch für diese Zonen sind sehr hohe Anteil an Versiegelung (40% bis 50% Versiegelungsanteil), keine bis kaum vorhandene Bäume und Vegetation (unter 20% Vegetationsanteil), als auch eine lockere Anordnung von großen Gebäuden wie Stewart und Oke (2012) angeben. Im Unterschied zur lokalen Klimazone 2 ist der sky-view-Faktor größer und die Oberflächenrauigkeit geringer ausgeprägt (Stewart & Oke 2012). In Niederösterreich werden, wie in *Abbildung 38*, für die beiden Beispiele dargestellt ist, vor allem Gewerbe- und

**Abbildung 38: Übersicht der Beispiele für die lokale Klimazone 8**



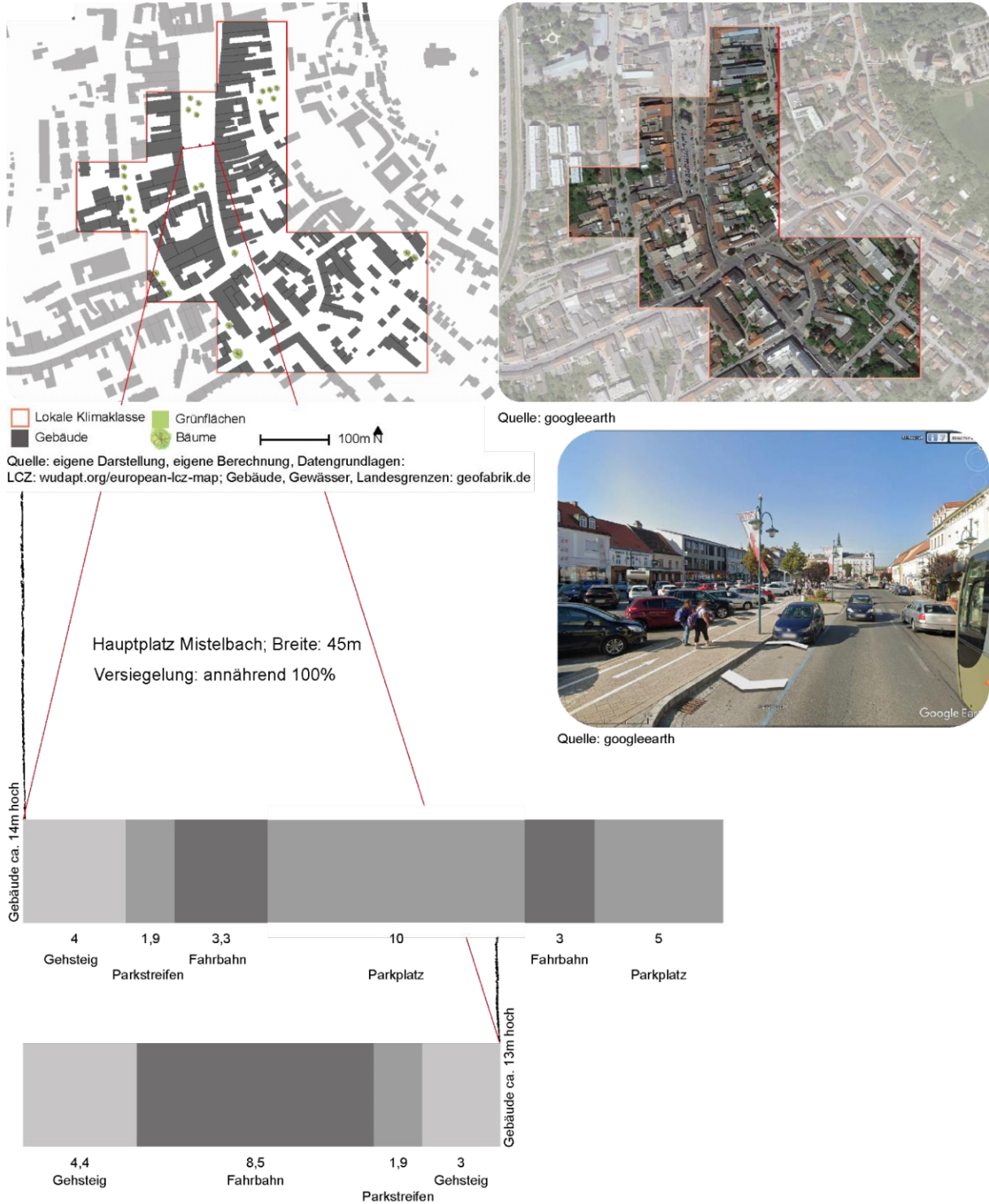
Betriebsgebiete außerhalb des Zentrums von Siedlungen in dieser Zone abgebildet, allerdings auch innerstädtische Lagen, die auf Grund der fehlenden Vegetation, der durchgängigen Versiegelung und der Gebäudeanordnung durch die Analysetechniken in diese Zone aufgenommen wurden. Als Beispiel für das Vorkommen dieser lokalen Klimazone in einer zentralen Lage wird Mistelbach in dieser Arbeit vorgestellt. Als Referenzbeispiel für ein Gewerbegebiet dient Stockerau. Die Beispielstädte sind in Abbildung 38 dargestellt. Durch die klimarelevanten Oberflächeneigenschaften ist die Überwärmung im Vergleich zum nicht versiegelten Umland als markant anzusehen, weshalb den Gestaltungsvarianten eine hohe Priorität innerhalb von Siedlungen eingeräumt werden muss, um die negativen Auswirkungen der Hitzebelastung und des Oberflächenabflusses entgegenzuwirken. Da unversiegelte, begrünte und mit Bäumen versehene Flächen wenig bis gar nicht vorhanden sind, sollte der Fokus auf die Entsiegelung der großen Platz-, Stellflächen und der Lagerflächen gelegt werden. Entlang von Gebäuden und Straßen, als auch auf Parkplätzen, ist die Baumpflanzung mit begleitender Entsiegelung für Infiltration und Retention, als Teil der blauen Infrastruktur, soweit es die örtlichen Möglichkeiten zulassen, anzustreben. Eine flächendeckende Dachbegrünung ist vor allem im Gewerbegebiet sinnvoll und in der Umsetzung als realistisch zu betrachten. Wenig verschmutzte Flächen, wie etwa Dachflächen, bieten darüber hinaus Abkopplungspotential vom Kanalnetz. Die Sammlung und Nutzung des anfallenden Regenwassers für spätere Bewässerung ist, neben der Aufbereitung und Wiederverwendung von Brauchwasser, anzustreben. Diese Vorort-Reinigung von anfallendem Brauchwasser und die Weiternutzung des Wassers für Bewässerungsaufgaben, vor allem in Trockenperioden, kann ein weiteres umsetzungswürdiges Vorhaben mit Fokus auf einen nachhaltigen Wasserumgang darstellen (Hillenbrand et al. 2016).

#### 8.4.1 Mistelbach

Mistelbach liegt in der Klimaregion des östlichen Flachlandes, wobei auf Grund der Lage Mistelbachs im Weinviertel die Temperaturzunahme nicht ganz so markant ausfällt wie dies etwa in Bruck an der Leitha der Fall ist. Dennoch ist mit einer Zunahme der Hitzetage auf bis zu durchschnittlich 42 Tage für den Zeitraum 2071 bis 2100 bei geringen Anstrengungen im Klimaschutz zu rechnen (climamap, online). Die lokale Klimazone 8 in Mistelbach nimmt eine Fläche von 13ha ein und umfasst den Großteil des Hauptplatzes und umliegende innerstädtische Straßenzüge, wie in Abbildung 39 zu sehen ist. Der nördliche Teil des Hauptplatzes, der nicht mehr in der LCZ 8 liegt, ist als LCZ 2 klassifiziert, und somit als fast ident anzusehen. Die nicht von Gebäuden eingenommenen Flächen sind fast vollständig versiegelt und der Grünraumanteil, auch in den Innenhöfen, ist gering. Der Hauptplatz weist

durch seine Breite und geringe Anzahl an Bäumen (6 Stück in LCZ 8, 5 in LCZ 2) eine starke Exposition zur Sonne mit kaum vorhandener Beschattung auf. Es ist deshalb von großer Überwärmung und Hitzebelastung in seinem Umfeld auszugehen. Zusätzlich dient der Hauptplatz in großen Teilen als Kfz-Stellfläche und als Verkehrsweg. Auf Grund der genannten Faktoren und der Materialdichte wird viel Energie in Form von Wärme gespeichert, weshalb die Aufenthaltsqualität am Hauptplatz als gering anzusehen ist. Auch die umliegenden

Abbildung 39: Mistelbach Ist-Situation



Straßenzüge sind von durchgehender Versiegelung, mangelndem Baum- und Grünbestand und Tendenzen zur Überwärmung gekennzeichnet.

Um den genannten klimarelevanten Defiziten entgegenzuwirken ist die flächenhafte Umgestaltung der versiegelten Areale mit grüner und blauer Infrastruktur von großer Relevanz, um auch bei den zukünftigen zu erwartenden wärmeren Klimaprognosen ausreichend Aufenthaltsqualität und Schutz der Bevölkerung bieten zu können. In Tabelle 25 sind für die blauen Infrastrukturmaßnahmen, die einer detaillierter Betrachtung bedürfen, die Kriterien und die Umsetzungsmöglichkeiten aufgelistet.

**Tabelle 25** Maßnahmeneignung Hauptplatz Mistelbach

Einflussfaktoren		Grün-blaue Infrastrukturmaßnahme						
Faktor	Situation im Gebiet	FV	VM	RV	MRV	BR	SV	RT
Altlasten	nein	1	1	1	1	1	1	1
Grundwasserschutzzone	nein	1	1	1	1	1	1	1
Flächentyp lt. ÖWAV-RB 35/45	F3	1	Mit Boden Filter	0	1	0	0	1
Durchlässigkeit des Bodens	versiegelt (nächstgelegene Art: mäßig)	1	1	1	1	1	1	1
Mögliche Maßnahmen		1	1	0	1	0	0	1

FV ... Flächenversickerung; VM ... Versickerungsmulde; RV ... Rigolenversickerung; MRV ... Mulden-Rigolenversickerung; BR ... Baumrigolenversickerung; SV ... Schachtversickerung; RT ... Retentionsanlagen; Quelle: eigene Darstellung

**Blaue Infrastruktur:** Auf Grund der hohen Versiegelung, bei gleichzeitigem Vorhandensein ausreichender Flächenverfügbarkeit im Bereich des Hauptplatzes ist, wie in Abbildung 40 gezeigt wird, auf eine flächenhafte Installation von grünen und blauen Infrastrukturmaßnahmen zu setzen. Dabei können durchaus auch flächenintensive Systeme, wie Flächenversickerungsanlagen angedacht werden, die durch ihre multifunktionale Ausgestaltung als Frei- und Erholungsflächen im Bereich des Hauptplatzes für eine gesteigerte Aufenthaltsqualität sorgen können. Durch die Umgestaltung des gesamten Hauptplatzareales, welches im Moment vor allem dem Individualverkehr als Stellfläche dient, kann neben einem begrüntem Ortszentrum, das als zentraler Treffpunkt und Aufenthaltsraum fungieren könnte auch in klimarelevanter und siedlungswasserwirtschaftlicher Sicht große Wirkung erwartet werden. Auch bei Beibehaltung von Parkplätzen können diese durch die Implementierung von blauer Infrastruktur, etwa mit wassergebundenen und durchlässige Pflasterungen, Versickerungsmulden und Retentionsanlagen klimawirksam und grün ausgestaltet werden. In jenen Bereichen, die auf Grund ihrer Straßengeometrie nicht



ausreichend Platz für Versickerungselemente bieten, ist die Implementierung von Retentionsrinnen und Becken anzustreben.

**Entsiegelung:** Der Hauptplatz bietet Umgestaltungspotential für großflächige Entsiegelungsmaßnahmen. Durch den sonnenexponierten Platz ist eine Entsiegelung und Begrünung als besonders effektiv anzusehen, da die solare Energie nicht mehr im selben Ausmaß gespeichert und als Wärme abgegeben werden kann. Die Umgestaltung der Stellplätze hin zu einem Park mit einer zentralen Veranstaltungsfläche wäre eine solche

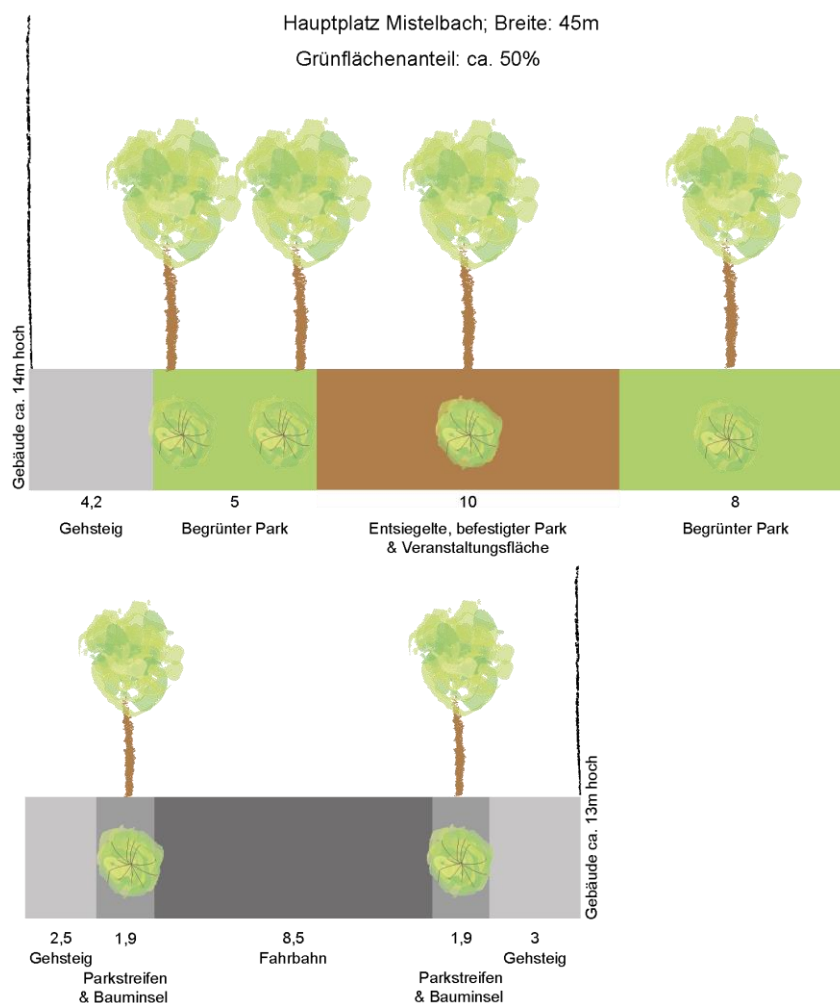
Abbildung 40: Gestaltungsszenarien Mistelbach



großflächige Umgestaltungsmaßnahme. Jene Bereiche, die nicht zwingend eine versiegelte Oberfläche brauchen, sind entweder mit offenen Rasenflächen oder mit teilversiegelten Materialien zu gestalten. Neben dem positiven Einfluss auf siedlungswasserwirtschaftliche Aspekte, kann auch die Evapotranspirationsrate und damit das Mikroklima positiv beeinflusst werden. Allerdings ist darauf zu achten, dass die Flächen bewässert und befeuchtet bleiben um die Kühlwirkung und die Aufenthaltsqualität zu gewährleisten. Flächen, die versiegelt bleiben müssen, sind nach Möglichkeit durch helle Materialien zu ersetzen, um die Albedo zu erhöhen und der Wärmespeicherung entgegenzuwirken.

**Stadt bäume:** Am sonnenexponierten und offenen Hauptplatz kann durch eine großflächige Baumpflanzung die Aufenthaltsqualität im Umfeld der Beschattungsbereiche der Bäume deutlich gesteigert werden. Je mehr Bäume gepflanzt werden können, desto größer ist der kühlende Effekt auch auf die umliegenden Bereiche. Es ist allerdings auf die Möglichkeit der nächtlichen Ausstrahlung und auf genügend Luftventilation unterhalb des Kronendachs zu achten (Arlt et al. 2005). Das Gestaltungsszenarium für den Hauptplatz ist in Abbildung 41 als

**Abbildung 41: Mistelbach Hauptplatz Gestaltungsszenarium**



Querschnitt dargestellt. Die im übrigen Gebiet vorhandenen Straßenzüge sind, sofern es die jeweilige Straßenbreite zulässt, ebenso mit Bäumen zu bepflanzen, wobei breitere Straßen vor engeren Straßen, und Straßen in West-Ost Richtung vor Straßen in Nord-Süd Richtung zu priorisieren sind. Auf Grund der dichten Bebauungssituation lassen sich folgende Empfehlungen für die Straßenseite aussprechen: nördliche Straßenseite vor südlicher, und östliche vor westlicher, um die

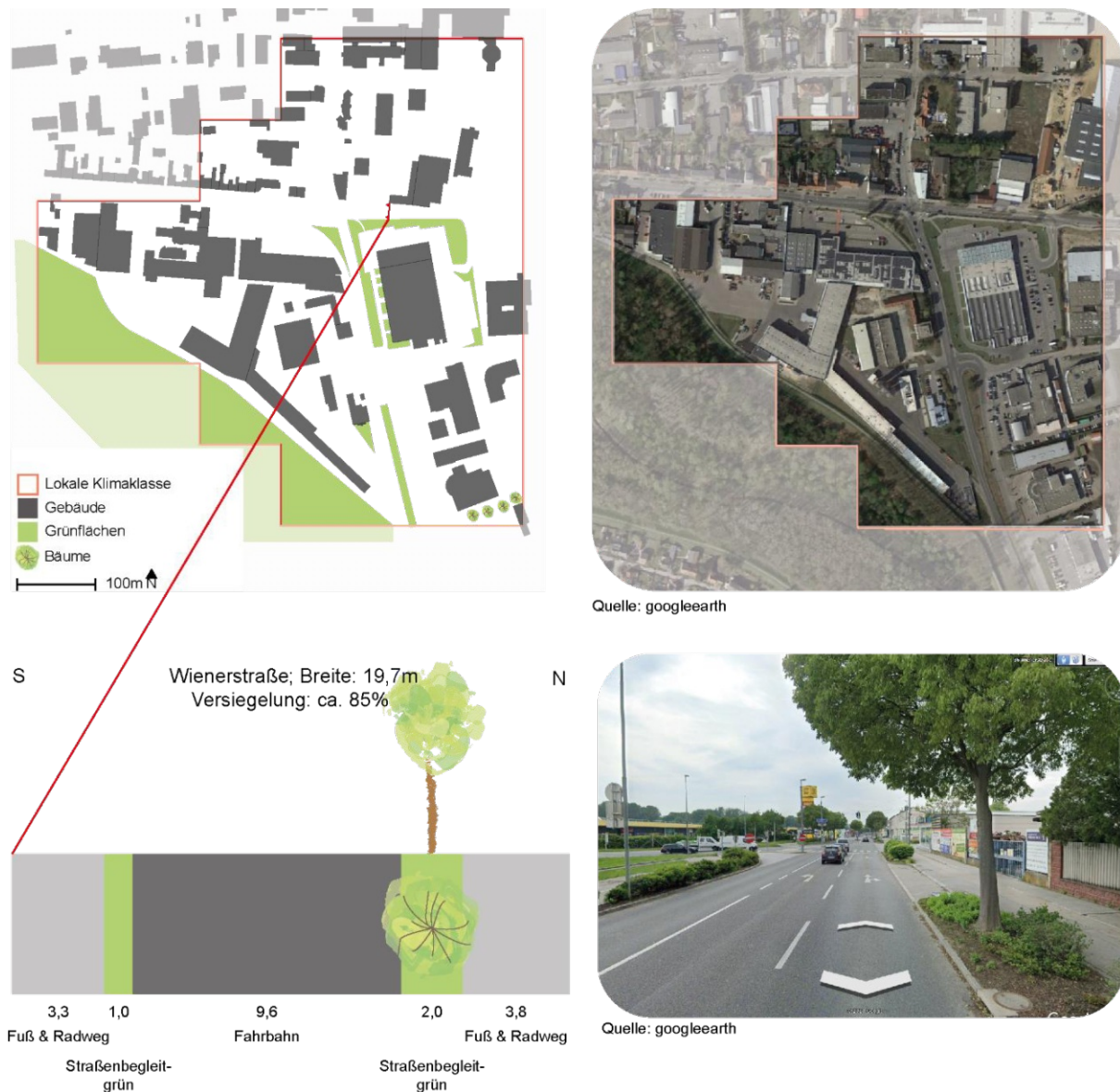
Aufenthaltsqualität in den sonnenintensiven Nachmittagsstunden zu erhöhen (Stiles et al. 2014).

