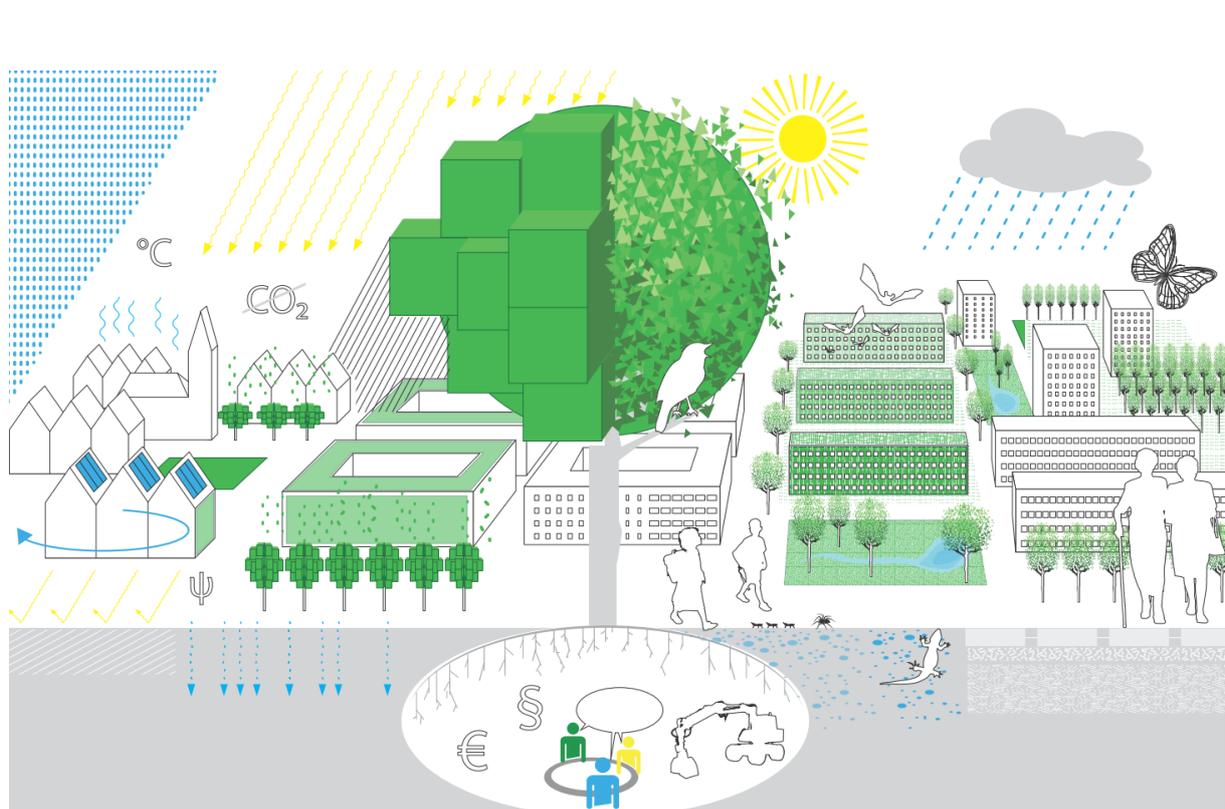


# Zentrum Stadtnatur und Klimaanpassung

## Teilprojekt 1: Klimaschutz und grüne Infrastruktur in der Stadt

### Abschlussbericht



## Impressum

### Herausgeber

Referat „Klimapolitik, Klimaforschung“  
Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz  
Rosenkavalierplatz 2, 81925 München

### Bearbeitung

Technische Universität München

Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen  
Prof. Dr.-Ing. Werner Lang

Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsentwicklung  
Prof. Dr. Stephan Pauleit

Julia Brasche  
Georg Hausladen  
Johannes Maderspacher  
Rupert Schelle  
Teresa Zölch

### Wissenschaftliche Hilfskräfte

Nikolaus Arpé, Farzan Banihashemi, Lucas Dengler, Florian Englberger, Nora Fensch,  
Florian Fischer, Tobias Gaisbüsch, Thomas Gaiser, Lena Kruse, Timo Limmer,  
Thomas Ramsauer, Christian Vötter, Robert Wager, Michaela Weinberger

Besonderer Dank gilt den VertreterInnen der Partnerstädte München und Würzburg  
für ihren wertvollen Input während der Projektlaufzeit.

## Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| Impressum.....  | 2         |
| Inhaltsverzeichnis.....                               | 3         |
| Zusammenfassung.....                                  | 7         |
| Abbildungsverzeichnis .....                           | 10        |
| Tabellenverzeichnis.....                              | 13        |
| Abkürzungsverzeichnis.....                            | 15        |
| <b>1. Einleitung.....</b>                             | <b>16</b> |
| 1.1 Problemstellung.....                              | 16        |
| 1.2 Zielsetzung .....                                 | 18        |
| 1.3 Voraussetzungen .....                             | 19        |
| <b>2. Planung und Ablauf der Arbeiten .....</b>       | <b>20</b> |
| <b>3. Grundlagen .....</b>                            | <b>22</b> |
| 3.1 Klimawandelauswirkungen .....                     | 22        |
| 3.1.1 Einleitung .....                                | 22        |
| 3.1.2 Methoden.....                                   | 24        |
| 3.1.3 Resultate und Bewertung .....                   | 25        |
| 3.1.4 Schlussfolgerung.....                           | 26        |
| 3.2 Vulnerabilität .....                              | 27        |
| 3.2.1 Hohe urbane Versiegelung .....                  | 27        |
| 3.2.2 Einflussfaktoren auf die Vulnerabilität.....    | 29        |
| 3.2.3 Physikalische Effekte.....                      | 30        |
| 3.2.4 Wärmespeicherung .....                          | 30        |
| 3.2.5 Einwohnerdichte und anthropogener Beitrag ..... | 31        |
| 3.2.6 Schlussfolgerungen.....                         | 32        |
| 3.3 Siedlungstypen .....                              | 33        |
| 3.3.1 Siedlungstypen in Bayern und Deutschland .....  | 33        |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.3.2 Auswahl der Quartiere nach Siedlungstypen .....   | 36        |
| 3.3.3 Auswahl der Modellbereiche nach Siedlungstypen .....  | 39        |
| <b>4. Bearbeitung der Fallstudien .....</b>   | <b>43</b> |
| 4.1 Energieeffizienz unter Einfluss des Klimawandels .....  | 43        |
| 4.1.1 Zusammenstellung der Gesamtproblematik und bisher bekannt gewordener<br>Ergebnisse auf dem Gebiet der Aufgabenstellung .....        | 43        |
| 4.1.2 Angewandte wissenschaftliche und technische Methoden .....  | 44        |
| 4.1.3 Während der Durchführung des Vorhabens der Universität bekannt gewordene<br>Fortschritte auf diesem Gebiet bei anderen Stellen..... | 49        |
| 4.1.4 Darstellung und Bewertung der erzielten Ergebnisse und ihrer praktischen<br>Anwendbarkeit .....                                     | 50        |
| 4.1.5 Schlussfolgerung und Zusammenfassung.....   | 57        |
| 4.2 Urbane Klimaregulation durch grüne Infrastruktur .....  | 59        |
| 4.2.1 Zusammenstellung der Gesamtproblematik und bisher bekannt gewordener<br>Ergebnisse auf dem Gebiet der Aufgabenstellung .....        | 59        |
| 4.2.2 Angewandte wissenschaftliche und technische Methoden .....  | 61        |
| 4.2.3 Während der Durchführung des Vorhabens der Universität bekannt gewordene<br>Fortschritte auf diesem Gebiet bei anderen Stellen..... | 66        |
| 4.2.4 Darstellung und Bewertung der erzielten Ergebnisse und ihrer praktischen<br>Anwendbarkeit .....                                     | 67        |
| 4.2.5 Schlussfolgerung und Zusammenfassung.....   | 73        |
| 4.3 Modellkopplung Gebäudesimulation und Mikroklimasimulation .....   | 76        |
| 4.3.1 Zusammenstellung der Gesamtproblematik und bisher bekannt gewordener<br>Ergebnisse auf dem Gebiet der Aufgabenstellung .....        | 76        |
| 4.3.2 Angewandte wissenschaftliche und technische Methoden .....  | 77        |
| 4.3.3 Darstellung und Bewertung der erzielten Ergebnisse und ihrer praktischen<br>Anwendbarkeit .....                                     | 79        |
| 4.3.4 Schlussfolgerung und Zusammenfassung.....   | 83        |
| 4.4 Biodiversität und Freiraum .....  | 84        |
| 4.4.1 Zusammenstellung der Gesamtproblematik und bisher bekannt gewordener<br>Ergebnisse auf dem Gebiet der Aufgabenstellung .....        | 84        |

|  |            |
|--|------------|
| 4.4.2 Angewandte wissenschaftliche und technische Methoden .....   | 85         |
| 4.4.3 Recherche zu den Potentialen der ausgewählten Klimaschutz- und<br>Klimaanpassungsmaßnahmen für die Gestaltung urbaner Lebensräume..... | 86         |
| 4.4.4 Während der Durchführung des Vorhabens der Universität bekannt gewordene<br>Fortschritte auf diesem Gebiet bei anderen Stellen.....    | 88         |
| 4.4.5 Darstellung und Bewertung der erzielten Ergebnisse und ihrer praktischen<br>Anwendbarkeit .....  | 89         |
| Integrative Betrachtung am Entwurf für Maxvorstadt .....   | 101        |
| Integrative Betrachtung am Entwurf für Neuaubing.....  | 113        |
| Integrative Betrachtung am Entwurf für Heidingsfeld .....  | 125        |
| 4.4.6 Schlussfolgerung und Zusammenfassung.....  | 129        |
| 4.5 Umsetzung in die Stadtplanung.....   | 131        |
| 4.5.1 Zusammenstellung der Gesamtproblematik und bisher bekannt gewordener<br>Ergebnisse auf dem Gebiet der Aufgabenstellung .....           | 131        |
| 4.5.2 Angewandte wissenschaftliche und technische Methoden .....   | 132        |
| 4.5.3 Während der Durchführung des Vorhabens der Universität bekannt gewordene<br>Fortschritte auf diesem Gebiet bei anderen Stellen.....    | 133        |
| 4.5.4 Darstellung und Bewertung der erzielten Ergebnisse und ihrer praktischen<br>Anwendbarkeit .....  | 136        |
| 4.5.5 Schlussfolgerung und Zusammenfassung.....  | 144        |
| <b>5. Übertragbarkeit der Ergebnisse .....</b>   | <b>146</b> |
| 5.1 Vorgehensweise.....  | 146        |
| 5.2 Untersuchungsgebiet.....   | 147        |
| 5.3 Datengrundlage .....   | 148        |
| 5.4 Kartierung von Siedlungstypen .....  | 148        |
| 5.5 Ergebnisse.....  | 150        |
| <b>6. Wissensverbreitung.....</b>  | <b>156</b> |
| <b>7. Ausblick.....</b>  | <b>158</b> |
| <b>Referenzen .....</b>  | <b>161</b> |
| <b>Glossar .....</b>   | <b>173</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Anhang .....</b>                                       | <b>179</b> |
| A. Planung und Ablauf der Arbeiten .....                  | 179        |
| B. Klimawandelauswirkungen .....                          | 184        |
| C. Siedlungstypen .....                                   | 186        |
| D. Energieeffizienz unter Einfluss des Klimawandels.....  | 188        |
| E. Urbane Klimaregulation durch grüne Infrastruktur ..... | 194        |
| F. Biodiversität und Freiraum.....                        | 202        |
| G. Wissensverbreitung.....                                | 226        |

## Zusammenfassung

Bayerische Städte sind vom Klimawandel betroffen. Deshalb sind zielgerichtete Strategien sowohl zur Minderung der Treibhausgasemissionen als auch zur Anpassung an die klimatischen Veränderungen nötig. Diese Ansätze wurden bisher sowohl in der Forschung als auch in der Praxis meist separat behandelt. Um Synergiepotentiale in der kommunalen Planung nutzbar zu machen, ist es wichtig, die Ansätze zu integrieren und Mehrfachnutzungen bei der Umsetzung von Maßnahmen zu ermöglichen. Grüne Maßnahmen, welche die Potentiale der Stadtnatur nutzen, werden dafür als besonders geeignet angesehen. Das vorliegende Forschungsvorhaben hat vor diesem Hintergrund einen Betrachtungsansatz entwickelt, welcher Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen mit Aktivitäten zur Erhöhung der Freiraumqualität und der Biodiversität integriert. Im Fokus der Untersuchung stehen Begrünungsmaßnahmen, welche durch ihre Multifunktionalität mehrere Leistungen gleichzeitig bereitstellen können. Die Umsetzungsmöglichkeiten dieser Maßnahmen in der Stadtplanung sind ein weiteres Forschungsthema. Als Ergebnis des Forschungsvorhabens werden Handlungsempfehlungen für bayerische Kommunen abgeleitet.

Die Untersuchungen fokussieren auf Quartiere, die besonders relevant sind für die Umsetzung von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen. Diese finden sich in den beiden Partnerstädten München und Würzburg. Die Auswertungen von zukünftigen Szenarien, berechnet mit dem regionalen Klimamodell REMO, zeigen deutlich, dass die die Anzahl an heißen Tagen, Tropennächten und Starkregenereignissen in beiden Partnerstädten deutlich zunimmt. Diese Folgen des Klimawandels betreffen insbesondere dicht bebaute Stadtgebiete mit hohem Versiegelungsgrad. Die integrative Betrachtung wurde daher für drei besonders betroffene Siedlungstypen angewandt: Blockbebauung, Zeilenbebauung und historischer Stadtkern. Typische Vertreter dafür fanden sich in den Quartieren Maxvorstadt und Neuaubing in München und Heidingsfeld in Würzburg. In den meisten bayerischen Großstädten kommen die genannten Siedlungstypen vor. So können die Projektergebnisse und Handlungsempfehlungen auch auf diese Städte übertragen werden. Zunächst wurden innerhalb der vier Themenfelder Klimaschutz, Klimaanpassung, Freiraumqualität und Biodiversität detaillierte Untersuchungen durchgeführt und die daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen in einem integrativen Entwurfsszenario für jeden Siedlungstypen zusammengeführt. Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Umsetzung wurden untersucht und diskutiert.

Der Klimawandel führt bis zum Ende des Jahrhunderts in den Gebäuden aller Siedlungstypen im Jahressgang zu einem Rückgang des Heizwärmebedarfs und einem Anstieg des potenziellen Kühlbedarfs. Für die Erreichung der bayerischen Klimaschutzziele bleibt die energetische Sanierung, z.B. der Gebäudehülle, dennoch notwendig.

Für die Klimaanpassung der aktuellen Sanierungskonzepte durch passive Maßnahmen zeigt die Kombination außenliegender Sonnenschutz und automatisierte natürliche Lüftung das größte Potenzial für eine Reduktion eines potenziellen Kühlbedarfs im Wohnbereich.

Da es durch den Klimawandel zu extremem Hitzestress sowie zu einer Zunahme des Oberflächenabflusses bei Starkregenereignissen im Stadtgebiet kommt, ist im Außenraum die Umsetzung von wirksamen Klimaanpassungsmaßnahmen dringend notwendig. Urbane grüne Infrastruktur in Form von Baumpflanzungen, Dach- und Fassadenbegrünung trägt positiv zur Anpassung an diese klimatischen Extremereignisse bei. Für die Hitzeregulation in der Stadt durch Vegetation sind in erster Linie Verschattung und Evapotranspiration wichtig. Begrünungsmaßnahmen sollten in diesem Fall v.a. in stark sonnenexponierten Bereichen umgesetzt werden. Für die Starkregenregulation kommt es v.a. auf die Bereitstellung zusätzlicher Retentionsflächen an.

Begrünungsmaßnahmen haben neben ihrer primären Funktion für Klimaschutz- und Anpassung große Potentiale, die Qualität der Stadt als Lebensraum zu steigern. Die Betrachtung städtischer Freiräume und Biotope als von Menschen, Tieren und Pflanzen gemeinsam genutzte urbane Lebensräume, eröffnet neue Potentiale für die Gestaltung von Stadtquartieren. Dabei ist zu beachten, dass attraktive Lebensräume aus der Symbiose von grauen und grünen Strukturen (bebaute und bepflanzte Umwelt) entstehen. Aus dieser Überlagerung resultieren Mosaik aus verschiedensten Bereichen, in denen eine Koexistenz vielfältiger Pflanzen- und Tierarten mit Nutzungsmöglichkeiten für den Menschen möglich ist. Diese Bereiche müssen mithilfe grüner Infrastrukturen miteinander vernetzt werden, um eine gute Erreichbarkeit gewährleisten zu können.

In den Entwurfsszenarien für die jeweiligen Siedlungstypen werden die unterschiedlichen Aspekte (Klimaschutz, Klimaanpassung, Arten- und Biotopschutz, Umsetzbarkeit) in ihrer räumlichen Wirkung kombiniert. Dadurch werden Synergien und Konflikte dargestellt und in ein funktionsfähiges räumliches Konzept integriert werden:

- Für die Blockbebauung war das Ziel, die Quartiere dieses Siedlungstyps mit Begrünungsmaßnahmen zu einem Teppich aus begrünten Hinterhöfen und einem Netz lebendiger Straßen zu verweben.
- In der Zeilenbebauung konnte das Spektrum an unterschiedlichen Lebensräumen durch die Differenzierung bestehender Grünflächen und die Kombination mit neuen Begrünungsmaßnahmen erweitert werden.
- Im historischen Stadtkern galt es, die Qualitäten aus Architektur und Grünräumen außerhalb der Stadtmauern zu erhalten und mit traditionellen Formen der Begrünung in den Hinterhöfen und engen öffentlichen Räumen zu vernetzen.

Für alle Entwurfsszenarien wurde modellhaft gezeigt, dass die Umgestaltung mit Begrünungsmaßnahmen die thermische Belastung im Vergleich zur aktuellen Begrünungssituation verbessert.

Zum Erreichen klimapolitischer Ziele müssen alle Bereiche der Stadtentwicklung betrachtet werden. Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen sind nicht als neues Thema in der Stadtplanung zu platzieren, sondern sind vielmehr in bestehende Aufgaben und Verfahren zu integrieren, um in Entscheidungsprozessen „automatisch“ mitgedacht zu werden. Begrünungsmaßnahmen stellen gute Lösungsansätze dar, stehen aber gerade in wachsenden Städten in Konkurrenz zu weiteren Flächenansprüchen, allen voran dem Wohnungsbau.

Wichtig sind vor diesem Hintergrund die sog. „no-regret“ bzw. „low-regret“ Maßnahmen, die aus anderen Gründen durchgeführt werden, aber einen Mehrwert für Klimaschutz- bzw. Anpassung aufweisen und somit keinesfalls „umsonst“ realisiert werden. Weiterhin ist es wichtig, kommunale Vertreter sowie die Öffentlichkeit für die komplexe Thematik zu sensibilisieren und einfache Lösungen vorzuschlagen. Die vorgestellten Forschungsergebnisse für die Siedlungstypen dienen hierfür als Argumentationsgrundlage und liefern praxisnahe Umsetzungsvorschläge.

Die Erkenntnisse aus den vorgestellten Untersuchungen fließen in einen Leitfaden ein, der kommunalen Entscheidungsträgern und Planern hilft, eine Priorisierung von Handlungsoptionen vorzunehmen. Diese Handlungsoptionen leiten sich aus der integrativen Betrachtung der Herausforderung Klimawandel durch die Bereiche Klimaschutz, Klimaanpassung, Freiraumqualität, Biodiversität und Umsetzung in der Stadtplanung ab. Es zeigte sich jedoch, dass die größte Herausforderung darin besteht, mit den Flächenkonkurrenzen in wachsenden Städten umzugehen. Hier besteht weiterhin großer Forschungsbedarf, wie die stark limitierten städtischen Freiräume für entweder Nachverdichtung oder den Erhalt und die Erweiterung von Grünflächen geplant und genutzt werden müssen. Bei bisherigen Nachverdichtungsprojekten wurden Klimaanpassungsaspekte oft außer Acht gelassen, zukünftige Forschungsvorhaben sollten daher Möglichkeiten zur klimaresilienten Nachverdichtung z.B. durch Begrünungsmaßnahmen untersuchen.

## Abbildungsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 1: Strategisches Vorgehen zur Generierung der Ergebnisse in Arbeitspaket 2 .....        | 21 |
| Abbildung 2: Mittlere jährlichen Lufttemperaturen in Bayern aus der Periode 1971 bis 2000 .....   | 23 |
| Abbildung 3 : Gitterpunkte des REMO Modells für die Regionen München und Würzburg .....           | 24 |
| Abbildung 4: Jahresmitteltemperaturen für die Regionen München und Würzburg Szenario A1B .....    | 25 |
| Abbildung 5: Charakteristika der Siedlungstypen.....  | 34 |
| Abbildung 6: Grünanteil je Straßenblock in München Maxvorstadt .....                              | 37 |
| Abbildung 7: Siedlungstypen Blockbebauung, Zeilenbebauung und historischer Stadtkern .....        | 38 |
| Abbildung 8: Perspektive auf den Straßenzug der Blockbebauung (Foto: ZSK TP1) .....               | 39 |
| Abbildung 9: Perspektive auf den Hinterhof der Blockbebauung (Foto: ZSK TP1) .....                | 39 |
| Abbildung 10: Perspektive in den Straßenraum der Zeilenbebauung (Foto: ZSK TP1) .....             | 40 |
| Abbildung 11: Der Modellbereich der Zeilenbebauung von oben (Foto: ZSK TP1) .....                 | 40 |
| Abbildung 12: Perspektive in den Innenhof des historischen Stadtkerns (Foto: ZSK TP1) .....       | 41 |
| Abbildung 13: Perspektive in den Straßenraum des historischen Stadtkerns (Foto: ZSK TP1).....     | 41 |
| Abbildung 14: Einteilung der Klimaprojektion für die Regionen München und Würzburg .....          | 44 |
| Abbildung 15: Repräsentative Gebäudetypen für die unterschiedlichen Modellbereiche .....          | 46 |
| Abbildung 16: Reduktion des Heizwärmebedarfs für den Modellbereich Blockbebauung .....            | 50 |
| Abbildung 17: Entwicklung des Heiz-, Kühlbedarfs und der Treibhausgas-Emissionen .....            | 51 |
| Abbildung 18: Vergleich von Klimaanpassungsmaßnahmen für das Szenario EnEV in Periode 4 .....     | 52 |
| Abbildung 19: Reduktion des Heizwärmebedarfs im Modellbereich Zeilenbebauung.....                 | 52 |
| Abbildung 20: Entwicklung des Heiz-, Kühlbedarfs sowie der Treibhausgas-Emissionen .....          | 53 |
| Abbildung 21: Vergleich von Klimaanpassungsmaßnahmen für das Szenario EnEV in Periode 4 .....     | 54 |
| Abbildung 22: Reduktion des Heizwärmebedarfs im Modellbereich historischer Stadtkern .....        | 55 |
| Abbildung 23: Entwicklung des Heiz-, Kühlbedarfs sowie der Treibhausgas-Emissionen .....          | 56 |
| Abbildung 24: Vergleich von Klimaanpassungsmaßnahmen für das Szenario EnEV in Periode 4 .....     | 56 |
| Abbildung 25: Begrünungsszenarien: verschiedene Begrünungsarten und Quantitäten.....              | 65 |
| Abbildung 26: Thermische Belastung in den drei Fallstudiengebieten.....                           | 68 |
| Abbildung 27: Regulierende Wirkung der bestehenden Vegetation auf die Hitzebelastung .....        | 69 |
| Abbildung 28: PET Werte unter heutigen und zukünftigen Klimabedingungen.....                      | 71 |
| Abbildung 29: Oberflächenabfluss in m3 unter heutigen Klimabedingungen .....                      | 73 |
| Abbildung 30: Kopplung von ENVI-met und der Gebäudesimulation über Typtage.....                   | 77 |
| Abbildung 31: Vergleich einer Jahressimulation mit Typtagen (Clusteranalyse) .....                | 79 |
| Abbildung 32: Einfluss der Begrünungsmaßnahmen auf Nutzenergieverbrauch des Eckgebäudes...        | 81 |
| Abbildung 33: Differenz des Nutzenergiebedarfs gegenüber dem Referenzszenario „Ref“ .....         | 81 |
| Abbildung 34: Differenz der Treibhausgas-Emissionen gegenüber dem Referenzszenario „Ref“ .....    | 82 |
| Abbildung 35: Darstellung der Vorgehensweise im Arbeitspaket Biodiversität und Freiraumqualität . | 86 |