**Dach- und Fassadenbegrünung:** Da Dachbegrünungen erst bei sehr intensiver Anwendung Auswirkungen auf das Straßenniveau besitzen, und auf Grund des großflächigen historischen Hausbestandes mit steil abfallenden Dächern ist von einer intensiven Durchgrünung des Dachraumes aus aktueller Sicht nicht auszugehen. Nichtsdestotrotz ist die Implementierung von grünen Dächern, auch im Hinblick auf den verbesserten Abflussbeiwert, anzuraten. Fassadenbegrünung bietet sich vor allem in jenen Straßenzügen an, die auf Grund ihrer Geometrie sonst keinerlei andere Maßnahmen zulassen. So können auch diese Straßen nicht nur optisch durch das Mehr an Grün aufgewertet werden, sondern auch ihren Beitrag zur Klimawandelanpassung liefern.

## 8.4.2 Stockerau

Die offene Anordnung von großflächigen aber eher flachen Gebäuden und das höchstens geringe Vorhandensein von Vegetation im Straßenraum sind klimapragende Merkmale für ein Gewerbegebiet und für die 260 ha große lokale Klimazone 8 in Stockerau. Die weiträumigen versiegelten Lager- und Kfz-Stellflächen sind weitere Merkmalsausprägungen dieser Zone und wirken sich in klimatischer Hinsicht negativ durch großes Überwärmungspotential und einen hohen Abflussbeiwert aus. Abbildung 42 zeigt eine Übersicht über die aktuelle Situation in der lokalen Klimazone 8 und den Querschnitt der Wienerstraße. Die Wienerstraße ist beidseitig mit Rad- und Fußwegen, als auch einseitiger Baumbepflanzung ausgestattet, die positiv zu erwähnen ist. Es bieten sich dennoch noch intensivere Begrünungen sowie blaue Infrastrukturmaßnahmen an, vor allem auf den übrigen versiegelten Flächen, sowie den

**Abbildung 42: Stockerau Ist-Situation**



Quelle: eigene Darstellung, eigene Berechnung, Datengrundlagen:  
LCZ: wudapt.org/european-lcz-map; Gebäude, Gewässer, Landesgrenzen: geofabrik.de

Dachflächen. Dadurch kann eine weiträumige und flächenhafte Klimawandelanpassung durch die Implementierung unterschiedlicher Maßnahmen erfolgen und der klimatische Unterschied zum nicht bebauten Umland verringert werden.

Im Untersuchungsgebiet besitzen die Böden unterschiedliche Durchlässigkeit. Nachdem die Flächen die im direkten Bereich des Untersuchungsgebietes liegen, auf Grund der Versiegelung keine direkten Daten aufweisen, wurden die nächstgelegenen Bodenkennwerte zur Hilfe herangezogen. Südlich der Wienerstraße sind vorrangig Böden anzutreffen, die eine sehr hohe Versickerung aufweisen, weshalb südlich der Wienerstraße nur auf Retention gesetzt werden kann, weil durch die hohe Sickerfähigkeit die Reinigung über die Oberbodenpassage reduziert ist (Kleidorfer et al. 2019). Im Bereich der Wienerstraße, deren Flächentyp laut ÖWAV-RB 35/45 mit F3 klassifiziert werden kann, und in der die Durchlässigkeit mit mäßig angegeben ist, können die entsprechenden blauen Infrastrukturmaßnahmen zum Einsatz kommen. In Tabelle 26 sind die Eignungen für den Bereich der Wienerstraße angeführt. Auf Grund der wechselnden Bedingungen hinsichtlich der Durchlässigkeit ist eine genaue bodentechnische Erhebung unumgänglich.

**Tabelle 26: Maßnahmeneignung Wienerstraße; Stockerau**

Einflussfaktoren		Grün-blaue Infrastrukturmaßnahme						
Faktor	Situation im Gebiet	FV	VM	RV	MRV	BR	SV	RT
Altlasten	nein	1	1	1	1	1	1	1
Grundwasserschutzzone	nein	1	1	1	1	1	1	1
Flächentyp lt. ÖWAV-RB 35/45	F3	1	Mit Boden Filter	0	1	0	0	1
Durchlässigkeit des Bodens	versiegelt (nächstgelegene Art: mäßig)	1	1	1	1	1	1	1
Mögliche Maßnahmen		1	1	0	1	0	0	1
FV ... Flächenversickerung; VM ... Versickerungsmulde; RV ... Rigolenversickerung; MRV ... Mulden-Rigolenversickerung; BR ... Baumrigolenversickerung; SV ... Schachtversickerung; RT ... Retentionsanlagen; Quelle: eigene Darstellung								

**Blaue Infrastruktur:** Neben der grundsätzlich immer anzustrebenden Nutzung von Regenwasser und der lokalen und dezentralen Aufbereitung von Grauwasser und der Wiederverwendung dieses für zum Beispiel Bewässerung von Rasenbereichen, ist auf Grund der unterschiedlichen Bodenverhältnisse sowohl die Infiltration, als auch die Retention anzustreben. Daraus ergibt sich auch die anzustrebende Priorisierung von der Nutzung, über die Versickerung hin zur Retention. Im Bereich der Wienerstraße ist die Infiltration zulässig, weshalb das Niederschlagswasser des Straßenraumes in dafür geeignete Mulden-Rigolenelemente geleitet werden kann, wo es durch die Bodenpassage gereinigt wird und dem

Abbildung 43: Gestaltungsszenarien Stockerau



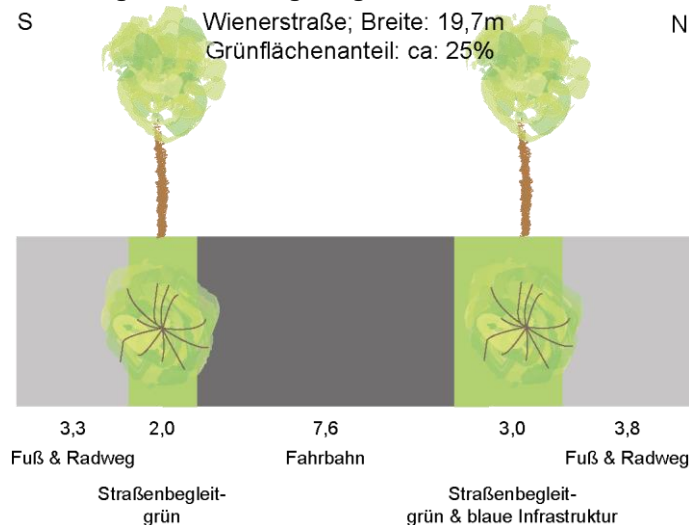
Wasserkreislauf entweder durch Versickerung in den Grundwasserkörper oder durch Verdunsten zurückgeführt wird, wie Abbildung 43 vermittelt. In jenen Bereichen, in denen keine Infiltration möglich ist, steht die Retention an oberster Stelle. Diese kann mit begrünten Mulden,

die allerdings zum Grundwasserkörper abgedichtet sind, ausgestattet sein, wodurch das Wasser auf der Passage zum Kanal verzögert und zwischengespeichert wird und dort ebenfalls verdunsten kann. Vor allem im Bereich der großflächigen Lager- und Stellflächen ist auf einen verringerten Oberflächenabfluss Wert zu legen. Bei Gefahr von Verunreinigung ist eine gezielte Sammlung und eine Behandlung vor Ort anzudenken. Die Reinigung und Säuberung von anfallendem Brauchwasser aus den Gebäuden selbst und die Weiternutzung dieses für Bewässerungsaufgaben, vor allem in Trockenperioden, kann als zukünftig bedeutendes Potential angesehen werden, bei der der Fokus auf einem nachhaltigen Wasserumgang liegt. Die technischen und rechtlichen Vorgaben erscheinen aktuell noch streng, jedoch darf diese Möglichkeit, vor allem in Bereichen in denen die EigentümerInnenschaft hohe Wirkmächtigkeit besitzt, nicht außer Acht gelassen werden.

**Entsiegelung:** Die Umwandlung von asphaltierten Stellflächen zu begrünten Stellflächen ist im gesamten Bereich anzustreben. Es ist allerdings auf die nicht mögliche Infiltration der Stellflächen in das Grundwasser zu achten, weshalb das straßenseitige Niederschlagswasser, über Retentionsrinnen, schlussendlich in die Kanalisation abzuleiten ist. Jene Bereiche die nicht Entsiegelt werden können, sind mit Materialien, die einen hohen Albedowert besitzen auszugestalten, um die Reflexion zu erhöhen und somit die Wärmeaufnahme der Materialien zu reduzieren.

**Stadtbäume:** Entlang von Gebäuden sowie entlang der Straßen sind, sofern nicht bereits vorhanden, Bäume zu pflanzen. Durch Bäume auf den Parkplätzen können diese beschattet werden, wodurch die Hitzebelastung sinkt. Zugleich wirken die Bäume farbpsychologisch positiv auf die Menschen, wodurch sich die Attraktivität in einem sonst nicht attraktiven Gewerbegebiet steigern lässt. Wie Abbildung 44 zeigt, ist im Bereich der Wienerstraße

**Abbildung 44: Gestaltungsmöglichkeit Wienerstraße**



Quelle: eigene Darstellung

Umgestaltungspotential in Form von zusätzlichen Pflanzung von Bäumen und Implementierung von blauer Infrastruktur vorhanden. Die Pflanzung der Bäume entlang der südlichen Straßenseite ist auf Grund der lockeren Bebauung und der nicht vorhandenen Beschattung durch Gebäude in diesem Bereich besonders vorteilhaft, weil sie sowohl den dort verlaufenden Radweg, als auch die versiegelte Fahrbahn ausreichend beschatten können (Stiles at al. 2014).

**Dach- und Fassadenbegrünung:** Auf Grund der in Gewerbegebieten gegebenen Eigentümerverhältnisse, mit wenigen EigentümerInnen die einen hohen individuellen Handlungsspielraum mit hoher Wirkmächtigkeit besitzt und überdies große Flächen ihr Eigentum nennen, ist die großflächige Umgestaltung der vorhandenen versiegelten Dachflächen mit grünen Dächern als realistisch anzusehen. Auch die in Gewerbegebieten anzutreffenden großen, vielfach kahlen Fassaden bieten sich für intensive Fassadenbegrünungen an, deren technischer Aufwand auf Grund der Gebäudeeigenschaften geringer erscheint, als in Wohngebieten und bei Wohnhäusern. Die Bewässerung sollte über die Nutzung und Aufbereitung von Brauchwasser und durch die Sammlung von Regenwasser erfolgen. Durch die Umgestaltung der weitläufigen Dachflächen kann ein wirksamer Beitrag zur Klimawandelanpassung geleistet werden, der darüber hinaus zeitnah umsetzbar erscheint.

### 8.4.3 Fazit LCZ 8

Die weiträumige Versiegelung, die in der lokalen Klimazone 8 anzutreffen ist, erfordert bei den Gestaltungsvarianten vorrangig die Entsiegelungen im Bereich der Platz,- sowie Stell- und Lager und die Verschattung dieser Flächen mit Bäumen. Während vorhandenen engen Straßen durch die Gebäude beschattet werden, sind vor allem die offenen und breiten Straßenflächen der Sonne und somit der Wärme stark ausgesetzt, weshalb sich die Gestaltung auf diese Bereiche konzentrieren sollte. Nach örtlicher Möglichkeit sollte das anfallende Regenwasser vor Ort genutzt werden, versickert oder in Retentionsbereiche geleitet werden. Durch die Implementierung von grüner und blauer Infrastruktur kann der vorhandene Platz effektiv und nachhaltig genützt werden und die Aufenthaltsqualität in weiten Teilen deutlich gesteigert werden. Jener Platz, der für Stellflächen freigehalten werden muss, kann trotzdem für blaue Infrastruktur genützt, entsiegelt und begrünt werden. Dach- und Fassadenbegrünungen haben in Gewerbegebieten großes Umsetzungspotential, während in Innenstadtlage vor allem jene Bereiche, die sonst keinen Platz für andere Maßnahmen bieten, mit Fassadenbegrünung ausgestattet werden sollten. Während die flächenhafte Dachbegrünung im Innenstadtbereich auf Grund der vielseitigen Eigentumsverhältnisse mit vielen Personen, die wenig Wirkmächtigkeit besitzen, derzeit nur schwer vorstellbar ist, sind die Eigentumsverhältnisse in den Gewerbegebieten, in denen wenige Personen viel Fläche und viel Wirkmächtigkeit besitzen, besser für die Umsetzung geeignet, wobei durch gezielte Maßnahmen zur Bewusstseinsbildung und durch Anreize eine Umsetzung auf Eigengrund forciert werden kann.

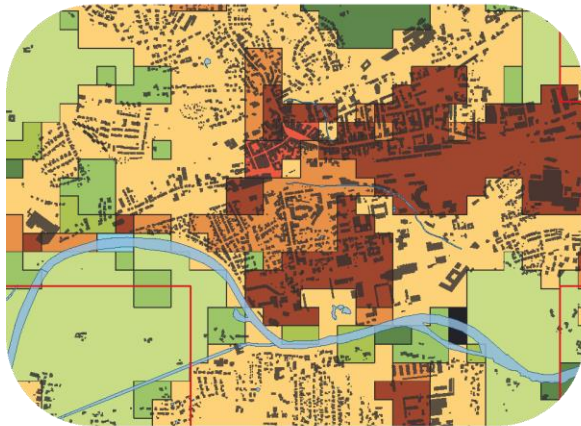


## 8.5 LCZ 5 in Niederösterreichs Kleinstädten - Übersicht

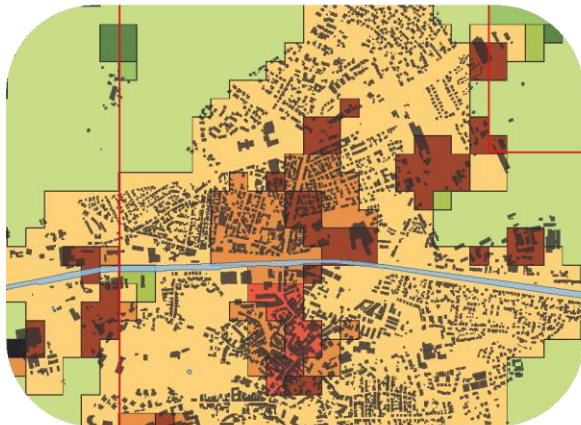
Die lokale Klimazone 5 nimmt in Niederösterreich eine Fläche von ca. 1700 ha ein und ist durch mehrgeschossige Wohngebäude, Wohnhausanlagen sowie Gebäudeanordnung in Zeilenbauweise und offene Blockrandstrukturen gekennzeichnet. Zusätzlich sind dichte Einfamilienhaus-, Doppelhaus- und Reihenhausstrukturen mit ein bis zwei Geschossen anzutreffen. Ergänzt werden die Wohnquartiere teilweise durch betriebliche Gebäude, sowie Handels- und Dienstleistungsgebäude sowie die dazugehörigen Stellplätze. Stewart und Oke (2012) geben für die lokale Klimazone 5 einen Gebäudeanteil von 20% bis 40% und eine ähnliche Versiegelung wie jene in der lokalen Klimazone 2, nämlich 30% bis 50% an. Im Unterschied zur letztgenannten ist der Anteil der nicht versiegelten Fläche allerdings mit 20% bis 40% höher, und es sind auch mehr Bäume und Vegetation anzutreffen (Stewart & Oke 2012). Als Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel bieten sich Baumpflanzungen vorwiegend in den besonnten Straßenabschnitten, den baumlosen Kreuzungsbereichen und Stellflächen an. Die relativ hohe Flächenverfügbarkeit von nicht versiegelter Oberfläche

**Abbildung 45 Übersicht der Beispiele für die lokale Klimazone 5**

Amstetten



Neunkirchen



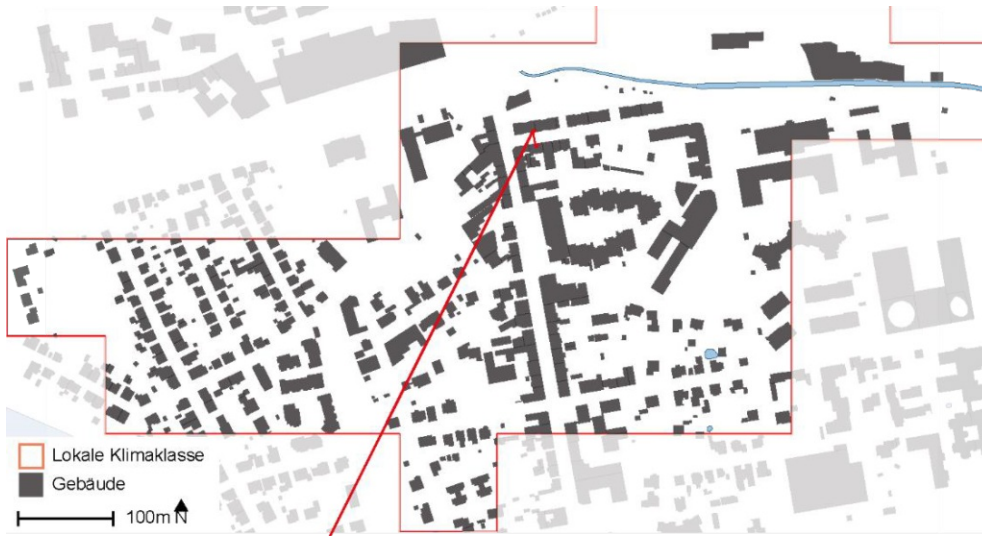
Quelle: eigene Darstellung, eigene Berechnung, Datengrundlagen:  
LCZ: wudapt.org/european-lcz-map; Einwohner: ec.europa.eu/eurostat; Gebäude, Gewässer, Landesgrenzen: geofabrik.de

eröffnet ausreichend Potential für die Gestaltung mit grüner und blauer Infrastruktur. Entsiegelungsmaßnahmen und auch die potentielle Auflassung von nicht zwingend nötigen Straßen- und Wegeverbindungen können einen positiven Beitrag leisten und sind deshalb anzudenken. Durch die geringe verkehrliche Belastung ist das anfallende Niederschlagswasser entsprechend den technischen Möglichkeiten vor Ort zur Bewässerung zu benutzen als auch zu versickern. Der Einsatz von Zisternen zur Wassernutzung und zur Vermeidung der Verwendung von Trinkwasser für die Bewässerung ist ebenso anzustreben wie die großflächige Abkopplung von Gebäuden und Dächern vom Kanalnetz und eine Vor-Ort-Entwässerung des Niederschlags in den Boden. Großes Versickerungs- und Abkopplungspotential vom Kanalnetz bietet sich im Übrigen in der Vielzahl von versiegelten Nebenflächen wie Wegen, Zufahrten und anderen gering verschmutzten Oberflächen an. Ein Hindernis in der Umgestaltung, vor allem im privaten Eigentumsbereich, stellt die vielfältige EigentümerInnenlandschaft dar, die durch ihre geringe Wirkmächtigkeit gekennzeichnet ist, wodurch ein sehr hoher Abstimmungsbedarf zwischen den AkteurInnen besteht und entsprechende Anreizsysteme für die Implementierung von Klimawandelanpassungsmaßnahmen auf Privatgrundstücken geschaffen werden müssen (Simperler et al. 2018).

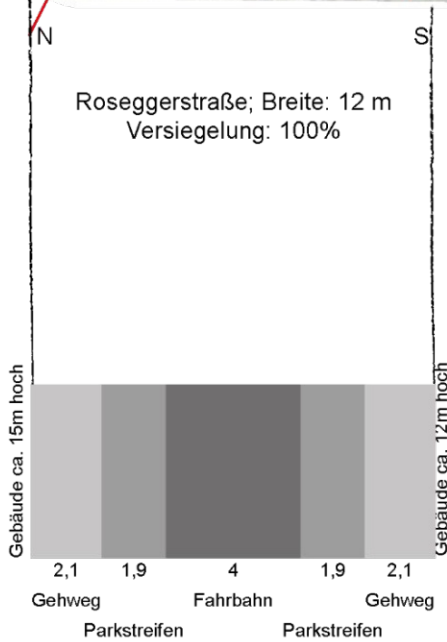
### **8.5.1 Amstetten**

Amstetten kann der niederösterreichischen Klimaregion des Donauraums zugeordnet werden, wo ohne Anstrengungen im Klimaschutz mit einem Temperaturanstieg von bis zu 4°C bis zum Jahr 2100 gerechnet werden muss. Bereits bis zum Jahr 2050 ist mit einer Zunahme der durchschnittlichen Hitzetage pro Jahr selbst bei ambitionierten Klimaschutzanstrengungen um zusätzliche 5 Tage auf bis zu durchschnittlich 13 Tage zu rechnen (climamap, online). Die 29 ha umfassende lokale Klimazone 5 in Amstetten liegt südlich des Stadtzentrums und die Westbahnstrecke kreuzt im nördlichen Drittel den Sektor. Das überwiegende Wohngebiet ist durch mehrgeschossige Wohngebäude und Wohnhausanlagen auf der einen, sowie dicht stehende Einfamilienhäuser gekennzeichnet. Vereinzelt finden sich Gebäude mit betrieblicher Funktion und Bauweise mit angeschlossenen Stellflächen. Eine intensive Begrünung ist vor allem im privaten Eigentumsbereich in Gärten und den Hofflächen anzutreffen, während der öffentliche Straßenraum wenige Grün- und Beschattungselemente aufweist, wie anhand von Abbildung 46 ersichtlich ist. Durch den Anteil der Grünfläche ist neben der weiträumigen Abkopplung der Wohnhäuser vom Regenwasserabflusskanal auch die Nutzung des Regenwassers für Bewässerungszwecke realisierbar und anzustreben. Der Straßenraum, sowie versiegelte Nebenflächen, wie Wege und Stellflächen, benötigen Anpassungsmaßnahmen, um auf die Folgen des Klimawandels vorbereitet zu sein.