|  |     |
|--|-----|
| Abbildung 36: Verschattungsstudien für den 21.Juni und 21.September zwischen 9 und 18 Uhr.....   | 96  |
| Abbildung 37: Null-Szenario ohne jegliche Begrünung für Straßenraum und Innenhof.....  | 97  |
| Abbildung 38: Szenario flächendeckende Baumpflanzung für Straßenraum und Innenhof.....   | 97  |
| Abbildung 39: Szenario flächendeckende Fassadenbegrünung im Straßenraum und Innenhof .....   | 97  |
| Abbildung 40: Szenario flächendeckende Dachbegrünung im Straßenraum und Innenhof .....   | 98  |
| Abbildung 41: Verteilung grauer und grüner Elemente in der Blockbebauung .....   | 98  |
| Abbildung 42: Lebensraum-Mosaik der Blockbebauung .....  | 99  |
| Abbildung 43: Vernetzungsstruktur in der Blockbebauung .....   | 100 |
| Abbildung 44: Verortung der Maßnahmen im Grundriss im Siedlungstyp Blockbebauung .....   | 101 |
| Abbildung 45: Verortung von Maßnahmen .....  | 102 |
| Abbildung 46: Schemaschnitt durch den Innenhof.....  | 104 |
| Abbildung 47: Oben: Die thermische Belastung in der Blockbebauung mit aktueller Begrünung (links) und im Entwurfsszenario (rechts) unter heutigen Klimabedingungen, um 15 Uhr eines Hitzetages in 1,4 m Höhe. Unten: Schnitt durch den Hinterhof der Blockbebauung bei $y= 81$ m, um 15 Uhr eines Hitzetages.....      | 106 |
| Abbildung 48: Verschattungsstudien für den 21.Juni und 21.September zwischen 9 und 18 Uhr....  | 108 |
| Abbildung 49: Null-Szenario ohne jegliche Begrünung für Straßenraum und Innenhof.....  | 109 |
| Abbildung 50: Szenario flächendeckende Baumpflanzung für Straßenraum und Innenhof.....   | 110 |
| Abbildung 51: Szenario flächendeckende Baumpflanzung für Straßenraum und Innenhof.....   | 110 |
| Abbildung 52: Szenario flächendeckende Dachbegrünung im Straßenraum und Innenhof .....   | 111 |
| Abbildung 53: Verteilung grauer und grüner Elemente in der Zeilenbebauung.....   | 111 |
| Abbildung 54: Lebensraum-Mosaik der Zeilenbebauung.....  | 112 |
| Abbildung 55: Vernetzungsstruktur in der Zeilenbebauung.....   | 112 |
| Abbildung 56: Verortung der Maßnahmen im Grundriss des Siedlungstyps Zeilenbebauung .....  | 113 |
| Abbildung 57: Verortung der Maßnahmen im Schemaschnitt durch den Straßenraum .....   | 114 |
| Abbildung 58: Schemaschnitt durch die Freiräume zwischen den Gebäuden.....   | 116 |
| Abbildung 59: Oben: Die thermische Belastung in der Zeilenbebauung mit aktueller Begrünung (links) und im Entwurfsszenario (rechts) unter heutigen Klimabedingungen, um 15 Uhr eines Hitzetages in 1,4 m Höhe. Unten: Schnitt entlang der Nordseite der Zeilenbebauung bei $y= 140$ m, um 15 Uhr eines Hitzetages..... | 118 |
| Abbildung 60: Verschattungsstudien für den 21.Juni und 21.September zwischen 9 und 18 Uhr....  | 120 |
| Abbildung 61: Null-Szenario ohne jegliche Begrünung für Straßenraum und Innenhof.....  | 121 |
| Abbildung 62: Szenario flächendeckende Baumpflanzung für Straßenraum und Innenhof.....   | 122 |
| Abbildung 63: Szenario flächendeckende Fassadenbegrünung im Straßenraum und Innenhof .....   | 122 |
| Abbildung 64: Szenario flächendeckende Dachbegrünung im Straßenraum und Innenhof .....   | 122 |
| Abbildung 65: Verteilung grauer und grüner Elemente im historischen Stadtkern.....   | 123 |
| Abbildung 66: Lebensraum-Mosaik des historischen Stadtkerns .....  | 123 |

|   |     |
|---|-----|
| Abbildung 67: Vernetzungsstruktur im historischen Stadtkern .....   | 124 |
| Abbildung 68: Verortung der Maßnahmen im Grundriss des Siedlungstyps historischer Stadtkern .   | 125 |
| Abbildung 69: Verortung der Maßnahmen in Schemaschnitten durch die verschiedenen<br>Straßenräume .....  | 126 |
| Abbildung 70: Schemaschnitte durch einen Platz und den Stadtbach .....  | 126 |
| Abbildung 71: Schemaschnitt durch die Hinterhöfe eines Straßenblocks .....  | 128 |
| Abbildung 72: Oben: Die thermische Belastung im historischen Stadtkern mit aktueller Begrünung<br>(links) und im Entwurfsszenario (rechts) unter heutigen Klimabedingungen, um 15 Uhr eines<br>Hitzetages in 1,4 m Höhe. Unten: Schnitt durch die Ost-West ausgerichtete Straße und den Pfarrhof<br>bei y= 129m, um 15 Uhr eines Hitzetages. .... | 129 |
| Abbildung 73: Zusammenhängen zwischen Klimawandel und Stadtentwicklung .....  | 140 |
| Abbildung 74: Flächenzusammensetzung im ST Blockrandbebauung .....  | 151 |
| Abbildung 75: Flächenzusammensetzung von Wohnblöcken mit Siedlungstyp Zeilenbebauung .....  | 153 |
| Abbildung 76: Flächenzusammensetzung im ST Historische Altstadtbebauung .....   | 154 |
| Abbildung 77: Entwicklung der Jahresmitteltemperatur der Regionen München und Würzburg in den<br>Szenarien A2, A1B und B1 .....   | 184 |
| Abbildung 78: Entwicklung der Anzahl von „Heißen Tagen“ über die Perioden auf Basis der Szenarien<br>B1, A1B und A2 für die Region München und Würzburg .....   | 184 |
| Abbildung 79: Entwicklung der Anzahl von „Tropennächten“ über die Perioden auf Basis der<br>Szenarien B1, A1B und A2 für die Region München und Würzburg .....  | 185 |
| Abbildung 80: Entwicklung der Anzahl von „Frosttagen“ über die Perioden auf Basis der Szenarien<br>B1, A1B und A2 für die Region München und Würzburg .....   | 185 |
| Abbildung 81: Methodisches Vorgehen zur Auswahl der Modellbereiche am Beispiel der<br>Blockbebauung .....   | 186 |
| Abbildung 82: Grünstrukturen und potentielle Dachflächen zur Begrünung in den drei<br>Modellbereichen .....   | 187 |
| Abbildung 83: Grünszenarien in der Blockbebauung .....  | 196 |
| Abbildung 84: Grünszenarien in der Zeilenbebauung .....   | 197 |
| Abbildung 85: Grünszenarien im historischen Stadtkern.....  | 198 |

## Tabellenverzeichnis

|   |     |
|---|-----|
| Tabelle 1: Durchschnittliche Anzahl von Kenntagen pro Jahr in den Perioden 1 bis 4 für das Szenario A1B in der Region München .....                               | 26  |
| Tabelle 2: Durchschnittliche Anzahl von Kenntagen pro Jahr in den Perioden 1 bis 4 für das Szenario A1B in der Region Würzburg.....                               | 26  |
| Tabelle 3: Kennzeichnung von Indikatoren mit Raumbezug auf Wohnblockebene .....   | 29  |
| Tabelle 4: Siedlungstypen .....   | 35  |
| Tabelle 5: Verteilung der Siedlungstypen in deutschen Städten .....   | 36  |
| Tabelle 6: Wichtigste Merkmale der gewählten Modellbereiche zu Block-, Zeilenbebauung und historischem Stadtkern .....  | 42  |
| Tabelle 7: Kennwerte für die Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle .....  | 46  |
| Tabelle 8: Kennwerte der Sanierungsszenarien für die Gebäudetechnik .....   | 47  |
| Tabelle 9: Maßnahmenkombinationen für die Klimawandelanpassung von Sanierungskonzepten ....   | 48  |
| Tabelle 10: Übersicht über den Aufbau der drei Modellbereiche in ENVI-met.....  | 62  |
| Tabelle 11: Thermisches Empfinden nach Physiologisch Äquivalenter Temperatur (PET) .....  | 63  |
| Tabelle 12: Die ausgewählten Starkregenereignisse für die Modellierung .....  | 64  |
| Tabelle 13: Relative Änderung der durchschnittlichen thermischen Belastung um 15 Uhr in 1,4 m Höhe verglichen mit dem Bestandsszenario unter heutigem Klima ..... | 70  |
| Tabelle 14: Übersicht über die LAD und BAD Werte für alle Vegetationsklassen .....  | 78  |
| Tabelle 15: Typtage aktuelle Klimaperiode (Wetterdaten LMU) .....   | 79  |
| Tabelle 16: Typtage für die zukünftige Klimaperiode (Klimaprojektionen aus REMO) .....  | 80  |
| Tabelle 17: Übersicht über aktuelle Arbeiten und Vorhaben .....   | 136 |
| Tabelle 18: Einwohnerzahlen bayerischer Großstädte Stand 2015 .....   | 148 |
| Tabelle 19: Kennwerte Siedlungstypologie .....  | 149 |
| Tabelle 20: Abgeschlossene Studienarbeiten (Stand Juli 2017).....   | 183 |
| Tabelle 21: Materialisierung der Außenwand Bestand .....  | 188 |
| Tabelle 22: Materialisierung der Außenwand EnEV .....   | 188 |
| Tabelle 23: Materialisierung der Außenwand EnEVPlus .....   | 188 |
| Tabelle 24: Materialisierung der Innenwand Bestand, EnEV und EnEVPlus .....   | 189 |
| Tabelle 25: Materialisierung der Zwischendecke Bestand, EnEV und EnEVPlus .....   | 189 |
| Tabelle 26: Materialisierung der Dachkonstruktion Bestand.....  | 189 |
| Tabelle 27: Materialisierung der Dachkonstruktion EnEV .....  | 189 |
| Tabelle 28: Materialisierung der Dachkonstruktion EnEVPlus.....   | 190 |
| Tabelle 29: Materialisierung Bodenplatte Bestand.....   | 190 |
| Tabelle 30: Materialisierung Bodenplatte EnEV .....   | 190 |
| Tabelle 31: Materialisierung Bodenplatte EnEVPlus.....  | 190 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabelle 32: Materialisierung der Fenster.....   | 191 |
| Tabelle 33: Zusammenfassung der Wärmedurchgangskoeffizienten.....   | 191 |
| Tabelle 34: Randbedingungen für die Simulation.....   | 191 |
| Tabelle 35: Randbedingungen gemäß der Normung DIN 4108-2: 2013-02.....  | 192 |
| Tabelle 36: Randbedingungen für die Fensterlüftung.....   | 192 |
| Tabelle 37: Vergleich der Siedlungstypen Anhand des Heiz- und Kühlbedarfs.....  | 193 |
| Tabelle 38: Vergleich der Siedlungstypen Anhand der Treibhausgas-Emissionen.....  | 193 |
| Tabelle 39: Einfluss der Klimaanpassungsmaßnahmen auf den Heiz- und Kühlbedarf für das Szenario EnEV in Periode 4.....                    | 193 |
| Tabelle 40: Einfluss der Klimaanpassungsmaßnahmen auf die Treibhausgas-Emissionen für das Szenario EnEV in Periode 4.....                 | 194 |
| Tabelle 41: Meteorologische Eingangsdaten in ENVI-met.....  | 194 |
| Tabelle 42: Charakteristika der Vegetationsklassen in ENVI-met und MIKE SHE.....  | 195 |
| Tabelle 43: Durchschnittlicher PET (°C) in 1,4 m um 15 Uhr und relative Änderung ( %) verglichen mit Szenario B unter heutigem Klima..... | 199 |
| Tabelle 44: Wasserbilanz des 2 jährigen Starkregenereignisses.....  | 200 |
| Tabelle 45: Wasserbilanz des 5 jährigen Starkregenereignisses.....  | 201 |
| Tabelle 46: Straßenbaumtauglichkeit, Klimaangepasstheit und faunistischer Wert von Gehölzen ...   | 220 |
| Tabelle 47: Standortansprüche und faunistischer Wert von gängigen Kletterpflanzen.....  | 225 |
| Tabelle 48: Übersicht über alle Veröffentlichungen des TP1 (Stand Juli 2017).....   | 227 |

## Abkürzungsverzeichnis

|         |  |
|---------|--|
| A1B     | Ausbalanciertes Klimaszenario des IPCC   |
| BauGB   | Baugesetzbuch  |
| BMBF    | Bundesministerium für Bildung und Forschung                                      |
| BBSR    | Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung                                |
| BMUB    | Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit             |
| BMZ     | Baumassezahl   |
| DAS     | Deutsche Anpassungsstrategie   |
| EnEV    | Energieeinsparverordnung   |
| ET0     | Potentielle Evapotranspiration   |
| GFZ     | Geschossflächenzahl  |
| GG      | Grundgesetz  |
| GRZ     | Grundflächenzahl   |
| g-Wert  | Gesamtenergiedurchlassgrad   |
| HCU     | HafenCity Universität  |
| IDA-ICE | IDA Indoor Climate and Energy  |
| IPCC    | Intergovernmental Panel on Climate Change  |
| LAD     | Leaf Area Density  |
| LAI     | Leaf Area Index  |
| LMU     | Ludwig-Maximilians-Universität   |
| NKI     | Nationale Klimaschutzinitiative  |
| PET     | Physiologisch Äquivalente Temperatur   |
| REMO    | REgionales MOdell  |
| StMUUV  | Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz                   |
| StMWI   | Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie |
| TP      | Teilprojekt  |
| UGI     | Urbane grüne Infrastrukturen   |
| U-Wert  | Wärmedurchgangskoeffizient   |

# 1. Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Die 21. UN-Klimakonferenz (Conference of the Parties, COP) im November 2015 in Paris wird als „historisches Ereignis“, als „Paradigmenwechsel“ und als „Zeitenwende“ gefeiert (Neue Zürcher Zeitung, 2015; Süddeutsche Zeitung, 2015; Zeit online, 2015). Zum ersten Mal ist ein völkerrechtlich bindender Vertrag zur Verminderung der Treibhausgasemissionen von 195 Staaten beschlossen worden. Nun gilt es diese Ziele umzusetzen wofür effiziente Strategien und Maßnahmen benötigt werden. Bemerkenswert ist am Paris-Abkommen, dass neben den Klimaschutzvereinbarungen erstmals auch der Klimawandelanpassung eine bedeutende Rolle zugekommen ist.

Doch selbst wenn die Dekarbonisierung konsequent vorangetrieben wird, sind Anpassungsstrategien an die unausweichlichen Folgen des Klimawandels unabdingbar. Auch die optimistischsten Szenarien des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) prognostizieren bei sofortiger Umstellung auf regenerative Energiesysteme und einer massiven Verbesserung der Energieeffizienz steigende Treibhausgasemissionen und damit verbunden eine jahresdurchschnittliche Lufttemperatursteigerung von mindestens 2 °C bis zum Jahr 2100 (IPCC, 2014a).

Dies führt bereits jetzt zu massiven Veränderungen, die anhand dramatischer Gletscherschmelzen oder zunehmender Extremwetterereignisse auch gegenwärtig schon sichtbar sind. Zunehmend sind Starkregen, Stürme sowie Hitzeperioden mit erheblichen Auswirkungen auf Städte und die Gesundheit ihrer Bewohner zu verzeichnen (Deutsche Bundesregierung, 2008a). In Studien über die Hitzewelle vom Sommer 2003 in Mitteleuropa wurden insgesamt zwischen 50.000 und 70.000 Todesopfer gezählt, vor allem in Frankreich, Italien und Deutschland (Zacharias & Koppe, 2015). Der steigende Meeresspiegel bedroht weite Teile der niedrig gelegenen Länder, darunter die Niederlande (Kreft, Eckstein, Dorsch, & Fischer, 2015) und eine Verschiebung von Vegetationsperioden bedingt veränderte Artenvorkommen. Durch anhaltend höhere Temperaturen können sich zudem langfristig exotische Mückenarten ausbreiten und gefährliche Krankheiten wie Dengue-Fieber übertragen (Beierkuhnlein, Fischer, & Thomas, 2011).

Deshalb sind zielgerichtete Strategien sowohl zur Minderung der Treibhausgasemissionen als auch zur Anpassung an die klimatischen Veränderungen nötig. Diese Ansätze wurden bisher sowohl in der Forschung als auch in der Praxis meist separat behandelt, darunter auch die städtische Planungspraxis. Stehen Städte aufgrund der hohen Flächenversiegelung, der dichten Bebauung, der großen Bevölkerungsdichte und des hohen Verkehrsaufkommens auf der einen Seite als Hauptverursacher der Emissionen fest, sind sie zugleich den Auswirkungen

des Klimawandels unmittelbarer als ländliche Räume ausgesetzt. Sie heizen sich stärker auf, kühlen nachts schlechter aus und bieten oftmals unzureichende Versickerungs- und Abflussmöglichkeiten für Starkniederschläge. Auch bayerische Städte sind davon betroffen, darunter München und Würzburg (z.B. Alavipanah, Wegmann, Qureshi, Weng, & Koellner, 2015).

Derzeit leben bereits ca. 75 % der Bevölkerung Deutschlands in Städten und im Jahr 2050 werden es laut UNSECO knapp 85 % sein (UNESCO, 2015). In vielen Kommunen sind Klimaschutzstrategien seit vielen Jahren etabliert, Klimaanpassungsstrategien werden hingegen erst in den letzten Jahren vermehrt entwickelt, so z.B. auch bei der Landeshauptstadt München, welche 2010 die erste Auflage ihres Klimaschutzprogramms vorgelegt hat, sowie 2016 ihr Klimaanpassungskonzept (RGU, 2012; Schneider et al., 2016). Zum anderen sind Klimaszutzziele quantifizierbar, Klimaanpassung hingegen bedeutet Planung mit den Unsicherheiten einer dynamischen Entwicklung. Maßnahmen, die sowohl zur Energieeinsparung und damit zur CO<sub>2</sub>-Reduktion beitragen und zugleich auf verändernde Klimabedingungen ausgerichtet sind, werden bisher jedoch nur unzureichend verfolgt. Zunehmend betonen wissenschaftliche Veröffentlichungen die Notwendigkeit zur Verknüpfung beider Ansätze, um Synergiepotentiale nutzbar zu machen (Barker et al., 2007; Duguma, Wambugu, Minang, & van Noordwijk, 2014; Klein, Schipper, & Dessai, 2005; S. C. Moser, 2012; Pielke Jr, 1998). Besonders in den Fokus des Interesses gerückt sind hierfür Ansätze, welche die klimawirksamen Funktionen des Stadtgrüns dafür nutzen (EC, Demuzere et al., 2014; 2013). Die städtische Vegetation bringt sogenannte Ökosystemleistungen hervor, darunter fallen u.a. lokale Klimaregulation, Regenwasserretention und CO<sub>2</sub>-Speicherung (Gómez-Baggethun & Barton, 2013; MA, 2005).

Hinsichtlich des Umsetzungspotenzials besonders im Bereich der Klimaanpassung sind lokale Gegebenheiten wie Bebauungsstruktur oder Grünausstattung zu berücksichtigen (Hertle, Pehnt, Gugel, Dingeldey, & Müller, 2015). Die Betrachtung der Quartiersebene erfährt dadurch eine wichtige Rolle. Der Handlungsbedarf der Städte auf Quartiersebene wurde auch in Studien aus dem Bundesgebiet beschrieben (Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), 2015; Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Difu), 2015). Während auf der übergeordneten Stadtebene langfristige Strategien für die Stadtentwicklung erforderlich sind und auf Gebäude- bzw. Grundstücksebene Einzelmaßnahmen vorgenommen werden können, stellt das Quartier das Bindeglied zwischen den individuellen Eigentümern und den kollektiven Belangen dar.

## 1.2 Zielsetzung

Das „Zentrum Stadtnatur und Klimaanpassung (ZSK)“ vereint in mittlerweile sechs Teilprojekten die Themenbereiche der Stadt- und Landschaftsplanung, Architektur, Ingenieurwissenschaften sowie Ökologie. Dieser interdisziplinäre Ansatz ist nötig, um den sich verändernden Umweltbedingungen in Städten wirksam entgegen treten zu können. Im Teilprojekt 1: "Klimaschutz und grüne Infrastruktur in der Stadt" am ZSK steht die Leistung der urbanen „Grünen Infrastruktur“ für eine klimaresiliente Entwicklung bayerischer Städte im Fokus. Dach- und Fassadenbegrünung, begrünte Hinterhöfe und Straßenbäume bieten das Potenzial, gleichzeitig Klimaschutz- und Klimaanpassungseffekte zu erzielen (Demuzere et al., 2014). Aufbauend auf der Auswertung von Wetterdaten über zukünftige Klimabedingungen in Bayern wurde auf Quartiersebene den Fragen nachgegangen, wie sich städtische Begrünungsmaßnahmen auf die Energieeffizienz in Gebäuden und das Mikroklima auswirken und welche Synergiepotentiale sich daraus für die Erreichung von Klimaschutz- und Anpassungszielen ergeben können. Außerdem wurde untersucht, wie durch diese Begrünungsmaßnahmen die Biodiversität gefördert werden kann und sich die Aufenthaltsqualität im Quartier für unterschiedliche Siedlungstypen verbessern lässt. Schließlich werden die Handlungsspielräume der Kommunen analysiert, um Wege der Umsetzung aufzuzeigen. Wesentliche Erkenntnisse des Projekts fließen in einen Leitfaden ein, der kommunalen Entscheidungsträgern und Planern hilft, eine Priorisierung von Handlungsoptionen vorzunehmen. Diese Handlungsoptionen leiten sich aus der integrativen Betrachtung der Herausforderung Klimawandel durch die Bereiche Klimaschutz, Klimaanpassung, Freiraumqualität, Biodiversität und Umsetzung in der Stadtplanung ab.

### 1.3 Voraussetzungen

In diesem Forschungsvorhaben wurden Maßnahmen entwickelt, die sowohl dem Klimaschutz als auch der Anpassung dienlich sind und die Lebensqualität in Städten für Menschen und Tiere erhöhen. Die Darstellung dieser Synergieeffekte sollte Kommunen eine Entscheidungs- und Planungshilfe für die Praxis geben. Zentral und innovativ ist dafür die urbane grüne Infrastruktur. Das sind multifunktionale Netzwerke von Grün- und Freiflächen, die strategisch entwickelt werden, um die Lebensqualität in Städten zu fördern und die an den Klimawandel anzupassen (EC, 2013; S. Pauleit, Liu, Ahern, & Kasmierczak, 2011). Diese Infrastrukturen sind auf unterschiedlichen Maßstabsebenen zu entwickeln, z.B. in Form von Dach- und Fassadenbegrünung auf Gebäudeebene oder als Straßenbäume, Parks und Grünanlagen auf Quartiers- bzw. Stadtebene (Benedict & McMahon, 2006; Gaffin, Rosenzweig, & Kong, 2012). Neben der Identifikation der Wirkung und Synergieeffekte von Maßnahmen für Klimaschutz und Anpassung ist ihre Umsetzung in den Bestand dichter Stadtquartiere Teil der Ergebnisse. Da diese sowohl ingenieurstechnische und naturwissenschaftliche Eigenschaften als auch soziologische Aspekte ansprechen, ist die interdisziplinäre Herangehensweise ein wesentliches Merkmal des Projektes: „Klimaschutz und grüne Infrastruktur in der Stadt“. Fünf Schwerpunkte werden untersucht:

1. Lokale Klimawandelauswirkungen für die Standorte München und Würzburg und urbane Vulnerabilität
2. Der Einfluss des Klimawandels auf die Energieeffizienz sowie den thermischen Komfort in Wohngebäuden
3. Regulationsleistungen grüner Infrastruktur auf das Mikroklima
4. Synergiepotentiale für urbane Lebensräume (Freiraumqualität und Biodiversität)
5. Integrierte stadtplanerische Strategien: Handlungsspielräume auf kommunaler Ebene.

Beim TP1 des ZSK wurde die städtische Quartiersebene erforscht, da diese für die Umsetzung von klimarelevanten Maßnahmen besonders interessant ist. Alle Untersuchungen wurden anhand von beispielhaft gewählten Quartieren in den Partnerstädten München und Würzburg durchgeführt, welche ausgewählten Siedlungstypen entsprechen.

Innerhalb der Projektlaufzeit wurde das Forschungsvorhaben zu einem Projektverbund „Zentrum Stadtnatur und Klimaanpassung“ ausgebaut, da der Bedarf weitere Forschungsfelder zu bearbeiten deutlich wurde. Dafür wurde eine Koordinationsstelle für den Verbund mit all seinen Teilprojekten geschaffen. Im gleichen Zug wurde das vorliegende Projekt umbenannt in „Teilprojekt 1: Klimaschutz und grüne Infrastruktur in der Stadt“. Diese Änderungen sind in der 2. Änderung der Bewilligung vom 3. November 2015 festgeschrieben.

## 2. Planung und Ablauf der Arbeiten

Die Ergebnisse wurden anhand von fünf Arbeitspaketen erarbeitet. Als erster Schritt wurden im Arbeitspaket „Grundlagen“ die Rahmenbedingungen zur Bearbeitung des Projekts festgelegt und die dem gesamten Projekt zugrundeliegenden Themen zu Klimawandelauswirkungen und Vulnerabilität bearbeitet:

- Auswahl von Partnerstädten nach geographischer Lage in Bayern, Einwohnerzahl und Interesse und Kapazitäten für eine Zusammenarbeit mit dem Projekt
- Erhebung und Beschaffung von Grundlagendaten für die weitere Bearbeitung, u.a. Geodaten, Bevölkerungsdaten
- Auswahl von Siedlungstypen nach Vorkommen in bayerischen Städten und Betroffenheit von Klimawandelauswirkungen
- Auswahl der Untersuchungsgebiete in den Partnerstädten nach Siedlungstyp für die tiefergehende Bearbeitung auf kleinräumigerer Ebene
- Aufbereitung und Analyse von Wetterdaten sowie Klimaprojektionen für die Partnerstädte
- Recherche und Analyse zur Vulnerabilität verschiedener urbaner Systeme gegenüber dem Klimawandel

Die Bearbeitung der Arbeitspakete 2.2 bis 2.5 erfolgt jeweils für die gewählten Partnerstädte und Quartiere, unterscheidet sich aber je nach Themengebiet und Zielsetzung in der Anwendung von Methoden. In AP 2.2 und 2.3 stehen quantitative Ansätze zur Modellierung von Energieeffizienz des Gebäudesektors und Regulationsleistungen grüner Infrastruktur im Vordergrund. AP 2.4 betrachtet darauf aufbauend Synergieeffekte für Freiraumqualität und Biodiversität anhand räumlich konkreter Begrünungsszenarien, während AP 2.5 stadtplanerische Rahmenbedingungen zur Umsetzung von Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen untersucht.