Abbildung 46: Amstetten Ist-Situation



Quelle: googleearth



Quelle: googleearth

Quelle: eigene Darstellung, eigene Berechnung, Datengrundlagen:  
 LCZ: wudapt.org/european-lcz-map; Gebäude, Gewässer, Landesgrenzen: geofabrik.de

Die in Ost-West Richtung verlaufende Roseggerstraße besitzt keinen Grünflächenanteil im Straßenraum und durch den fehlenden Baumbestand sind die südseitig ausgerichteten Wohnhäuser intensiver Bestrahlung und Überwärmung ausgesetzt. Um den Untersuchungsraum klimaoptimierter auszugestalten, ist die flächenhafte Umgestaltung der versiegelten Areale mit grüner und blauer Infrastruktur von großer Relevanz. In Tabelle 25 sind für die blauen Infrastrukturmaßnahmen, die einer detaillierten Betrachtung bedürfen, die Kriterien und die Umsetzungsmöglichkeiten aufgelistet. Es ist anzumerken, dass im Umfeld des Untersuchungsgebiets (das Untersuchungsgebiet selbst ist lt. Bodenkarte verbaut) sowohl die Durchlässigkeitseigenschaften „hoch“ und „mäßig“ vorkommen. Während ein hoher Durchlässigkeitswert keine blauen Infrastrukturen gestattet, ist eine Umsetzung bei mäßiger Durchlässigkeit zugelassen. In der vorliegenden Arbeit wird von einer mäßigen, und somit umgestaltungsfähigen Durchlässigkeit ausgegangen, mit dem Hinweis, dass vor einer tatsächlichen Umsetzung detailliertere Daten eingeholt werden müssen.

**Tabelle 27: Maßnahmeneignung Roseggerstraße; Amstetten**

Einflussfaktoren		Grün-blaue Infrastrukturmaßnahme						
Faktor	Situation im Gebiet	FV	VM	RV	MRV	BR	SV	RT
Altlasten	nein	1	1	1	1	1	1	1
Grundwasserschutzzone	nein	1	1	1	1	1	1	1
Flächentyp lt. ÖWAV-RB 35/45	F3	1	Mit Boden Filter	0	1	0	0	1
Durchlässigkeit des Bodens	versiegelt (nächstgelegene Art: mäßig bis hoch)	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	1
Mögliche Maßnahmen		0/1	0/1	0	0/1	0	0	1

FV ... Flächenversickerung; VM ... Versickerungsmulde; RV ... Rigolenversickerung; MRV ... Mulden-Rigolenversickerung; BR ... Baumrigolenversickerung; SV ... Schachtversickerung; RT ... Retentionsanlagen; Quelle: eigene Darstellung

**Blaue Infrastruktur:** Durch das Einfügen von vegetativen Elementen, wie etwa Versickerungsmulden, in den Straßenraum kann der natürliche Wasserkreislauf im öffentlichen Raum reaktiviert werden und die Luft durch Evapotranspiration gekühlt werden. Durch das Mehr an Grün wird das Umfeld gestalterisch positiv beeinflusst. Neben Maßnahmen zur Versickerung, die im Falle einer Versickerungsmulde mit einem Bodenfilter ausgestattet sein muss, ist auch die Nutzung und Wiederverwendung von Regen- und Trinkwasser im privaten und gewerblichen Eigentumsbereich anzustreben. Sollten Versickerungsmaßnahmen auf Grund der örtlichen Gegebenheiten nicht zulässig sein, ist die Retention und Ableitung über offen gestaltete Transportmulden als Möglichkeit der Wahl in Betracht zu ziehen.

Abbildung 47: Amstetten Gestaltungsszenarien

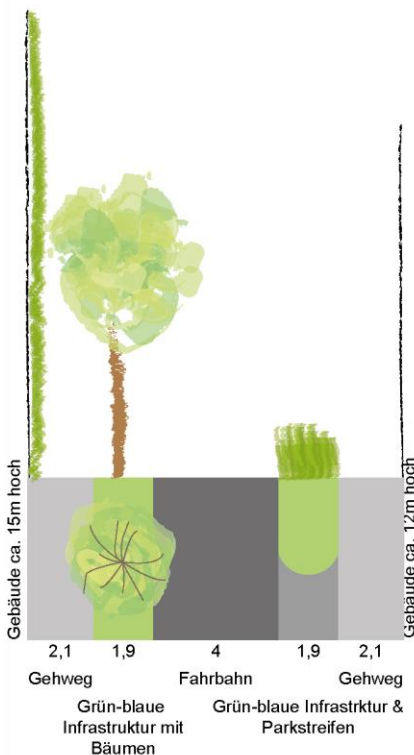


Lokale Klimaklasse
  Infiltration
  Retention
  Dach & Fassadenbegrünung

Quelle: eigene Darstellung, eigene Berechnung, Datengrundlagen:  
 LCZ: wudapt.org/european-lcz-map; Gebäude, Gewässer, Landesgrenzen: geofabrik.de

**Entsiegelung:** Die Umgestaltung von nicht zwingend notwendig versiegelten Flächen mit Materialien, die eine Versickerung erlauben, gestattet es, anfallendes Regenwasser aufzunehmen und am Ort des Niederschlages in den Boden zu versickern. Vor allem Wege, Stellplätze und Hofflächen aber auch Straßen mit sehr geringer Frequenz bieten sich für eine solche Umgestaltung an und bieten vielfältige Vorteile in Bezug auf den Klimawandelanpassungsprozess, wie kühlere Straßen durch mehr Verdunstung.

**Abbildung 48: Amstetten Gestaltungsszenarien**



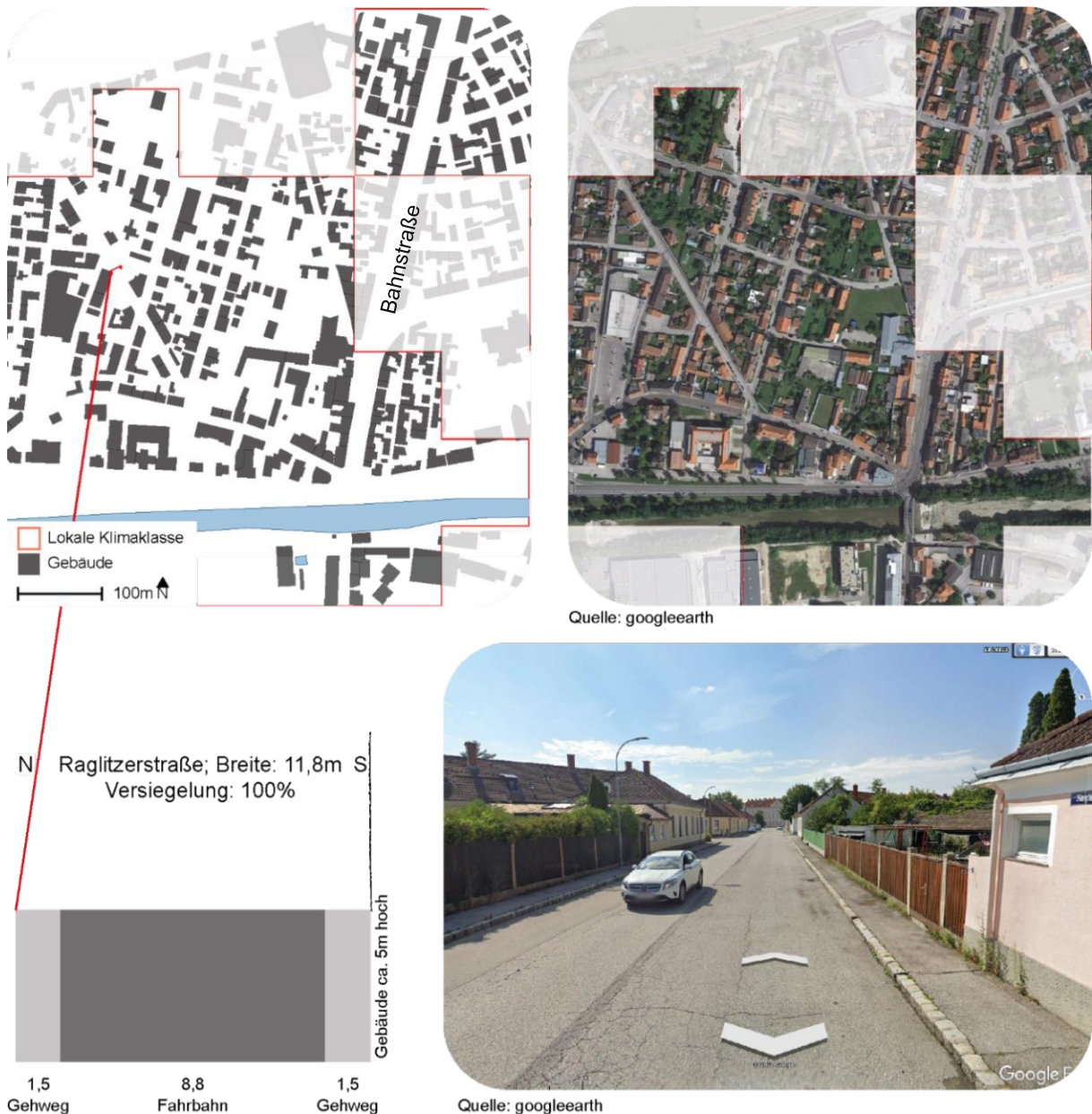
**Stadtbaeume:** Auf Grund der lockeren Bauweise und dort, wo die Straße nicht durch Gebäude beschattet sind, wie dies in Einfamilienhaussiedlungen vermehrt der Fall ist, empfiehlt sich die Anordnung der Bäume entlang der südlichen Straßenseite, um die versiegelte Straßenfläche zu beschatten, wodurch diese weniger solare Energie aufnehmen kann (Stiles et al. 2014). In der Roseggerstraße in der die angrenzenden Gebäude höher sind und in denen die Südfassade stark besonnt ist, empfiehlt sich die nördliche Straßenseite um die Gebäude zu beschatten und Grünachsen im Siedlungsgebiet zu ermöglichen.

**Dach- und Fassadenbegrünung:** Die Begrünung von Dach- und Fassadenflächen bietet sich vor allem in jenen Bereich an, wo keine andere Möglichkeit zur Umsetzung von grünen und blauen Infrastrukturmaßnahmen besteht, sowie auf großen Flachdächern. Im Einfamilienhausbereich ist auf Grund des anzunehmenden Aufwandes und der Kosten eine Umsetzung im Bestand nur schwer vorstellbar. Hier erscheint die Abkopplung der Dachflächen vom Kanalnetz und das Auffangen und das Wiederverwenden von Niederschlagswasser im Haushalt als Brauchwasser sowie für Bewässerungszwecke besser geeignet.

## 8.5.2 Neunkirchen

Gekennzeichnet durch offene Blockrandstrukturen und dichtstehende Einzelhäuser liegt die lokale Klimazone 5 mit einer Fläche von ca. 35 ha nördlich des historischen Stadtzentrums von Neunkirchen im äußersten Süden des östlichen Flachlandes an der Grenze zur Klimaregion der Ostalpen. Während die privaten Garten und Hofflächen durch eine dichte Begrünung markant am Orthofoto in Abbildung 49 in Erscheinung treten, ist der Straßenraum durch weiträumige Versiegelung gekennzeichnet. Im Bereich der in Nord-Süd Richtung verlaufenden Bahnstraße ist ein intensiver, noch junger Baumstand mit Rasenflächen positiv zu erwähnen, während die Raglitzerstraße ohne Gehölz- und Grünflächenanteil auskommen muss, weshalb die Überwärmung in diesem Bereich als besonders intensiv angenommen

**Abbildung 49: Neunkirchen Ist Situation**



Quelle: eigene Darstellung, eigene Berechnung, Datengrundlagen:  
 LCZ: wudapt.org/european-lcz-map; Gebäude, Gewässer, Landesgrenzen: geofabrik.de



werden muss. Eine Adaptierung in einem solchen Bereich ist deshalb besonders wichtig. In Tabelle 28 sind für die Raglitzerstraße in Neunkirchen die Maßnahmeneignungen für die blaue Infrastruktur aufgeführt. Es ist erkennbar, dass auf Grund der sehr hohen Durchlässigkeit des Bodens keine Versickerung zulässig ist, weshalb die Bedeutung von Regenwassernutzung und Regenwasserretention besonders ausgeprägt ist.

**Tabelle 28: Maßnahmeneignung Raglitzerstraße; Neunkirchen**

Einflussfaktoren		Grün-blaue Infrastrukturmaßnahme						
Faktor	Situation im Gebiet	FV	VM	RV	MRV	BR	SV	RT
Atlasten	nein	1	1	1	1	1	1	1
Grundwasserschutzzone	nein	1	1	1	1	1	1	1
Flächentyp lt. ÖWAV-RB 35/45	F3	1	Mit Boden Filter	0	1	0	0	1
Durchlässigkeit des Bodens	sehr hoch	0	0	0	0	0	0	1
Mögliche Maßnahmen		0	0	0	0	0	0	1
FV ... Flächenversickerung; VM ... Versickerungsmulde; RV ... Rigolenversickerung; MRV ... Mulden-Rigolenversickerung; BR ... Baumrigolenversickerung; SV ... Schachtversickerung; RT ... Retentionsanlagen; Quelle: eigene Darstellung								

**Blaue Infrastruktur:** Neben der anzustrebenden Nutzung von Regenwasser als Brauchwasser im Haushalt und zur Bewässerung von Grünflächen, um deren kühlende Wirkung in Sommermonaten aufrechtzuerhalten, ist die Retention von dem im Straßenraum anfallenden Niederschlagswasser anzustreben. Die Ableitung von Regenwasser von versiegelten Flächen in Versickerungselemente ist im vorliegendem Beispiel nicht zulässig, da die sehr hohe Durchlässigkeit des Bodens im gesamten Siedlungsbereich (bodenkarte.at) keine ausreichende Filterwirkung bietet und das Grundwasser verschmutzen könnte (Woods Ballard et al 2015; Kleidorfer et al. 2019). Es wird deshalb, neben der Nutzung des Regenwassers, die Retention in Speicherkanälen und die Ableitung über offene und begrünte Transportgräben empfohlen, auf deren Passage das Wasser verdunsten kann und zeitverzögert abgeleitet wird.

**Entsiegelung:** Versiegelte Flächen, die nicht zwingend versiegelt bleiben müssen, wie etwa Stellflächen und Gehwege, sollten entsiegelt werden und mit wassergebundenen Oberflächen ausgestattet werden. Auch Flächen im Straßenraum, die nicht durch den Verkehr in Anspruch genommen werden, können durch Grünflächen wieder rückgebaut werden, um die vielfältigen positiven Wirkungen auf das Mikroklima und den Wasserkreislauf zu entfalten. Auf eine Ableitung von Regenwasser von Verkehrsflächen in diese entsiegelten Flächen ist allerdings auf der Grund der örtlichen Gegebenheiten zu verzichten.

Abbildung 50: Gestaltungsszenarien Neunkirchen



  Lokale Klimaklasse  
   Infiltration  
   Retention  
   Dach & Fassadenbegrünung  
  Gebäude  
   Entsigelung  
   Stadtbäume  
 100m N

Quelle: eigene Darstellung, eigene Berechnung, Datengrundlagen:  
 LCZ: wudapt.org/european-lcz-map; Gebäude, Gewässer, Landesgrenzen: geofabrik.de

**Stadtbäume:** Trotz der vorhandenen privaten Grünflächen, Gärten und Innenhöfen ist der öffentlich verwaltete Grün- und Gehölzanteil im Straßenraum ausbaufähig. Im Bestand sind bereits einige Straßenzüge mit Bäumen versehen. Der Straßenraum ist mit zusätzlich zu pflanzenden Bäumen zu gestalten, um ein Netz von mit Bäumen verbundenen Straßen zu ermöglichen. Dabei sind vor allem auf den breiteren Straßen die südlichen Straßenseiten zu bevorzugen, um neben einer Beschattung der Häuser auch eine Verschattung der versiegelten Fahrbahnflächen zu ermöglichen, die in Folge dessen weniger Wärme aufnehmen, und in der Nacht abgeben können. Die Raglitzerstraße bietet sich für eine intensive Beschattung durch Bäume an, und kann durch die Kombination mit weiteren Grünflächen zu einem grünen Korridor umgestaltet werden, der kühlere Luftmassen aus den nördlich liegenden Freiräumen, die der lokalen Klimazone D (low plants) entsprechen, die in der Nacht rasch abkühlen, in die Stadt transportiert.

**Dach- und Fassadenbegrünung:** Vor allem auf den öffentlichen Gebäuden sowie den betrieblich genutzten Gebäuden mit Flachdächern bietet sich eine Dachbegrünung an. Dabei können vor allem die südseitig exponierten Fassaden von einer Fassadenbegrünung profitieren, wobei durch die Nutzung von Regenwasser und gegebenenfalls aufbereitetem Brauchwasser die zwing nötige Bewässerung hergestellt werden kann.

### 8.5.3 Fazit LCZ 5

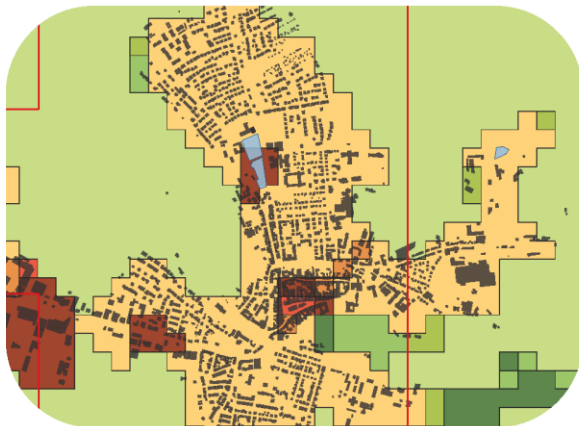
Offene Blockrandstrukturen, mehrgeschossige Wohnhausanlagen, sowie dicht stehende Einfamilienhäuser sind die charakteristischen Bebauungsformen in der lokalen Klimazone 5 in Niederösterreichs Kleinstädten. Vereinzelt finden sich auch Gebäude mit betrieblicher Funktion mit angrenzenden Stellflächen für Kraftfahrzeuge. Die Flächen dieser lokalen Klimazone sind von weiträumiger Versiegelung und dem Fehlen von Bäumen, Rasen- und Grünflächen geprägt, auch wenn der Anteil im Vergleich zu den lokalen Klimazonen 2 und 8, vor allem im privaten Eigentumsbereich, erhöht ist, weshalb die Überwärmung in diesen Bereich auch geringer ausgeprägt ist (vgl. Kapitel 4.3.1). Die räumlichen Strukturen gestatten den vielfältigen Einsatz grüner und blauer dezentraler Maßnahmen sowohl auf Straßen- als auch auf Gebäudeebene. Auf eine Vernetzung zwischen bestehenden Grün- und Freiraumstrukturen, und vor allem Kaltluftentstehungsflächen, sowie die Bildung von Kaltluftleitbahnen aus dem kühleren Umfeld durch und in diese Zonen ist Wert zu legen. Während die Umsetzung auf öffentlichem Grund in der Hand der Verwaltung liegt, können Anreizsysteme und Informationskampagnen auch zu Handlungen im privaten Raum, in den die Grenzen der formalen Planung schnell erreicht sind, bewegen.