Innerhalb des Projekts entstehen drei Dissertationen, die an die jeweiligen Themengebiete aus AP 2.2, 2.3 und 2.5 angegliedert sind. Johannes Maderspacher untersucht in seinem Promotionsvorhaben die Robustheit aktueller Sanierungskonzepte im Gebäudebestand gegenüber klimatischen Veränderungen (Titel: „Robuste Optimierung in der Gebäudesimulation“). In der Arbeit von Teresa Zölch steht die Untersuchung der Wirksamkeit von grüner Infrastruktur zur Klimaregulation in Vordergrund (Titel: „The potential of ecosystem-based adaptation: Integration into urban planning and effectiveness for heat and flood mitigation“). Die Arbeit von Julia Brasche behandelt die lokalen Handlungsspielräume zur Umsetzbarkeit von Klimaschutz- und Klimaanpassungsstrategien von Kommunen (Arbeitstitel: „Klimapolitik in der kommunalen Planung“).

Durch die Kooperation mit der Partnerstadt Würzburg konnte auch eine weitere Dissertation initiiert werden, welche durch Prof. Lang betreut wird. Mit dem Arbeitstitel: "Ein Modell zur Institutionalisierung von Klimaschutz und Klimaanpassung in deutschen Städten" geht der Klimaschutzbeauftragte der Stadt Würzburg Christian Göpfert der Fragestellung nach, wie sich die verwaltungsinterne Behandlung von Klimaschutz und Klimaanpassung auf die Umsetzbarkeit auswirkt.

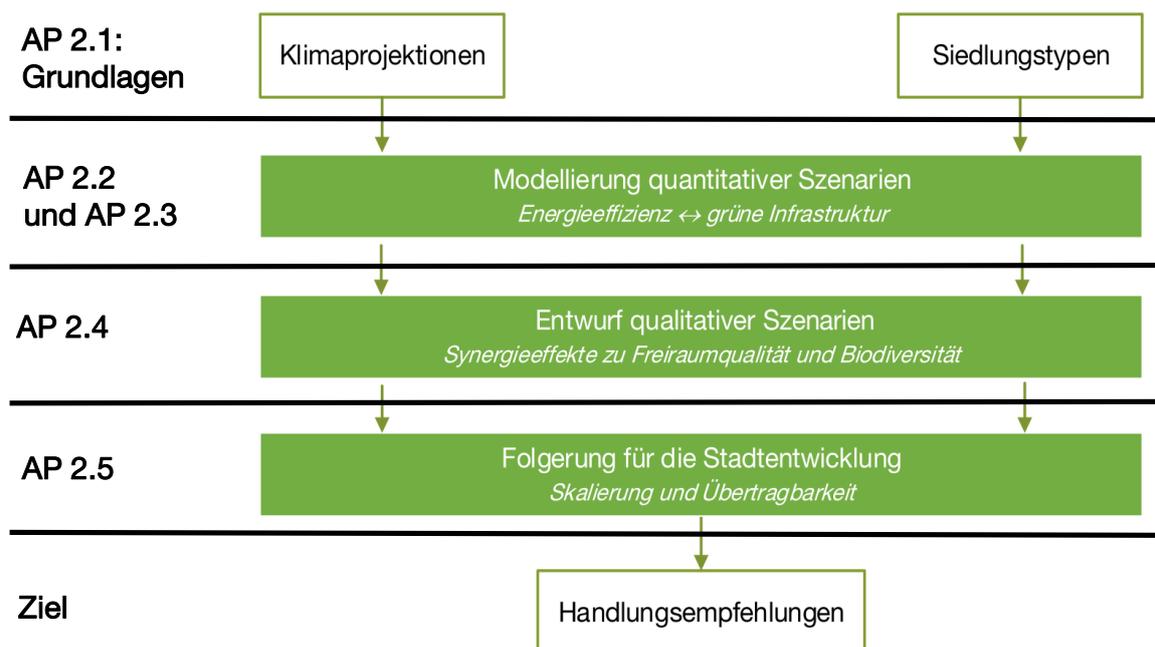


Abbildung 1: Strategisches Vorgehen zur Generierung der Ergebnisse in Arbeitspaket 2

Alle Arbeitspakete wurden durch Inhalte, die in Studienarbeiten untersucht und aufbereitet wurden, unterstützt. Eine Zusammenschau aller innerhalb der Projektlaufzeit abgeschlossenen Bachelor-, Projekt- und Masterarbeiten findet sich in Anhang Tabelle 20.

Innerhalb der Projektlaufzeit wurde das Forschungsvorhaben zu einem Projektverbund „Zentrum Stadtnatur und Klimaanpassung“ ausgebaut. Dafür wurde eine Koordinationsstelle für den Verbund mit all seinen Teilprojekten geschaffen. Im gleichen Zug wurde das vorliegende Projekt umbenannt in „Teilprojekt 1: Klimaschutz und grüne Infrastruktur in der Stadt“. Diese Änderungen sind in der 2. Änderung der Bewilligung vom 3. November 2015 festgeschrieben.

## 3. Grundlagen

### 3.1 Klimawandelauswirkungen

#### 3.1.1 Einleitung

Der Klimawandel ist ein globales Phänomen mit regionalen Folgen und stellt eine der größten Herausforderungen unserer heutigen Gesellschaft dar. In Bayern sind ein Anstieg der mittleren Jahreslufttemperaturen sowie eine Verschiebung der jährlichen Niederschläge zu beobachten. Die Schneebedeckung geht zurück und auch die phänologischen Phasen weisen eine Verschiebung auf. Des Weiteren häufen sich extreme Wetterphänomene wie z.B. Hitzewellen oder Starkregenereignisse. Klimaprojektionen für Bayern zeigen auf, dass für die nahe Zukunft ein Anstieg zwischen +1 °C und +2 °C und für die ferne Zukunft ein Anstieg auf +2 °C bis +4,4 °C der Jahresmitteltemperatur zu erwarten sein könnte (StMUV, 2015b).

Abbildung 2 zeigt die mittlere jährliche Lufttemperatur im Zeitraum 1971 bis 2000. Diese Ergebnisse machen, in Bezug auf die mittlere Lufttemperatur, regionale Unterschiede deutlich. Die Gebiete um München und Würzburg gehören, nach Abbildung 2, zu den wärmsten Regionen Bayerns. Dabei weisen größere Städte im Allgemeinen eine höhere Temperatur auf als die ländlichen Regionen (StMUV, 2015b; T. R. Oke, 1982; T.R. Oke, 2011). Die Untersuchungen des Projektes haben ihren Schwerpunkt deshalb auf die Klimawandelauswirkungen in Städten. Eine zentrale Frage des Projektes lautet: Wie kann die Stadtnatur als Maßnahme der Klimaanpassung für die Stadt der Zukunft einbezogen werden, und somit auch dem Schutz der Stadtnatur dienen. Für die konkreten Untersuchungen werden die Stadtgebiete von München und Würzburg herangezogen.

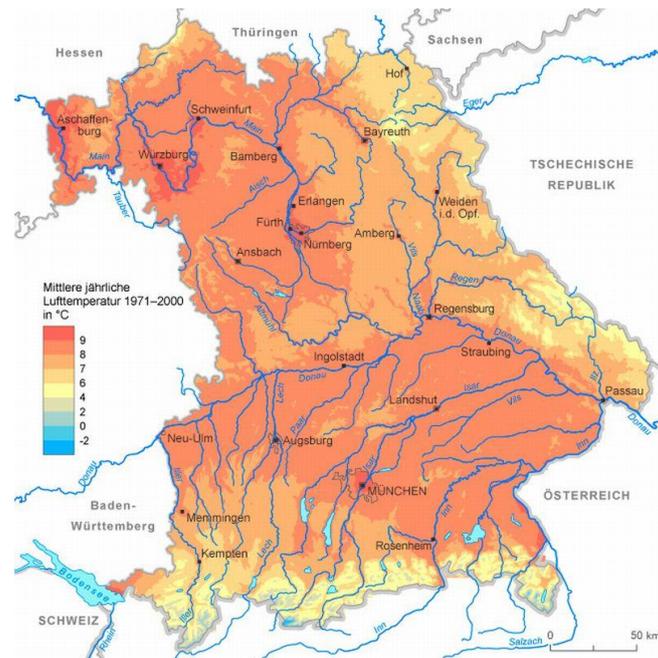


Abbildung 2: Mittlere jährlichen Lufttemperaturen in Bayern aus der Periode 1971 bis 2000, eigene Darstellung nach (StMUV, 2015b)

Neben der Definition von Untersuchungsgebieten ist für eine Analyse der Klimawandelauswirkungen die Auswahl von Klimaprojektionen entscheidend. Klimaprojektionen werden auf Basis von Szenarien mit Hilfe von globalen Klimamodellen entwickelt. Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) erarbeitet in regelmäßigen Abständen Berichte in denen Klimaszenarien unterschiedlichster Forschungseinrichtungen vorgestellt werden. Diese Klimaszenarien spiegeln dabei mögliche Entwicklungspfade des Bevölkerungswachstums, der Ressourcennutzung, des Technologieeinsatzes und der sozioökonomischen Entwicklung wieder. Ziel ist es, Szenarien für unterschiedliche Entwicklungen der Treibhausgasemissionen zu definieren.

Diese Szenarien dienen als Randbedingungen für die Berechnungen der globalen Klimamodelle. Diese Modelle bestehen meist aus unterschiedlichen Komponenten, wie z.B. Atmosphäre, Ozean, Kryosphäre und Biosphäre. Mit Hilfe eines 3-dimensionalen Gitters können Ergebnisse für jede Modellvariable über den gesamten Erdball ermittelt werden. Dabei kann die Gittergröße zwischen 200 x 200 km und 100 x 100 km variieren (Foltyn, Komischke, & Schimdt, 2014). Klimamodelle mit geringeren Rastergrößen von 50 x 50 km oder 10 x 10 km werden regionale Klimamodelle genannt. Diese Modelle verwenden in der Regel Ergebnisse aus globalen Klimamodellen als Start- oder Randbedingungen (Jacob et al., 2012).

Für Deutschland existieren unterschiedliche regionale Klimamodelle, wie z.B. REMO, CLM, WETTREG oder STAR. Dabei kann zwischen dynamischen und statistischen Klimamodellen unterschieden werden. Die Modelle CLM und REMO sind dynamische Klimamodelle und kön-

nen physikalische Zusammenhänge der Atmosphäre, Landoberfläche und Ozeane analysieren. Die Modelle STAR und WETTREG sind statistische Klimamodelle. Diese Modelle passen bisherige Messungen von Klimastationen an die Ergebnisse globaler Klimamodelle an.

### 3.1.2 Methoden

Für die Analysen der Klimawandelauswirkungen der definierten Stadtgebiete wird das regionale Klimamodell REMO herangezogen. Dabei werden die Berechnungen für die Klimaszenarien des IPCC (B1, A1B und A2) des Umweltbundesamtes (Jacob, Göttel, Kotlarski, Lorenz, & Sieck, 2008) verwendet. Für eine belastbarere Aussage der Klimaprojektionen wird aus mehreren Ergebnissen von Gitterpunkten ein Mittelwert gebildet. Für das Stadtgebiet von München werden zwölf Datenpunkte gemittelt. Daraus entsteht eine Fläche von ca. 40 x 30 km. Das Gebiet um Würzburg weist eine Fläche von 30 x 30 km auf und besteht aus neun Gitterpunkten. Dies ist erforderlich, da einzelne Datenpunkte größere Schwankungen aufweisen können. Abbildung 3 zeigt die Lage der Gitterpunkte sowie das resultierende Gebiet aus dem regionalen Klimamodell für die beiden Regionen.

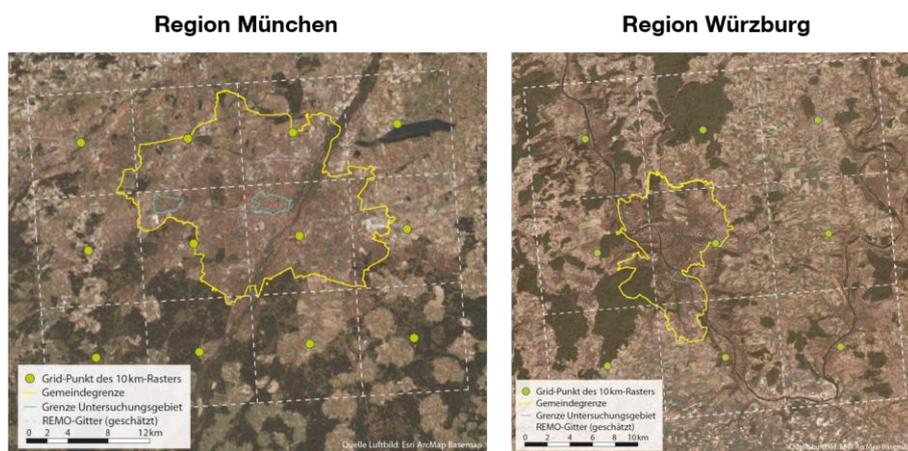


Abbildung 3 : Gitterpunkte des REMO Modells für die Regionen München und Würzburg

Die Analyse der Klimawandelauswirkungen wird mit Hilfe von „Klimatologischen Kenntagen“ und Wetterereignissen durchgeführt. Dafür werden folgende Kategorien des Deutschen Wetterdienstes herangezogen:

- Heißer Tag: Tagesmaximum der Außenlufttemperatur  $\geq 30^{\circ}\text{C}$
- Tropennacht: Nachtminimum der Außenlufttemperatur  $\geq 20^{\circ}\text{C}$
- Frosttag: Tagesminimum der Außenlufttemperatur  $< 0^{\circ}\text{C}$
- Starkregenereignis: Niederschlagsmenge  $\geq 10 \text{ mm / Std}$

Die Klimaprojektionen aus REMO umfassen den Zeitraum 2000 bis 2100. Des Weiteren liegen Ergebnisse für einen Referenzzeitraum von 1950 bis 2000 für die Validierung des Modells vor.

Für eine bessere Vergleichbarkeit der klimatischen Entwicklung werden die Ergebnisse des regionalen Klimamodells in vier Perioden von 30 Jahren unterteilt. Die Periode 1 ist von 1971 bis 2000, Periode 2 von 2001 bis 2030, Periode 3 von 2031 bis 2060 und Periode 4 von 2061 bis 2090.

### 3.1.3 Resultate und Bewertung

In einem ersten Schritt wird die Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen ab dem Jahr 2000 für beide Regionen analysiert. Als Referenz dienen dabei die Ergebnisse aus Periode 1 (1971-2000). Für einen ersten Vergleich der beiden Regionen wird das Klimaszenario A1B herangezogen. Dieses Szenario stellt eine Art „mittleres“ Szenario dar und bietet Vergleichsmöglichkeiten mit einer Vielzahl von anderen Studien. Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse für das Klimaszenario A1B. Die Strichpunktlinie zeigt die durchschnittliche Jahresmitteltemperatur aus Periode 1. In beiden Regionen ist ein Anstieg der Jahresmitteltemperatur von bis zu 5 °C möglich. Generell weisen die beiden Gebiete eine ähnliche Entwicklung für die Jahresmitteltemperatur auf. Die Temperaturzunahme für die Region Würzburg ist dabei im Allgemeinen geringfügig höher als für München. Diese Ergebnisse entstehen durch die Mittelung der Datenpunkte aus dem regionalen Klimamodell. Die Stadt Würzburg weist bei einem Vergleich von lokalen Messdaten eine höhere Hitzebelastung auf als die Landeshauptstadt München. Jedoch liegen für lokale Punkte keine Klimaprojektionen vor, weshalb regionale Daten herangezogen werden. Ein Vergleich von allen drei Klimaszenarien (A2, A1B, B1) ist für beide Regionen im Anhang zu finden.

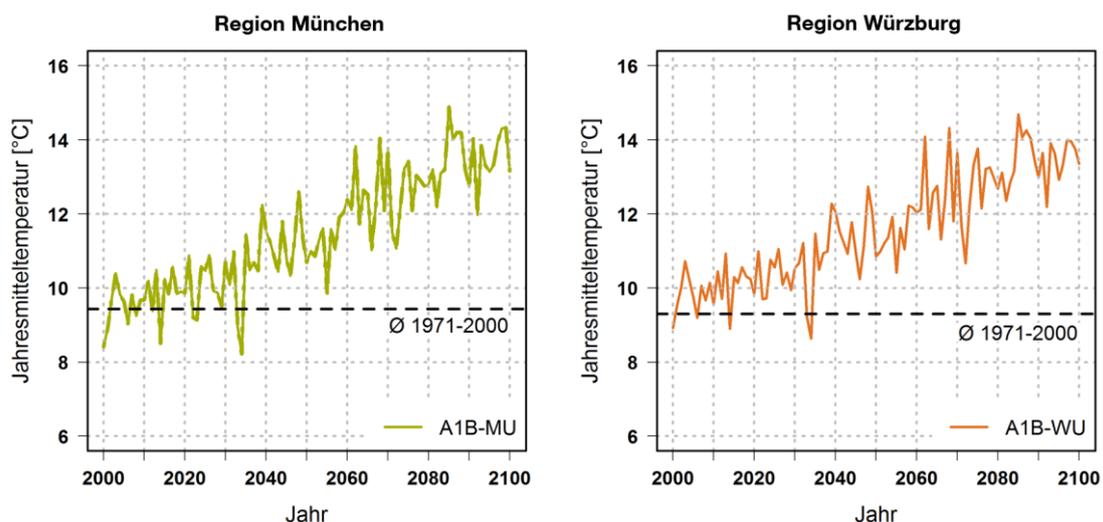


Abbildung 4: Jahresmitteltemperaturen für die Regionen München und Würzburg Szenario A1B

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse für die Kenntage des Deutschen Wetterdienstes für das Klimaszenario A1B sind für die Region München Tabelle 1 und für die Region Würzburg in Tabelle 2 dargestellt. Dabei wird die durchschnittliche Anzahl pro Jahr in der jeweiligen Periode angegeben.

| Periode   | Heiße Tage | Tropennächte | Frosttage |
|-----------|------------|--------------|-----------|
| 1971-2000 | 7          | 0,5          | 49        |
| 2001-2030 | 10         | 1            | 45        |
| 2031-2060 | 14         | 3            | 29        |
| 2061-2090 | 34         | 12           | 15        |

Tabelle 1: Durchschnittliche Anzahl von Kenntagen pro Jahr in den Perioden 1 bis 4 für das Szenario A1B in der Region München

Die Anzahl der Heißen Tage ist in Periode 4 in den beiden Regionen München und Würzburg fast fünfmal höher als in Periode 1. Die Tropennächte steigen in beiden Regionen zwischen Periode 1 und 4 auf mehr als das Zehnfache an. Die Anzahl der Frosttage reduziert sich demgegenüber auf weniger als ein Drittel. Ein detaillierter Vergleich der Kenntage für die einzelnen Klimaszenarien ist ebenfalls im Anhang dargestellt.

| Periode   | Heiße Tage | Tropennächte | Frosttage |
|-----------|------------|--------------|-----------|
| 1971-2000 | 6          | 2            | 46        |
| 2001-2030 | 8          | 3            | 41        |
| 2031-2060 | 10         | 5            | 26        |
| 2061-2090 | 26         | 18           | 14        |

Tabelle 2: Durchschnittliche Anzahl von Kenntagen pro Jahr in den Perioden 1 bis 4 für das Szenario A1B in der Region Würzburg

### 3.1.4 Schlussfolgerung

Die Resultate der Klimawandelauswirkungen auf die Regionen München und Würzburg lassen einen deutlichen Anstieg der Lufttemperaturen erkennen. Dabei nehmen während der Sommerperiode „Heiße Tage“ sowie „Tropennächte“ deutlich zu, während in der Winterperiode die „Frosttage“ stark zurückgehen. Auf städtischer Ebene lässt sich daraus eine Zunahme an Hitzewellen ableiten, da selbst im umliegenden Gebiet die Temperaturen stark ansteigen. In den Regionen München und Würzburg ist ein Anstieg der mittleren Jahreslufttemperatur von bis zu 5 °C bis in das Jahr 2100 zu erkennen. Dies unterstreicht den Handlungsbedarf in Städten, welche bereits heute einen erweiterten Planungshorizont berücksichtigen müssen.

## 3.2 Vulnerabilität

Vulnerabilität beschreibt die Anfälligkeit eines Systems, sobald es Stress ausgesetzt wird. International anerkannt und weit verbreitet ist die Definition aus dem vierten Bericht des IPCC von 2007. Demnach ist Vulnerabilität der Grad der Anfälligkeit und Unfähigkeit eines Systems mit den negativen Folgen des Klimawandels, inklusive Klimavariabilität und –extremen, umzugehen. Verwundbarkeit ist eine Funktion aus dem Charakter, Rate und Ausmaß des Klimawandels, welchen ein System ausgesetzt ist (Exposition), seiner Sensitivität, und Anpassungskapazität (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007). Die Exposition und Sensitivität ergeben zusammen die potentielle Klimawirkung.

Die Vulnerabilität wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst, zu denen physische Merkmale wie Versiegelungsgrad gehören. Ergänzend spielen auch personelle, finanzielle und organisatorische Kapazitäten eine Rolle, beispielsweise die Ausstattung der Stadtverwaltung. Klimawandelauswirkungen äußern sich in Abhängigkeit von Ort und Zeit sehr unterschiedlich.

Die Fähigkeit, mit den Auswirkungen umzugehen, beschreibt der Begriff „Resilienz“. Städte sind besonders aufgrund der Parameter: Versiegelung, Bebauungs- und Bevölkerungsdichte besonders vulnerabel gegenüber den Gefahren Hitze und Starkregen, die aufgrund des Klimawandels zunehmen. Auf diese Faktoren soll im Folgenden detaillierter eingegangen werden.

### 3.2.1 Hohe urbane Versiegelung

Strukturelle Gegebenheiten wie eine hohe Flächenversiegelung und der geringe Anteil an Vegetation verstärken negative Effekte auf das Stadtklima und haben zur Folge, dass urbane Ballungsräume stärker überhitzen (urban heat island effect) und damit besonders stark von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen sind (BBSR, 2016). Viele Menschen sind von Hitzewellen oder Überschwemmungen als Folge von Starkregen betroffen – in den Städten ist die Bevölkerungsdichte höher als im Umland. Die Vereinten Nationen (UN) gehen davon aus, dass bereits heute die Hälfte der Weltbevölkerung in urbanen Gebieten lebt (United Nations (UN), 2014). Bis 2050 soll dieser Anteil weltweit bis auf 66 % steigen und für Deutschland erwarten die Vereinten Nationen sogar, dass der Anteil der Stadtbevölkerung 83 % betragen wird.

In Anbetracht der voranschreitenden Erderwärmung ist zu befürchten, dass klimabedingte Gesundheitsprobleme in Großstädten zunehmen werden (Stott, Stone, & Allen, 2004; Tan, 2007) insbesondere im Zusammenhang mit deren prognostiziertem starkem Wachstum (Patz, 2005). Ein Ausweg aus dem stadtklimatischen Dilemma kann die Verringerung der Oberflächenversiegelung und der Einsatz bzw. der Erhalt von grüner Infrastruktur zur Verringerung der thermischen Belastung sein (Umweltministerium NRW, 2011). Diesbezügliche Maßnahmen werden in der Forschung seit einigen Jahren zunehmend diskutiert (Bowler, Buyung-Ali, Knight, & Pullin, 2010).

Um Aussagen über die Vulnerabilität in unterschiedlichen Siedlungstypen treffen zu können, müssen Faktoren identifiziert werden, die aus den zur Verfügung stehenden Daten abgeleitet werden können. Dies wurde im Rahmen der am ZSK Teilprojekt 1 betreuten Masterarbeit: *„Vergleich struktureller Eigenschaften von Siedlungstypen in bayerischen Großstädten - Eine Geodaten-Analyse als Grundlage für die Übertragbarkeit von Klimaanpassungsmaßnahmen und Beurteilung der Vulnerabilität“* zwischen Mai und Dezember 2016 erarbeitet. Als Vorlage dient dabei der interaktive Kartendienst „urban vulnerability map book“ der Europäischen Umweltagentur (European Environment Agency, EEA). Im Jahr 2015 wurde der Dienst auf der EEA-Plattform Climate Adaptation – Climate-ADAPT für den europaweiten Austausch von Informationen über den Klimawandel online geschaltet und ermöglicht seither, die Vulnerabilität europäischer Städte in Bezug auf den Klimawandel zu visualisieren.

Thematisiert werden unter anderem Hitzewellen und Überflutungen. Für jede dieser Auswirkungen – genannt Klimagefahren – wird berechnet, wie ungeschützt eine Stadt ihnen gegenübersteht (Exposition), wie sensibel sie auf die Auswirkungen reagiert (Sensitivität) und welche Möglichkeiten die Stadt zur Klimaanpassung hat (Climate-ADAPT, 2016). Berechnet werden die „Klimagefahren“ auf Grundlage einer Vielzahl von einzelnen Indikatoren. Für das Thema Hitzewelle ist in Tabelle 3 ein Auszug dargestellt. Sie zeigt, dass für die Bewertung der Exposition gemäß EEA (2015) die Höhe der Flächenversiegelung, der Grünflächenanteil sowie die Bevölkerungsdichte im Stadtgebiet betrachtet werden.