## 8.6 LCZ 6 in Niederösterreichs Kleinstädten - Übersicht

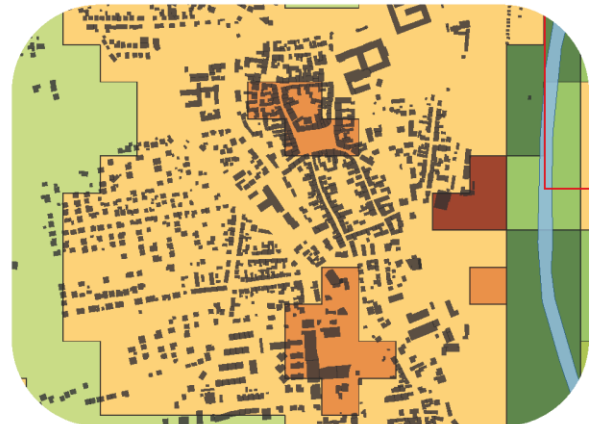
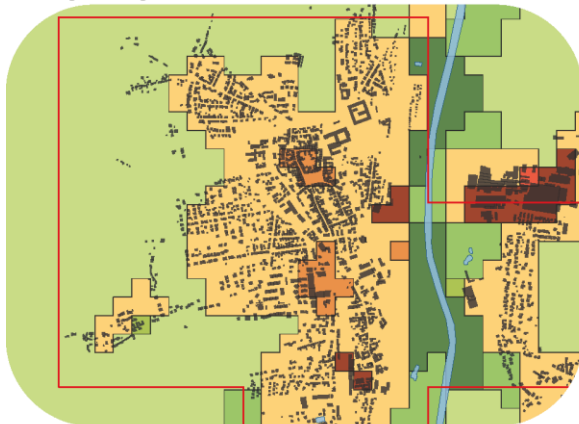
Die lokale Klimazone 6 nimmt in Niederösterreichs Kleinstadtclustern eine Fläche von 227 km<sup>2</sup> ein und stellt dadurch jene lokale Klimazone dar, die nach der lokalen Klimazone 9 am weitesten verbreitet ist (vgl. Kapitel 4.3.2) und großflächige, zusammenhängende Siedlungsstrukturen umfasst. Sie ist die dominierende Klimazone in den Kleinstadtclustern. Betrachtet man den Gesamtdatensatz für Niederösterreich, wird erkennbar, dass dörfliche Strukturen fast ausschließlich aus dieser Zone, sowie auch der lokalen Klimazone 9 bestehen, wohingegen fast alle Kleinstadtcluster auch Flächen von lokalen Klimazonen, die urbaner geprägt sind, aufweisen. Dies lässt neben der Unterscheidung zwischen dörflicher und kleinstädtischer Struktur auch den Schluss zu, dass sich grüne und blaue Infrastrukturmaßnahmen, die sich in diesem Bereich eignen, auch für die in dieser Arbeit nicht betrachteten dörflichen Strukturen in Frage kommen. Wie an den lokalen Klimazonenkarten von Horn und Herzogenburg in Abbildung 51 beispielhaft erkennbar ist, ist es jene Zone, die den Übergang zwischen bebautem Siedlungsgebiet und unbebautem Umland darstellt, und

**Abbildung 51: Übersicht der Beispiele für die lokale Klimazone 6**

Horn



Herzogenburg



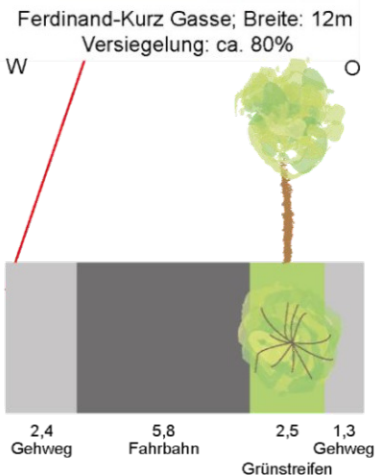
Quelle: eigene Darstellung, eigene Berechnung, Datengrundlagen:  
LCZ: wudapt.org/european-lcz-map; Einwohner: ec.europa.eu/eurostat; Gebäude, Gewässer, Landesgrenzen: geofabrik.de

wo die unterschiedlichen Ausprägungen der Bodenversiegelung, Pflanzenstruktur und Wasserverhältnisse im Boden in Erscheinung treten. Den grünen und blauen Maßnahmen obliegt es daher, diesen Bruch möglichst gering zu halten, und die kühlere Luft aus dem unbebauten Umland weit in die Siedlung und die Innenstadtbereiche hineinzutragen. Durch die überwiegend anzutreffende Bebauungstypologie mit Einfamilienhäusern ist eine große Eigentümergeviertel gegeben, die darüber hinaus geringe Wirkmächtigkeit besitzt, weshalb eine großräumige Gestaltungsumsetzung im Bestand und im privaten Bereich erschwert wird, und vor allem informelle Planungsprozesse, wie Informationsveranstaltungen zur Bewusstseinsbildung und Motivation zur Veränderung hilfreich sein können. Um Maßnahmen darüber hinaus im privaten Bereich umzusetzen zu können, sind Anreizsysteme und Förderungen besonders effektiv (Simperler et al. 2018). Die Zielsetzung in Gebieten, die bereits durch einen hohen Grünflächenanteil geprägt sind, ist diesen auf jenen Flächen, die für eine Entsiegelung geeignet sind, weiter auszubauen, eine Vernetzung zu anderen Grün- und Kaltluftentstehungsflächen zu schaffen und einen kühleren Bereich zu schaffen, sodass von diesem Gebiet kühlere Luft weiter in die Innenstadtbereiche gelangen kann.

### 8.6.1 Horn

Horn liegt als einziger Kleinstadtbereich dieser Arbeit im Waldviertel und die lokale Klimazone 6 umfasst große Teile des Siedlungsgebiets und nimmt insgesamt eine Größe von 254 ha ein. Die Bebauung besteht in diesem Bereich überwiegend aus Einfamilienhäusern, Kleingärten sowie einigen Mehrparteienhäusern und einem geringem Anteil von Gebäuden, die von Handel und Gewerbe genutzt werden. Der Grünflächenanteil, vor allem im privaten Eigentumsbereich, ist als sehr hoch anzusehen, vor allem im Bereich des Kleingartens, in dem überwiegend nur die Dächer zur Versiegelung beitragen. Das engmaschige, versickerungsfähig ausgestaltete Wegenetz trägt zur niedrigen Versiegelung in diesem Bereich positiv bei. Der öffentliche Straßenraum ist bis zur Grenze zum privaten Bereich demgegenüber nur mit spärlichen Grünflächen und Gehölz versehen und von flächenhafter Versiegelung gezeichnet. Auf Grund der geringen Verschmutzung der Erschließungsstraßen ist viel Potential für die Gestaltung mit blauer Infrastruktur gegeben. Allerdings fällt im Bereich der beispielhaft ausgewählten Ferdinand-Kurz Gasse die Durchlässigkeit gering aus, wodurch zumindest in diesem Bereich auf eine Versickerung von Niederschlagswasser von angeschlossenen Flächen Abstand genommen werden muss. Demzufolge sind vor allem die Nutzung des Niederschlagswassers im privaten und öffentlichen Bereich zur Bewässerung sowie die Retention der anfallenden Wässer im Straßenraum anzustreben. Umgeben ist die

Abbildung 52: Horn Ist-Situation



Quelle: googleearth

Quelle: eigene Darstellung, eigene Berechnung, Datengrundlagen:  
LCZ: wudapt.org/european-lcz-map; Gebäude, Gewässer, Landesgrenzen: geofabrik.de

Zone von landwirtschaftlichen Nutzflächen, mit spärlichem Baubestand, die als lokale

Klimazone D (low plants) kategorisiert ist. Da in dieser Zone der Übergang zwischen unbebautem Umland und Siedlung liegt, in der der Wärmeinseleffekt zum ersten Mal auf Grund des anthropogenen Einflusses zu Geltung kommt, ist es anstrebenswert diesen Übergang so auszugestalten, dass der Temperaturunterschied möglichst gering gehalten wird und dass die kühlere Luft aus dem Umland tief in das Siedlungsgebiet einströmen kann. Entlang der größeren Straßen in dieser Zone, somit auch der Ferdinand-Kurz Gasse, sind vegetationsbesetzte Kaltluftleitbahnen zu errichten und bestehende Grünflächen und Kaltluftentstehungsflächen zu vernetzen. Entsiegelungspotential bieten dabei die versiegelten Nebenflächen wie Zufahrten und Terrassen, sowie die Erschließungsstraßen mit wenig Verkehr.

Die im Gebiet vorhandenen Freiflächen sind zu erhalten und ihre Freiraumqualität durch Gestaltungsmaßnahmen auszubauen. Diese Flächen bieten überdies die Möglichkeit, Teiche für das Sammeln von Regenwasser, das im Bedarfsfall für die Bewässerung oder als Löschwasser dienen kann, anzulegen, wodurch Trinkwasser für diese Aufgaben nicht benötigt wird. Teiche können auch positiv zum kleinregionalen Klima beitragen, sofern die Wassertemperatur nicht über der Umgebungstemperatur liegt.

In der nachstehenden Tabelle 29 ist für den Bereich der Ferdinand-Kurz Gasse die Maßnahmeneignung angeführt. Diese ergibt, dass auf Grund der Durchlässigkeit des Bodens nur die Retention von zusätzlichem Wasser aus umliegenden Flächen möglich ist. Die Entsiegelung und die Versickerung von auf die Fläche auftreffendem Wasser, sind grundsätzlich auf allen Flächen durchführbar und davon nicht betroffen.

**Tabelle 29: Maßnahmeneignung Ferdinand Kurz Gasse; Horn**

Einflussfaktoren		Grün-blaue Infrastrukturmaßnahme						
Faktor	Situation im Gebiet	FV	VM	RV	MRV	BR	SV	RT
Altlasten	nein	1	1	1	1	1	1	1
Grundwasserschutzzone	nein	1	1	1	1	1	1	1
Flächentyp lt. ÖWAV-RB 35/45	F2	1	1	0	1	1	0	1
Durchlässigkeit des Bodens	gering	0	0	0	0	0	0	1
Mögliche Maßnahmen		0	0	0	0	0	0	1
FV ... Flächenversickerung; VM ... Versickerungsmulde; RV ... Rigolenversickerung; MRV ... Mulden-Rigolenversickerung; BR ... Baumrigolenversickerung; SV ... Schachtversickerung; RT ... Retentionsanlagen; Quelle: eigene Darstellung								

Abbildung 53: Horn Gestaltungsmaßnahmen



Quelle: eigene Darstellung, eigene Berechnung, Datengrundlagen:  
 LCZ: wudapt.org/european-lcz-map; Gebäude, Gewässer, Landesgrenzen: geofabrik.de

**Blaue Infrastruktur:** Durch die geringe Bodendurchlässigkeit im Bereich der Ferdinand-Kurz Gasse kommt für anfallendes Oberflächenwasser von versiegelten Flächen laut Regenwasserbewirtschaftungsleitfaden (Kleidorfer et al. 2019) nur die Retention in Frage. Die Versickerung erfolgt auf Grund des lehmigen Bodens zu langsam. Auf Grundstücksebene bieten sich vorrangig die Nutzung und die Sammlung des Regenwassers von den Dachflächen an, um dies für die Bewässerung von Grünflächen oder als Brauchwasser einsetzen zu können.



**Stadtbäume:** Obgleich abschnittsweise in der Ferdinand-Kurz Gasse ein Baumbestand zu nennen ist, ist eine vollständige Bepflanzung im gesamten Straßenzug anzustreben, um Beschattung und Interzeption flächenhaft umzusetzen. Der Straßenraum bietet hierfür ausreichend Platz. In den umliegenden Straßenzügen sind abschnittsweise straßenbegleitende Grünflächen vorhanden, die zusätzlich mit Bäumen ausgestattet werden sollten. Auf eine ausgewogene Anordnung ist im Hinblick auf eine ausreichende Ventilation zu achten, um die stadtauswärts verlaufenden Straßen als Kaltluftschneisen nicht zu blockieren beziehungsweise zu etablieren, als auch um die nächtliche Ausstrahlung gewährleisten zu können. Horn plant, bis zum Jahr 2025 den Baumbestand um 1.000 neue Bäume zu verdoppeln (meinbezirk.at).

**Entsiegelung:** Für Entsiegelungsmaßnahmen bieten sich vorrangig Hauszufahrten, Wege und Terrassen an. Die potentielle Auflassung und Umgestaltung von Straßenzügen, vor allem jene, die von sehr geringer Frequenz geprägt sind, und eine Umgestaltung dieser Flächen mit wassergebundenen und grünen Oberflächen ist erstrebenswert. Die vollständige Versiegelung von Straßenabschnitten, die nur der Zufahrt zu einzelnen Wohnhäusern dienen, ist in Zukunft nicht mehr klimagerecht und ist im Sinne einer Klimawandelanpassung zu ändern. Es können damit klimatische Pufferzonen etabliert werden. Für die Oberflächengestaltung bieten sich wassergebundene Beläge, wie Kies oder Rasengittersteine an. Die vorhandenen nicht versiegelten Flächen sowie Gärten sollten versickerungsfähig und begrünt bleiben, um so

**Abbildung 54: Horn Gestaltungsmaßnahmen**



Quelle: eigene Darstellung, eigene Berechnung, Datengrundlagen:  
LCZ: wudapt.org/european-lcz-map; Gebäude, Gewässer, Landesgrenzen: geofabrik.de

ihren positiven Einfluss auf das lokale Klima zu erhalten. Eine dementsprechende Bewusstseinsbildung sollte durch lokale Events vor Ort etabliert werden.

**Dach und Fassadenbegrünung:** Im Untersuchungsraum eröffnen vorrangig die flachen Dächer von Mehrparteienhäusern Potential für Dachbegrünungsmaßnahmen. Bei Einfamilienhäusern ist eine Dachbegrünung, auf Grund der anfallenden Kosten pro Haushalt, flächenhaft derzeit nicht vorstellbar. Es ist daher die Sammlung und Speicherung des anfallenden Regenwassers anzustreben, welches für die Gartenbewässerung und im Haushalt als Brauchwasser genutzt werden kann. Von Seiten der Gemeinde wird die Umsetzung einer Dach- und Fassadenbegrünung bei gemeindeeigenen Gebäuden geprüft. Eine Förderung für die Umsetzung bei privaten Eigentumsverhältnissen wird ebenso geprüft ([meinbezirk.at](http://meinbezirk.at))

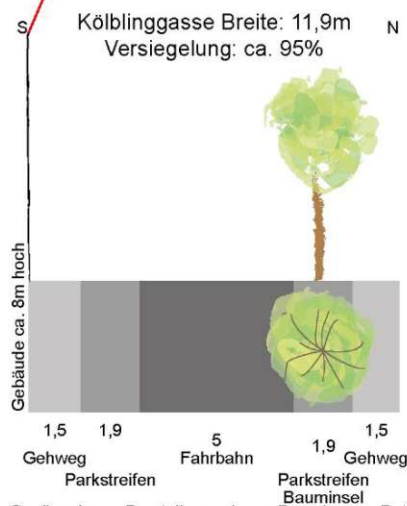
### 8.6.2 Herzogenburg

Die Klimaregion des Donauraums wird in Zukunft sehr markant von zunehmender Temperatur und Zunahme der Hitzetage und Tropennächte gekennzeichnet sein ([climamap](http://climamap), online). Die Region um Herzogenburg wird darüber hinaus von zunehmender Trockenheit beeinträchtigt werden. Dabei nimmt die Wahrscheinlichkeit eines Trockenjahres von aktuell einer 10 jährigen Wiederkehrwahrscheinlichkeit auf eine 2 Jährlichkeit zu. Die Grundwassersituation in der Region ist durch die geringe wasserführende Bodenschicht und die Grundwasserentnahme für Trinkwasser, Bewässerung in der Landwirtschaft und Wasserbedarf der Industrie ebenso angespannt wie die Gefahr von pluvialen Überflutungen (Simader 2020). Die lokale Klimazone 6 bildet das typologische und klimatologische Merkmal von Herzogenburg. Einzel- und Reihenhäuser sind die vorherrschende Siedlungsform in Herzogenburg in dieser lokalen Klimazone, die durch zahlreiche private Grünflächen ergänzt werden. Der öffentliche Raum sowie der Straßenraum wirken auf Grund der dominierenden Versiegelung allerdings als Hitzeinsel und bieten dem Niederschlagswasser nicht ausreichend Platz zur Versickerung. In Abbildung 55 ist die derzeitige Situation von Herzogenburg dargestellt. Die in Ost-West Richtung verlaufende Koblbinggasse wurde dabei als Beispiel für Anpassungsmaßnahmen in dieser Arbeit gewählt. Über die Bodenkarte ([Bodenkarte.at](http://Bodenkarte.at)) konnten für die nicht versiegelte Umgebung von Herzogenburg Bodendurchlässigkeiten von mäßig bis hoch festgestellt werden. Während eine mäßige Durchlässigkeit alle Versickerungsmaßnahmen gestattet, ist bei einer hohen Durchlässigkeit keine Versickerung von angrenzenden Flächen zulässig. Es sind daher vor einer tatsächlichen Umsetzung entsprechende ergänzende Daten einzuholen. In Tabelle 30 wurden deshalb alle Varianten mit Null und Eins angegeben. Im weiteren Verlauf des vorliegenden Beispiels wird von der Möglichkeit einer Versickerung ausgegangen. Da bereits heute in der Region nicht ausreichend Grundwasser für die Landwirtschaft und für

Abbildung 55: Herzogenburg Ist-Situation



Quelle: googleearth



Quelle: googleearth

Quelle: eigene Darstellung, eigene Berechnung, Datengrundlagen:

LCZ: wudapt.org/european-lcz-map; Gebäude, Gewässer, Landesgrenzen: geofabrik.de

Haushalte, die nicht an das öffentliche Leitungsnetz angeschlossen sind, vorhanden ist und sich dieser Trend fortsetzen wird (Simader 2020), ist der sorgsame Umgang mit Trinkwasser sowie die Nutzung von Regenwasser von besonderer Bedeutung. Die Aufrechterhaltung der Wasserverfügbarkeit ist auch für die Bewässerung von Grünflächen und die damit verbundene Gewährleistung ihrer Kühlfunktion in Anbetracht der Zunahme der Temperatur und der Hitzetage entscheidend für die Klimawandelanpassung.

**Tabelle 30: Maßnahmeneignung Kölblinggasse; Herzogenburg**

Einflussfaktoren		Grün-blaue Infrastrukturmaßnahme						
Faktor	Situation im Gebiet	FV	VM	RV	MRV	BR	SV	RT
Altlasten	nein	1	1	1	1	1	1	1
Grundwasserschutzzone	nein	1	1	1	1	1	1	1
Flächentyp lt. ÖWAV-RB 35/45	F2	1	1	0	1	1	0	1
Durchlässigkeit des Bodens	versiegelt (nächstgelegene Art: mäßig bis hoch)	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	1
Mögliche Maßnahmen		0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	<b>1</b>
FV ... Flächenversickerung; VM ... Versickerungsmulde; RV ... Rigolenversickerung; MRV ... Mulden-Rigolenversickerung; BR ... Baumrigolenversickerung; SV ... Schachtversickerung; RT ... Retentionsanlagen; Quelle: eigene Darstellung								

**Blaue Infrastruktur:** Durch die beschriebene Situation vor Ort nimmt die Wiederverwendung des Regenwassers als Brauchwasser und für Bewässerungszwecke einen besonders hohen Stellwert ein, wodurch Trinkwasser gespart werden kann und ein Beitrag zum Schutz des Grundwassers geleistet werden kann. Dazu sind im gesamten Straßenraum, wie in

**Abbildung 56** zu sehen ist, Versickerungssysteme im Straßenraum zu etablieren. In Kombination mit Bäumen sind vor allem Baumrigolen, wie sie bereits heute stellenweise im Untersuchungsraum vorkommen, flächenhaft zu installieren. Das anfallende Niederschlagswasser kann somit vor Ort versickern und verdunsten, und durch die zusätzliche Retentions- und Infiltrationsfläche kann mehr Wasser bei Starkniederschlägen vor Ort verbleiben, weshalb der Abflussbeiwert reduziert werden kann. Anfallendes Niederschlagswasser von Dächern sollte in Zukunft in Zisternen gespeichert und wiederverwendet werden.

**Entsiegelung:** Straßenbegleitende Stellflächen, Hofzufahrten, Wege und Parkplätze mit geringer Frequenz sollten im Sinne eines nachhaltigen Regenwassermanagements sowie im Hinblick auf einen besseren thermischen Komfort mit wasserbindenden Belägen ausgestattet werden. Von einer weiteren Flächeninanspruchnahme und Versiegelung ist Abstand zu nehmen. Die geringe Verkehrsfrequenz in den Wohnquartieren bietet ausreichend

Abbildung 56: Gestaltungsszenarien Herzogenburg



Quelle: eigene Darstellung, eigene Berechnung, Datengrundlagen:  
 LCZ: wudapt.org/european-lcz-map; Gebäude, Gewässer, Landesgrenzen: geofabrik.de

Umgestaltungspotential durch eine Veränderung der derzeitigen Mobilitätsverhältnisse an, wodurch Platz für Entsiegelungsmaßnahmen und grüne und blaue Infrastrukturen gewonnen werden kann.