Besonders sensitiv reagieren dicht bewohnte Stadtquartiere, deren Bevölkerung sich vor allem aus älteren Menschen und/oder Haushalten mit niedrigem sozio-ökonomischen Status zusammensetzt. Bei der Evaluation der Reaktionsfähigkeit werden die finanzielle Situation der Stadt sowie das Bildungsniveau der Bevölkerung berücksichtigt. Einen positiven Effekt haben auch stadtplanerische Bestrebungen, die auf eine Begrünung und einer Reduktion des Versiegelungsgrads abzielen.

|  |   |  |
|--|---|--|
| Exposition                                       | Sensitivität                              | Reaktionsfähigkeit                       |
| Hohe Flächenversiegelung                         | Hohe Bevölkerungszahlen                   | Begrünungsmaßnahmen                      |
| Geringer Anteil an Grünflächen                   | Sozio-ökonomischer Status der Bevölkerung | Finanzielle Ressourcen                   |
| Bevölkerungsdichte                               | Hoher Anteil älterer Menschen             | Verantwortung (wahrnehmen) & Bewusstsein |
| Anthropologischer Beitrag zur urbanen Wärmeinsel |   | Bildungsmaßnahmen                        |

Tabelle 3: Kennzeichnung von Indikatoren mit Raumbezug auf Wohnblockebene eigene Darstellung nach Fischer (2016) und European Climate Adaption Platform (Climate-ADAPT) (2016)

Viele Indikatoren, z. B. Einwohnerzahlen oder sozio-ökonomischer Status der Bevölkerung, stammen zum einen aus unterschiedlichen administrativen und statistischen Datenquellen. Zum anderen handelt es sich bei vielen Daten um Informationen mit klarem Raumbezug, also Geodaten für Geoinformationssysteme (GIS). Dazu zählen z. B. die Bebauungsdichte, die Verteilung von Grünflächen oder der Versiegelungsgrad im Stadtgebiet.

### 3.2.2 Einflussfaktoren auf die Vulnerabilität

In dicht bebauten Städten bilden sich insbesondere an heißen Tagen Wärmeinseln (Urban Heat Island: UHI). Dieser Begriff beschreibt die Tatsache, dass sich der urbane Raum im Gegensatz zum Umland je nach ihrer Größe stärker aufheizt und dadurch an einzelnen Tagen Temperaturdifferenzen von bis zu 10 K messbar sind (T. R. Oke, 1982). Vor dem Hintergrund der Erderwärmung durch den Klimawandel und der daraus resultierenden Zunahme von Hitzewellen besitzt die Bildung städtischer Wärmeinseln eine besondere Brisanz, da Gefahr für die Gesundheit der Bevölkerung besteht (Deutsche Bundesregierung, 2015).

Für das Phänomen der Wärmeinsel gibt es laut Horbert (2000) vielfältige Gründe, wie z. B. meteorologische Gegebenheiten oder Wechselwirkungen zwischen Stadt und Umland. Die Intensität der Hitzebildung variiert je nach vorherrschendem Siedlungstyp und hängt des Weiteren ab von:

- Physikalischen Effekten wie Strahlungsumsetzung, Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität von Bauwerken und Oberflächen
- Versiegelungsgrad und Grünflächenanteil
- Frischluftkorridoren und künstlicher Horizontneigung durch Bebauung
- Verdunstung, Evapotranspiration und Verschattung durch Vegetation sowie Bevölkerungszahl, Einwohnerdichte und anthropogenen Wärmequellen

### 3.2.3 Physikalische Effekte

Der urbane Raum und seine Bauwerke setzen die eingestrahlte Sonnenenergie auf andere Art und Weise um, als es Vegetationsflächen oder Gewässer tun und beeinflussen damit das Klima in der bodennahen Atmosphäre. Dabei ergänzen sich physikalische Eigenschaften wie z. B. Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit und Albedo von Baumaterialien und Oberflächen und bewirken einen Temperaturanstieg in der Stadt (Horbert, 2000; T. R. Oke, Crowther, J. M., McNaughton, K. G., Monteith, J. L., & Gardiner, B., 1989; EPA, 2008). Laut Horbert (2000) wird ein Großteil der Strahlungsenergie durch Asphalt- und Betonflächen aber auch geschlossene Siedlungen aufgrund vergleichsweise geringer Albedo-Werte absorbiert. Das bedeutet, dass sich bebaute, versiegelte Oberflächen in der Regel bei Sonneneinstrahlung im Tagesverlauf stark aufheizen.

### 3.2.4 Wärmespeicherung

Erwärmte Oberflächen geben wiederum selbst Wärmeenergie in Form von langwelliger Strahlung an die Umgebung ab und erwärmen so die angrenzende Luftschicht (Horbert, 2000; T. R. Oke, Crowther, J. M., McNaughton, K. G., Monteith, J. L., & Gardiner, B., 1989) Dieser Prozess läuft kontinuierlich ab und bewirkt, dass die in der Gebäudemasse und gepflasterten oder asphaltierten Freiflächen gespeicherte Wärme auch in den Abend- und Nachtstunden für eine erhöhte Lufttemperatur in der Stadt sorgt, während sich über Vegetationsflächen die Luft stärker abkühlt. Bereits in einer frühen Studie (W. Bründl, Mayer, & Baumgartner, 1986) wurde dies dokumentiert, indem der Tagesgang der Lufttemperatur an fünf verschiedenen Orten in München gemessen wurde. Die Lufttemperatur am Messplatz in der Blockrandbebauung erwärmte sich tagsüber zwar etwas langsamer, dafür aber stärker als die Temperatur am Standort mit hohem Vegetationsanteil. Während am begrünten Messplatz die Luft nachts schnell wieder abkühlte, wirkte die dichte Bebauung wie ein Wärmespeicher, sodass das Lufttemperaturminimum um mehrere Stunden verzögert eintrat und insgesamt über dem Niveau des versiegelten Platzes lag. Folglich ist die Tagesdurchschnittstemperatur in den dicht bebauten Gebieten deutlich höher als in Gebieten mit hohem Grünflächenanteil und je höher das Temperaturminimum bzw. -maximum, desto später tritt es ein.

In W. Bründl, Mayer, H., & Baumgartner, A. (1986) wurden auch dreijährige Mittelwerte der Lufttemperatur  $\bar{T}_a$  von 17 Messplätzen in München im Zusammenhang mit deren Lage und Umgebung betrachtet. Es zeigt sich, dass die Durchschnittstemperatur in locker bebauten Stadtrandgebieten niedriger ist als nahe des stark versiegelten Stadtzentrums, wo sich der durch Bebauung, Asphalt oder Pflaster versiegelte Flächenanteil (FA) dem Maximalwert von 100 % annähert. Die maximal gemessene Differenz zwischen einer Grünfläche am Stadtrand und einem Straßenzug im Zentrum betrug 2,2 K. Der Versiegelungsgrad trägt damit wesentlich zum Wärmeinseleffekt bei.

Die hohe Flächenversiegelung in der Stadt ist einerseits Indikator für eine dichte Bebauung und damit für die bisher diskutierten Temperaturprozesse im urbanen Raum, verhindert zusätzlich aber auch, dass ein wichtiger mildernder Effekt seine Wirkung entfalten kann: Durch Niederschläge steht normalerweise ein Teil des Regenwassers für eine kühlende Verdunstung zur Verfügung – nicht jedoch über stark versiegelten Flächen (Horbert, 2000). Dort fließt das Wasser rasch ab und wird in das Kanalsystem geleitet. Das Verhältnis von Abflussmenge zu Niederschlagsmenge liegt bei geneigten Dächern bspw. bei nahezu 1,0. Selbst Straßen und flache Dächer haben einen Abflussbeiwert von 0,5 bis 0,9, wogegen in Gärten und Parks nur 0 bis 20 % des Regenwassers abfließt (Horbert, 2000; Kroner, 2000). Bei Starkregenereignissen kann eine große Niederschlagsmenge in Zusammenhang mit einem hohen Oberflächenabfluss dazu führen, dass Kanalsysteme überbelastet werden und Wassermassen Schaden anrichten (Deutsche Bundesregierung, 2008b).

Auch die unterschiedliche Horizonteinengung – bedingt durch die Höhe der umgebenden Bebauung – ist ein wichtiger Einflussfaktor, da sie die nächtliche Ausstrahlung der Wärme und die Durchlüftung beeinflusst. Besonders interessant ist der durch die Erhebung möglich gewordene Vergleich der Temperaturentwicklung in dicht bebauter Blockrandbebauung und Gebieten mit Grünflächen.

### 3.2.5 Einwohnerdichte und anthropogener Beitrag

Die Flächenversiegelung korreliert mit der Einwohnerdichte von Städten (Arnold, 1996). Im Umkehrschluss lässt die Einwohnerdichte auch eine Aussage über Vorkommen und Intensität des UHI-Effekts in der betreffenden Stadt zu. Ein Zusammenhang zwischen Einwohnerzahlen und gemessenen Temperaturunterschieden zwischen Stadt und Umland ist belegt (T. R. Oke, 1973, 1982). Bei zunehmender Bevölkerungsdichte ist schließlich auch der anthropogene Beitrag zum urbanen Klima zu nennen. Quellen sind hauptsächlich Verbrennungsprozesse aus häuslichen, gewerblichen oder industriellen Bereichen, die dem Wärmehaushalt der Stadt unter Umständen ebenso viel Energie zuführen wie natürliche Strahlungsprozesse (Horbert, 2000).

### 3.2.6 Schlussfolgerungen

- Einflussfaktoren auf die Vulnerabilität sind: Wärmeleitfähigkeit und Wärmespeicherkapazität von Bauwerken und Oberflächen, der Versiegelungsgrad und Grünflächenanteil, die Frischluftsituation Einstrahlungsverhältnisse sowie Verdunstung, Evapotranspiration und Verschattung durch Vegetation, außerdem Bevölkerungszahl, Einwohnerdichte und anthropogene Wärmequellen.
- Um den negativen Auswirkungen zu begegnen, sind Maßnahmen erforderlich, die der Versiegelung entgegenwirken (wie die Erhaltung und Schaffung von Grün- und Freiflächen) sowie die Durchlüftung sicherzustellen.
- Neben städtebaulichen Maßnahmen (Ausrichtung der Gebäude, Freihalten der Frischluftschneisen etc.) sind Informations- und Sensibilisierungsmaßnahmen nötig
- Die Vulnerabilität von Städten und die damit verbundenen gesundheitlichen Risiken für Mensch und Stadtnatur muss noch stärker in das öffentliche Bewusstsein gerückt werden.

## 3.3 Siedlungstypen

### 3.3.1 Siedlungstypen in Bayern und Deutschland

Innerhalb des Stadtgebiets können verschiedene Siedlungstypen differenziert werden, die sich in ihrer Flächennutzung und physischen Struktur unterscheiden. Diese Faktoren haben als Steuerungsgrößen auch entscheidende Bedeutung für die Stadtökologie (Stephan Pauleit, 2005; S. Pauleit & Breuste, 2011; S. Pauleit & Duhme, 2000). Die Ausprägung der physischen Struktur, die über Merkmale wie z.B. die Bebauungsdichte, die Flächenversiegelung u.a.m. gemessen werden kann, steht beispielsweise in enger Beziehung mit hydrologischen und klimatischen Eigenschaften (Boden- und Luftfeuchte, Temperatur) der verschiedenen Flächennutzungen. Auch die Biodiversität wird von Flächennutzung und der Ausprägung der physischen Struktur (insbesondere der Grünflächen) geprägt (z.B. Duhme & Pauleit, 1997; Gilbert, 1989; Klausnitzer, 1987; Sukopp & Wittig, 1993). Blockbebauungen zählen grundsätzlich v. a. aufgrund des hohen Versiegelungsgrads und geringen Grünanteilen zu den artenärmsten Siedlungstypen (Gilbert, 1989; Klausnitzer, 1987; Sukopp & Wittig, 1993).

Das städtebauliche Erscheinungsbild wird „[...] durch die Art der Bebauung, die Anordnung der Gebäude, die Erschließung des Gebietes durch Straßen, Anzahl, Größe und Nutzung von Wohn- und Nichtwohngebäuden innerhalb der Betrachtungsraumes geprägt [...]“ (Erhorn-Kluttig et al., 2011). Für stadtklimatische Analysen ist eine weitere Differenzierung der Siedlungsflächen relevant, da verschiedene Bebauungsdichten, Abstandsflächen, Gebäudehöhen oder Versiegelungsanteile Auswirkungen auf z.B. Wärmespeicherkapazitäten oder Versickerungsmöglichkeiten haben. Die Ebene „Siedlungstyp“ wird sozusagen zwischen der Gebäude- und der Stadtebene gezogen.

Auch für energetische Untersuchungen im Siedlungsbereich werden Siedlungstypen unterschieden. Die noch heute gültige Einteilung geht auf Arbeiten von U. Roth (1980) zurück, die für die Analyse von Wärmenetzpotenzialen (im Zusammenhang mit dem Ausbau der Fernwärme nach den Erfahrungen der Ölkrise) erstmals flächenhafte Untersuchungen der Siedlungstypen vornahm.

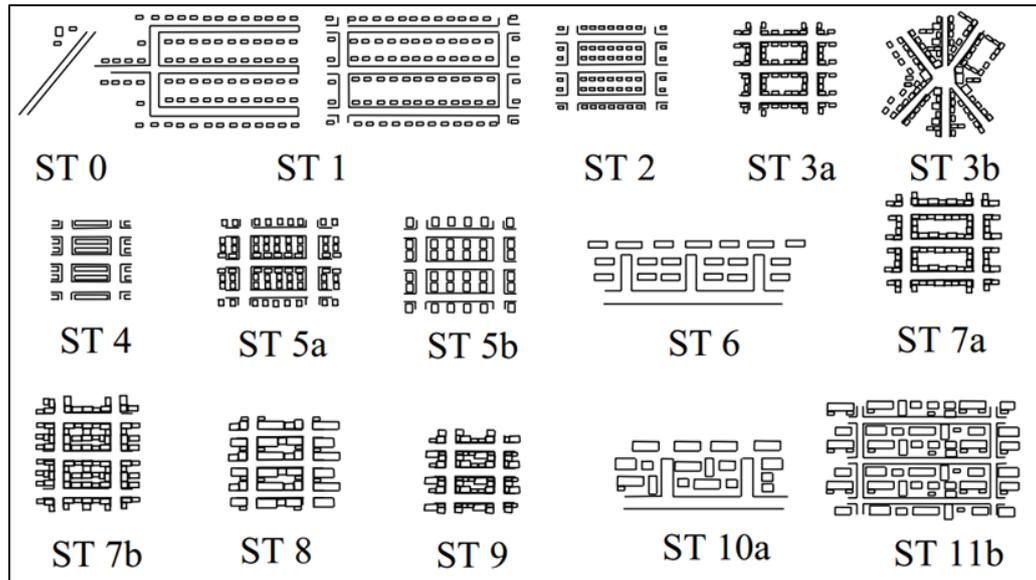


Abbildung 5: Charakteristika der Siedlungstypen, eigene Darstellung nach Blesl (2002)

Neuere Studien, die sich in den letzten Jahren v.a. auf den Ausbau der erneuerbaren Energien (und im Zuge der energetischen Quartiersbetrachtungen) beziehen, bauen auf dieser Einteilung auf und haben sie zum Teil weiter entwickelt, wie beispielsweise die Arbeiten von M. Blesl (Blesl, 2002, vgl. Tabelle 2). Besonders in Bayern sind in diesem Zusammenhang die Energienutzungspläne von Bedeutung, die mittlerweile von über 700 Kommunen geplant werden (StMWI, 2015b).

| Siedlungstyp |  | Charakteristika   |
|--------------|--|---|
| ST 0         | Freistehende Einzelgebäude                         | Einzelgebäude oder Gebäudekomplexe in waldwirtschaftlicher oder landwirtschaftlicher Nutzfläche beziehungsweise größerer Entfernung zu anderer Bebauung |
| ST 1         | Lockere offene Bebauung, Streusiedlung             | Lockere unregelmäßige Bebauung, vor allem an Stadträndern und langgezogenen Straßendörfern  |
| ST 2         | Einfamilienhäusersiedlung und Doppelhäusersiedlung | Vorortgemeinde, häufig mit dichtem geometrisch angelegten Erschließungsnetz   |
| ST 3a        | Städtischer Dorfkern                               | Dorfkernstruktur ohne Zentrum, die in Mittelstädten oder in Teilorten von Großstädten erhalten ist  |
| ST 3b        | Ländlicher Dorfkern                                | Dorfkern im ländlichen Raum oder in kleinen Eingemeindungen von Städten   |
| ST 4         | Reihenhäuser                                       | Reihenhaussiedlung, die engmaschig geometrisch erschlossen ist  |
| ST 5a        | Siedlung kleiner Mehrfamilienhäuser                | Kleine Mehrfamilienhäuser mit dichtem geometrisch angelegten Erschließungsnetz, die Mitte 1980 entstanden sind  |

|               |  |  |
|---------------|--|--|
| <b>ST 5b</b>  | Zeilenbebauung mit kleinen und großen Mehrfamilienhäusern      | Überwiegend mittelgroße Wohnbebauung, relativ geringer Gebäudeabstand. Erschließungsnetz ist relativ grobmatschig                            |
| <b>ST 6</b>   | Zeilenbebauung mit großen Mehrfamilienhäusern oder Hochhäusern | Große Mehrfamilienhäuser und Hochhäuser, die durch große Gebäudeabstände gekennzeichnet sind   |
| <b>ST 7a</b>  | Blockbebauung niedriger Dichte                                 | Meist nur in Großstädten, oft Stadtrandbebauung, regelmäßiges Straßennetz  |
| <b>ST 7b</b>  | Blockbebauung hoher Dichte                                     | Meist nur in Großstädten, oft Stadtrandbebauung, regelmäßiges Straßennetz mit überbauten Innenhöfen  |
| <b>ST 8</b>   | Citybebauung   | Citybebauung, meist aus der Zeit der Jahrhundertwende, mit überbauten Innenhöfen   |
| <b>ST 9</b>   | Historische Altstadt   | Historischer Stadtkern, hohe Dichte, geschlossene Bebauung, verwinkelte Straßen  |
| <b>ST 10a</b> | Große öffentliche Sonderbauten                                 | Große Einzelbauten, ungewöhnliche Grundrissformen, meistens freistehend, oft in Großstädten. Beispielsweise Krankenhäuser oder Universitäten |
| <b>ST 10b</b> | Kleine öffentliche Sonderbauten                                | Kleinere Einzelbauten, beispielsweise Schulen, Kindergärten, Stadtverwaltung, Grundfläche  |
| <b>ST 11a</b> | Industriebauten  | Industriebauten mit unregelmäßigen Grundrissen und Prozesswärmebedarf  |
| <b>ST 11b</b> | Gewerbliche Sonderbauten                                       | Industriebauten mit unregelmäßigen Grundrissen und ohne Prozesswärmebedarf   |
| <b>ST 12</b>  | Sonstige Versorgungsgebiete und Versorgungsgelände             | Meist Einzelgebäude in Stadtrandlage mit zugehöriger großer Sonderfläche. Dazu gehören beispielsweise Sportplätze oder Gärtnereien.          |

Tabelle 4: Siedlungstypen, eigene Darstellung nach Blesl (2002)

In Bezug auf ganz Deutschland überwiegen Reihen- und Zeilenbebauungen, die nach dem Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK (AGFW) jeweils fast ein Drittel ausmachen (Sonderbauten sind in dieser Studie nicht berücksichtigt).

| Siedlungstyp |                                     | Anteil des Siedlungstyps (in Bezug auf Wohneinheiten) |                           |               |
|--------------|-------------------------------------|---|---------------------------|---------------|
|              |                                     | Städte (alte Bundesländer)                            | Städte neue Bundesländer) | Städte gesamt |
| <b>ST 1</b>  | Streusiedlung                       | 0,2 %   | 0,1 %                     | 0,2 %         |
| <b>ST 2</b>  | Einfamilienhaussiedlung             | 14,1 %  | 5,1 %                     | 12,6 %        |
| <b>ST 3</b>  | Dorfkern                            | 1,1 %   | 5,5 %                     | 1,8 %         |
| <b>ST 4</b>  | Reihenhaussiedlung                  | 15,2 %  | 1,4 %                     | 13,0 %        |
| <b>ST 5</b>  | Zeilenbebauung 3-5 Geschosse        | 30,5 %  | 19,3 %                    | 28,7 %        |
| <b>ST 6</b>  | Hochhäuser und Große Zeilenbebauung | 7,2 %   | 24,4 %                    | 10,0 %        |
| <b>ST 7</b>  | Städtische Blockrandbebauung        | 26,9 %  | 28,9 %                    | 27,2 %        |
| <b>ST 8</b>  | City Bebauung                       | 0,7 %   | 6,2 %                     | 1,6 %         |
| <b>ST 9</b>  | Historische Altstadt                | 4,0 %   | 9,0 %                     | 4,8 %         |

Tabelle 5: Verteilung der Siedlungstypen in deutschen Städten

### 3.3.2 Auswahl der Quartiere nach Siedlungstypen

Bei der Planung von Klimaanpassungsmaßnahmen sind diese Unterschiede in der Siedlungstypologie zu berücksichtigen und vulnerabelste Bereiche ggf. zu priorisieren. Für die Untersuchungen im TP 1 wurden folglich drei Siedlungstypen ausgewählt, die aufgrund ihrer Charakteristika sowohl besonders vom Klimawandel betroffen sein werden, als auch unterschiedliche stadtplanerische Handlungsoptionen notwendig machen: Blockbebauung, Zeilenbebauung und historischer Stadtkern. Diese drei Typen sind v.a. durch ihre hohe bauliche Dichte – ausgedrückt durch die Geschossflächenzahl (GFZ) – und damit verbundenen hohen Bevölkerungszahlen charakterisiert.

Die drei Siedlungstypen sind zudem typische Bebauungsstrukturen für mitteleuropäische, und so auch bayerische Städte. Als nächster Schritt wurden daher alle bayerischen Großstädte (über 100.000 Einwohner) auf das Vorkommen dieser Siedlungstypen überprüft, um repräsentative Quartiere für die Untersuchungen zu identifizieren (siehe auch Kapitel Übertragbarkeit der Ergebnisse). Ausgewählt wurden schließlich Maxvorstadt in München als Vertreter der Blockbebauung, Neuaußing in München als Vertreter der Zeilenbebauung und Heidingsfeld in Würzburg als Vertreter des historischen Stadtkerns (Abbildung 7).

Die jeweiligen Klimafunktionskarten der Städte München und Würzburg belegen, dass die ausgewählten Siedlungstypen und Quartiere bioklimatisch belastet sind. Die Städte München und Würzburg unterstützten das Projekt während der Projektlaufzeit fortlaufend als Partnerstädte mit u.a. Datenüberlassung, Erfahrungsaustausch und Bewertung der Forschungsergebnisse hinsichtlich ihrer Praxisrelevanz. Mittels der verfügbaren Daten wurden die strukturellen Eigenschaften erhoben und charakterisiert.

Die im Folgenden vorgestellten Untersuchungen wurden beispielhaft für diese drei Quartiere durchgeführt. Die Blockbebauung ist eine dichte Bauform, die zur Straße hin geschlossen ist und vorrangig der Wohnnutzung dient. Die Hinterhöfe können sowohl begrünt als auch versiegelt bzw. mit Nebengebäuden bebaut sein. In der Maxvorstadt haben Straßenblöcke des Typs Blockbebauung einen Anteil von 32 % an der Gesamtfläche und im Schnitt einen Versiegelungsgrad von 81 % und eine Bebauungsdichte von 62 %. Der durchschnittliche Grünanteil beträgt 19 %. Die Unterschiede z.B. im Grünanteil werden in Abbildung 6 sowie den Werten in Abbildung 7 ersichtlich.