Abbildung 57: Gestaltungsszenarien Herzogenburg



Quelle: eigene Darstellung, eigene Berechnung, Datengrundlagen:  
 LCZ: wudapt.org/european-lcz-map; Gebäude, Gewässer, Landesgrenzen: geofabrik.de

**Stadtbaeume:** Um der Bestrahlung durch die Sonne und die damit einhergehende Aufwärmung der versiegelten Straßenflächen und der Gebäudefassaden entgegenzuwirken, ist die Ausgestaltung des Straßenraumes mit Bäumen sehr empfehlenswert. In Abbildung 57 ist

ersichtlich, dass sich weite Teile des Straßenraums der lokalen Klimazone 6 für den Einsatz von Straßenbäume eignen. In Kombination mit Elementen der blauen Infrastruktur, die die Versickerung forcieren, sorgen sie für einen kühlen Straßenraum, wodurch Hitzeinseln vermieden werden können und Kaltluftleitbahnen von außerhalb des Siedlungsraumes in die Siedlung hinein errichtet werden können.

**Dach- und Fassadenbegrünung:** Der überwiegende Bestand an Einfamilienhäusern erschwert die flächenhafte Umsetzung von Dach- und Fassadenbegrünungsmaßnahmen auf Grund der geringen finanziellen Wirkmächtigkeit der Haushalte. Es ist daher vorrangig die Sammlung und Speicherung des anfallenden Regenwassers anzustreben, die für die Bewässerung der Grünflächen und im Haushalt als Brauchwasser genutzt werden kann.

### 8.6.3 Fazit LCZ 6

Der überwiegende Teil der Bebauung in der lokalen Klimazone 6 wird von Einfamilienhäusern, Mehrparteienhäusern, Kleingartensiedlungen und einem geringen Anteil von Betriebsgebäuden gestellt. Der lokalen Klimazone kommt auf Grund ihrer weiten Verbreitung in Niederösterreich im Ganzen, sowie in den Kleinstadtclustern im speziellen, ein hoher Stellenwert zu. Auf Grund der Lage am Siedlungsrand, im Übergangsbereich zwischen natürlichen, nicht menschlich veränderten Umlandklima, und dem durch die Siedlungstätigkeit modifizierten Stadtklima, bildet sich in diesem Bereich ein Temperaturanstieg, ein sogenanntes Temperaturkliff, aus. Durch den Einsatz von den vorgestellten grünen und blauen Klimawandelanpassungsmaßnahmen kann dieser Temperaturanstieg gering gehalten werden, und die Auswirkungen der veränderten Oberfläche auf den Wasserhaushalt, den Regenwasserabfluss und die Überwärmung können verringert werden. Der Erhalt und Schutz von bestehenden Kaltluftentstehungsflächen am Siedlungsrand und außerhalb davon, wie naturbelassene Grünflächen, aber auch landwirtschaftlich genutzte Flächen, ist für den Kaltlufttransport vorwiegend in der Nacht wichtig. Darüber hinaus kann das Gebiet der lokalen Klimazone 6 selbst als Gebiet für Kaltluftentstehung gewonnen werden, wobei eine Entsiegelung von nicht zwingend nötigen Flächen, eine Beschattung durch Bäume und auch die Etablierung von Kaltluftschneisen umsetzungswürdig sind. Dadurch können Gebiete, die zentrumsnäher gelegen sind, und von mehr Überwärmung betroffen sind, allerdings durch die Flächensituation nicht selbst in einem hohen Ausmaß begrünt werden können, von einer kühleren Umgebung profitieren.



## 9 Diskussion und Schlussfolgerung

Die in Zukunft zu erwartenden Klimaverschärfungen erfordern ein rasches und mutiges Handeln, um jene Orte, die sowohl von besonderer intensiver Hitzebelastung geprägt sind, und geprägt sein werden, als auch einen nicht nachhaltigen und ökologischen Umgang mit Regenwasser vorweisen, klimasicher und zukunftsfit umzugestalten. Städte zählen zu diesen Orten, die auf Grund ihrer baulichen Struktur und ihrem Umgang mit dem Boden, besonders vulnerabel sind. Dabei sind nicht nur Großstädte betroffen, sondern auch Kleinstädte, denen dabei in der wissenschaftlichen Literatur nicht dieselbe Aufmerksamkeit widerfährt. Diese Arbeit widmet sich niederösterreichischen Kleinstädten, welche sich in klimatischer Hinsicht durch die Vielzahl der unterschiedlichen baulichen Strukturen, die nicht nur das Ortsbild und den Charakter der jeweiligen Kleinstadt individuell prägen, sondern ebenso das Mikroklima und den Umgang mit Niederschlagswasser in den diversen Teilräumen, charakterisieren. Mit Hilfe lokaler Klimazonen ist es anhand einer Reihe von messbaren Merkmalskriterien, wie etwa der baulichen Dichte oder des Grünflächenanteils, welche entscheidenden Einfluss auf die Bildung des Mikroklima im System Stadt ausüben, möglich, eine zusätzliche Betrachtungsebene zu schaffen, die Räume hinsichtlich ihrer mikroklimatischen Eigenschaften gliedert. Aus diesen lokalen Klimazonen schließend, lassen Räume, die Tendenz zur Überwärmung, im Vergleich zum unbebauten Umland, besitzen, feststellen, womit besonders vulnerable Gebiete verortet werden können. Den verschiedenen Institutionen und EntscheidungsträgerInnen, wie etwa BürgermeisterInnen, Gemeinderatsmitgliedern oder RaumplanerInnen kann dies als eine zusätzliche Hilfestellung in der Festlegung von Orten, die dringenden Anpassungsbedarf nötig haben, dienen, und bei knappen Ressourcen die Entscheidung erleichtern, welche Gebiete zuerst von einer Anpassung im Bestand profitieren sollten. Im nachfolgenden, abschließenden Kapitel der vorliegenden Arbeit wird auf die zu Beginn formulierten und im Laufe der Arbeit behandelten Forschungsfragen rückblickend und zusammenfassend eingegangen, um darauf aufbauend abschließende Handlungsempfehlung zu formulieren.

## 9.1 Zusammenfassung und Beantwortung der Forschungsfragen

Nachfolgend werden die in dieser Arbeit behandelten Forschungsfragen abschließend aufgegriffen und zusammenfassend beantwortet.

1. Wie verändert sich das Klima in Niederösterreich und welche Faktoren und Variablen bestimmen das Klima insbesondere in Städten? Welchen Einfluss üben die Einwohnerzahl und die Siedlungsstruktur auf die Überwärmung in Siedlungen aus? Welche potentiellen Handlungsfelder ergeben sich für die Raumplanung?

Kapitel 1 befasst sich Eingangs mit den zu erwartenden Klimaänderungen in Österreich und im speziellen in Niederösterreich. Es muss dabei zukünftig mit einer Zunahme der Temperatur, der Anzahl an Hitzetagen und Tropennächten, sowie mit einer Steigerung der Anzahl von Starkniederschlagsereignissen ausgegangen werden. Die prognostizierten Zunahmen treten dabei sowohl für jene Klimaszenarien, in denen eine große Anstrengung im Klimaschutz unternommen wird, als auch für jene, in denen keine oder nur geringe Anstrengungen unternommen werden, ein, wobei bei geringer Anstrengung im Klimaschutzbereich die negativen Folgen deutlich ausgeprägter und intensiver sein werden. Städte sind vom Klimawandel besonders intensiv betroffen, da durch die anthropogene Oberflächenveränderung mit Materialien, die Wärme gut speichern und wasserundurchlässig sind, und auch durch die dreidimensionale Zunahme dieser versiegelten Flächen durch Gebäude, die Temperatur im Vergleich zum nicht bebauten Umland höher liegt. Dieser Temperaturunterschied ist als urbane Wärmeinsel bekannt. Durch die gebauten Stadtstrukturen erhöht sich die Speicherkapazität für Wärme und die veränderten Windverhältnisse auf Grund der Bebauung stören den Kaltlufteinstrom in die Städte. Diverse dreidimensionale Strukturen in der Stadt verdecken die freie Sicht zum Himmel wodurch die Ausstrahlung von Wärme an den Objekten reflektiert und eingeschränkt ist. Bei einem weiteren Anstieg der Hitze, nimmt die Belastung für Mensch und Umwelt in Städten und Siedlungen noch weiter zu. Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Temperatur in der Stadt im Vergleich zum Umland und den baulichen Strukturen einer Stadt sowie der Einwohnerzahl. Wärmeinseln treten dabei nicht nur in Großstädten auf, sondern sind in allen Siedlungsformen und somit auch in Kleinstädten anzutreffen. Die Größe und Intensität der urbanen Wärmeinsel nimmt mit Zunahme der baulichen Dichte und der Einwohnerzahl zu, und ist bei windstillen und klaren Wetterlagen am intensivsten ausgeprägt. Während die atmosphärische Wärmeinsel untertags gering oder gar nicht vorhanden ist, hat diese in der Nacht die größte Ausprägung. Umgekehrt verhält es sich mit der oberflächlichen Wärmeinsel, die den ganzen Tag bei Strahlungseinfluss vorhanden ist, und unter Tags und im Sommer am markantesten

ausgeprägt ist. Die Raumplanung kann durch Handlungen, die etwa die Wahl der Oberflächenmaterialien oder den Anteil der Grünstrukturen betreffen, Klimawandelanpassungsmaßnahmen setzen, um diesen Wärmeinseleffekt zu mildern. In neu zu planenden Siedlungsgebieten muss durch eine klimawandelangepasste Planung, die unter anderem den Freiraumanteil, die Orientierung der Gebäude, die Straßenbreite oder die Gebäudehöhe bestimmt, bereits heute für das Klima von morgen geplant werden. Im Bestand gilt es jene Flächen, die nicht zwingend versiegelt sind zu entsiegeln und den Vegetationsanteil zu erhöhen.

2. Welchen Einfluss übt der Klimawandel und welchen der Mensch auf den Wasserkreislauf innerhalb des Siedlungsraumes aus und welche Handlungserfordernisse ergeben sich daraus?

Der menschlich beeinflusste Klimawandel hat zur Folge, dass neben Dürreperioden und dem dadurch bedingten Absinken der Grundwasserpegel, mit negativen Auswirkungen auf die Trinkwasserversorgung, auch mit einer Zunahme von Starkniederschlagsereignisse gerechnet werden muss. Durch solche Starkniederschläge können pluviale, also gewässerunabhängige, Überschwemmungen auftreten, die neben Schäden an Menschen und Gebäuden auch ökologische Risiken nach sich ziehen, vor allem dann, wenn Kanäle hydraulisch überlastet werden, und verunreinigte Abwässer direkt in das Grundwasser oder ein Gewässer entwässern. Die Versiegelung in Siedlungen begünstigt die rasche und vollständigen Ableitung des Niederschlagswassers in die Kanäle, die in Folge dessen nicht immer in der Lage sind, großen Wassermassen, die etwa bei Starkniederschlägen anfallen, aufzunehmen. Durch die weitere Zunahme an versiegelter Fläche, sowohl im Bestand als auch durch die immer weiter zunehmende Bodeninanspruchnahme durch Siedlungstätigkeiten, nimmt die Menge an Wasser, die im bestehenden Kanalnetz abzuleiten sind, weiter zu, für die diese Netze eventuell nicht bemessen wurden. Neben hydraulischen Problemen ergeben sich klimatische und ökologische Probleme, die auf das Fehlen von Wasser am Ort des Niederschlages zurückzuführen sind. Wasser steht in Folge der Ableitung nicht mehr für die Bewässerung von Pflanzen, der Befeuchtung des Bodens und der Infiltration in das Grundwasser zur Verfügung. Die kühlenden Evapotranspirationseigenschaften der Vegetation und des Bodens gehen darüber hinaus ebenso verloren oder sind stark reduziert, weshalb sich die Luft stärker erwärmen kann. Überdies muss für die Bewässerung von Pflanzen künstlich Wasser herbeigeführt werden, sofern sie nicht vertrocknen sollen, womit ein fast vollständiger Verlust jeglicher positiver Eigenschaften der Pflanzen für das Mikroklima und die Ökologie verloren gehen würde. Mit sinkenden Grundwasserpegeln, und daraus folgenden

Trinkwasserversorgungsproblemen, ist überdies zu rechnen, insbesondere in Gebieten die aktuell schon gefährdet sind, wie etwa die Region Herzogenburg. Die Versiegelung stellt deshalb demzufolge eine der Hauptursachen sowohl für die Überwärmung in Siedlungsgebieten, als auch für hydrologische Probleme dar, weshalb die Entsiegelung und die Beibehaltung des Niederschlagswassers vor Ort von entscheidender Bedeutung in der Klimawandelanpassung und im Umgang mit Niederschlagswasser sind. Ein schonender Umgang mit der Ressource Wasser ist anzustreben, um die Ressource Wasser im Siedlungsgebiet zu halten und zu schützen, weshalb die Verwendung von Regenwasser in Gebäuden etwa als Brauchwasser oder zur Bewässerung von Pflanzen, die unter dem Mangel an Wasser in Städten besonders leiden und ihre Klimafunktion verlieren können, anstrebenswert ist und durch grüne und blaue Infrastrukturen auch im Bestand auf vielfältige Art und Weise umgesetzt werden kann.

3. Wie lässt sich eine Kleinstadt in Niederösterreich definieren? Mit Hilfe welcher Modelle lässt sich eine Überwärmungstendenz von Kleinstädten für Niederösterreich ableiten?

Während der Begriff der Kleinstadt im täglichen Sprachgebrauch gängig ist, und sich individuelle Vorstellungen und Gedankenbilder darüber gebildet haben, was eine Kleinstadt für bedeutet und ausmacht, ist der Begriff in wissenschaftlicher Sicht deutlich schwieriger zu fassen und abzugrenzen. Während es unterschiedliche Einteilungen, etwa nach EinwohnerInnenzahl pro Gemeinde, wirtschaftliche und räumliche Bedeutung für das Umland, oder auch rechtliche Einteilungsmöglichkeiten, etwa über die Verleihung eines Statutarrechts gibt, ist im Hinblick auf das Stadtklima, das über bauliche Einflussfaktoren, wie etwa die Bebauungsdichte, Vegetationsanteil und EinwohnerInnenzahl modifiziert wird, eine Einteilung über die Anzahl der Bevölkerung in einem Siedlungskörper und die Bevölkerungsdichte zielführend. In dieser Arbeit wurden deshalb Kleinstädte in Niederösterreich im Kontext der Klimawandelanpassung nach der Definition von „ESPON TOWN“ betrachtet. Eine Kleinstadt besitzt eine EinwohnerInnenzahl von 5.000 bis 50.000 Menschen in einem Siedlungskörper und weist eine Bevölkerungsdichte zwischen 300 und 1.500 EinwohnerInnen pro Quadratkilometer auf. Der Kleinstadtbereich ist dabei Gemeindegrenzen unabhängig und bezieht sich auf die tatsächliche EinwohnerInnenzahl in einem bestimmten Gebiet, dass auf Grund seiner Fläche relevant für Klimamodifikationen ist. Die Betrachtung der Bevölkerungszahl pro Gemeindeebene wäre nicht zielführend, da sie wenig Aussagekraft über die Siedlungsstruktur, beinhaltet. Im Vergleich zu einer Großstadt lassen sich charakteristische Merkmale einer Kleinstadt nennen. Darunter fallen, wie auch durch das Modell der lokalen Klimazonen gezeigt werden konnte, dass geringere Vorhandensein von dichter innerstädtischer Verbauung, vielfach geprägt von fast vollständiger Versiegelung, hohen Anteilen an Einfamilienhausstrukturen mit privaten Grünflächen und im Bezug zur

EinwohnerInnenzahl hohe Anteile an Verkehrsfläche. Der hohe Anteil an privaten Grünflächen und Gärten, und einen bedeutenden Einfluss auf das Mikroklima in Kleinstädten ausüben, und der demgegenüber stehende geringe Anteil an innerstädtischen Parkanlagen und Grünräumen. Im Zentrum, als auch am Siedlungsrand ist die Bebauung, im Vergleich mit einer Großstadt, niedriger. Im Vergleich zu einer Großstadt ist die räumlich nähere Lage zwischen Innenstadt und Siedlungsrand anzumerken. Eine Kleinstadt unterbricht deshalb die Landschaft nicht im selben Ausmaß, weshalb das ökologische Kontinuum nicht so stark durch die Siedlungstätigkeit zerschnitten wird. Neben diesen Merkmalsausprägungen, die direkten Einfluss auf das Mikroklima ausüben, sind auch Unterschiede zu nennen, die Auswirkungen auf die Umsetzung von Klimawandelanpassungsmaßnahmen haben. Darunter fallen etwa die in Kleinstädten vielfach vorhandene Ressourcenknappheit in Bezug auf Personal, Know-how und finanzielle Mittel, oder die höheren Kosten für zum Beispiel Abwasserkanäle, weil die Leitungen lang sind, aber im Vergleich zu einer Großstadt wenig Nutzer angeschlossen sind. Darüber hinaus werden Kleinstädte im Bezug zum Klimawandel weniger intensiv in der Forschung behandelt.

Mit Hilfe der lokalen Klimazonen, die durch klimatisch relevante Strukturmerkmale der Oberfläche Zonen gleicher Merkmalsausprägung bilden, wie unter anderem Bebauungsdichte, sky view factor, Höhen-Breitenverhältnis von Straßen oder den Grünflächenanteil, können Abschätzungen zum Temperaturunterschied zwischen den unterschiedlichen lokalen Klimazonen getroffen werden. Zahlreiche Studien konnten die Ausprägung urbaner Wärmeinseln, die als Temperaturunterschied zwischen Stadt und Umland definiert sind, mit Hilfe der lokalen Klimazonen ableiten. Es kann vereinfacht ausgedrückt werden, dass mit Zunahme der baulichen Dichte und Abnahme des Grünflächenanteils, die Temperatur im Vergleich zum Umland zunimmt. Dabei haben jene lokalen Klimazonen, die durch hohe Versiegelungsanteile geprägt sind, wie etwa die lokale Klimazone 2, und durch eng bebaute Stadtstrukturen charakterisiert sind, die höchsten Temperaturunterschiede zum Umland. Somit ist es möglich, auch ohne detailliert vorliegende lokale Klimadaten, eine Überwärmungstendenz mit Hilfe der lokalen Klimazonen für Niederösterreich abzuleiten, und Gebiete, die von mehr Überwärmung betroffen sind, von Gebieten die geringer belastet sind, abzugrenzen. Die lokalen Klimazonen erweitern dabei das Verständnis über die Stadtstrukturen und deren Einfluss auf die urbane Wärmeinsel, denn die Temperaturverteilung innerhalb einer Siedlung steht im Zusammenhang mit den lokalen Klimazonen. Für Gemeinden, die nicht über die nötigen Ressourcen verfügen, oder in denen es keine lokalen Klimastudien gibt, um detailliertere Aussagen hinsichtlich ihres spezifischen lokalen Klimas treffen zu können, stellt dies eine Hilfe dar, um Gebiete, die von Überwärmung betroffen sind, benennen zu können und dort entsprechende Handlungen zu setzen.

Ein weiterer Anwendungsfall der lokalen Klimazonen kann im Vergleich unterschiedlicher Klimastudien gesehen werden. In diesen wird vielfach der Begriff urban, als Temperaturstandort für einen städtischen Punkt und rural für einen Referenzpunkt des Temperaturvergleichs außerhalb der Stadt gelegt, ohne diese detaillierter zu beschreiben. Durch die Einteilung in lokale Klimazonen können Studien besser verglichen werden, weil die Temperaturstandorte einheitlich definiert werden können und somit Rückschlüsse auf die Bebauung und weitere klimarelevante Standortwerte gestellt werden kann.

4. Was versteht man unter Klimawandelanpassung und unter Klimaschutz? Welche Herausforderungen bestehen bei der Umsetzung von Klimawandelanpassungsstrategien und welche Synergien können genutzt werden?

Klimawandelanpassung, die Adaptation, und Klimaschutz, die Mitigation, sind zwei komplementären Säulen aktueller Klimapolitik. Während der Klimaschutz zum Ziel hat die schädlichen Auswirkungen menschlichen Handlung, vor allem der Treibhausgasausstoß ist hier zu nennen, zu minimieren, ist es das Ziel der Klimawandelanpassung, mit den bereits heute spürbaren Auswirkungen des Klimas zu Recht zu kommen. Im Bereich der Siedlungen betrifft dies vor allem Auswirkungen von Hitze und Starkregen und der Abmilderung der negativen Folgen für den Menschen und das Ökosystem. Auf Grund der Dynamik der Klimaänderungen, neuer Forschungserkenntnisse und Prognosen, muss die Planung mit immer neuen Voraussetzungen zu Recht kommen. Die Planung von Anpassungsmaßnahmen muss weit in der Zukunft liegende Gegebenheiten miteinbeziehen, wodurch Unsicherheiten durch den langen Planungshorizont entstehen. Dabei müssen Maßnahmen herangezogen werden, die robust sind, und auch bei sich ändernden Rahmenbedingungen Vorteile erzeugen. Deshalb sind Maßnahmen zu setzen, die ökologisch und sozial als sinnvoll zu erachten sind, und auch dann noch als positiv anzusehen sind, selbst wenn sich die ursprüngliche Zielsetzung im Laufe der Zeit ändert. Man spricht in diesem Falle von einer no-regret Planung. Grüne Infrastruktur kann als solche Maßnahme gesehen werden, weil keine negativen Wirkungen erkennbar sind. Zusätzlich besitzt grüne Infrastruktur den Vorteil, dass sie einen ständige positive Wirkung, etwa die Verschönerung der Siedlung durch mehr Grün, entfaltet, wohingegen graue Infrastruktur ihren Nutzen nur dann ausübt, wenn sie aktiv, etwa im Falle von Niederschlag, tätig wird, und die übrig Zeit hindurch keine nennenswerte Vorteile mit sich bringt. Diese Multifunktionalität von grüner und blauer Infrastruktur ist ein bedeutsamer Vorteil auch im Hinblick auf die Stadtbildgestaltung. Durch Handlungen, die sowohl im Bereich der Klimawandelanpassung und im Bereich des Klimaschutzes Vorteile erzeugen, können Synergien ausgebildet werden. Die Veränderungen im Straßenraum, in Freiflächen und an

Gebäuden, die durch die Klimawandelanpassung erforderlich sind, dürfen nicht als Restriktion und Eingriff gesehen werden, sondern als Fortschritt und Anspruch zur Umgestaltung. Die Umgestaltung muss zeitnah durch die Gemeinden vorangetrieben werden, um eine Sicherung der Lebensqualität und Gesundheit zu gewährleisten und muss in Zukunft durch selbst auferlegte Gemeinderatsbeschlüsse bei jeglichen Bautätigkeiten berücksichtigt werden.