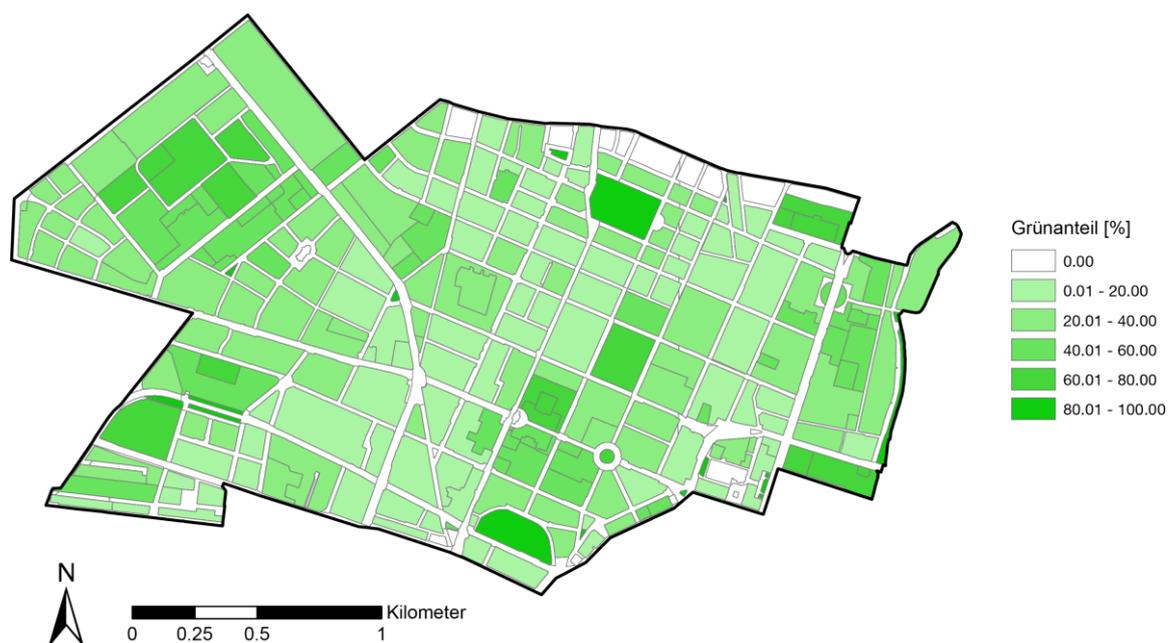


Abbildung 6: Grünanteil je Straßenblock in München Maxvorstadt, eigene Darstellung nach CIR Orthophoto 2013 der Stadt München

In der Zeilenbebauung sind die mehrgeschoßigen Gebäude parallel angeordnet und in großzügige, begrünte Freiräume eingebettet. In Neuaubing können 22 % des Quartiers diesem Siedlungstyp zugeordnet werden. Im Schnitt sind 35 % der Blockfläche versiegelt und 65 % begrünt. Die Bebauungsdichte beträgt 22 %. Der historische Stadtkern ist charakterisiert durch ein verwinkeltes, enges Straßennetz, das eine geschlossene Bebauung mit Mischnutzung umschließt. In Heidingsfeld trifft dies auf 90 % des Quartiers zu. Der durchschnittliche Versiegelungsgrad beträgt 86 %, der Grünanteil 14 % und die Bebauungsdichte 61 %.

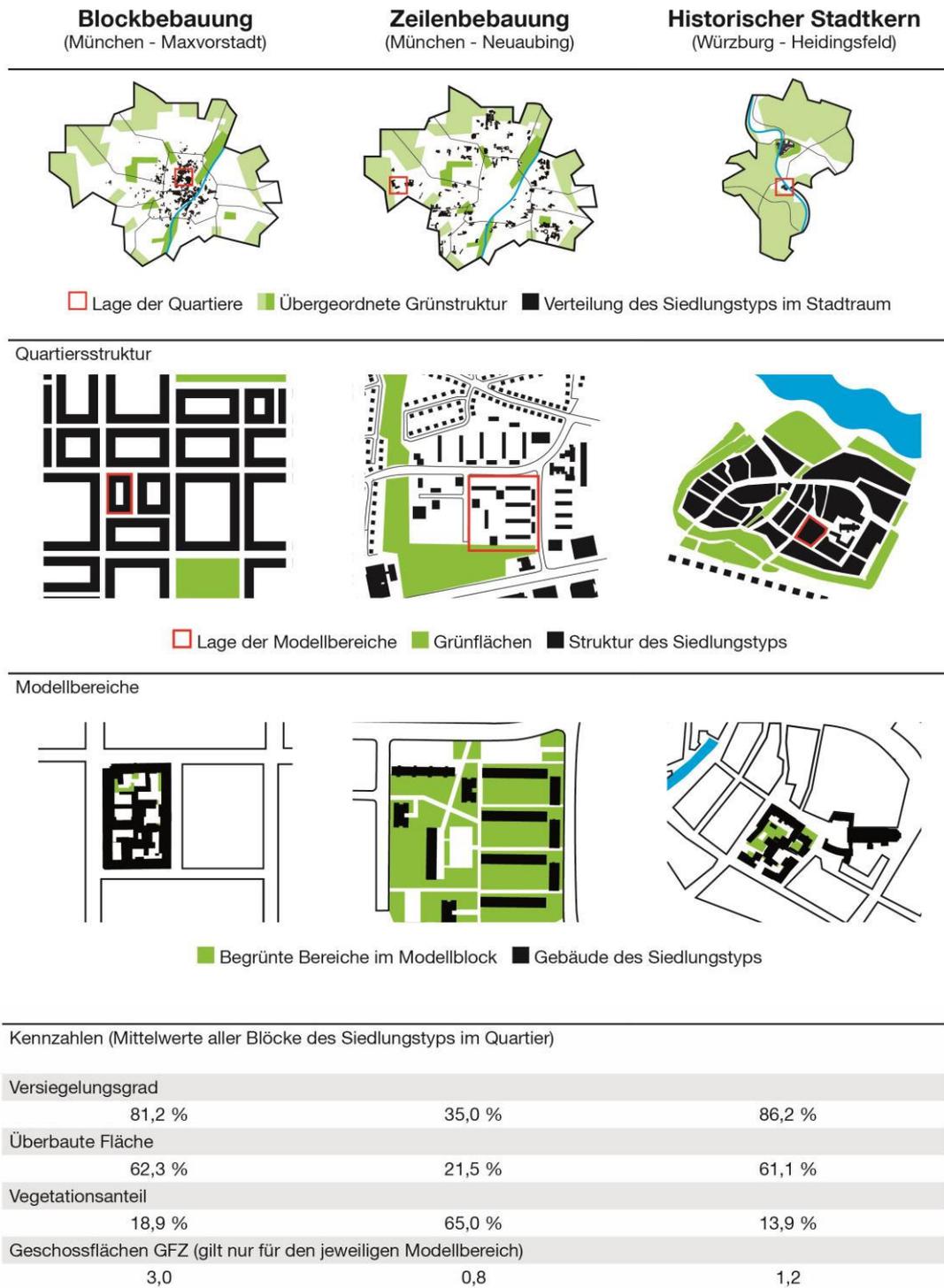


Abbildung 7: Siedlungstypen Blockbebauung, Zeilenbebauung und historischer Stadtkern in repräsentativen Quartieren in München und Würzburg

### 3.3.3 Auswahl der Modellbereiche nach Siedlungstypen

Die weiterführenden Analysen im Rahmen von AP 2.2 und AP 2.3 sind räumlich auf Untersuchungsgebiete in der Größe eines Straßenblocks beschränkt. Diese Einschränkung ist nötig, da ein ganzes Quartier nicht in den gewählten Simulationstechniken abgebildet werden kann. Für jedes der ausgewählten Quartiere wird daher ein Modellbereich gewählt, der diesen räumlichen Anforderungen entspricht und gleichzeitig eine möglichst große Annäherung an die von Roth definierten idealen Siedlungsstrukturen repräsentiert (Roth, 1980).



Abbildung 8: Perspektive auf den Straßenzug der Blockbebauung (Foto: ZSK TP1)



Abbildung 9: Perspektive auf den Hinterhof der Blockbebauung (Foto: ZSK TP1)

Für die Auswahl der Modellbereiche wurden Geodaten der Partnerstädte ausgewertet. In München werden diese vom Vermessungsamt und vom RGU bereitgestellt, in Würzburg von der Fachabteilung Tiefbau – Geodaten und Vermessung. Anhand der Daten wurden die stadtstrukturellen Eigenschaften eines Siedlungstyps durch vorhandene und eigene Erhebungen zu der Grünausstattung im Modellbereich charakterisiert, d.h. die typischen Siedlungs- und Freiräume, welche durch umgebende Straßen begrenzt werden. Die wichtigsten Charakteristika sind der Versiegelungsgrad, der Grünanteil und das Bebauungsvolumen für die Analyse klimatischer Begebenheiten; sowie die Baualtersklasse für die Bewertung der Energieeffizienz im Gebäude.



Abbildung 10: Perspektive in den Straßenraum der Zeilenbebauung (Foto: ZSK TP1)



Abbildung 11: Der Modellbereich der Zeilenbebauung von oben (Foto: ZSK TP1)

Diese Informationen wurden für alle Straßenblöcke im Quartier, die dem entsprechenden Siedlungstypen zugeordnet werden, erhoben und ausgewertet. Das detaillierte Vorgehen wird im Anhang in Abbildung 81 am Beispiel der Blockbebauung aufgezeigt. Die oben genannten Kriterien wurden dabei durch weitere Faktoren wie Blockgröße, Ausprägung der Siedlungstypologie, Entfernung zu öffentlichen Grünflächen und den umliegenden Straßenaufbau ergänzt, um final einen Straßenblock als Modellbereich für die Modellierungsarbeiten auszuwählen. Tabelle 6 fasst die wichtigsten Merkmale der gewählten Modellbereiche zusammen. Die Panoramafotos in Abbildung 8 bis Abbildung 13 zeigen Impressionen aus den drei Modellbereichen. Die Abbildung 82 im Anhang gibt weiterhin einen Überblick über die Verteilung der Grünstrukturen im Modellbereich sowie die Dachneigungen zur Abschätzung des Dachbegrünungspotentials.



Abbildung 12: Perspektive in den Innenhof des historischen Stadtkerns (Foto: ZSK TP1)



Abbildung 13: Perspektive in den Straßenraum des historischen Stadtkerns (Foto: ZSK TP1)

| Merkmale des Modellbereichs | Blockbebauung   | Zeilenbebauung   | Historischer Stadtkern   |
|-----------------------------|---|--|--|
| Lage                        | zwischen Theresien-/ Augusten-/ Steinheil-/ Enhuberstraße   | zwischen Radolfzeller/ Sipplinger/ Meinaustraße/ Grünzug L   | Lage zwischen Stengerstraße/ Dürrenberg/ Münchgasse/ Antonius-Lauck-Straße |
| Typ                         | Blockbebauung mit vorrangiger Wohnnutzung   | Zeilenbebauung mit ausschließlicher Wohnnutzung  | Altstadtkern mit überwiegender Wohnnutzung                                 |
| Fläche                      | 9655 m <sup>2</sup>   | 44.356 m <sup>2</sup>  | 4790 m <sup>2</sup>  |
| Davon Wohnfläche            | 14.272 m <sup>2</sup>   | 23.163 m <sup>2</sup>  | k.A.   |
| Versiegelungsgrad           | 91 %  | 31 %   | 83 %   |
| Überbaute Fläche            | 69 % mit überwiegender Geschossanzahl von 6   | 18 % mit überwiegender Geschossanzahl von 4  | 56 % mit überwiegender Geschossanzahl von 2                                |
| Geschossflächenzahl         | 3,04  | 0,83   | 1,24   |
| Dominante Baualterklasse    | 1949-1960   | 1961-1970  | 1949-1960  |
| Grünanteil                  | Grünanteil: 9 % (RGU 2011), 12 % (ZSK 2014), verteilt auf 8 % Bäume, 3 % Sträucher, 1 % Gras (die Abweichung zwischen ZSK und RGU kommt durch Luftbilder aus unterschiedlichen Jahren zustande) | 68 % (RGU 2011), 63 % (ZSK 2014), verteilt auf 39 % Bäume, 4 % Sträucher, 20 % Gras (die Abweichung zwischen ZSK und RGU kommt durch Luftbilder aus unterschiedlichen Jahren zustande) | 17 % (ZSK TP 1,2014), verteilt auf 1 % Bäume und Sträucher und 16 % Gras   |

Tabelle 6: Wichtigste Merkmale der gewählten Modellbereiche zu Block-, Zeilenbebauung und historischem Stadtkern

## 4. Bearbeitung der Fallstudien

### 4.1 Energieeffizienz unter Einfluss des Klimawandels

#### 4.1.1 Zusammenstellung der Gesamtproblematik und bisher bekannt gewordener Ergebnisse auf dem Gebiet der Aufgabenstellung

Stadträume haben einen großen Anteil am globalen CO<sub>2</sub>-Ausstoß (Rode, 2014) und somit an der Hauptursache des Klimawandels. Städte sind somit nicht nur „Betroffene“ sondern auch „Verursacher“ der klimatischen Veränderungen. Deshalb bieten Städte auch ein großes Potenzial zur Einsparung von Treibhausgasemissionen z.B. beim Energieverbrauch des Gebäudebestandes.

In Bayern verursacht der Gebäudebereich rund 40 % des Gesamtenergieverbrauchs und 35 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen (VBW, 2012). Es fallen 30 % des bayerischen Endenergieverbrauchs auf den Sektor Haushalte und damit auch auf den Wohngebäudebestand (StMWi, 2015a). Die Sanierung des Wohngebäudebestandes bietet deshalb ein wesentliches Potenzial zur CO<sub>2</sub>-Einsparung. Aus einer Städterecherche des ZSK-TP 1 geht hervor, dass 95 % aller untersuchten Städte ein Klimaschutzkonzept haben oder daran arbeiten. Für die Recherche wurden Städte mit einer Einwohnerzahl von mindestens 100.000 im gesamten deutschsprachigen Raum herangezogen.

Diese Recherche zeigt jedoch auch, dass bei den aktuellen Energie- und Sanierungskonzepten für den Gebäudebestand der Einfluss des Klimawandels in der Regel nicht berücksichtigt wird. Sanierungszyklen können, in Abhängigkeit der Gebäudekomponenten, jedoch zwischen 30 und 55 Jahre betragen (Hoier & Ehorn, 2013). Deshalb ist eine Veränderung des Energieverbrauchs, verursacht durch die klimatischen Veränderungen, während eines Sanierungszyklus zu erwarten. Es ist daher notwendig, bereits bei aktuellen energetischen Sanierungen die potenziellen Veränderungen der Außenraumtemperaturen zu berücksichtigen.

Diverse Studien zeigen, dass in Mittel- und Nordeuropa in Zukunft der Heizenergiebedarf zurückgeht und der Kühlenergiebedarf ansteigt. Untersuchungen in europäischen Städten, wie z.B. Zürich und Stockholm zeigen, dass der Heizenergiebedarf in Wohngebäuden bis ins Jahr 2100 zwischen 30 und 40 % zurückgehen kann (Frank, 2005; Nik & Kalagasidis, 2013). Im Bereich der Nichtwohngebäude zeigt eine Studie aus Zürich, dass ein Anstieg des potenziellen Kühlenergiebedarfs auf das zwei- bis Zehnfache bis zum Jahr 2100 möglich ist. Der Heizenergiebedarf hingegen kann zwischen 35 und 60 % bis ins Jahr 2100 abnehmen (Frank, 2005).

Diese Ergebnisse zeigen auf, dass der Klimawandel einen deutlichen Einfluss auf den zukünftigen Energiebedarf haben kann. Ziel dieses Arbeitspaketes ist deshalb die Quantifizierung und Bewertung von Veränderungen des Energiebedarfs ausgewählter Sanierungskonzepte unter Einfluss des Klimawandels anhand unterschiedlicher Siedlungstypen des bayrischen Wohngebäudebestandes. Dabei werden folgende Forschungsfragen untersucht:

- Wie beeinflusst der Klimawandel den zukünftigen Energiebedarf in Wohngebäuden am Beispiel unterschiedlicher Siedlungstypen?
- Welchen Einfluss hat der Klimawandel auf die Energieeffizienz von Sanierungskonzepten am Beispiel unterschiedlicher Siedlungstypen?
- Können Sanierungskonzepte dem Klimawandel gegenüber robuster gestaltet werden und welche Rolle kann dabei die Klimaanpassung übernehmen?

#### 4.1.2 Angewandte wissenschaftliche und technische Methoden

##### Klimadaten

Für die Quantifizierung des Klimawandeleinflusses auf den zukünftigen Energiebedarf werden die Resultate des in Kapitel „Klimawandelauswirkungen“ eingeführten regionalen Klimamodells REMO verwendet. Das IPCC Klimaszenario A1B dient als Grundlage für die detaillierten Berechnungen. Für einen besseren Vergleich werden die Klimaprojektionen des regionalen Klimamodells in vier zeitliche Perioden eingeteilt. Abbildung 14 zeigt die Einteilung der Klimaprojektion des Szenarios A1B für die Region München (A1B-MU) und Würzburg (A1B-WU).

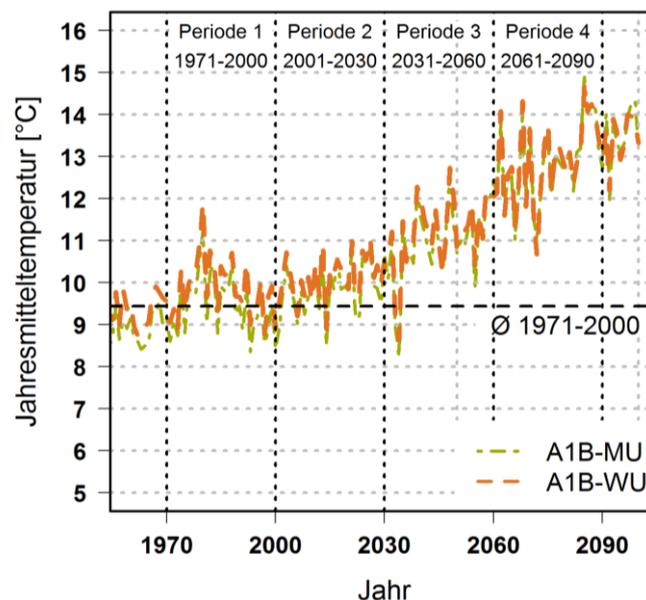


Abbildung 14: Einteilung der Klimaprojektion für die Regionen München und Würzburg

Neben den Auswertungen für die Analyse zu den Klimawandelauswirkungen werden die Klimadaten des regionalen Klimamodells für die Gebäudesimulation aufbereitet. Dafür werden Variablen des Klimamodells, wie z.B. horizontale Globalstrahlung in Direkt- und Diffusstrahlung umgerechnet. Dadurch können die Klimaprojektionen für die Simulationen des zukünftigen Energiebedarfs als Eingangsdaten verwendet werden.

### Modellerstellung

Die Berechnungen für den Energiebedarf der in dem Kapitel Siedlungstypen vorgestellten Modellbereiche werden mit Hilfe eines thermischen Gebäudesimulationsprogramms durchgeführt. Für die Simulationen wird die Software IDA – Indoor Climate and Energy (IDA-ICE) verwendet. IDA ICE ist ein Programm zur detaillierten dynamischen Simulation von Gebäuden. Es berechnet den korrekten zeitlichen Verlauf von Energieflüssen und Komfortvariablen, wie z.B. Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftfeuchte oder CO<sub>2</sub>-Konzentration, in den vom Anwender definierten Zonen, Räumen oder Gebäuden. Die definierten Zonen stehen dabei in Kontakt zu ihrer Umgebung. Diese Umgebung wird durch angrenzende Bauteile, anwesende Personen, Geräte und Gegenstände definiert. Mit Hilfe der Software IDA ICE ist es somit möglich, die dynamischen Wechselwirkungen zwischen Gebäude, Klima, Haustechnik und Benutzer zu simulieren. Der Standort eines Gebäudes und die dazugehörigen Klimadaten können ebenfalls vom Nutzer definiert werden.

Die in dem Kapitel Siedlungstypen vorgestellten Modellbereiche Blockbebauung, Zeilenbebauung und historischer Stadtkern bestehen jeweils aus unterschiedlichen Gebäudetypen. Diese Gebäudetypen weisen teilweise, in Bezug auf den Energiebedarf, verschiedene Merkmale auf. So ist z.B. der Anteil der Außenwand an der gesamten Gebäudehülle bei einem Eckgebäude deutlich höher als bei einem Mittelgebäude, da ein Mittelgebäude in der Regel an zwei Seiten eine Nachbarbebauung aufweist. Auch die Parameter Orientierung, umliegende Bebauung oder Fensterflächen sind für den jeweiligen Gebäudetyp unterschiedlich. Deshalb werden für die Simulationen repräsentative Gebäudetypen für den jeweiligen Modellbereich herangezogen. Abbildung 15 zeigt die unterschiedlichen Gebäudetypen für den jeweiligen Modellbereich bzw. Siedlungstyp. Dabei wird in der Blockbebauung zwischen einem Eck- und einem Mittelgebäude, in der Zeilenbebauung zwischen einem Mehrfamilienhaus mit Ost-West und Nord-Süd Ausrichtung und im historischen Stadtkern zwischen Eck-, Mittel- und Randgebäude unterschieden.



Abbildung 15: Repräsentative Gebäudetypen für die unterschiedlichen Modellbereiche

## Sanierungskonzepte

Für die Analyse des Klimawandeleinflusses auf aktuelle Sanierungskonzepte wird zwischen Maßnahmen an der Gebäudehülle und der Anlagentechnik unterschieden. Die Sanierung der Gebäudehülle beinhaltet eine Dämmung der Außenwand, des Daches und des Bodens bzw. Kellers sowie den Austausch der Fenster. Dabei werden zwei Szenarien für die Maßnahmen der Gebäudehülle definiert. Das Szenario „EnEV“ repräsentiert Kennwerte der Maßnahmen nach aktuellem Stand der Technik. Dabei werden die Grenzwerte des Bauteilnachweises aus der Energieeinsparverordnung des Jahres 2014 herangezogen (EnEV, 2014). Das Szenario „EnEVPlus“ repräsentiert eine zukunftsweisende Sanierung. Die Kennwerte der Gebäudehülle orientieren sich an den Anforderungen eines Passivhauses (Feist, 2016). In Tabelle 7 werden die Kennwerte für die Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle für die Szenarien „EnEV“ und „EnEVPlus“ zusammengefasst.

|          | U-Wert<br>Außenwand<br>[W/m <sup>2</sup> K] | U-Wert<br>Dach<br>[W/m <sup>2</sup> K] | U-Wert<br>Boden/Keller<br>[W/m <sup>2</sup> K] | U-Wert<br>Fenster<br>[W/m <sup>2</sup> K] | g-Wert<br>Verglasung<br>[-] | Luft<br>wechsel<br>[h <sup>-1</sup> ] |
|----------|---|--|--|---|-----------------------------|---------------------------------------|
| EnEV     | 0.24  | 0.24/0.20                              | 0.3  | 1.3                                       | 0.6                         | 0.6                                   |
| EnEVPlus | 0.15  | 0.15                                   | 0.15   | 0.8                                       | 0.6                         | 0.6                                   |

Tabelle 7: Kennwerte für die Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle

Der Schwerpunkt für die Analysen im Bereich der Anlagentechnik liegt auf einer Quantifizierung des potenziellen Kühlbedarfs und der dadurch veränderten Treibhausgasemissionen. Es ist anzumerken, dass im bayerischen Wohngebäudebestand aktuell in der Regel keine Kühlung installiert ist. Für eine einfache Quantifizierung der Klimawandelauswirkungen wird jedoch ein Kühlbedarf ermittelt. Dabei wird angenommen, dass durch die klimatische Erwärmung vermehrt Kühlanlagen in Wohngebäuden installiert werden. Ziel des Arbeitspaketes ist es unter anderem, den potenziellen Kühlbedarf für die jeweiligen Siedlungstypen abzuschätzen und in einem weiteren Schritt mögliche Maßnahmen für die Reduktion des Kühlbedarfs zu bewerten. Für die Sanierung der Anlagentechnik werden ebenfalls zwei Szenarien definiert.

- **Moderat** – Im Szenario „Moderat“ wird die Heizungsanlage saniert und eine ineffiziente Kühlung installiert.

- **Ambitioniert** – Im Szenario „Ambitioniert“ wird die Heizungsanlage saniert und eine effiziente Kühlung installiert. Des Weiteren wird der Strombedarf der Kühlung mit 50 % aus erneuerbaren Energie abgedeckt.

Die beiden Szenarien unterscheiden sich hauptsächlich in der Effizienz der Kühlanlage. Das Szenario Moderat repräsentiert eine ineffiziente Kühlung und stellt somit eine Art „Worst Case Szenario“ dar. Das Szenario Ambitioniert berücksichtigt eine effiziente Kühlung und repräsentiert eine vorausschauende Planung. Dieses Szenario kann als „Best Case“ betrachtet werden. In Tabelle 8 werden die Eckdaten für die Sanierungsszenarien der Anlagentechnik abgebildet. Die Kennwerte der Gebäudetechnik werden aus (Pistohl, 2007) und die Emissionsfaktoren aus einer Studie des Instituts für Wohnen und Umwelt (Großklos, 2014) entnommen.

| Szenario   | Heizen  | Kühlen  |
|--|---|---|
| <b>Moderat</b><br>Wirkungsgrad<br>Emissionsfaktor      | <b>Pellets</b><br>$\eta = 0.9$<br>20 [g/kWhEnd] | <b>Wärmepumpe (Luft/Luft)</b><br>COP = 2,5<br>600 [g/kWhEnd]                    |
| <b>Ambitioniert</b><br>Wirkungsgrad<br>Emissionsfaktor | <b>Pellets</b><br>$\eta = 0.9$<br>20 [g/kWhEnd] | <b>Wärmepumpe (Sole/Wasser)</b><br>COP = 4<br>300 [g/kWhEnd] (50 % Erneuerbare) |

Tabelle 8: Kennwerte der Sanierungsszenarien für die Gebäudetechnik

### Maßnahmen Klimawandelanpassung

Auf Basis der vorgestellten Sanierungskonzepte für die Gebäudehülle „EnEV“ und „EnEVPlus“ sowie für die Anlagentechnik, „Moderat“ und „Ambitioniert“ wird der Einfluss des Klimawandels quantifiziert. In einem weiteren Schritt wird versucht, Maßnahmen gegen die negativen Auswirkungen des Klimawandels, wie z.B. dem Anstieg des potenziellen Kühlbedarfs, zu bewerten. Dabei liegt der Fokus auf einer Reduktion der Überhitzung des Gebäudes. Deshalb werden für die Analysen die folgenden Maßnahmen für die Gebäudehülle herangezogen:

**Sonnenschutzverglasung** – Der Wechsel von einer Wärmeschutzverglasung zu einer Sonnenschutzverglasung stellt eine sehr einfach umzusetzende Maßnahme dar. Durch die Reduktion des Gesamtenergiedurchlassgrades (g-Wert) bei einer Sonnenschutzverglasung kann der Eintrag von Solarstrahlung in das Gebäude reduziert werden. Dies hat wiederum eine Reduktion der Überhitzung zu Folge.

**Sonnenschutz** – Die Installation eines außenliegenden Sonnenschutzes bietet ebenfalls die Möglichkeit, den Eintrag von Solarstrahlung in das Gebäude zu reduzieren. Für die Analysen werden Kennwerte für den Fc-Wert sowie für die Regelung aus der (DIN4108-2, 2013) entnommen.

**Nachtlüftung** – Eine natürliche Belüftung des Gebäudes, z.B. durch Fensteröffnung, bietet die Möglichkeit im Falle einer niedrigeren Außenlufttemperatur das Gebäude zu kühlen. In den Untersuchungen wird eine Nachtlüftung durch Fensteröffnung zwischen 23:00 und 06:00 Uhr in den Monaten Mai bis September untersucht.

**Automatisierte Lüftung** – Die automatisierte Lüftung basiert ebenfalls auf einer natürlichen Belüftung des Gebäudes. Dabei wird jedoch das Öffnen von Fenstern oder Klappen durch eine automatisierte Steuerung übernommen. Die Steuerung reagiert in Abhängigkeit von Innen- und Außentemperaturen. Ist die Innenraumtemperatur grösser als ein Sollwert, wie z.B. 26 °C und gleichzeitig die Außentemperatur kleiner als die Innentemperatur, wird automatisch ein Fenster oder ein Außenluftdurchlass (DIN1946-6, 2009) geöffnet.

Eine Analyse zur Reduktion der Überhitzung des Gebäudes bzw. eines potenziellen Kühlbedarfs wird mit Hilfe von drei Maßnahmenkombinationen durchgeführt. Dabei gliedern sich die Kombinationen nach Aufwand für die technische Umsetzung. Variante eins kann bereits ohne zusätzliche Änderungen einer herkömmlichen Sanierung umgesetzt werden. Das Fenster bzw. die Verglasung wird in der Regel „sowieso“ ausgetauscht. Das Potenzial einer Nachtlüftung kann bereits ebenfalls in bestehenden Gebäuden genutzt werden.

In Variante zwei wird die Installation eines Sonnenschutzes untersucht. Auch hier wird zusätzlich der Einfluss eine Nachtlüftung analysiert. Variante drei stellt die technisch aufwändigste Kombination dar. Die natürliche Lüftung wird in diesem Fall automatisiert durchgeführt. In Tabelle 9 werden die Kennwerte der Maßnahmenkombinationen zusammengefasst.

| Maßnahmenkombination                         | Verglasung<br>g-Wert [-] | Sonnenschutz<br>Fc-Wert [-] | Natürliche Lüftung     |
|--|--------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Variante 1 – Verglasung +<br>Nachtlüftung    | 0,35                     | -                           | Nachtlüftung (manuell) |
| Variante 2 – Sonnenschutz +<br>Nachtlüftung  | 0,60                     | 0,25                        | Nachtlüftung (manuell) |
| Variante 3 – Sonnenschutz +<br>Auto. Lüftung | 0,60                     | 0,25                        | Automatisierte Lüftung |

Tabelle 9: Maßnahmenkombinationen für die Klimawandelanpassung von Sanierungskonzepten

Weitere Informationen zu Modellparametern sowie zur Steuer und Regelung können aus dem Anhang entnommen werden.

### 4.1.3 Während der Durchführung des Vorhabens der Universität bekannt gewordene Fortschritte auf diesem Gebiet bei anderen Stellen

Analysen zum Einfluss des Klimawandels auf den zukünftigen Energiebedarf oder das Überhitzungspotenzial von Gebäuden nehmen in den letzten Jahren stark zu. Im Folgenden werden diejenigen Veröffentlichungen vorgestellt, welche einen engen Bezug zu den Inhalten des Projektes haben. In (Hamdy & Hensen, 2015) werden unterschiedliche Typen von Wohnungen in den Niederlanden auf ihr Überhitzungspotenzial für zukünftige klimatische Veränderungen analysiert. Eine Sensitivitätsanalyse zeigt, dass die Möglichkeit einer natürlichen Lüftung und der Einsatz eines Sonnenschutzes die wirksamsten Maßnahmen gegenüber einer Überhitzung der Wohnung darstellen. Als besonders vulnerabel in Bezug auf eine Überhitzung gelten Wohnungen mit einer großen Fensterfläche sowie Wohnungen welche stark gedämmt sind und an zwei Seiten eine Nachbarbebauung aufweisen. Des Weiteren zeigen Wohnungen in den oberen Geschossen ein höheres Potenzial zur Überhitzung auf.

In (Hooff, Blocken, Timmermans, & Hensen, 2014) werden Maßnahmen zur Klimawandelanpassung von Wohngebäuden in den Niederlanden analysiert. Als Bewertungskriterium wird die Überhitzung der Gebäude herangezogen. Dabei wird das Anpassungspotenzial einer verstärkten Dämmung, einer Erhöhung der Speichermassen, einer Veränderung des Albedos, Dachbegrünung, Sonnenschutz sowie einer natürlichen Lüftung untersucht. Es zeigt sich, dass ein außenliegender Sonnenschutz und die natürliche Lüftung die wirksamsten Maßnahmen sind. Aus einer weiteren Untersuchung von (Hooff, Blocken, Timmermans, & Hensen, 2016) geht hervor, dass durch den Einsatz eines außenliegenden Sonnenschutzes und der natürlichen Lüftung der zukünftige Kühlbedarf zwischen 60 und 75 % in Wohngebäuden reduzieren werden kann.

In einer Studie aus England wird anhand von fünf Fallbeispielen aufgezeigt, wie Gebäude unter Berücksichtigung der klimatischen Veränderungen zukünftig gestaltet werden sollten (CIBSE-TM55, 2014). Dabei wird besonders auf die Klimawandelauswirkungen Hitze und Überflutung eingegangen. Die Vor- und Nachteile einzelner Anpassungsmaßnahmen werden Anhand der spezifischen Fallbeispiele dargestellt. Dabei zeigt sich, dass ebenfalls die Maßnahmen Sonnenschutz und natürliche Lüftung, im Bereich Hitze das größte Potenzial für die Klimawandelanpassung aufweisen.

#### 4.1.4 Darstellung und Bewertung der erzielten Ergebnisse und ihrer praktischen Anwendbarkeit

##### Siedlungstyp Blockbebauung

Die Simulationsergebnisse für den Siedlungstyp Blockbebauung in Abbildung 16 zeigen einen deutlichen Rückgang des Heizwärmebedarfs unter den klimatischen Veränderungen. Im Bestand geht der mittlere Heizwärmebedarf von 110 kWh/m<sup>2</sup>a in Periode 1 (1971-2000) auf ca. 80 kWh/m<sup>2</sup>a in Periode 4 (2061-2090) zurück. Der Rückgang bei einer Sanierung nach aktuellem Stand der Technik (EnEV) beträgt von Periode 1 mit einem mittleren Heizwärmebedarf von ca. 40 kWh/m<sup>2</sup>a auf Periode 4 mit ca. 25 kWh/m<sup>2</sup>a fast 40 %. Des Weiteren zeigen die Ergebnisse, dass eine energetische Sanierung trotz klimatischer Erwärmung weiterhin absolut notwendig ist. Die Sanierung der Gebäudehülle kann den Heizwärmebedarf um mehr als die Hälfte reduzieren.

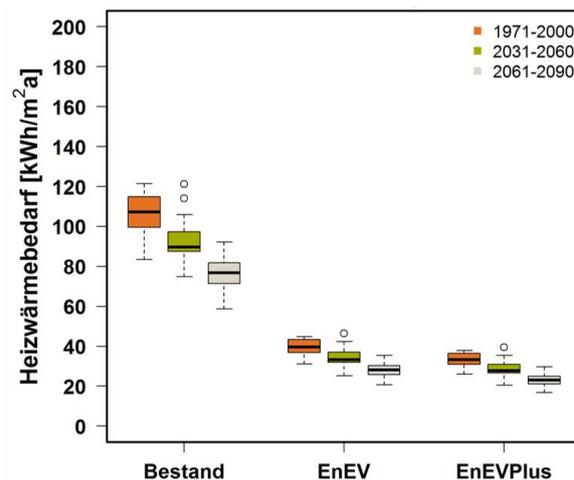
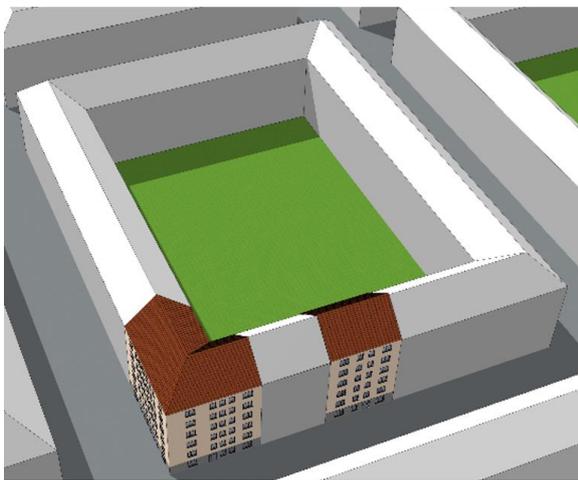


Abbildung 16: Reduktion des Heizwärmebedarfs für den Modellbereich Blockbebauung

In Abbildung 17 ist die Entwicklung des Heiz- und Kühlbedarfs sowie der Treibhausgas-Emissionen für die beiden Sanierungsszenarien der Gebäudehülle (EnEV, EnEVPlus) dargestellt. Der Kühlbedarf in Periode 4 für die Sanierung nach EnEVPlus kann in manchen Jahren höher sein als der Heizwärmebedarf. Dies macht die Überlagerungen der beiden Boxplots für das Heizen und Kühlen deutlich. Die Ergebnisse für die Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen machen den Einfluss einer ineffizienten bzw. effizienten Kühlung deutlich. Das Szenario Moderat spiegelt den Einsatz einer ineffizienten Kühlung wieder. Deshalb steigen die Emissionen in diesem Szenario stark an. Periode 4 zeigt für beide Sanierungsszenarien der Gebäudehülle (EnEV und EnEVPlus) mehr als eine Verdoppelung der Emissionen gegenüber Periode 1. Der Einsatz einer effizienten Kühlung (Ambitioniert) kann die zusätzlichen Emissionen, verursacht durch die klimatischen Veränderungen, im Vergleich zum Szenario Moderat weitgehend kompensieren.

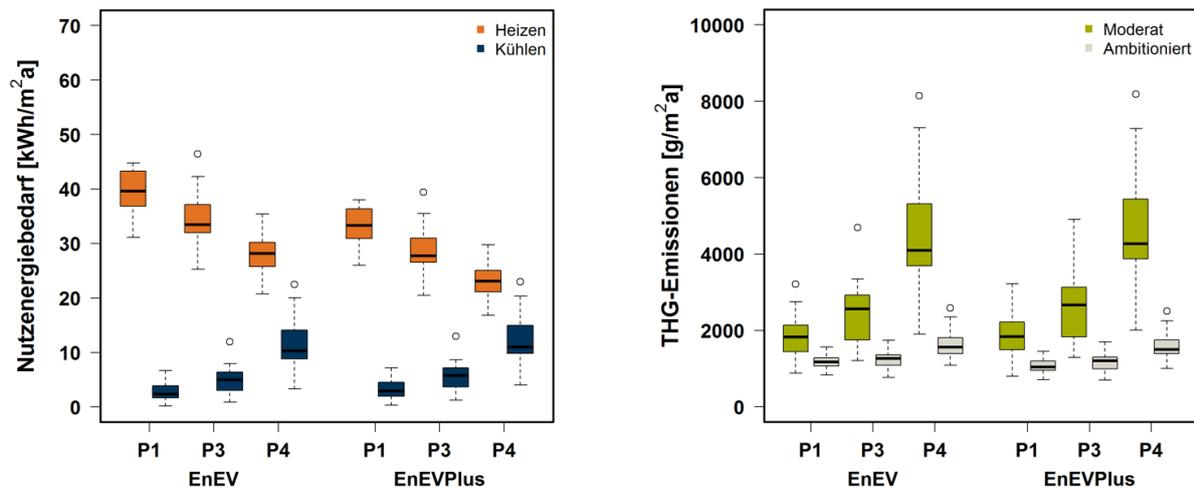


Abbildung 17: Entwicklung des Heiz-, Kühlbedarfs und der Treibhausgas-Emissionen im Siedlungstyp Blockbebauung

Die Wirksamkeit der vorgestellten Klimaanpassungsmaßnahmen ist in Abbildung 18 dargestellt. Als Referenz (Ref.) dienen Ergebnisse für das Szenario EnEV aus Periode 4. Der Austausch einer Wärmeschutzverglasung durch eine Sonnenschutzverglasung verursacht auf Grund des niedrigeren Gesamtenergiedurchlassgrades (g-Wert) eine Erhöhung des Heizwärmebedarfs. Dies ist in den Ergebnissen der Variante 1 (V1) deutlich zu erkennen. Die Installation eines außenliegenden Sonnenschutzes (V2) zeigt hingegen keine negativen Auswirkungen auf den Heizwärmebedarf. Der Einsatz des Sonnenschutzes kann durch eine automatische Steuerung, im Gegensatz zum g-Wert der Verglasung, während der Heizperiode reduziert werden. Bei der Reduktion des potenziellen Kühlbedarfs zeigen Sonnenschutzverglasung (V1) und außenliegender Sonnenschutz (V2) ähnliche Ergebnisse. Die Verwendung einer automatisierten natürlichen Lüftung zusätzlich zum Sonnenschutz (V3) zeigt das größte Reduktionspotenzial für den Kühlbedarf. Die Ergebnisse für die Treibhausgas-Emissionen lassen ähnliche Rückschlüsse zu wie die Resultate des Nutzenergiebedarfs. Bei den Emissionen wird noch einmal der Unterschied zwischen einer ineffizienten Kühlung (Moderat) und einer effizienten Kühlung (Ambitioniert) deutlich.

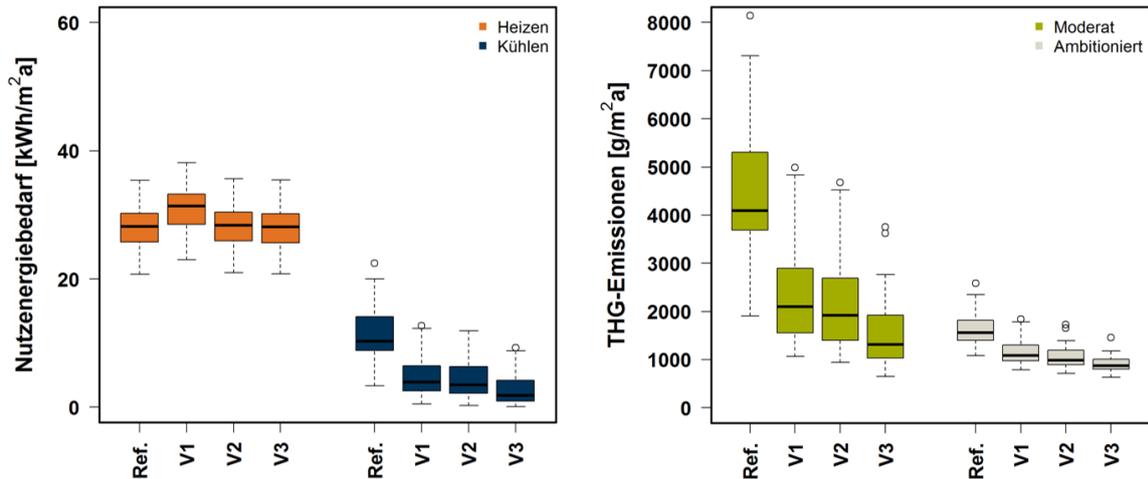


Abbildung 18: Vergleich von Klimaanpassungsmaßnahmen für das Szenario EnEV in Periode 4 für den Siedlungstyp Blockbebauung

### Siedlungstyp Zeilenbebauung

Die Simulationsergebnisse für den Siedlungstyp Zeilenbebauung in Abbildung 16 zeigen ebenfalls einen deutlichen Rückgang des Heizwärmebedarfs verursacht durch den Klimawandel. Der mittlere Heizwärmebedarf im Bestand geht von ca. 170 kWh/m²a in Periode 1 (1971-2000) auf ca. 120 kWh/m²a in Periode 4 (2061-2090) zurück. Bei einer Sanierung nach aktuellem Stand der Technik (EnEV) beträgt der Rückgang von Periode 1 mit einem mittleren Heizwärmebedarf von ca. 50 kWh/m²a auf Periode 4 mit ca. 35 kWh/m²a fast 30 %. Der Siedlungstyp Zeilenbebauung weist im Vergleich zu den anderen beiden Siedlungstypen den höchsten mittleren Heizwärmebedarf auf. Dies liegt an der weniger kompakten Bauweise der freistehenden Mehrfamilienhäuser. Im Siedlungstyp Blockbebauung und historischen Stadtkern haben die Gebäude mehr direkte Nachbarbebauung. Dadurch reduziert sich der Anteil der Außenwand an der gesamten Gebäudehülle, was wiederum einen geringeren Transmissionswärmeverlust zur Folge hat.

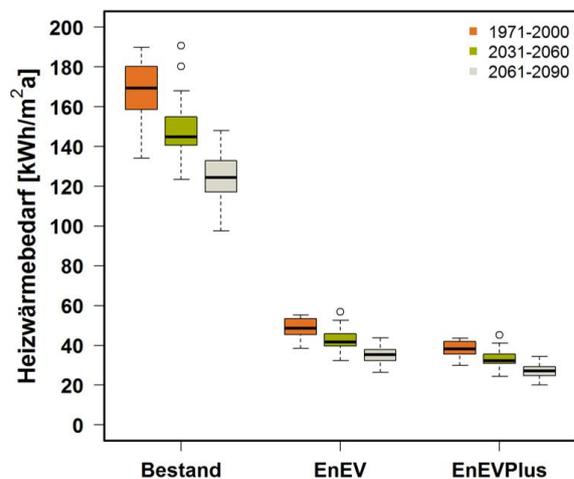
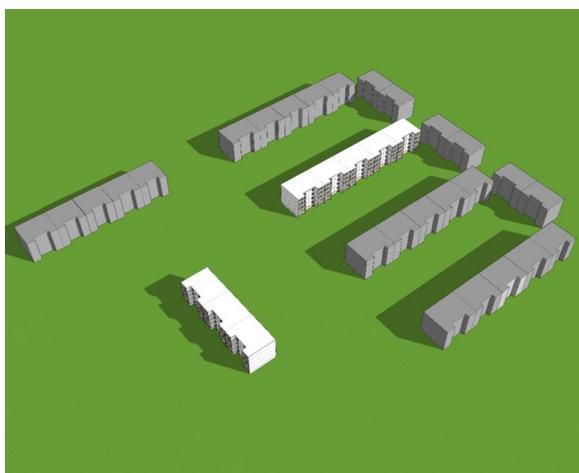


Abbildung 19: Reduktion des Heizwärmebedarfs im Modellbereich Zeilenbebauung

In Abbildung 20 ist die Entwicklung des Heiz- und Kühlbedarfs sowie der Treibhausgas-Emissionen für die beiden Sanierungsszenarien der Gebäudehülle (EnEV, EnEVPlus) dargestellt. Der Kühlbedarf in Periode 4 für die Sanierung nach EnEVPlus erreicht teilweise denselben Wert wie der Heizwärmebedarf. Des Weiteren ist ein exponentieller Anstieg des Kühlbedarfs über die Perioden, ähnlich den beiden anderen Siedlungstypen, erkennbar. Der Klimawandel verursacht auch eine höhere Unsicherheit für den Nutzenergiebedarf. Diese Unsicherheit wird durch die Streuung bzw. „Länge“ der Boxplots wiedergegeben. Während die Streuung der Ergebnisse pro Periode für den Heizwärmebedarf annähernd gleich bleibt, steigt diese für den Kühlbedarf kontinuierlich an. Daraus ergibt sich ein Anstieg der Gesamtunsicherheit des Nutzenergiebedarfs.

Diese Unsicherheiten des Kühlbedarfs sind auch in den Ergebnissen der Treibhausgas-Emissionen zu erkennen. Im Falle einer ineffizienten Kühlung (Szenario Moderat) wird dies besonders deutlich. Die Streuung der Ergebnisse in den Perioden verdoppelt sich von Periode 1 auf Periode 3 und noch einmal von Periode 3 auf Periode 4 für beide Sanierungsszenarien (EnEV und EnEVPlus). Der Einsatz einer effizienten Kühlung im Szenario Ambitioniert kann, wie bereits im Siedlungstyp Blockbebauung, die zusätzlichen Emissionen deutlich reduzieren.

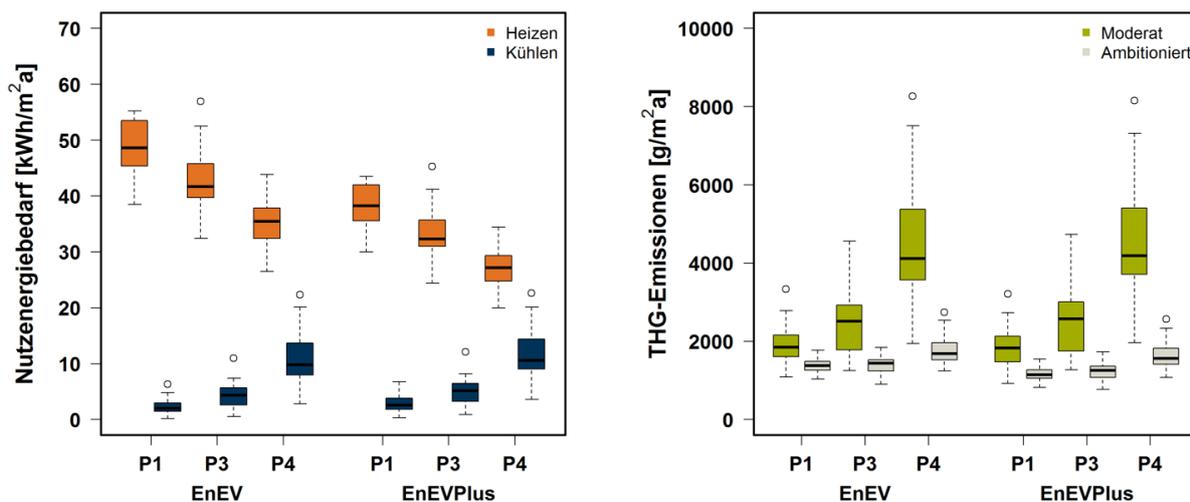


Abbildung 20: Entwicklung des Heiz-, Kühlbedarfs sowie der Treibhausgas-Emissionen im Siedlungstyp Zeilenbebauung

Ein Vergleich der Klimaanpassungsmaßnahmen für den Siedlungstyp Zeilenbebauung ist in Abbildung 21 dargestellt. Als Referenz (Ref.) dienen wieder die Ergebnisse für das Szenario EnEV aus Periode 4. Die Reduktion des g-Wertes in V1 liefert auch in der Zeilenbebauung einen negativen Einfluss auf den Heizwärmebedarf. Bei der Reduktion des potenziellen Kühlbedarfs zeigen Sonnenschutzverglasung (V1) und außenliegender Sonnenschutz (V2) unterschiedliche Ergebnisse. Dies ist auf die Regelparameter für den Sonnenschutz zurückzuführen. An den Südfassaden wird auf Grund der Verschattung durch Balkone der Grenzwert für das Auslösen des Sonnenschutzes teilweise nicht erreicht.

Deshalb entsteht, im Vergleich zu einer Sonnenschutzverglasung, eine höhere Überhitzung durch die Solarstrahlung. Daraus lässt sich der unterschiedliche Kühlbedarf zwischen V1 und V2 ableiten. Der Einsatz einer automatisierten natürlichen Lüftung und einem außenliegenden Sonnenschutz (V3) weist auch in der Zeilenbebauung das höchste Potenzial für die Reduktion des Kühlbedarfs auf. Der Unterschied zu den anderen beiden Varianten 1 und 2 ist jedoch nicht mehr so deutlich wie in der Blockbebauung. In der Zeilenbebauung ist im Vergleich zu den anderen beiden Siedlungstypen die Verschattung durch die umliegende Bebauung geringer. Deshalb verursacht die Solarstrahlung einen höheren potenziellen Kühlbedarf. Dieser kann zwar durch die natürliche Lüftung kompensiert werden, jedoch nicht mehr so deutlich wie in den anderen beiden Siedlungstypen.