5. Welche Klimawandelanpassungsstrategien gibt es in der EU und in weiterer Folge in Österreich? Welche unterschiedlichen Instrumente stehen der Raumplanung auf Bundes-, Landes- und Gemeindeebene zu? Wo liegen die Grenzen der Raumplanung im Bezug zur Klimawandelanpassung?

Als nennenswerte Strategien zur Anpassung an den Klimawandel in der EU und auf österreichischer Ebene lassen sich vor allem die EU-Strategie zur Anpassung an den Klimawandel, die zum Ziel hat, die regionalen und nationalen Klimawandelanpassungsbemühungen durch einen gemeinsamen Handlungsrahmen zu vertiefen, und die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel nennen. Letztgenannte enthält Zielsetzungen, die sich mit allen Aspekten des Klimawandels befassen. Die Raumplanung, als Querschnittsmaterie in vielfältiger Weise in den Themenkomplex der Klimawandelanpassung eingebunden, die an sich selbst wiederum eine Querschnittsmaterie darstellt, kennt eine Reihe formeller und informeller Planungsinstrumente, die für die Aufgabenstellung geeignet erscheinen. Auf der formellen Ebene lassen sich vor allem die Flächenwidmungs- und Bebauungspläne nennen, die unter anderem durch die Zuweisung der Nutzung auf eine Fläche und der Festlegung der Bebauungsgestaltung oder der Dichte direkten Einfluss auf das Mikroklima haben. Durch Festlegung der Nutzungsart können so zum Beispiel Grün- und Freiraumstrukturen erhalten werden, und mit Hilfe des Bebauungsplanes der Anteil der Versiegelung geregelt werden. Ihre Wirksamkeit entfalten diese Werkzeuge dabei allerdings vorrangig in neu zu planenden Gebieten oder im Zuge von Umgestaltungen. Durch informelle Planungswerkzeuge, etwa durch Anreizsysteme oder durch die Bewusstseinsbildung beteiligter AkteurlInnen kann die wichtige Umsetzung im Bestand, durch Umgestaltungsmaßnahmen sowohl im Straßenraum als auch auf Gebäudeebene erfolgsversprechend umgesetzt werden. Deshalb stellen informelle Planungswerkzeuge einen wichtigen Stellenwert in der Umgestaltung dar und müssen weiter auf allen Ebenen der Planung forciert werden. Denn nur durch die Miteinbeziehung der BürgerInnen können erfolgreiche Umgestaltungsprozesse erfolgen.

6. Was versteht man unter grüner und blauer Infrastruktur. Welche klimatischen und hydrologischen Vorteile ergeben sich durch diese? Welche grünen und blauen Infrastrukturmaßnahmen können in Kleinstädten eingesetzt werden und wo liegen deren Einschränkungen?

Unter grünen und blauen Infrastrukturen können multifunktionale Elemente natürlicher und naturnahe Flächen verstanden werden, die Vorteile für Mensch und Natur bieten, und einen Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel leisten können, indem sie in der Lage sind die negativen Auswirkungen des Klimawandels abzumildern. Durch die Implementierung von grüner und blauer Infrastruktur kann der Grünflächenanteil in urbanen Räumen gesteigert werden, wodurch der Wärmeinseleffekt gemildert werden kann, und ein nachhaltiger Umgang mit Niederschlagswasser verfolgt werden kann. Die klimatischen Benefits beruhen dabei vorwiegend auf der Beschattung von Flächen, etwa durch Bäume, der Evapotranspiration von Pflanzen und Böden, und der Aufnahme von solarer Energie, die nicht mehr für die Erwärmung zur Verfügung steht. Durch einen erhöhten Anteil an nicht versiegelter Fläche kann der Abflussbeiwert gesenkt werden, und mit Hilfe von blauer Infrastruktur die Nutzung und Speicherung von Regenwasser vor Ort begünstigt werden. Das Niederschlagswasser kann dadurch am Ort des Niederfalls verbleiben und für Bewässerungszwecke genutzt werden und vor Ort dem natürlichen Wasserkreislauf zurückgegeben werden wodurch auch das Grundwasser angereichert werden kann. In Kleinstädten bieten sich dezentrale Maßnahmen an, um den unterschiedlichen Flächenverfügbarkeiten, Strukturtypen, Ressourcenverfügbarkeiten und Nutzungsansprüchen gerecht zu werden. Einschränkungen können sich dabei durch den Platzmangel, der nur bestimmte Infrastrukturen, etwa die vertikale Begrünung, gestattet, ergeben, wobei auch in solchen Arealen eine Umgestaltung erfolgen kann und muss. Bei Flächen die starken Nutzungsdruck unterliegen, muss auf eine nachhaltige Planung geachtet werden, die die Ansprüche der Zukunft stärker in den Mittelpunkt rückt und etwaige frühere Planungsfehler, wie Versiegelung oder übermäßige Anzahl an Kfz-Stellplätze in Stadtzentren oder Hauptplätzen, korrigiert. Die Miteinbeziehung der Bevölkerung vor Ort ist deshalb in allen Planungsphasen wichtig, um ein positives Gelingen der Anpassungsmaßnahmen zu erwirken. Hierbei sind etwa Dorfgespräche oder Workshops in denen vor Ort auf die aktuellen und zukünftigen Probleme hingewiesen wird, wodurch alle Beteiligten auf einen einheitlichen Wissensstand gebracht werden, notwendig,



um eine positive Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen zu gewährleisten. Blaue Infrastruktur unterliegt besonderen Bestimmungen und stellt Anforderungen an die Fläche, die entwässert werden soll, sowie an den Untergrund in den das Wasser unter Umständen infiltriert werden soll. Je nach Verschmutzungsgrad der Fläche und der Art des Untergrundes müssen gewisse Voraussetzungen, etwa die Reinigung des Niederschlages durch eine Bodenpassage vor der Versickerung, getroffen werden. Ein nicht geeigneter Untergrund kann die Auswahl von Maßnahmen einschränken, oder keine Infiltration zulassen. In solchen Fällen ist die Retention, die Zwischenspeicherung von Niederschlagswasser und die verlangsamte Ableitung anzustreben.

7. Wo können grüne und blaue Infrastrukturmaßnahmen in den verschiedenen lokalen Klimazonen in Niederösterreichs Kleinstädten klimawirksam eingesetzt werden?

In Kapitel 8 zeigt sich, dass grüne und blaue Infrastrukturen in vielfältiger Form in Siedlungen integrierbar sind. Anhand der angeführten Beispiele wird ersichtlich, dass die verschiedenen lokalen Klimazonen unterschiedliche Herausforderungen an grüne und blaue Infrastrukturen stellen, aber dass in allen Siedlungsbereichen genügend Platz geschaffen werden kann, um die notwendigen Anpassungsmaßnahmen, wie Flächenentsiegelung oder Versickerungselemente, durchzuführen. Vor allem die zusätzliche Pflanzung von Bäumen und deren positive Wirkung auf das Mikroklima bieten sich, mit Ausnahme jener Straßenbereiche, die zu schmal sind, fast überall an. In jenen Bereichen, die auf Grund ihrer räumlichen Einschränkung keine horizontalen Grünflächen oder Bäume zulassen, kann mit Hilfe von vertikalen Grünstrukturen, etwa der Fassadenbegrünung, eine Lösung gefunden werden, die positive klimatische Effekte erzeugt, und den Raum auch optisch aufwerten und gestalten kann. Die Entsiegelung, und die damit einhergehende Wiederherstellung natürlicher Oberflächen ist für eine klimazukunftssichere Aufenthaltsqualität in Städten unumgänglich, weshalb bestehende Oberflächen, die nicht zwingend versiegelt sein müssen, umgewandelt werden müssen, und jene Flächen, die mit einer wassergebundenen und wasserdurchlässigen Oberfläche ausgestattet werden können, wie etwa Wege, oder Stellflächen ebenso umgebaut werden müssen. Auf eine weitere Flächenversiegelung bei allen Siedlungstätigkeiten ist dabei zu verzichten. Im Umgang mit Niederschlägen sind, sowohl im Hinblick auf eine ressourcenschonende Verwendung von Trinkwasser als auch im Sinne des Schutzes vor Starkniederschlagsereignissen, blaue Infrastruktursysteme auf allen Flächen, deren örtliches Flächenangebot dies zulässt, zu errichten. Dabei ist in absteigender Reihenfolge die Nutzung, die Infiltration und die Retention des Regenwassers anzustreben. Bereits kleine Grünflächen zeigen schon eine positive klimatische Wirkung. Sie sollten aber durch Grünzüge weiter vernetzt werden.

## 9.2 Schlussfolgerung und Handlungsempfehlungen

Anhand der Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit konnte die Bedeutung für Klimawandelanpassungsmaßnahmen in niederösterreichischen Kleinstädten aufgezeigt werden und es lassen sich auf Grund dessen folgende Schlussfolgerungen und Empfehlungen formulieren.

Um Handlungen in der Klimawandelanpassung zielgerichtet und örtlich genau umsetzen zu können, sind detaillierte Daten, die das kleinräumige Klima in Siedlungen abbilden, wünschenswert, um der Politik und der Planung konkrete Entscheidungsgrundlagen darzubieten. Während für Großstädte solche Klimastudien, die das aktuelle und zukünftige Klima sehr präzise widerspiegeln, zum Teil vorliegen, sind diese Daten für Kleinstädte nicht oder nicht im selben Ausmaß verfügbar. Das Modell der lokalen Klimazonen, die flächendeckend für Europa verfügbar sind, kann als solche Entscheidungshilfe angesehen werden, um jene fehlenden, aber wünschenswerten, detaillierteren Daten zu substituieren. Somit können die lokalen Klimazonen diese Lücke füllen, um zu ermöglichen, dass Handlungen, Umsetzungsmaßnahmen und komplexe Entscheidungen von Seiten der Politik und der Planung, auf unabhängigen, wissenschaftlich-ermittelten Grundlagendaten getroffen werden können. Bauliche Anpassungen an die steigende Hitzebelastung sind sowohl auf Gebäude- als auch auf Quartiersebene notwendig. Insbesondere in den von der Hitzebelastung am stärksten betroffenen Stadtstrukturen, sind in Zukunft Maßnahmen für das Wohlbefinden und die Gesundheit der Bevölkerung nötig. Zu jenen Gebieten zählen vor allem die Bereiche der lokalen Klimazonen 2 und 8, die die höchsten Temperaturdifferenzen zum umbauten Umland vorzuweisen haben. Dennoch sind Maßnahmen in allen übrigen lokalen Klimazonen ebenso zu setzen, da auch dort Überwärmung erkennbar ist, und eine Anpassung ganzheitlich geschehen muss.

In der Klimawandelanpassung übernehmen lokale Verwaltungsebenen, zu denen auch Kleinstädte gehören, einen wichtigen Aspekt der Umsetzung. Jene lokale Maßstabsebene steht im engsten Austausch und Kontakt mit den BürgerInnen, wodurch sich durch den direkten Kontakt viele Möglichkeiten der Problemwahrnehmung und der gemeinsamen Problembekämpfung zusammen mit der Bevölkerung ergeben. Es ist allerdings auch jene Ebene, die bereits aktuell durch Ressourcenknappheit, sei es in finanzieller oder personeller Hinsicht, an der Leistungsgrenze der Verwaltungstätigkeit angelangt ist, wodurch oft wenig Spielraum für neue und richtungsweisende Projekte bleibt. Deshalb erscheint die Unterstützung durch Vereine, Organisationen, engagierte BürgerInnen oder andere höhere Verwaltungsebenen in der Mitwirkung bei der Umsetzung von

Klimawandelanpassungsmaßnahmen besonders wichtig und zielführend. Durch das Zusammenwirken der verschiedenen Bereiche können die nötigen Projekte umgesetzt. Darüber hinaus gilt es, die Bevölkerung hinsichtlich der Klimaproblematik, vor allem auch in lokaler Hinsicht und auf lokaler Ebene, mit Verweis auf ganz konkrete Probleme in der eigenen Gemeinde zu sensibilisieren und zu informieren. Dies kann etwa mit Stadtpaziergängen, die gezielt in die Hitzeinseln der Gemeinde führen, stattfinden, um aufzuzeigen, dass auch Kleinstädte betroffen sind. Über Informationsveranstaltungen, die aussagekräftige, beleg- und „fühlbare“ Argumente liefern, Workshops oder Bürgerräte sollte im Austausch mit der lokalen Bevölkerung eine Anpassungsstrategie und eine praxisorientierte Lösung für konkrete Orte entwickelt werden. Hier kann ebenso das Modell der lokalen Klimaklasse als Informationsmaterial für die Bevölkerung dargebracht werden. Über finanzielle Anreize und Förderungen, die auf Grund der geringen Ressourcen der Gemeinde vom Land oder Bund zu stellen sind, müssen grüne und blaue Infrastruktur zeitnah auf öffentlichen Plätzen und Gebäuden, die dadurch als Best-Practice Beispiel eine weitreichende Rolle haben werden, umgesetzt werden, um somit auch Privatpersonen zur Anpassung in ihrem jeweiligen Eigentumsbereich zu motivieren. Dass die Umsetzung in der gebauten Stadt jede Gemeinde vor Herausforderungen stellt, sollte dabei vor dem Hintergrund des voranschreitenden Klimawandels kein Gegenargument darstellen. Insbesondere bei der Bearbeitung eines Bestandsgebietes, mit gewachsener Struktur, sollte aber auch Rücksicht auf die Vorstellungen und Ideen der AnrainerInnen genommen werden, um Konflikte soweit möglich zu vermeiden und die Projekte zu Erfolgen zu machen.

Die Ergebnisse dieser Arbeiten zeigen die Bedeutung von grüner und blauer Infrastruktur als auch das Umsetzungspotential in unterschiedlichen Bebauungstypologien und lokalen Klimazonen in niederösterreichischen Kleinstädten auf. Durch Bäume, Vegetationsflächen und Flächen mit geringer Versiegelung, als Teil der grünen Infrastruktur, werden Beschattung und Evapotranspiration erhöht. Der Boden und die umliegenden Gebäude nehmen weniger Wärme auf, weshalb die Lufttemperatur sich nicht so stark aufwärmen kann. Die Verdunstung von Wasser in den Bäumen und im Boden, sowie die Beschattungsfunktion haben dabei einen besonders positiven Einfluss auf das Mikroklima. Um diese Elemente verstärkt in niederösterreichischen Kleinstädten, die teilweise von außerordentlich hoher Versiegelung, vor allem im Ortskern, geprägt sind, zu integrieren, muss bei jeder zukünftigen Bautätigkeit in einer Gemeinde nicht nur das ursprüngliche Ziel der Bautätigkeit, etwa die Sanierung von Straßen, sondern auch das Ziel der Umgestaltung hin zur Klimawandelanpassung verpflichtend eingeführt werden. Dabei gilt es den üblichen Planungshorizont zu erweitern, und mit einer no-regret Strategie grüne und blaue Infrastrukturen in die Stadt zu integrieren. Denn zu einer nachhaltigen und klimaorientierten Umsetzung zählt sowohl ein integrativer Planungs- als auch Umgestaltungsprozess, welcher verkehrliche, örtliche, landschaftsplanerische und

ökologische Aspekte verbindet und integrativ vernetzt. Zu Klimawandelanpassungsmaßnahmen, die durch die Gemeinden angeordnet werden können, zählen unter anderem die Errichtung von Beschattungselementen, Entsiegelungsmaßnahmen in Innenhöfen, Wasserflächen im öffentlichen Raum, und Errichtung von zusätzliche Verdunstungsflächen. Bestehende Hitzeinseln, wie etwa Hauptplätze und Ortskerne, die der Bevölkerung aufgezeigt werden sollten und die durch ihre Eigenschaft als Hitzeinsel eine geringe Aufenthaltsqualität besitzen, müssen durch aktive Umgestaltung adaptiert werden, wodurch der öffentliche Raum in Kleinstädten wieder zum Leben und als tatsächliches Ortszentrum mit ausgeprägtem Wahrnehmungsraum wiedererweckt werden kann. Straßen, die aktuell nicht mit Bäumen oder Vegetation ausgestaltet sind, müssen zeitnah mit Bäumen und Vegetation versehen werden. Die Zunahme des Grünflächenanteils ist von herausragender positiver Bedeutung in der Klimaanpassung von allen Räumen. Die in dieser Arbeit vorgestellten Maßnahmen zeigen die große Vielfalt und Einsetzbarkeit von grünen und blauen Infrastrukturen in jeglichen Siedlungsräumen und Platzverhältnissen. Im Hinblick auf die zukünftig zu erwartenden Belastungen im urbanen Raum ist deshalb eine intensive Durchgründung der gesamten Stadtfläche anzustreben. Bauliche Maßnahmen sowohl im Neubau als auch im Bestand sollten stets die klimatische Verbesserung unter Berücksichtigung des Mikro- und Mesoklimas zum Ziel haben und den thermischen Komfort verbessern. Alternative und ressourcenschonende Handlungen zur aktiven und passiven Kühlung sind ebenso relevant wie die Anpassung von bioklimatisch wirksameren Maßnahmen im Bebauungsplan. Derzeit noch als innovativ angesehene Maßnahmen müssen zum Standard werden, um den Anforderungen, die der Klimawandel an das urbane Umfeld stellt, gerecht zu werden.

Mit Hilfe der Flächenwidmung und Bebauungsplanung muss die Flächenversiegelung reduziert werden, und generell müssen die Raumannsprüche für die Zukunft neu gedacht werden, weshalb der Fokus auf eine nachhaltige Flächenplanung gelegt werden muss, indem die Gemeinde rechtlich beschließt, sich neue, strenge aber nachhaltige Regeln für zukünftige Siedlungstätigkeiten aufzuerlegen. Durch die Anpassung der baulichen Struktur in Neuplanungsgebieten, der Form und des Volumens von Gebäude, muss der Überwärmungstendenz bereits im Vorfeld entgegengewirkt werden. Mit Hilfe von Materialien, die eine hohe Albedo besitzen, kann der Aufnahme von Strahlung und dadurch der Aufnahme von Wärme vorgebeugt werden. Dies ist insbesondere bei Dächern und Fassaden sowie weiteren befestigten Flächen relevant. Im Grünland müssen Areale für die Frisch- und Kaltluftentstehung erhalten bleiben und in Zukunft noch intensiver von Siedlungstätigkeiten verschont werden. Bestehende Grünareale sollten vernetzt werden, um den Kaltluftaustausch zu verbessern, womit darüber hinaus vielschichtige positive ökologische Aspekte einhergehen. Diese Frischluftleitbahnen ermöglichen die Verbesserung der Luftqualität und des Klimas und

sind von besonderem Interesse für das gesamte Stadtgebiet. Im Bereich der Bebauungsplanung müssen Auflagen, die zu mehr Beschattung und Verdunstungskühlungen durch Vegetation führen, verstärkt zum Einsatz kommen. Flachdächer sollten verpflichtend begrünt werden, insbesondere in Gewerbegebieten. Generell bieten Kleinstädte, trotz zum Teil beengter Platzverhältnisse, überall ausreichend Raum um die Vielzahl an Elemente, die die grüne und blaue Infrastruktur zur Klimaanpassung bereitstellt, einzusetzen, um somit zukunftssichere und klimafitte Städte für alle Bürger zu gestalten.

Zusammenfassend lassen sich folgende Empfehlungen für die Klimawandelanpassung in niederösterreichischen Kleinstädten formulieren:

- Flächenversiegelung nachhaltig beenden und versiegelte Flächen immer dort, wo dies möglich ist, entsiegeln
- Integration von grüner und blauer Infrastruktur im Bestand und im Neubau
- Öffentliche Gebäude als Best-Practice-Bespiel mit grüner und blauer Infrastruktur umgestalten und präsentieren
- Rasche Umsetzung von Projekten an besonders hitzeintensiven Orten
- Schutz und Vernetzung von Kaltluftentstehungsflächen
- Information und Aufklärung von PolitikerInnen und EntscheidungsträgerInnen über Möglichkeiten der Klimawandelanpassung und von Fördermöglichkeiten
- Information der BürgerInnen über die lokale Problematik und die negativen Auswirkungen des Klimawandels. Aufzeigen von individuellen Handlungsoptionen
- Förderung von grüner und blauer Infrastruktur im privaten Eigentumsbereich
- Anreize schaffen, damit BürgerInnen sich aktiv an der Klimawandelanpassung beteiligen
- Verpflichtende Berücksichtigung von grüner und blauer Infrastruktur bei allen zukünftigen Bauprojekten
- Nutzung der lokalen Klimazonen als Hilfestellung für Politik und Planung
- Nutzung und Förderung von Regenwasser für Bewässerung und als Brauchwasser in Gebäuden
- Vegetation und Baumbestand im öffentlichen und privaten Raum ausbauen
- Jegliche Planungsvorhaben müssen die Klimawandelanpassung berücksichtigen

### 9.3 Schlusswort

Klimawandelanpassung zielt darauf ab, die Resilienz gegenüber dem Klimawandel zu erhöhen, und die zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels im städtischen Umfeld abzuschwächen, um die Lebensqualität und die Sicherheit der Bevölkerung aufrechtzuerhalten. Die vorliegende Arbeit unterstützt die Bemühungen und den Anpassungsprozess und versucht einen Beitrag zum Verständnis sowie zur Wissenserweiterung zu liefern und Möglichkeiten im Darstellen von Bereichen, die besonders betroffen sein werden, aufzuzeigen. Es wurden Handlungsoptionen in unterschiedlichen Siedlungsstrukturen an Hand von Beispielen in niederösterreichischen Kleinstädten dargestellt. Der Prozess der Umsetzung von Klimawandelanpassungslösungen in der Praxis steht dabei erst am Beginn, und tiefgreifende Bemühungen auf allen Ebenen von Politik und Verwaltung sind anzustreben. Die Coronakrise zeigt, dass die Entscheidungsträger den Umsetzungswillen, und die Macht haben können, wichtige Prozesse rasch und kurzfristig umzusetzen. Dies zeigt den Willen zur Veränderung und zur Lösungsbereitschaft zur nötigen Krisenbewältigung. Dieser Wille ist auch für langfristige Krisen, wie die Klimakrise, deren Auswirkungen nicht plötzlich und drastisch eintreten und spürbar sind, sondern eine kontinuierliche Veränderung mit sich bringen, wünschenswert.

# 10 Literaturverzeichnis

Alexandri, Eleftheria; Jones, Phil (2006): Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates; In: Building and Environment 43

Alexander, Paul; Mills, Gerald (2014): Local climate classification and Dublins urban heat island; in Atmosphere 2014; 5; S. 755-774

Alias, Noraliani, Liu, An; Goonetilleke, Ashantha; Egodawatta, Prasanna (2014); Time as the critical factor in the investigation of the relationship between pollutant wash-off and rainfall characteristics; In: Ecological Engineering, 64, S. 301-305

Alves, Alida; Gersonius, Berry; Kapelan, Zoran; Vojinovic, Zoran; Sanchez, Arlex (2019): Assessing the Co-Benefits of gree-blue-grey infrastructure for sustainable urban flood risk management; In: Journal of Environmental Management

APCC (2018): Österreichischer Special Report Gesundheit, Demographie und Klimawandel

Arlt, Günter; Hennersdorf, Jörg; Lehmann, Iris; Nguyen, Xuan Thinh (2005): Auswirkungen städtischer Nutzungsstrukturen auf Grünflächen und Grünvolumen. (IÖR Schriften, 47). Dresden: Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung

Bager Simon; Light, Derek; Smedegaard, Dinne; Strange Olesen, Asger; Pyndt Andersen, Sarah (2017): Mitigation & Adaptation Synergies in the NDCs; Nordic Council of Ministers 2017

Baasch, Stefanie; Bauriedl, Sybille; Hafner, Simone; Weidlich, Sandra (2012): Klimaanpassung auf regionaler Ebene: Herausforderungen einer regionalen Klimawandel-Governance; IN: Raumforschung, Raumordnung; S. 191 – 201

Baker, Lawrence (2009): The water environment of cities; Springer

BBSR; Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2015): Überflutungs- und Hitzevorsorge durch die Stadtentwicklung, Strategien und Maßnahmen zum Regenwassermanagement gegen urbane Sturzfluten und überhitzte Städte; Bonn

Bender, S., Brune, M., Cortekar, J., Groth, M.; Remke, T. (2017): Anpassung an die Folgen des Klimawandels in der Stadtplanung und Stadtentwicklung – Der GERICS- Stadtbaukasten. – Report 31, Climate Service Center Germany, Hamburg

Biesbroek, Robert; Van der Knaap, Wim; Swart, Rob (2009): The mitigation-adaptation dichotomy and the role of spatial planning, In: Habitat International

Birkmann, Jörn; Böhm, Hans; Buchholz, Frank; Büscher, Dirk; Daschkeit, Achim; Ebert, Sebastian; Fleischhauer, Mark; Frommer, Birte; Köhler, Stefan; Kufeld, Walter ;Lenz, Susanne; Overbeck, Gerhard; Schanze, Jochen; Schlipf, Sonja; Sommerfeldt, Petra; Stock, Manfred; Vollmer, Mmaike; Walkenhorst, Oliver (2013): Glossar Klimawandel und Raumentwicklung; 2. überarbeitete Fassung; E-Paper ARL Nr. 10.; Hannover

Blöschl, Günter; Blaschke, Alfred; Haslinger, Klaus; Hofstätter, Michael; Paranja, Jurja; Salinas, Jose; Schöner, Wolfgang (2018): Auswirkungen der Klimaänderung auf Österreichs Wasserwirtschaft – ein aktualisierter Statusbericht

Borsdorf, Axel; Bender, Oliver (2010): Allgemeine Siedlungsgeographie; Böhlau Verlag; Köln

Bürklin, Thorsten; Peterek, Michael (2016): Stadtbausteine; Birkhäuser; Basel

Cardoso, Renata; Amorim, Margarete (2018): Urban heat island analysis using the 'local climate zone' scheme in Presidente Prudente, Brazil; Investigaciones Geográficas 69

BMLFUW: Der Klimawandel in Niederösterreich

BMLFUW (2012): Die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel Teil 1: Kontext; Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

BMLFUW (2014): ECOSTROMA Ökologische und ökonomische Maßnahmen der Niederschlagswasserbewirtschaftung; Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

BMLFUW (2017): Die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel, Teil 2 Aktionsplan, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

BMNT (2017): Die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel; Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus; Wien

BMNT (2018): EU-Hochwasserrichtlinie; Bericht zur Umsetzung in Österreich, Vorläufige Bewertung des Hochwasserrisikos 2018; Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus; Wien

Bodencharta 2014

Bowler, Diana E.; Buyung-Ali, Lisette; Knight, Teri M.; Pullin, Andrew S. (2010): Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence; In: Landscape and Urban Planning, S. 147 – 155

Brandenburg, Christiane; Damyanovic Doris; Reinwald, Florian; Alex, Brigitte; Gantne, Birgit; Czach, Christina (2015) Urban Heat Island Strategieplan Wien; Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22

Brassuer, Guy; Jaboc, Daniela; Schuck-Zöller, Susanne (2017): Klimawandel in Deutschland; Springer; Berlin, Heidelberg

Chäfer, Marta; Pisello, Anna Laura; Piselli, Christina; Cabeza, Luisa (2020): Greenery System for cooling down outdoor spaces: results of an experimental study; In: sustainability

Chow, Winston; Saamanca, Francisco; Georgescu, Matei; Mahalov, Alex; Milne, Jeffrey; Ruddell, Benjamin (2014): A multi-method and multi-scale approach for estimating city-wide anthropogenic heat fluxes; In: Atmospheric Environment, Elsevier S. 64-76

Demuzere, Matthias; Bechtel, Benjamin; Middel, Ariane; Mills, Gerald (2019): Mapping Europe into local climate zones; Plos One

De Wit, Rosmarie; Zuvela-Aloise, Maja; Andre, Konrad; Bird, David Neil; Schwaiger, Hannes; Kolb, Florian; Peharz, Gerhard (2017): Quantifying the Potential of Photonic Cooling to Improve Urban Microclimate; In: Real Corp 2017; S. 433 – 442

Dierkes, Carsten (2015): Entsiegelung mit wasserdurchlässigen Flächenbelägen – zurück zum natürlichen Wasserkreislauf; IKT-Forum Niederschlagswasser, Vegetation und Infrastruktur 2015

Di Gregorio, Monica; Nurrochmat, Dodik; Paavola, Jouni; Sari, Maya; Fatorelli, Leandra; Pramova, Emilia; Locatelli, Bruno; Brockhaus, Maria; Kusumadewi, Dyah Sonya (2017): Climate policy integration in the land use sector: Mitigation, adaptation and sustainable development linkages; IN: Environmental Science & Policy; S. 35 – 43

Dominguez, Servando Alvarez; Sanchez de la Flor, Francisco Jose (2016): The effect of evaporative cooling techniques on reducing urban heat; In: Santamouris; Kolokotsa (editors): urban climate mitigation techniques

Dower, Michael (1998): Grundsätzliches zur Tagung; In: Kleinstädte, Motoren im ländlichen Raum; Tagungsband anlässlich des ersten mitteleuropäischen Kleinstadtsymposiums in Murau 1998; Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung

El-Hakim, Ragaa Abd; El-Badawy, Sherif (2020): Quantifying effects of urban heat island: state of the art; Springer Nature Switzerland AG 2020

Elsasser, Hans; Bühler-Conrad, Elisabeth (1998): Ist eine Kleinstadt mehr als eine kleine Stadt; In: Kleinstädte, Motoren im ländlichen Raum; Tagungsband anlässlich des ersten mitteleuropäischen Kleinstadtsymposiums in Murau 1998; Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung



Endlicher, Willfried (2012): Einführung in die Stadtökologie: Grundzüge des urbanen Mensch-Umwelt-Systems; Ulmer; Stuttgart

Energierreferat Baden (2019): Klimawandelanpassungsstrategie Baden; Wie Baden auf den Klimawandel reagiert

Europäische Kommission (2007): Grünbuch der Kommission an den Rat; Anpassung an den Klimawandel in Europa; Brüssel

Europäische Kommission (2009): Weißbuch: Anpassung an den Klimawandel, Ein europäischer Aktionsrahmen; Brüssel

Europäische Kommission (2014): Eine Grüne Infrastruktur für Europa

Felmeden, Jörg; Kluge, Thomas; Koziol, Matthias; Libbe, Jens; Michel, Bernhard; Scheele, Ulrich (2010): Öko-Effizienz kommunaler Wasser-Infrastrukturen – Bilanzierung und Bewertung bestehender und alternativer Systeme; Network Papers Heft 26

Fenner, Daniel; Meier, Fred; Scherer, Dieter; Polze, Albert (2014): Spatial and temporal air temperature variability in Berlin, Germany, during the years 2001–2010; urban climate

Fezer, Firtz (1995): Das Klima der Städte, Justus Perthers Verlag; Gotha

Flohr, Sabine (2010): Untersuchung zum Fangvermögen von Mittel- und Feinstaub (PM10 und PM2.5) an ausgesuchten Pflanzenarten unter Berücksichtigung der morphologischen Beschaffenheit der Blatt- und Achsenoberfläche und der Einwirkung von Staubauflagen auf Lichtreaktion der Photosynthese; Dissertation; Universität Duisburg-Essen

Franck, Enke; Fleischhauer, Mark; Frommer Birte; Büscher Dirk (2013): Klimaanpassung durch strategische Regionalplanung?; In: Birkmann, Vollmer, Schanze (2013): Forschungsberichte der ARL, 2; Hannover

Frommer, Birte; Schlipf, Sonja; Böhm, Hans Reiner; Janssen, Gerold ; Sommerfeldt, Petra (2013): Die Rolle der räumlichen Planung bei der Anpassung an die Folgen des Klimawandels; In: Birkmann, Vollmer, Schanze (2013): Forschungsberichte der ARL, 2; Hannover

Gehring, Regula; König, Nadine; Scherrer, Simon (2018): Städtische Wärmeinseln in der Schweiz, klimatologische Studie mit Messdaten in fünf Städten; Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, MeteoSchweiz

Geiger, Wolfgang; Dreiseitl, Herbert (1995): Neue Wege für das Regenwasser: Handbuch zum Rückhalt und zur Versickerung von Regenwasser in Baugebieten; Oldenbourg Verlag; München.

Geiger, Wolfgang, Dreiseitl, Herbert, Stemplewski, Jochen (2009): Neue Wege für das Regenwasser, Handbuch zum Rückhalt und zur Versickerung von Regenwasser in Baugebieten; Emschergenossenschaft. München; Oldenbourg Industrieverlag GmbH

Geissler, S; Ipser, C; Radinger, G; Winkler, M; Floegl, H (2015): Reduktion des Kühlenergiebedarfs durch optimierte Bebauungsstrukturen und Prozess- und Entwurfsoptimierung in der Gebäudeplanung; Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie; Wien

Grimm, Karl (2010): Integratives Regenwassermanagement: Motivenbericht; Magistrat der Stadt Wien MA22; Wien

Grimm, Karl; Achleitner, Michaela (2010): Naturnahe Oberflächenentwässerung für Siedlungsgebiete; Leitfaden für die Planung; Amt der Niederösterreichischen Landesregierung

Grimm, Karl; Achleitner, Michaela (2010b): Naturnahe Oberflächenentwässerung für Siedlungsgebiete; Leitfaden für Gemeinden; Amt der Niederösterreichischen Landesregierung

Guerreiro, Selma; Dawson, Richard; Kilsby, Chris; Lewis, Elizabeth; Ford, Alistair (2018): Future heat-waves, droughts and floods in 571 European cities; In: Environmental Research Letters

Haas, Willi; Weisz, Ulli; Balas, Maria; McCallum, Sabine; Lexer, Wolfgang; Pazdernik, Katja; Prutsch, Andrea; Radunsky, Klaus; Formayer, Herbert; Kromp-Kolb, Helga; Schwarzl, Ingeborg (2008): Identifikation von Handlungsempfehlungen zur Anpassung an den Klimawandel in Österreich: 1 Phase, 2008

Hackenbruch, Julia (2018): Anpassungsrelevante Klimaänderungen für städtische Baustrukturen und Wohnquartiere; Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie,

Hagen, Katrin (2011): Freiraum im Freiraum, Mikroklimatische Anätze für die städtische Landschaftsarchitektur; Dissertation; Tu Wien

Hauber, Gerhard (2019): Modernes Regenwassermanagement für eine klimaangepasste Zukunft Beispiele aus der Praxis; Regenwasser weiterdenken – Bemessen trifft Gestalten; Kaltbad

Häckel, Hans (2008): Meteorologie; Ulmer UTB; Stuttgart

Hauer, Andreas; Nussbaumer, Markus (2006): Österreichisches Raum- und Fachplanungsrecht: Handbuch in Einzelbeiträgen; prolibris

Hauser, Christoph (2009): Gartenschauen als Planungsinstrumente: Potenziale freiraumzentrierter Stadtentwicklung in Kleinstädten, Dissertation, Universität für Bodenkultur Wien

Helbig, Alfred; Baumüller, Jürgen; Kerschgens, Michael (1999): Stadtklima und Luftreinhaltung; Springer; Berlin Heidelberg

Henninger, Sascha (2011): Stadtökologie: Bausteine des Ökosystems Stadt; Schöningh; Paderborn

Henninger, Sascha; Fabisch, Martin; Moghaddam, Maral (2017): Reaktionen einer angewandten und planungsorientierten Stadtklimatologie auf die rezenten Veränderungen urbaner Strukturen; In: corp 2017

Henninger, Sascha; Weber Stephan (2020): Stadtklima; Schöningh; Paderborn

Hensold, Claus (2013): Klimarelevanz von Siedlungsstrukturen; In: Kufeld, Walter (Hrsg.) (2013): Klimawandel und Nutzung von regenerativen Energien Herausforderungen für die Raumordnung; Arbeitsberichte der ARL 7

Hicke, Claudia (2012) Klein-Stadt-Grün: Die Gestaltung von öffentlichen Freiräumen im ländlichen Raum unter besonderer Berücksichtigung des Gestaltungsmittels Pflanze am Beispiel der burgenländischen Landeshauptstadt Eisenstadt, Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien

Hillenbrand, Thomas; Hiessl, Harald; Niederste-Hollenberg, Jutta; Menger-Krug, Eve (2016): ZUKOWIS Finanzierbare Zukunftsoptionen für die kommunale Wasserinfrastruktur in NRW Folgen des demographischen, klimatischen und technischen Wandels für die Städte und Gemeinden;

Hoang, L; Fenner, R.A. (2016): System interactions of stormwater management using sustainable urban drainage systems and green infrastructure; In: Urban Water Journal, S. 739-758

Hoppe, Thomas; Van den Berg, Maya; Coenen, Frans (2014): Reflections on the uptake of climate change policies by local governments: facing the challenges of mitigation and adaptation, in Energy, Sustainability and Society

Hupfer, Peter; Kuttler Wilhelm (2006): Witterung und Klima: Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie; Teubner; Stuttgart

Hurlimann, Anna; March, Alan (2012): The role of spatial planning in adapting to climate change; In: WIREs Clim Change 2012; S.477-488

Johnson, Brian; Jozdani, Shahab (2019): Local Climate Zone (LCZ) Map Accuracy Assessments Should Account for Land Cover Physical Characteristics that Affect the Local Thermal Environment; In: Remote Sensing

Jones, Roger; Dessai, Suraje; Lammel, Annamaria; Lempert, Robert; Mirza, Monirul; von Storch; Hans (2014): Foundations for decision making; In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability; Cambridge University Press, Cambridge,

Kleidorfer; Manfred; Zeisl, Peter; Ertl, Thomas; Simperler, Lena; Kretschmer, Florian; Stöglehner; Gernot; Himmelbauer Paul; Muschalla, Dirk; Krebs, Gerad; Leimgruber, Johannes (2019): Leitfaden Regenwasserbewirtschaftung; Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus; Wien

Koch, Reinhard (2015) Lowflow+, Niederwassermanagement von veränderten mittelgroßen Fließgewässersystemene unter Berücksichtigung des Klimawandels

Kovacs, A; Nemeth, A (2012): Tendencies and differences in human therma comfort in distinct urban areas in budapest, Hungary; Acta climatologica et chorologica

Kowarik, Ingo; Bartz, Robert; Brenck, Miriam (2016): Ökosystemdienstleistung in der Stadt; Gesundheit schützen und Lebensqualität erhöhen; Naturkapitel Deutschland; Berlin, Leipzig

Kromp-Kolb, Helga; Nakicenovic, Nebojsa; Steiniger, Karl (2014): Zusammenfassung für Entscheidungstragende; In: Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014; APCC; Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften; Wien

Kroiss, Fritz; Waitz, Waltraud (2011): Regenwassermanagement: Rechtliche Grundlagen; MA 22; Stadt Wien,

Kuttler, Wilhelm (1997): Städtische Klimamodifikation; VDI Berichte Nr. 1330, Essen S. 87-108

Kuttler, Wilhelm (2004): Stadtklima, Teil 2: Phänomene und Wirkungen; Umweltchem. Ökotox 16, S. 263-274

Kuttler, Wilhelm (2011): Klimawandel im urbanen Bereich. Teil 1: Wirkungen + Teil 2; Klimawandel im urbanen Bereich. Teil 2: Maßnahmen; Environmental Sciences Europe

Kuttler, Wilhelm (2013): Klimatologie; Schöningh UTB; Paderborn

Lamb, William; Cretzig, Felix; Callaghan, Max; Minx, Jan (2019): Learning about urban climate solutions from case studies; IN: Nature Climate Change 9, S. 279-287

Leconte, Françoise; Bouyer, Julien; Claverie, Remy; Petrissans, Mathieu (2014): Using Local Climate Zone scheme for UHI assessment: Evaluation of the method using mobile measurements; Building and Environment; 1-11

Lehnert, Michal; Tokar, Vladimir; Jurek, Martin; Geletic, Jan (2020): Summer thermal comfrot in Czech cities: measured effects of blue and green features in city centers; In: International Journal of Biometeorology

Livesley, Stephen; McPherson, E; Calfapietra, C (2016): The Urban Forest and Ecosystem Services: Impacts on Urban Water, Heat, and Pollution Cycles at the Tree, Street, and City Scale; In. Journal of Environmental Quality

Locatelli, Bruno (2011): Synergies between mitigation and adaptation in a nutshell; in COBAM