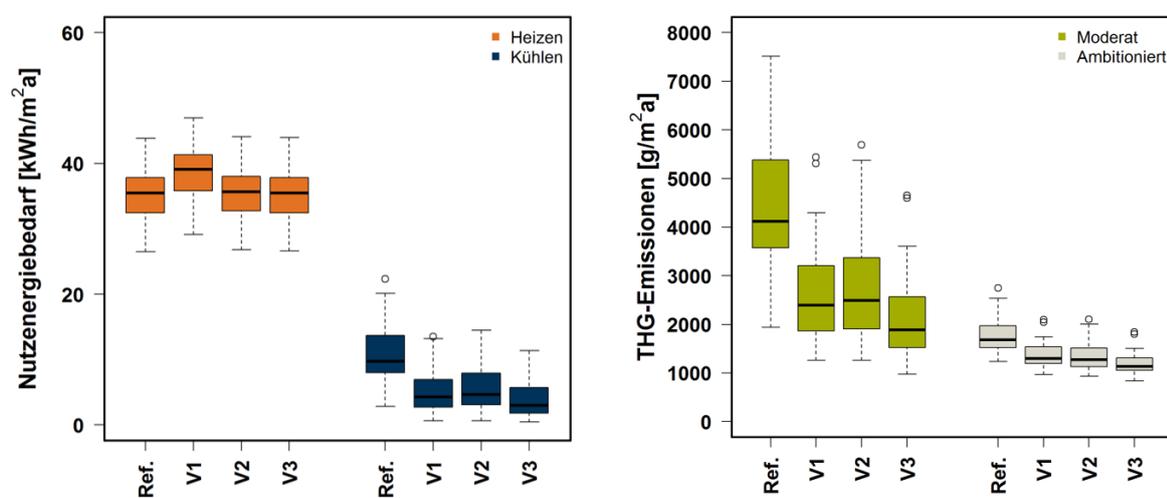


Abbildung 21: Vergleich von Klimaanpassungsmaßnahmen für das Szenario EnEV in Periode 4 für den Siedlungstyp Zeilenbebauung

### Siedlungstyp historischer Stadtkern

Abbildung 22 zeigt den Modellbereich des historischen Stadtkerns und die Entwicklung des mittleren Heizwärmebedarfs für den gesamten Modellbereich in Abhängigkeit von Sanierungsszenario und Klimaperiode. Die Simulationsergebnisse zeigen einen deutlichen Rückgang des mittleren Heizwärmebedarfs für die zukünftigen Perioden 3 und 4. Der mittlere Heizwärmebedarf im Bestand geht von ca. 135 kWh/m²a in Periode 1 auf ca. 100 kWh/m²a zurück. Das ist eine Reduktion von ca. 25 %. Bei einer Sanierung nach aktuellem Stand der Technik (EnEV) reduziert sich der Heizwärmebedarf von ca. 55 kWh/m²a in Periode 1 auf 35 kWh/m²a in Periode 4. Dies entspricht einen Rückgang von ca. 35 %. Die Reduktion des Heizwärmebedarfs im Bestand durch eine Sanierung der Gebäudehülle beträgt fast zwei Drittel. Daraus lässt sich ableiten, dass wie in den anderen beiden Siedlungstypen eine energetische Sanierung weiterhin notwendig ist.

Der Heizwärmebedarf des historischen Stadtkerns liegt im Vergleich zu den beiden anderen Siedlungstypen in der Mitte. Dies liegt an der heterogenen Mischung von unterschiedlichen Gebäudetypen im Modellbereich. So hat das Mittelgebäude tendenziell einen niedrigeren Heizwärmebedarf. Das Randgebäude, mit drei Außenwänden, weist jedoch einen höheren Heizwärmebedarf auf. Der durchschnittliche Heizwärmebedarf befindet sich deshalb zwischen den beiden anderen Siedlungstypen, welche jeweils mehr Gebäude von einem Typ aufweisen.

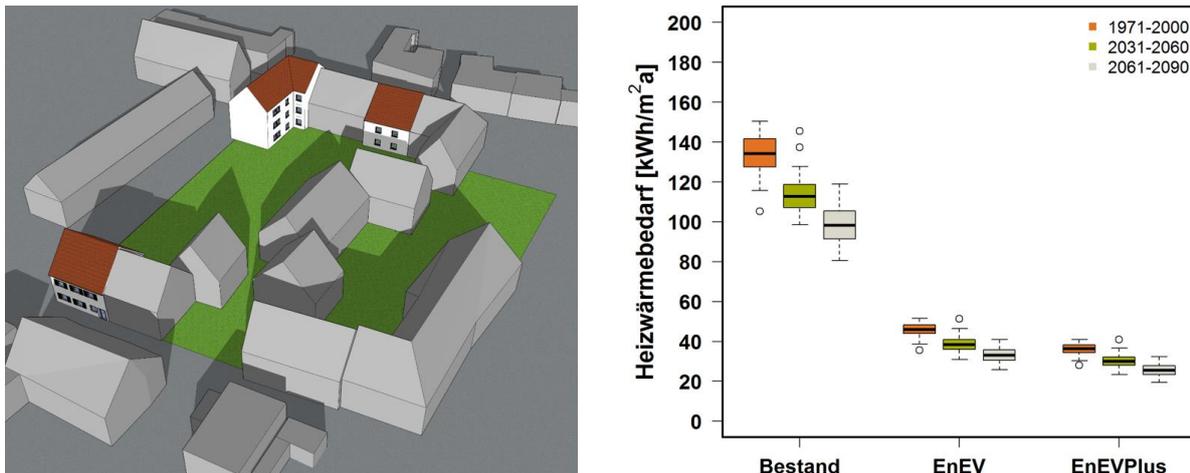


Abbildung 22: Reduktion des Heizwärmebedarfs im Modellbereich historischer Stadtkern

Die Entwicklung des Heiz- und Kühlbedarfs sowie der Treibhausgas-Emissionen ist in Abbildung 23 dargestellt. Es ist, wie in den anderen beiden Siedlungstypen, ein starker Anstieg des Kühlbedarfs für die Szenarien EnEV und EnEVPlus erkennbar. Des Weiteren ist ebenfalls ein Anstieg der Unsicherheiten im Kühlbedarf ersichtlich. Dies kann von der Größe der Boxplots abgeleitet werden. Der Anteil des Kühlbedarfs beträgt in Periode 4 für das Szenario EnEVPlus teilweise 50 % des gesamten Energiebedarfs.

Die Ergebnisse der Treibhausgas-Emissionen machen den Einfluss einer ineffizienten bzw. effizienten Kühlung auch im Siedlungstyp historischer Stadtkern deutlich. Durch die ineffiziente Kühlung im Szenario Moderat steigen die Emissionen deutlich an. Es ist sogar jeweils eine Verdoppelung von Periode 1 auf Periode 3 und von Periode 3 auf Periode 4 erkennbar. Der Einsatz einer effizienten Kühlung im Szenario Ambitioniert kann die zusätzlichen Emissionen fast vollständig reduzieren. Im Szenario EnEV in Periode 3 sind die Emissionen sogar ein wenig niedriger als in Periode 1. In diesem Fall ist die Reduktion des Heizwärmebedarfs deutlich höher als der Anstieg des Kühlbedarfs. Wird der Kühlbedarf auch noch effizient gedeckt, entsteht eine Emissionsreduktion gegenüber der aktuellen Periode.

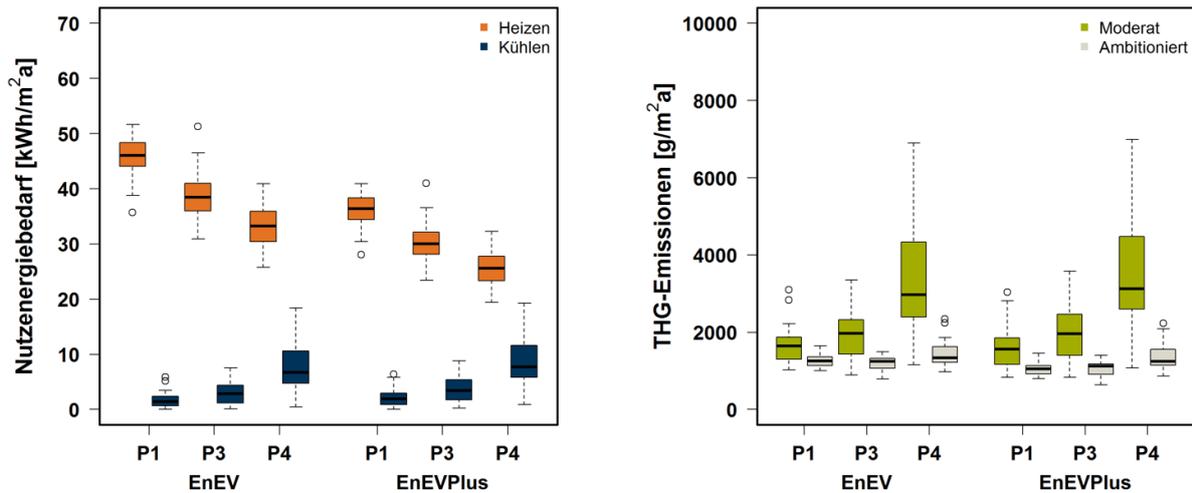


Abbildung 23: Entwicklung des Heiz-, Kühlbedarfs sowie der Treibhausgas-Emissionen im Siedlungstyp historischen Stadtkern

Ein Vergleich der Klimaanpassungsmaßnahmen für den Siedlungstyp historischer Stadtkern ist in Abbildung 24 dargestellt. Die Ergebnisse repräsentieren das Szenario EnEV und die Periode 4. Die Verwendung einer Sonnenschutzverglasung zeigt wie in den anderen beiden Siedlungstypen eine negative Auswirkung auf den Heizwärmebedarf. Variante 1 und 2 können den mittleren Kühlbedarf von 8 auf 3 kWh/m<sup>2</sup>a senken. Die Treibhausgas-Emissionen im Szenario Moderat können durch V1 und V2 im Mittel sogar um fast 45 % reduziert werden. Eine Kombination von außenliegendem Sonnenschutz und einer automatisierten Lüftung kann auch in diesem Siedlungstyp die negativen Auswirkungen des Klimawandels am deutlichsten reduzieren. Ein weiterer Vergleich der drei Siedlungstypen kann aus dem Anhang entnommen werden.

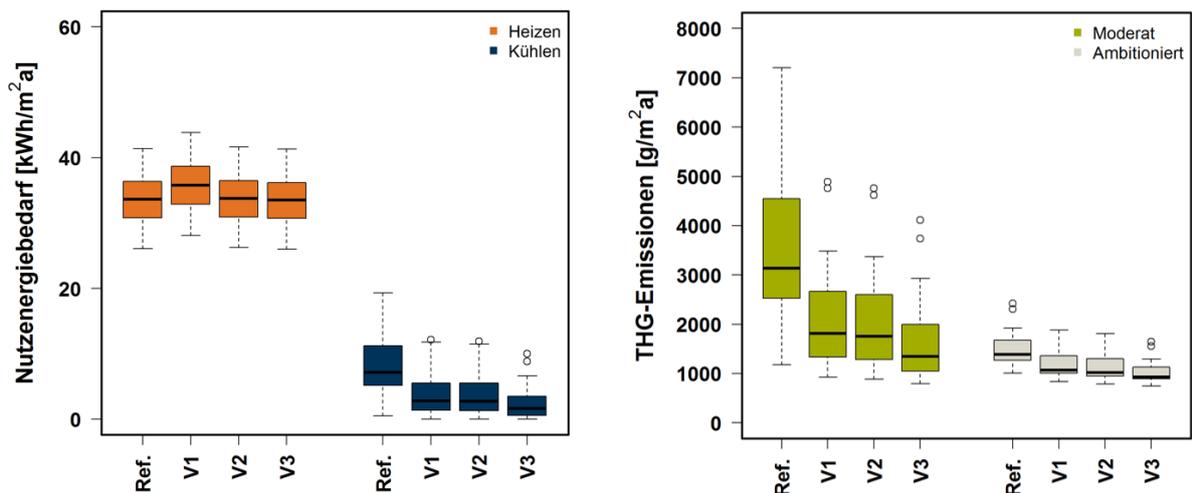


Abbildung 24: Vergleich von Klimaanpassungsmaßnahmen für das Szenario EnEV in Periode 4 für den Siedlungstyp historischen Stadtkern

#### 4.1.5 Schlussfolgerung und Zusammenfassung

In allen drei Siedlungstypen sind ein deutlicher Rückgang des Heizwärmebedarfs und ein Anstieg des potenziellen Kühlbedarfs zu erkennen. Eine energetische Sanierung bleibt aber trotz klimatischer Veränderungen notwendig, um einen maximalen Klimaschutz zu erreichen. In den beiden Sanierungsszenarien für die Gebäudehülle (EnEV und EnEVPlus) kann der mittlere Kühlbedarf der Periode 2061-2090 einen Anteil von 20 bis 35 % am gesamten Nutzenergiebedarf aufweisen. Die Streuung des Kühlbedarfs nimmt ebenfalls mit jeder Periode zu. Dadurch erhöht sich auch die Unsicherheit des gesamten Nutzenergiebedarfs.

Die Ergebnisse für die Treibhausgas-Emissionen verdeutlichen den Einfluss einer ineffizienten bzw. effizienten Kühlung. Auf Grund des starken Anstiegs von Emissionen, bei der Verwendung einer ineffizienten Kühlung, ist es zu empfehlen in den aktuellen Sanierungskonzepten bereits die Möglichkeit für eine effiziente Kühlung zu berücksichtigen. Für die Klimaanpassung der aktuellen Sanierungskonzepte zeigt die Maßnahmenkombination außenliegender Sonnenschutz und automatisierte natürliche Lüftung das größte Potenzial für eine Reduktion der negativen Klimawandelauswirkungen. Die Verwendung einer Sonnenschutzverglasung bietet zwar ebenfalls ein hohes Reduktionspotenzial für den Kühlbedarf, hat jedoch auch negative Auswirkungen auf den Heizwärmebedarf. Die Implementierung eines außenliegenden Sonnenschutzes in Kombination mit einer konsequenten Nachtlüftung stellt aus Sicht der technischen Umsetzung die favorisierte Variante dar. Diese Variante weist keine negativen Auswirkungen auf den Heizwärmebedarf auf und zeigt trotzdem ein hohes Reduktionspotenzial für den Kühlbedarf.

#### Fazit

##### Klimawandelauswirkungen Energieeffizienz:

- Reduktion des Heizwärmebedarfs von 30 % bis 40 % in allen drei Siedlungstypen bei einer Sanierung nach aktuellem Stand der Technik (EnEV) in der Periode 2061 bis 2090.
- Der potenzielle Kühlbedarf verdreifacht sich bis zur Periode 2061 bis 2090 in allen drei Siedlungstypen bei einer Sanierung nach aktuellem Stand der Technik (EnEV).
- Eine energetische Sanierung bleibt aus Sicht des Klimaschutzes in allen drei Siedlungstypen unerlässlich.

### Maßnahmen gegen die negativen Auswirkungen des Klimawandels:

- Die optionale Kühlung durch Analgentechnik oder Maßnahmen an der Gebäudehülle sollten auf Grund der langen Sanierungszyklen bereits in der aktuellen Planung berücksichtigt werden.
- Der Einsatz einer Kühlung welche ausschließlich durch nicht erneuerbaren Strom erfolgt, sollte unbedingt vermieden werden. Dies führt in den drei Siedlungstypen zu einem Anstieg der Treibhausgas-Emissionen zwischen 100 % und 140 % in der Periode 2061 bis 2090.
- Als Maßnahmenkombination ist ein außenliegender Sonnenschutz gepaart mit einer Nachtlüftung zu empfehlen, da hier ein optimales Kosten-Nutzen-Verhältnis erreicht wird.

## 4.2 Urbane Klimaregulation durch grüne Infrastruktur

### 4.2.1 Zusammenstellung der Gesamtproblematik und bisher bekannt gewordener Ergebnisse auf dem Gebiet der Aufgabenstellung

Städte sind durch ihre baulichen und strukturellen Eigenschaften besonders von klimatischen Extremereignissen wie Hitze oder Starkregen betroffen. Hohe Bebauungsdichten, ein hoher Versiegelungsgrad und geringe Grünflächenanteile führen sowohl zu einer Überhitzung an sommerlichen Hitzetagen (max. Lufttemperatur über 30°C) als auch zu hohen Oberflächenabflüssen nach Starkregenereignissen (mehr als 10 mm Niederschlag pro Stunde) (DWD, 2015a; DWD, 2016; EEA, 2012). Daraus können sich negative Folgen für die Bewohner, z.B. Hitzestress, gesundheitliche Beeinträchtigungen, lokale Überflutungen und eine Überlastung des Kanalsystems ergeben. In Folge des Klimawandels wird sich die Häufigkeit und Intensität solcher Extremereignisse weiter erhöhen (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014b). Daher müssen Klimaanpassungsstrategien für urbane Räume entwickelt werden.

Eine Möglichkeit zur Klimaanpassung besteht in der Nutzung von Ökosystemleistungen, welche von urbanen grünen Infrastrukturen (UGI) bereitgestellt werden (Gómez-Baggethun & Barton, 2013; MA, 2005; TEEB DE, 2016). Darunter versteht man multifunktionale Netzwerke von Grün- und Freiflächen, die strategisch entwickelt werden, um u.a. regulierende Leistungen für die Klimaanpassung zu erbringen (EC, 2013; S. Pauleit et al., 2011). Sie umfassen verschiedene städtische Begrünungsformen, von Parks über Bäume bis zu Dach- und Fassadenbegrünungen (Gaffin et al., 2012). Insbesondere durch Verschattung und Verdunstung ermöglicht die städtische Vegetation die Regulation des urbanen Mikroklimas und damit eine Verbesserung des thermischen Komforts im Freiraum (z.B. Bowler et al., 2010; Klemm, Heusinkveld, Lenzholzer, & van Hove, 2015; Y. Wang, Bakker, de Groot, Wortche, & Leemans, 2015). Unter dem Begriff Verdunstung werden die Evaporation aus offenen Böden, aus Vegetationsoberflächen und aus dem Oberflächenwasser sowie die Transpiration der Pflanzen zusammengefasst. Während Starkregenereignissen hält Vegetation das Niederschlagswasser zurück und kann so entlastend für die Kanalisation wirken.

Dabei erbringen verschiedene Begrünungssysteme je nach räumlicher Situation unterschiedliche Regulationsleistungen. Bisherige Studien untersuchten v.a. die Regulationspotentiale einzelner UGI-Maßnahmen anhand empirischer und modellhafter Analysen. Beispielsweise konnten Hall, Handley, and Ennos (2012) und C. Skelhorn, Lindley, and Levermore (2014) eine Reduktion der Luft- und Oberflächentemperaturen durch zusätzliche Vegetation in Stadtquartieren zeigen, während A. Moser, Rötzer, Pauleit, and Pretzsch (2015) und Fahmy, Sharples, and Yahiya (2010) die Zusammenhänge zwischen klimatischer Wirksamkeit und Baumgeometrie bzw. Blattfläche aufzeigen konnten.

Fassaden- und Dachbegrünung senkt erwiesenermaßen die Strahlungstemperatur, welche die Intensität lang- und kurzwelliger Strahlung ausdrückt, die auf den menschlichen Körper auftrifft (Jänicke, Meier, Hoelscher, & Scherer, 2014; Lobaccaro & Acero, 2015). Weitere Studien belegen auch die Wirksamkeit einzelner Grünmaßnahmen zur Regenwasserrückhaltung (Armson, Stringer, & Ennos, 2013; Czemieli Berndtsson, 2010; Gregoire & Clausen, 2011; J. Wang, Endreny, & Nowak, 2008). In der Planungspraxis fehlt es folglich oft an vergleichbaren Aussagen zu verschiedenen Maßnahmentypen. Dadurch ist es für Stadtplaner trotz der allgemein anerkannten Wirksamkeit von UGI-Maßnahmen schwierig zu entscheiden, welche Option unter welchen lokalen Bedingungen einzusetzen sind, um einen größtmöglichen Nutzen für die Anpassung an den Klimawandel zu erzielen (Bowler et al., 2010; Norton et al., 2015).

Ziel dieses Arbeitspakets ist es, die Regulation von Hitze- und Starkregenereignissen durch verschiedene urbane Begrünungssysteme (Stadtbäume, Fassaden- und Dachbegrünung) unter heutigen und zukünftig zu erwartenden Klimabedingungen in verschiedenen Siedlungstypen zu vergleichen. Daraus werden übertragbare Aussagen für den Leitfaden abgeleitet. Folgende Forschungsfragen werden untersucht:

- Welche Regulationsleistung erbringen Begrünungsmaßnahmen – bei Hitze- und Starkregenereignissen – heute und in der Zukunft?
- Wie unterscheiden sich die Leistungen unterschiedlicher Begrünungsarten und Quantitäten?
- In welcher Abhängigkeit stehen die Regulationsleistungen von stadtstrukturellen Gegebenheiten?

## 4.2.2 Angewandte wissenschaftliche und technische Methoden

### Mikroklimasimulation

Für die Quantifizierung des städtischen Mikroklimas und der Wirkung grüner Infrastruktur wurde das 3-dimensionale Mikroklimamodell ENVI-met V4 herangezogen (Bruse & Environmental Modelling Group, 2015). Es berechnet auf kleinräumigen Skalen von max. 200x200 m und für Zeiträume von einzelnen Tagen die Interaktionen zwischen Atmosphäre, Oberflächen und Vegetation. Als meteorologische Randbedingungen werden Messwerte der städtischen Wetterstationen für die gegenwärtige Klimasituation sowie Projektionen aus dem regionalen Klimamodell REMO für die in der Zukunft zu erwartenden Bedingungen in ENVI-met eingegeben. Für die Analysen liegt der Schwerpunkt auf Hitzetagen, also Sommertagen mit einer maximalen Tagestemperatur über 30 °C (DWD, 2015a). An diesen Tagen heizt sich der Außenraum stark auf. Zur höchsten Hitzebelastung kommt es nachmittags (in München und Würzburg meist um 15 Uhr gemessen), worauf auch die vorliegende Untersuchung fokussiert. Da ENVI-met einen konkreten Tagesverlauf als Input benötigt, wurde aus den Messdaten von 2001 bis 2009 der Wetterstationen LMU Theresienstraße (für Maxvorstadt und Neububing) und DWD Hubland (für Heidingsfeld) je ein typischer Hitzetag ausgewählt. Auch aus den REMO-Daten kann ein solcher Tagesverlauf extrahiert werden. Dafür wurde ein typischer extremer Hitzetag aus der Periode von 2030 bis 2059 des IPCC Szenarios A1B je für die Region München sowie die Region Würzburg ausgewählt.

Ein extremer Hitzetag ist definiert als ein Tag aus dem 90. Perzentil aller Hitzetage, also der obersten 10 % aller Hitzetage. Tabelle 41 im Anhang zeigt die Eingangsdaten in die Simulation. Es wird jeweils ein Verlauf von 48 Stunden simuliert.

Neben den meteorologischen Randbedingungen gehen räumliche Informationen aus den Untersuchungsgebieten in die Simulation ein. Daten zu Gebäuden und Oberflächen wurden aus verfügbaren Geodaten extrahiert. Die derzeitige Vegetationsstruktur wurde im Frühjahr und Sommer 2015 während Ortsbegehungen und anhand von Luftbildern erfasst und ausgewertet sowie für die Darstellung in ENVI-met in Vegetationsklassen eingeteilt: Gras, Sträucher, Kleinbaum, mittelgroßer Baum, Großbaum sowie Großbaum mit breiter Krone. Die wichtigsten Parameter, die die Vegetationsklassen beschreiben, das Volumen der Vegetation, ihre Blattflächendichte (leaf area density = LAD) und Wurzeltiefe sind in der Tabelle 42 im Anhang angegeben. Die simulierten Modellbereiche unterscheiden sich schließlich in ihrer Größe sowie in ihrer derzeitigen Grünausstattung.

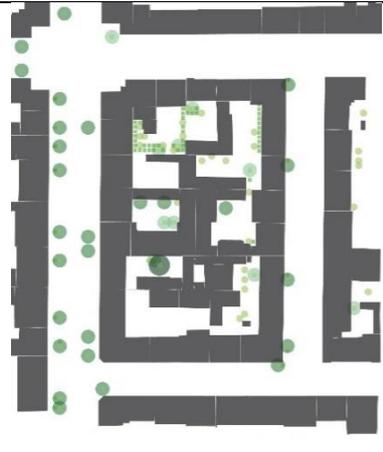
| Blockbebauung - Maxvorstadt  | Zeilenbebauung - Neuaubing   | Altstadtkern - Heidingsfeld   |
|--|--|---|
|   |  |  |
| Größe: 174 m x 200 m x 50 m  | 300 m x 300 m x 50 m   | 146 m x 157 m x 50 m  |
| Grünanteil: 12 %   | 63 %   | 15 %  |
| Rotation aus Norden: 24°   | 0°   | 35°   |
|  |  |   |

Tabelle 10: Übersicht über den Aufbau der drei Modellbereiche in ENVI-met

Für die Bewertung der thermischen Belastung in den Fallstudiengebieten werden die Ergebnisse des zweiten Simulationstages herangezogen. Anfänglich mögliche Modellschwankungen treten dann nicht mehr auf und die Oberflächen sind bereits aufgeheizt, wie es auch während einer Hitzewelle mit mehreren aufeinander folgenden Hitzetagen geschehen würde. Bei der Auswertung der Modellierungsergebnisse liegt das Hauptinteresse auf der „gefühlten Temperatur“, dem sogenannten thermischen Komfort, im Außenraum während einer nachmittäglichen Hitzebelastung um 15 Uhr. Dieser wird durch den Parameter der „Physiologisch Äquivalenten Temperatur“ (PET in °C) ausgedrückt. Neben physiologischen Werten und einer Bekleidungsrate finden v. a. die meteorologischen Parameter Strahlungstemperatur, Windgeschwindigkeit und Feuchte Ausdruck in diesem thermischen Index (Höppe, 1999).