Long, Nathalie; Gardes, Thomas; Hidalgo, Julia; Masson, Valery; Schoetter, Robert (2018): Influence of the urban morphology on the urban heat island intesity; an approach based on the local climate classification

Lotfian, Maryam; Molinari, Monia (2019): The relationship between land surface temperature and local climate zone classification: A case study of the canton Geneva, Switzerland; AGILE 2019

Machác; Jan; Louda, Jiri; Dubová, Lenka (2016): green and ble infrastructure: an opportunity for smart cities; in: smart cities symposium Prague 2016

Malberg, Horst (2007): Meteorologie und Klimatologie; Springer; Berlin, Heidelberg

Marahrens, Stephan; Schmidt, Simone; Frauenstein, Jörg; Mathews, Jeannette; Bussian, Bernd-Michael; Penn-Bressel, Getrude; Utermann, Jens; Glante, Frank (2015): Bodenzustand in Deutschland; Umweltbundesamt; Dessau-Roßlau

Matzarakis, Andreas (2001): Die thermische Komponente des Stadtklimas, Bericht des meteorologischen Institutes der Universität Freiburg Nr. 6, Freiburg

Mell, Ian (2010): Green infrastructure: concepts, perceptios and its use in spatial planning

Michel; Bernhard (2011): Neue Konzepte der kommunalen Wasser-/Abwasser-Infrastruktur; Real Corp 2011 Tagungsband; Essen

Milosevic, Dragan; Savic, Stevan; Markovic, Vladimir; Arsenovic, Daniela; Secerov, Ivan (2016): Outdoor human thermal comfort in local climate zones of Novi Sad (Serbia) during heat wave period; Hungarian geographical bulletin 65

Müller, Nicole; Kuttler, Wilhelm; Barlag, Andreas-Bent (2013): Counteracting urban climate change: adaptation measures and their effect on thermal comfort; Theor Appl Climatol (2014) 115:243–257

Nastran, Mojca; Železnikar, Špela; Pintar, Marina; Kabisch, Nadja (2016): Linkages between ecosystem services, urban green infrastructure and well-being; Green Surge

Naumann, Sandra; Kaphengst, Timo (2015): Erfolgsfaktoren bei der Planung und Umsetzung naturbasierter Ansätze zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel; Bundesamt für Naturschutz; Bonn

Naumann, Sandra; Davis, McKenna; Goeller, Brandon; Gradmann, Albrecht; Mederake, Linda; Stadler, Jutta; Böckmühl, Kathrin (2015b): Ökosystembasierte Ansätze zur Anpassung an den Klimawandel und zum Klimaschutz im deutschsprachigen Raum; Bundesamt für Naturschutz; Bonn

Niehoff, Thomas (2017): Begriffsbestimmung 1: Vulnerabilität, Resilienz & Adaptation: Folien zum: Wahlmodul – Potenziale von Klimaanpassungsstrategien im Kontext des Landnutzungswandels in NRW; Ruhr-Universität Bonn

Oke, Tomothy (1973): City size and the urban heat island; Atmospheric environment pergamon press

Oke, Tomothy (1981): Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations; journal of climatology, Vol. 1

Oke, Timothy; Mills, Gerald; Christen, Andreas; Voogt, James (2017): Urban Climates; Cambridge University Press; Cambridge

ÖNORM B 2506-1: Regenwassersickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen – Anwendung, hydraulische Bemessung, Bau und Betrieb

ÖROK (2011): ÖROK-Empfehlung Nr. 55 „Für eine Stadtregionpolitik in Österreich“

ÖROK (2018): ÖROK-Empfehlung Nr. 57 „Hochwasserrisikomanagement“

ÖKS15 (2015) Klimaszenarien für Österreich, Endbericht

ÖWAV (2003): ÖWAV-Regelblatt 35: Einleitung von Niederschlagswasser in Oberflächengewässer

ÖWAV (2015): ÖWAV-Regelblatt 45: Oberflächenentwässerung durch Versickerung in den Untergrund

Patt, Heinz (2018): Naturnaher Wasserbau, Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern; Springer Vieweg; Wiesbaden

Prutsch Andrea; Felderer, Astrid; Balas, Maria; König, Martin; Clar, Christoph; Steurer, Reinhard (2014): Methoden und Werkzeuge zur Anpassung an den Klimawandel; Umweltbundesamt; Wien

Pucher, Bernhard; Allabashi, Roza; Lukavsky Magdalena; Pressl Alexander; Ertl, Thomas (2018): Dezentrale Versickerung von Straßenabwässern im urbanen/innerstädtischen Raum; In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft: S. 588 – 594

Puliafito, Salvatore; Allende, David (2013): The potential of local climate zones maps as a heat stress assessment tool, supported by simulated air temperature data; Atmospheric and Climate Sciences 3

Pütz, Marco; Kruse, Sylvia (2010): Regional Governance der Klimaanpassung; Wie anpassungsfähig ist die Raumplanung im Alpenraum? In: Tagungsband Forschungsmarkt regionsuisse & Tagung Regionalentwicklung 2010; Hannes Egli (Hrsg) Institut für Betriebs- und Regionalökonomie IBR; Hochschule Luzern

Rienow, Andreas; Valentin, Anke; Thonfeld, Frank (2018): Flächenverbrauch in der Metropolregion Rheinland 1975–2030; Springer Vieweg

Rottenbacher, Christine; Cassidy, Tim (2014): Pilotprojekt Laa an der Thaya; Anpassen ländlicher Siedlungen an den Klimawandel durch das Nutzen von Natursystemleistungen

Schönwiese, Christian-Dietrich (2013): Klimatologie; Ulmer UTB; Stuttgart

Senatsverwaltung Berlin (2010): Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung, Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung

Servillo, Loris; Atkinson, Rob; Smith, Ian; Russo, Antonio; Sykora, Ludek; Demaziere, Christophe; Hamdouch, Abdelillah (2013): TOWN, small and medium sized towns in their functional territorial context, Final Report, Espon, Luxembourg.

Servillo, Loris; Atkinson Rob; Hamdouch, Abdelillah (2017): small and medium-sized towns in Europe: conceptual, methodological and policy issues; Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie –

Sieker; Friedhelm; Kaiser, Mathias; Sieker, Heiko (1996): Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung im privaten, gewerblichen und kommunalen Bereich Grundlagen und Ausführungsbeispiele

Sieker, Heiko (2001): Generelle Planung der Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten; Dissertation, Technische Universität Darmstadt.

Simader, Alexander (2020): Klimawandel-anpassung der Modellregion Unteres Traisental & Fladnitztal; Arbeitsprogramm 2020 bis 2023

Simperler, Lena; Himmelbauer, Paul; Stöglehner, Gernot; Ertl, Thomas (2018): Siedlungs-wasserwirtschaftliche Strukturtypen und ihre Potentiale für die dezentrale Bewirtschaftung von Niederschlagswasser; Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaftsverband; S.595 – 603

Simperler, Lena; Ertl, Thoasm; Matzinger, Andreas (2020): Spatial Compatibility of Implementing Nature-Based Solutions for Reducing Urban Heat Islands and Stormwater Pollution; In: sustainability

Sommer, Jörg; Müller, Michael (2016): Unter 2 Grad? Was der Weltklimavertrag wirklich bringt, Hirzel Verlag; Stuttgart

Spielger, Arthur (1998): Kleinstadt und Landschaft – sieben Thesen; In: Kleinstädte, Motoren im ländlichen Raum; Tagungsband anlässlich des ersten mitteleuropäischen Kleinstadtsymposiums in Murau 1998; Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung

Stadtschreiber (2017): Hitze in der Stadt; Ausrichtung der Planungsinstrumente auf den Umgang mit sommerlicher Hitze; Dissertation; TU Wien

Stadt Wien (2018): Oberflächenentwässerung, Leitfaden für die Bauplanung

Stadt Karlsruhe (2015): Städtebaulicher Rahmenplan Klimaanpassung; Anpassungskomplex Hitze

Statistik austria (2019): Dauersiedlungsraum der Gemeinden, politischen Bezirke, und Bundesländer

Stewart, Ian (2011): Local climate zones: Origins, development, and application to urban heat island studies; Annual Meeting of the American Association of Geographers. Seattle, USA. April 12-16

Stewart, Ian; Oke, Timothy (2012): Local climate zones for urban temperature studies; Bulletin of the American Meteorological Society

Stewart, Ian; Oke, Thimothy; Krayenhoff, Scott (2014): Evaluation of the 'local climate zone' scheme using temperature observations and model simulations; Int. J. Climatol. 34

Stiles, Richard; Gasienica-Wawrytko, Beatrix; Hagen, Katrin; Trimmel, Hubert; Loibl, Wolfgang; Köstl, Massimo; Tötzer, Tanja; Paulet, Stephan; Schirmann, Annike; Feilmayr, Wolfgang (2014): Urban Fabric Types and Microclimate Response - Assessment and Design Improvement.

Sun, Hao; Chen, Yun; Zhan, Wenfeng (2015): Comparing surface- and canopy-layer urban heat islands over Beijing using MODIS data; International Journal of Remote Sensing

Svensson, Marie (2004): Sky view factor analysis – implications für urban air temperatur differences; in Meteorol. Appl. 11, S. 201-211

Theeuwes, Natalie; Steeneveld, Gert-Jan; Ronda, Reinder; Holtslag, Albert (2016): International Journal of climatology

Uhl, Mathias; Henrichs, Malte (2017): Die Stadt als hydrologisches System im Wandel; In: Herausforderung Regenwasser; gwf Praxiswissen; Deutscher Industrieverlag; S. 4-13

Umweltbundesamt (2019): Zwölfter Umweltkontrollbericht. Umweltsituation in Österreich; Umweltbundesamt; Wien

Van Hove, L.W.A.; Steenveld, G.J.; Jacobs, C.M.J.; Heusinkveld, B.G.; Elbers, J.A.; Moors, E.J.; Holtslag, A.A.M. (2011): Exploring the urban heat island intensity of Dutch cities; Wageningen

Verdonck, Marie-Leen; Demuzere, Matthias; Hooyberghs, Hans; Beck, Christoph; Cyrus, Josef; Schneider, Alexander; Dewulf, Robert; Van Coillie, Fieke (2018): The potential of local climate zones maps as a heat stress assessment tool, supported by simulated air temperature data; Landscape and urban planning 178

Weber, Gerlinde (2006): Allgemeine Raumplanung; Institut für Raumplanung und ländliche Neuordnung an der Universität für Bodenkultur, zitiert in: Waigl, Mona (2014): Nachhaltige Sicherung der Freiflächen für den Alltag der Menschen; Masterarbeit am Institut für Landschaftsplanung an der Universität für Bodenkultur

Weber, Nadine (2009): Meso- und mikroskalige Untersuchung der Landoberflächentemperatur von Berlin, Dissertation, Humboldt-Universität Berlin

Wende, Wolfgang; Held, Franz (2011): Stadtstrukturabhängige Ausweisung sensibler Siedlungsräume bei thermischen Belastungen als Grundlage für die künftige Stadtentwicklung; REGKLAM; Dresden

Wende, Wolfgang; Rößler, Stefanie; Krüger, Tobias (2014): Grundlagen für eine klimawandelangepasste Stadt- und Freiraumplanung; Regklam Heft 6; Berlin

Weischet, Wolfgang; Endlicher, Wilfried (2008): Einführung in die allgemeine Klimatologie: Gebrüder Bornträger Verlagsbuchhandlung; Berlin, Stuttgart

Winker, Martina; Deffner, Jutta; Frick-Trzebitzky, Fanny; Schramm, Engelbert (2019): Städtisches Grün unter Druck Potentiale alternativer Wasserquellen für die Anpassung der grünen Infrastruktur an den Klimawandel

Winker, Martina; Schramm, Engelbert; Matzinger, Andreas; Trapp, Jan (2020): Blau-grüne Infrastrukturen; In: Trapp, Jan; Winker, Martina: Blau-grün-graue Infrastrukturen vernetzt planen und umsetzen; Beitrag zur Klimawandelanpassung in Kommunen; Deutsches Institut für Urbanistik; Berlin

Wittenberg, Hartmut (2011): Praktische Hydrologie, Grundlagen und Übungen; Vieweg+Teubner; Wiesbaden

Woods Ballard, B; Udale-Clarke, H; Illman, S; Scott, T; Ashley, R; Kellagher, R (2015) The SuDs Manual, Ciria

Wundsam, Timo; Henninger, Sascha (2015): Leaf-turning tree species and their local climatic impacts on the city; ICUC9 - 9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment

Xu, Lilai; Wang, Xiaoming; Liu, Jiahui; He, Yuanrong; Tang, Jiasong; Nguyen, Minh; Cui, Senghui (2019): Identifying the trade-offs between climate change mitigation and adaptation in urban land use planning: An empirical study in a coastal city; In: Environment International 133

Zahran, Sammy; Brody, Samuel; Vedlitz, Arnold; Grover, Himanshu; Miller, Caitlyn (2008): Vulnerability and capacity: explaining local commitment to climate-change policy; in: Environment and Planning: Government and Policy 2008, volume 26

Zhao, Chunli; Yan, Yan; Wang, Chenxing; Tang, Mingfang; Wu, Gang; Ding, Ding; Song, Yang (2018): Adaptation and mitigation for combating climate change – from single to joint; Ecosystem health and sustainability; S. 85 – 94

Zhou, Bin (2017): on the assessment of surban urban heat island: size, urban form and seasonality, kumulative Dissertation, Universität Potsdam

Zirkler, Eva; Danner, Magdalena; Schelch, Alois; Kasser, Anton (2019): Klimawandel Anpassungskonzept KLAR! Region Amstetten Nord

Zuvela-Aloise, Maja; Koch R.; Bucholz, Saskia; Früh, Barbara (2016): Modelling the potential of green and blue infrastructure to reduce urban heat load in the city of Vienna; In: Climatic Change, S. 425 – 438

Zuvela-Aloise, Maja; Konrad, Andre; Kaltenecker, Ingrid; Lettmayer, Gudrun; Schwaiger, Hannes; Bird, Neil David (2017): Developing effective measures for reduction oft he urban heat island based on urban climate model simulation and stakeholder cooperation; In: Real corp 2017; S. 131 - 137

Zuvela-Aloise, Maja; Andre, Konrad; Schwaiger, Hannes; Neil Bird, David; Gallaun, Heinz (2018): Modelling reduction of urban heat load in Vienna by modifying surface properties of roofs In: Theoretical and Applied Climatology, Springer, Volume 131, S. 1005-1018

# 11 Onlinequellen

- Ages: [www.ages.at/themen/umwelt/informationen-zu-hitze/hitze-mortalitaetsmonitoring/](http://www.ages.at/themen/umwelt/informationen-zu-hitze/hitze-mortalitaetsmonitoring/) (29.02.2020)
- Altlasten: [www.umweltbundesamt.at/altlasten](http://www.umweltbundesamt.at/altlasten) (10.01.2021)
- Atlas Niederösterreich: [www.atlas.noel.gv.at](http://www.atlas.noel.gv.at) (10.01.2021)
- Bodenkarte: [www.bodenkarte.at](http://www.bodenkarte.at) (10.01.2021)
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft:  
[www.bmlrt.gv.at/land/regionalpolitik/Regionalpolitik-allgemein-zustaendigkeiten.html](http://www.bmlrt.gv.at/land/regionalpolitik/Regionalpolitik-allgemein-zustaendigkeiten.html) (15.05.2020)
- climamap: <https://data.ccca.ac.at/group/climamap> (10.1.2021)
- Europäische Kommission: [www.ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris\\_de](http://www.ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_de) (5.1.2020)
- Europäische Kommission 2: [www.ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what\\_de](http://www.ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what_de) (21.4.2020)
- Eurostat 1: [https://ec.europa.eu/eurostat/ramon/miscellaneous/index.cfm?TargetUrl=DSP\\_DEGURBA](https://ec.europa.eu/eurostat/ramon/miscellaneous/index.cfm?TargetUrl=DSP_DEGURBA)
- Eurostat [ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/reference-data/population-distribution-demography/geostat](http://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/reference-data/population-distribution-demography/geostat)  
Bevölkerungsrasterdatensatz
- Meinbezirk.at: [https://www.meinbezirk.at/horn/c-lokales/horn-ist-klima-vorreiter-und-beschliesst-konkreten-massnahmenplan\\_a3689571#gallery=null](https://www.meinbezirk.at/horn/c-lokales/horn-ist-klima-vorreiter-und-beschliesst-konkreten-massnahmenplan_a3689571#gallery=null) (16.02.2021)
- Raumordnung Niederösterreich 1: [www.raumordnung-noe.at/index.php?id=134](http://www.raumordnung-noe.at/index.php?id=134) (26.04.2020)
- Raumordnung Niederösterreich 2: [www.raumordnung-noe.at/index.php?id=25](http://www.raumordnung-noe.at/index.php?id=25) (26.04.2020)
- researchgate.net: [www.researchgate.net/figure/The-different-scales-of-urban-heat-retention-and-the-urban-heat-island-effects-RSL\\_fig2\\_260088235](http://www.researchgate.net/figure/The-different-scales-of-urban-heat-retention-and-the-urban-heat-island-effects-RSL_fig2_260088235) 17.04.2020  
Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (2012): 01.02  
Versiegelung [www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dc102\\_06.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dc102_06.htm) (21.03.2020)
- statistik austria regionale Gliederung:  
[statistik.at/web\\_de/klassifikationen/regionale\\_gliederungen/gemeinden/index.html](http://statistik.at/web_de/klassifikationen/regionale_gliederungen/gemeinden/index.html) (09.03.2020)
- UBA online 2020: [www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/klima/klimawandelanpassung2/](http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/klima/klimawandelanpassung2/) (7.1.2020)
- UBA online 2020b: [www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/anpassung-auf-eu-ebene#strategiepaket-zur-anpassung-an-den-klimawandel](http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/anpassung-auf-eu-ebene#strategiepaket-zur-anpassung-an-den-klimawandel)
- UBA online 2020c: [www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/naturschutz/sg/n2000/](http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/naturschutz/sg/n2000/)
- Umweltgemeinde: <https://www.umweltgemeinde.at/factsheets-klimawandelfolgen-niederosterreich> (29.02.2020)
- zamg 1: [www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimazukunft/europa/lufttemperatur](http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimazukunft/europa/lufttemperatur)  
(29.02.2020)
- zamg (2018): [www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/viertwaermster-sommer-der-messgeschichte](http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/viertwaermster-sommer-der-messgeschichte) (29.02.2020)
- zamg (2019): [www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/zweitwaermster-sommer-der-messgeschichte](http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/zweitwaermster-sommer-der-messgeschichte) online am  
(29.02.2020)
- zamg Alpen: [www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimazukunft/alpenraum/niederschlag](http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimazukunft/alpenraum/niederschlag) (29.02.2020)



# 12 Rechtsquellen und sonstige Quellen

Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisationen (AAEV) online über RIS, am 22.10.2019

BGBl. I Nr.: 111/2013: Nachhaltigkeit, Tierschutz, umfassender Umweltschutz, Sicherstellung der Wasser- und Lebensmittelversorgung und Forschung <https://www.ris.bka.gv.at/eli/bgbl/I/2013/111>

BGBl. III Nr. 89/2005: Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen samt Anlagen <https://www.ris.bka.gv.at/eli/bgbl/III/2005/89>

BVG- Art. 116 (3):

[www.ris.bka.gv.at/NormDokument.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=1000138&Artikel=116&Paragraf=&Anlage=&Uebergangsrecht=](http://www.ris.bka.gv.at/NormDokument.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=1000138&Artikel=116&Paragraf=&Anlage=&Uebergangsrecht=)

LGBL Nr. 64/2015: Regionales Raumordnungsprogramm Wien Umland Nord

[www.ris.bka.gv.at/eli/lgbl/ni/2015/64/20150713?Abfrage=LgblAuth&Lgblnummer=64%2f2015&Bundesland=Nieder%20sterreich&BundeslandDefault=Nieder%20sterreich&FassungVom=&SkipToDocumentPage=True&ResultFunctionToken=b8fd1fc1-8252-4add-80ce-db1a3853eb04](http://www.ris.bka.gv.at/eli/lgbl/ni/2015/64/20150713?Abfrage=LgblAuth&Lgblnummer=64%2f2015&Bundesland=Nieder%20sterreich&BundeslandDefault=Nieder%20sterreich&FassungVom=&SkipToDocumentPage=True&ResultFunctionToken=b8fd1fc1-8252-4add-80ce-db1a3853eb04)

Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisationen (Allgemeine Abwasseremissionsverordnung – AAEV)

## Sonstige Quellen

Bevölkerungszahl nach Gemeinde: [statistik.at](http://statistik.at)

Flächen der Gemeinden:

[http://www.bev.gv.at/portal/page?\\_pageid=713,2601287&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.bev.gv.at/portal/page?_pageid=713,2601287&_dad=portal&_schema=PORTAL)

Geofabrik.de: Shapefiles für Österreich

Wudapt: [wudapt.org/european-lcz-map](http://wudapt.org/european-lcz-map) (20.04.2020)