Es werden verschiedene Stufen thermischen Empfindens unterschieden: ab 23 °C empfindet der Mensch eine Wärmebelastung, ab 41°C spricht man von extremem Hitzestress (Tabelle 11). Der Zeitpunkt der Auswertung ist 15 Uhr, die Stunde der höchsten thermischen Belastung an einem Hitzetag, in einer Höhe von 1,4 m, was in etwa der durchschnittlichen Brusthöhe eines Menschen entspricht (Matzarakis, Mayer, & Iziomon, 1999).

| PET      | Thermisches Empfinden | Thermophysiological Wärmebelastung |
|----------|-----------------------|------------------------------------|
| 18-23 °C | Behaglich             | Keine                              |
| 23-29 °C | Leicht warm           | Schwach                            |
| 29-35 °C | Warm                  | Mäßig                              |
| 35-41 °C | Heiß                  | Stark                              |
| > 41 °C  | Sehr heiß             | Extrem                             |

Tabelle 11: Thermisches Empfinden nach Physiologisch Äquivalenter Temperatur (PET), eigene Darstellung nach Matzarakis et al. (1999)

## Hydrologische Simulation

Die Quantifizierung der städtischen Wasserbilanz und der Wirkung grüner Infrastruktur wurde mithilfe des 2-dimensionalen hydrologischen Modells MIKE SHE durchgeführt (DHI, 2014). Damit können für einzelne Regenereignisse alle relevanten hydrologischen Prozesse der städtischen Wasserbilanz analysiert werden. Aufgrund der komplexen Daten, die für eine realitätsnahe Darstellung des urbanen Wasserkreislaufs im Modell notwendig sind (z.B. Topographie, Oberflächenmaterialien, Kapazität des Kanalnetzes), konzentriert sich diese Untersuchung auf den am höchsten versiegelten Siedlungstyp der Blockbebauung (Maxvorstadt), in welchem folglich auch mit der höchsten Anfälligkeit gegenüber Starkregenereignissen gerechnet werden kann.

Als meteorologische Randbedingungen werden sommerliche Starkregenereignisse von unterschiedlicher Intensität in der Modellierung verwendet. Nach den Vorschriften DIN EN 752-2008 und DWA-A 118 müssen Kanalnetze in deutschen Städten für Regenereignisse von mind. einer 2-jährigen Wiederkehrzeit ausgelegt sein. Der Deutsche Wetterdienst gibt dafür statistische Niederschlagswerte für deutsche Städte heraus, die als Standard für die Bemessung verwendet werden (KOSTRA-DWD, 2000).

Zur Darstellung heutiger Klimabedingungen wird aus den Wetterdaten der LMU Station also ein Starkregenereignis mit einer vergleichbaren Intensität zu der eines Ereignisses mit 2-jähriger Wiederkehrzeit (24,7 mm/h) gewählt (Tabelle 12). Zur Untersuchung der Abflussverhältnisse unter zukünftigen Klimabedingungen wird auch auf ein von der LMU Station aufgezeichnetes Ereignis mit 5-jähriger Wiederkehrzeit (33 mm/h) zurückgegriffen, da die stündlich aufgelösten Niederschlagsprojektionen für die Zukunft noch signifikante Schwächen aufweisen, wodurch eine direkte Verwendung im Modell nicht sinnvoll erscheint (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007; Pfeifer et al., 2015).

Neben den Niederschlagsdaten gehen auch Temperatur, Wind und Luftfeuchte in das Modell ein, aus denen nach dem Penman-Monteith Vorgehen die potentielle Evapotranspiration (ET<sub>0</sub>) berechnet wird (Penman, 1956). Insgesamt wird ein Simulationszeitraum von zwei Wochen abgedeckt (jeweils eine Woche vor und nach dem Starkregenereignis), um einen realistischen Feuchtegehalt der Böden z.B. durch vorhergehende Regenfälle darstellen zu können.

|    | Starkregenereignis<br>[mm/h] | Datum und Zeitpunkt des Ereignis-<br>ses | Wiederkehrzeit nach<br>KOSTRA-DWD (2000) für<br>München |
|----|------------------------------|--|---|
| 1. | 24,7                         | 05.06.2003 17:00                         | 2-jährig  |
| 2. | 30,9                         | 05.05.2001 17:00                         | 5-jährig  |

Tabelle 12: Die ausgewählten Starkregenereignisse für die Modellierung

Der Modellbereich der Blockbebauung setzt sich aus den folgenden räumlichen Daten zusammen:

- Oberflächenmodell des Modellbereichs inkl. Relief, Gebäudehöhen und Dachformen in 1m Auflösung
- Vegetationsprofile, definiert über Fläche der Vegetation, Blattflächenindex (LAI) und Wurzeltiefe. Die Daten für die Vegetationsprofile wurden identisch wie für ENVI-met angenommen. In MIKE SHE wird für die Blattflächendichte lediglich der Parameter LAI verwendet. Der LAI kann aus dem LAD über empirische Gleichungen berechnet werden (Lalic & Mihailovic, 2004).
- Informationen zum oberflächlichen Abflussverhalten (u.a. Versiegelungskartierung, Manning-Strickler-Beiwert je nach Oberflächenbeschaffenheit, Abflussmöglichkeiten, z.B. Kanalisation, Versickerung)
- Bodenaufbau inkl. Informationen zu Durchlässigkeit, Wasserspeichervermögen und Infiltrationskapazität
- Aufnahmevermögen und -geschwindigkeit der Einlaufschächte sowie potentielle Aufnahmekapazität des Kanalsystems.

Für die Auswertung der Regulationsleistung grüner Infrastruktur sind v.a. der Anteil des Oberflächenabflusses an der Gesamtwasserbilanz während und nach dem Starkregenereignis interessant, sowie die relativen Unterschiede zwischen den Szenarien.

## Begrünungsszenarien

Für eine Umsetzung von UGI Maßnahmen in bestehenden Siedlungsgebieten eignen sich Bäume, Dach- und Fassadenbegrünung. In Begrünungsszenarien wurden folglich in jedem Siedlungstyp die klimatischen Wirkungen der Maßnahmen Baumpflanzung, Dach- und Fassadenbegrünung erprobt. Für jede Begrünungsart wurde exemplarisch eine Vegetationsart untersucht, die in bayerischen Städten häufig zum Einsatz kommt: Baumpflanzungen am Beispiel des Spitzahorn, Dachbegrünung am Beispiel einer extensiven Begrünung, Fassadenbegrünung am Beispiel einer bodengebundenen Begrünung mit wildem Wein. Diese wurden in zwei Schritten in den Szenarien implementiert: einmal auf potentiell technisch und räumlich möglichen und thermisch besonders belasteten Flächen (realistische Szenarien, z.B. stark besonnte Bereiche, Süd-Westfassaden, Flachdächer, einreihige Baumalleen mit 10 m Abstand), einmal auf allen verfügbaren Flächen (maximale Szenarien, z.B. alle Dach- und Fassadenflächen, Bäume zweireihig mit 10 m Abstand) (vgl. T. Zölch, Henze, Keilholz, & Pauleit, under review; Teresa Zölch et al., 2016).

Die Fassadenbegrünung konnte aufgrund ihrer vertikalen Ausrichtung im 2-dimensionalen MIKE SHE nicht untersucht werden. Dafür wurde in MIKE SHE zusätzlich ein Kombi-Szenario für die Blockbebauung simuliert, welches die realistischen Szenarien zu Dachbegrünung und Baumpflanzungen vereint. Die Bezeichnung der Szenarien erfolgt nach der Begrünungsmaßnahme (*Tree, Roof, Facade*) und dem Begrünungsmaß (R = realistisch, M = maximal). Abbildung 25 illustriert den Szenarien-Ansatz, die räumliche Gestaltung aller Szenarien wird in der Abbildung 83, Abbildung 84 und Abbildung 85 im Anhang gezeigt. Ausgestaltete Illustrationen der Szenarienvarianten werden weiterhin im Kapitel „4.4 Biodiversität und Freiraum“ gezeigt. Zusätzlich wurde ein Null-Szenario als extremer Fall untersucht, bei dem hypothetisch alle Vegetation entfernt wurde, um auch den Einfluss der bereits existierenden Vegetation bewerten zu können.

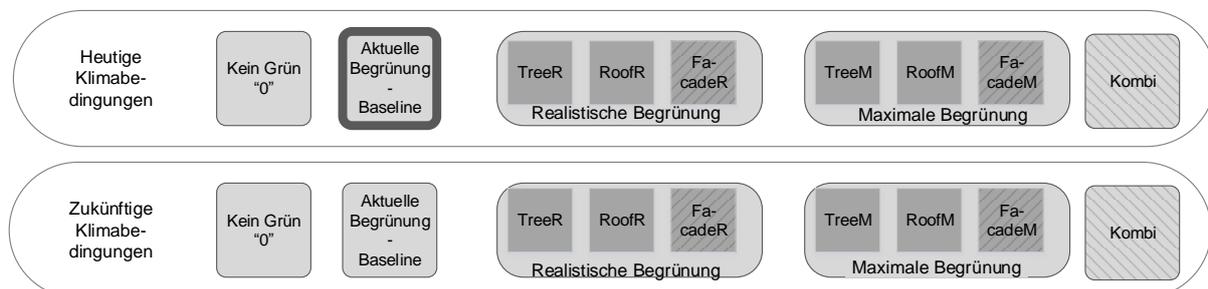


Abbildung 25: Begrünungsszenarien: verschiedene Begrünungsarten und Quantitäten, (die Szenarien mit Fassadenbegrünung wurden nur in der mikroklimatischen Simulation untersucht, die Kombi-Szenarien nur in der hydrologischen Simulation für die Blockbebauung)

### 4.2.3 Während der Durchführung des Vorhabens der Universität bekannt gewordene Fortschritte auf diesem Gebiet bei anderen Stellen

Durch die große politische und wissenschaftliche Relevanz in diesem Fachgebiet sind während der Bearbeitungszeit fortlaufend neue Beiträge erschienen. Gerade die Anpassung an Hitzestress und den urbanen Wärmeinseleffekt ist ein wichtiges Thema in Städten, so dass verschiedene Studien das Aufkommen von Hitzestress und dessen Regulation durch verschiedene Kombinationen aus Grünmaßnahmen mit ENVI-met untersuchen und Vergleiche mit den vorliegenden Arbeiten zulassen, z.B. die Studie von Salata et al. (2017) für Rom und von Lee, Mayer, and Chen (2016) für Freiburg. Beide Studien konnten durch empirische Daten zusätzlich eine Modellvalidierung vornehmen. Auch Rahman, Moser, Rötzer, and Pauleit (2017) erheben empirische Daten zur Transpirationsleistung von Winterlinden unter variierenden Wachstums- und Standortbedingungen in München. Sie konnten zeigen, dass Bäume, die auf einem offenen, begrünten Platz gepflanzt sind, untertags eine höhere Kühlungsleistung erbringen als Bäume, die auf einem geschlossenen, versiegelten Platz gepflanzt sind.

Für die Arbeit an der hydrologischen Modellierung war die Studie von Jayasooriya and Ng (2014) eine wichtige Unterstützung bei der Modellauswahl, da sie einen guten Überblick über die zur Verfügung stehenden Modelle und die Integrationsmöglichkeiten für UGI bieten.

Während der Projektlaufzeit wurde auch das Klimaanpassungskonzept der Partnerstadt München veröffentlicht (Schneider et al., 2016). In diesem wird der Klimaanpassung durch UGI ein großer Stellenwert beigemessen und in verschiedenen Maßnahmen, wie z.B. der Ausbau klimaorientierter Grünflächen und Potentialanalyse für Hof-, Dach- und Fassadenbegrünung, verankert.

An der Hafen City Universität in Hamburg (HCU) wurde im März 2017 ein Forschungsprojekt „KLIQ - Klimafolgenanpassung innerstädtischer hochverdichteter Quartiere in Hamburg“ abgeschlossen, das sich intensiv mit der Klimaanpassung in hochverdichteten, innerstädtischen Quartieren beschäftigt hat (HCU, 2017). Parallelen zu diesem Arbeitspaket finden sich sowohl in den Untersuchungen zu sommerlichem Wärmeschutz als auch zur Überflutungsvorsorge. Die Ergebnisse des Projekts wurden im März in Hamburg präsentiert und werden in einem Leitfaden für Entscheidungsträger aufbereitet. Obwohl der Fokus des KLIQ-Projekts nicht explizit auf Stadtgrün gelegt wurde, empfiehlt der Leitfaden u.a. folgende grüne Maßnahmen zur Hitze- und Überflutungsvorsorge: Förderung von Versickerung, Bauwerksbegrünung und Dachbegrünung für Regenwasserrückhalt.

#### 4.2.4 Darstellung und Bewertung der erzielten Ergebnisse und ihrer praktischen Anwendbarkeit

##### Hitzeregulation durch grüne Infrastruktur

In allen Siedlungstypen erreicht die thermische Belastung, ausgedrückt durch die PET, ein sehr hohes Niveau (durchschnittlich 41-43 °C). Vor allem in zur Nachmittagszeit besonnten Bereichen mit wenig Durchlüftung, wie z.B. Innenhöfe und vor Süd-West-orientierten Gebäudefassaden, kommt es zu einer starken Überhitzung. In Gebieten, wo Gebäude und Bäume den öffentlichen Raum verschatten, herrschen die angenehmsten Bedingungen (ca. 30-35 °C). In der Zeilenbebauung ist der durchschnittliche Hitzestress mit 43 °C am höchsten, da in diesem Fallstudiengebiet der Anteil der besonnten Freiflächen und damit das Überhitzungspotential am höchsten ist. Unter zukünftigen Klimabedingungen von 2030 bis 2059 steigt die Hitzebelastung in allen Fallstudiengebieten weiter an und erreicht Werte im Bereich des extremen Hitzestresses. Besonders in den bereits hoch belasteten Bereichen mit wenig Durchlüftung erreicht die PET Werte von über 60 °C. Auch in den verschatteten, heute noch kühleren Bereichen erhöht sich der Hitzestress auf bis zu 43 °C, welcher nun extremen Belastungen entspricht.

Der typische Häuserblock in der Blockbebauung ist durch einen geringen Grünanteil charakterisiert, welcher sich aus Straßenbäumen sowie wenigen Sträuchern und Bäumen in den Hinterhöfen zusammensetzt. Der Vergleich von Null- mit Bestandsszenario zeigt aber, dass bereits die vorhandene Vegetation einen wichtigen Beitrag zur Reduktion der Hitzebelastung leistet: in den Straßenräumen wird der verschattete und damit kühlere Raum durch den Schatten der Baumkronen erweitert, in den Innenhöfen schwächt die Begrünung mit Sträuchern in den stark besonnten Bereichen die lokale Überhitzung. So liegt die gefühlte Temperatur im Schnitt bei 41°C im Vergleich zu 43°C ohne Vegetation.

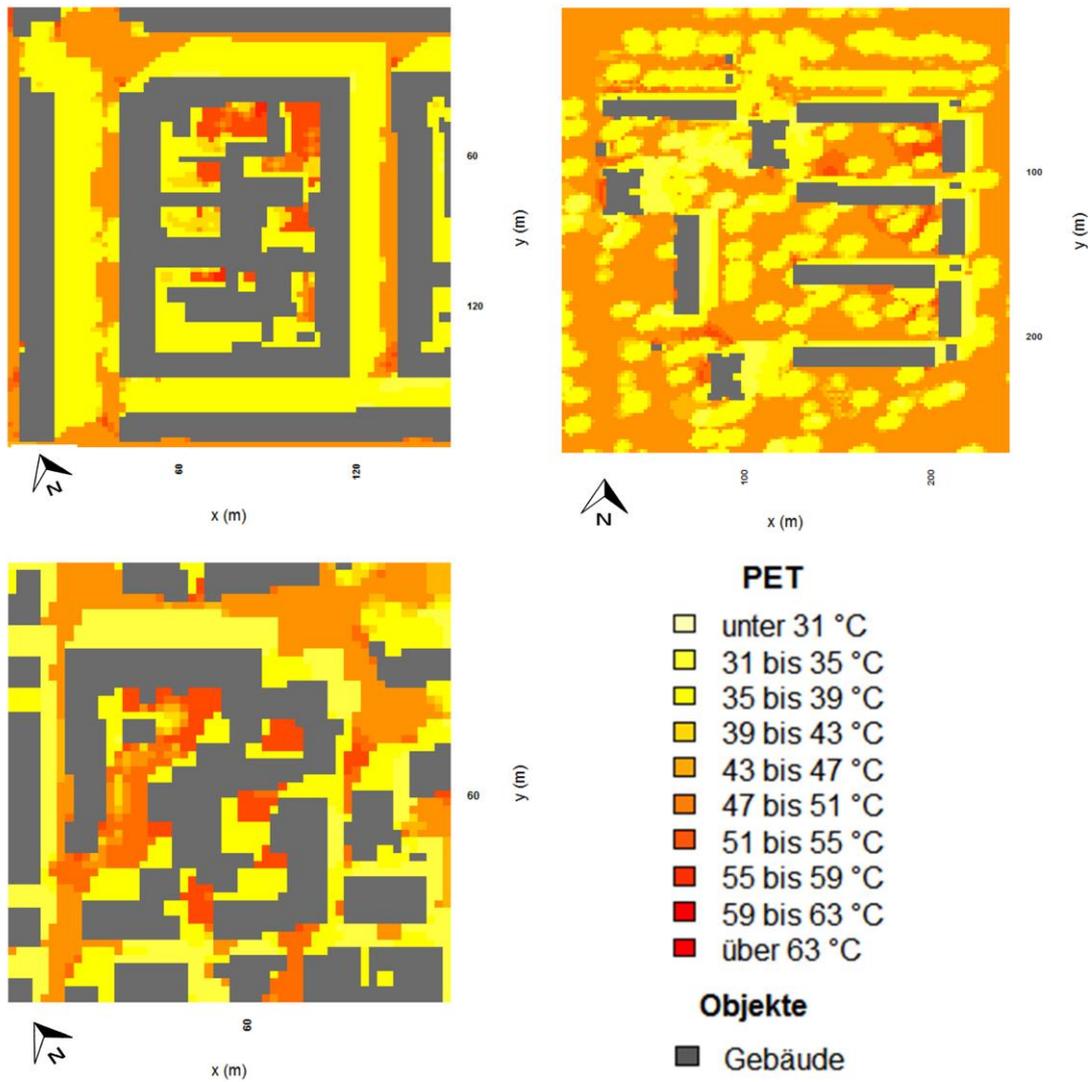


Abbildung 26: Thermische Belastung in den drei Fallstudiengebieten um 15 Uhr eines Hitzetages in 1,4 m Höhe (Blockbebauung oben links, Zeilenbebauung oben rechts, historischer Stadtkern unten links)

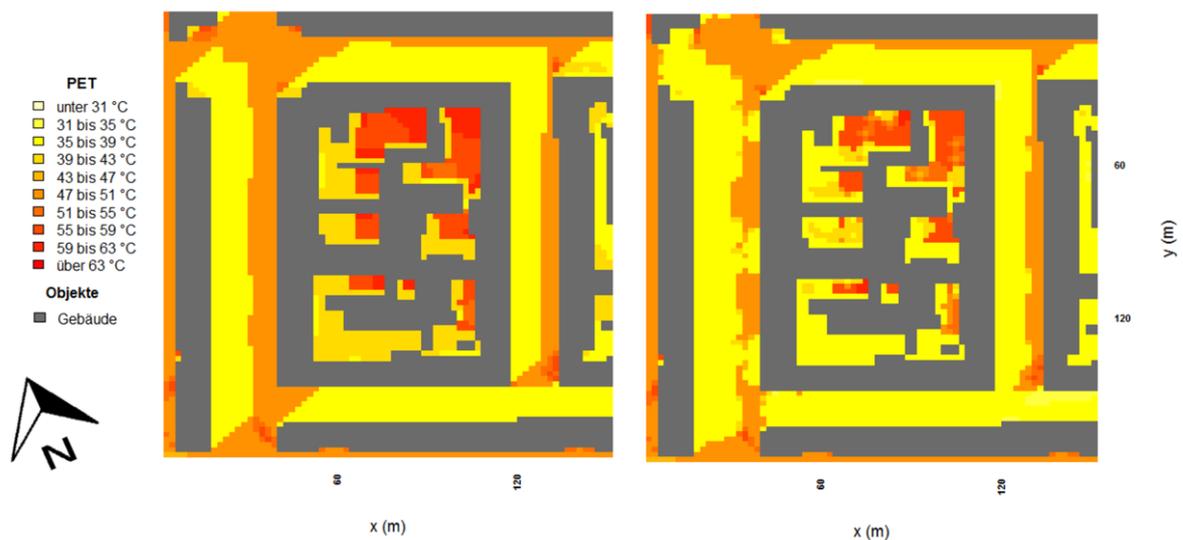


Abbildung 27: Regulierende Wirkung der bestehenden Vegetation auf die Hitzebelastung am Beispiel der Blockbebauung. PET Werte um 15 Uhr eines Hitzetages in 1,4 m Höhe.

Dies trifft auch auf den Siedlungstyp historischer Stadtkern zu, der wie die Blockbebauung wenig durchgrünt ist. Im Siedlungstyp Zeilenbebauung ist die Ausgangslage eine andere: es liegen großzügige und begrünte Freiflächen zwischen den Gebäuden. Dies führt zu einem dazu, dass die Bereiche mit angenehmen thermischen Bedingungen einen geringeren Anteil haben, da Gebäude nur einen kleinen Teil der Freiflächen beschatten. Diese werden also länger besonnt und heizen sich dadurch mehr auf (Maximalwerte über 60 °C). Gleichzeitig haben die durch Bäume verschatteten Flächen einen größeren Anteil als in den anderen Siedlungstypen. In der Zeilenbebauung liegen die Bereiche mit der höchsten thermischen Belastung vor den Süd-Westfassaden, wo die Sonneneinstrahlung von den Wänden zurückgestrahlt wird.

Durch die gezielte Umsetzung verschiedener UGI Maßnahmen kann eine Reduktion der thermischen Belastung im Außenraum bewirkt werden (Tabelle 13). Deren Wirkung unterscheidet sich je nach Verschattungs- und Verdunstungsleistung sowie ihrem Standort. Als besonders geeignet für alle Siedlungstypen erweisen sich Baumpflanzungen, die sowohl die verschattete Fläche vergrößern als auch durch Evapotranspiration zur Kühlung der Umgebungsluft beitragen. Die Reduktion der thermischen Belastung im Außenraum kann bis zu 19 % (in der Zeilenbebauung) gegenüber der aktuellen Begrünung erreichen, v.a. wenn die Bäume vor Süd-West-Fassaden platziert werden. Auch die Fassadenbegrünung erhöht durch Evapotranspiration die Luftfeuchtigkeit und kühlt.

|                              | Blockbebauung | Zeilenbebauung | Historischer Stadtkern |
|------------------------------|---------------|----------------|------------------------|
| Null = keine Begrünung       | + 4,3         | + 11,1         | + 2,7                  |
| Bestand = aktuelle Begrünung | 0,0 → 41,1 °C | 0,0 → 43,3 °C  | 0,0 → 42,0 °C          |
| TreeR                        | - 10,3 %      | 0,0 %          | - 10,4 %               |
| RoofR                        | 0,0 %         | - 0,2 %        | - 0,1 %                |
| FacadeR                      | - 5,1 %       | - 1,3 %        | - 7,3 %                |
| TreeM                        | - 13,0 %      | - 19,2 %       | - 17,5 %               |
| RoofM                        | - 0,5 %       | - 0,5 %        | - 0,9 %                |
| FacadeM                      | -9,8 %        | - 2,1 %        | - 13,8 %               |

Tabelle 13: Relative Änderung der durchschnittlichen thermischen Belastung um 15 Uhr in 1,4 m Höhe verglichen mit dem Bestandsszenario unter heutigem Klima, die absoluten PET-Werte sowie Resultate unter zukünftigen Klimabedingungen werden im Anhang aufgeführt.

Durch die Verschattung der Gebäudewände sinkt zudem die Wärmerückstrahlung, was die Reduktion der thermischen Belastung im Außenraum unterstützt. Dies hat einen besonders großen Einfluss auf die sonnenexponierten Süd- und Westfassaden. Fassadenbegrünung kann so die gefühlte Temperatur um bis zu 14 % senken. Im Vergleich dazu reicht die Wirkung einer extensiven Dachbegrünung jedoch kaum in den Straßenraum hinein. Zu dem reduziert sich die Wirkung der Dachbegrünung auf den Straßenraum, je höher die Gebäude sind, d.h. die Dachbegrünung hat ihr größtes Potential auf niedrigen Gebäuden im historischen Stadtkern oder in den Innenhöfen der Blockbebauung. Im Schnitt beträgt die Reduktion der thermischen Belastung im Straßenraum (auf Höhe der Fußgänger) max. 1 %. Die Wirkung der Evapotranspiration ist räumlich auf die nähere Umgebung der Begrünung begrenzt. So zeigt sich, dass Bäume den größten Nutzen haben, da sie am weitesten in den Außenraum hineinreichen und ihre Kühlleistung dort wirken kann.

Die Abbildung 28 zeigt zu jedem Siedlungstyp die durchschnittlichen PET-Werte für alle Szenarien unter heutigen und zukünftigen Klimabedingungen. Wie oben bereits eingeführt, repräsentieren PET-Werte von über 41 °C extremen Hitzestress im Außenraum, Werte zwischen 35-41 °C starken Hitzestress (Matzarakis et al., 1999). Diese Werte werden im aktuellen Begrünungszustand in allen Fallstudien erreicht. Die Implementierung der drei Begrünungsmaßnahmen Bäume, Dach- und Fassadenbegrünung zeigt unterschiedliche Regulationspotentiale. Das Potential, die Auswirkungen des Klimawandels abzuschwächen und mindestens heutige Komfortbedingungen im Straßenraum zu erreichen, können zusätzliche Baumpflanzungen in allen Siedlungstypen und große Flächenanteile an Fassadenbegrünungen in der Blockbebauung und im historischen Stadtkern erreichen, wie Abbildung 28 darstellt.

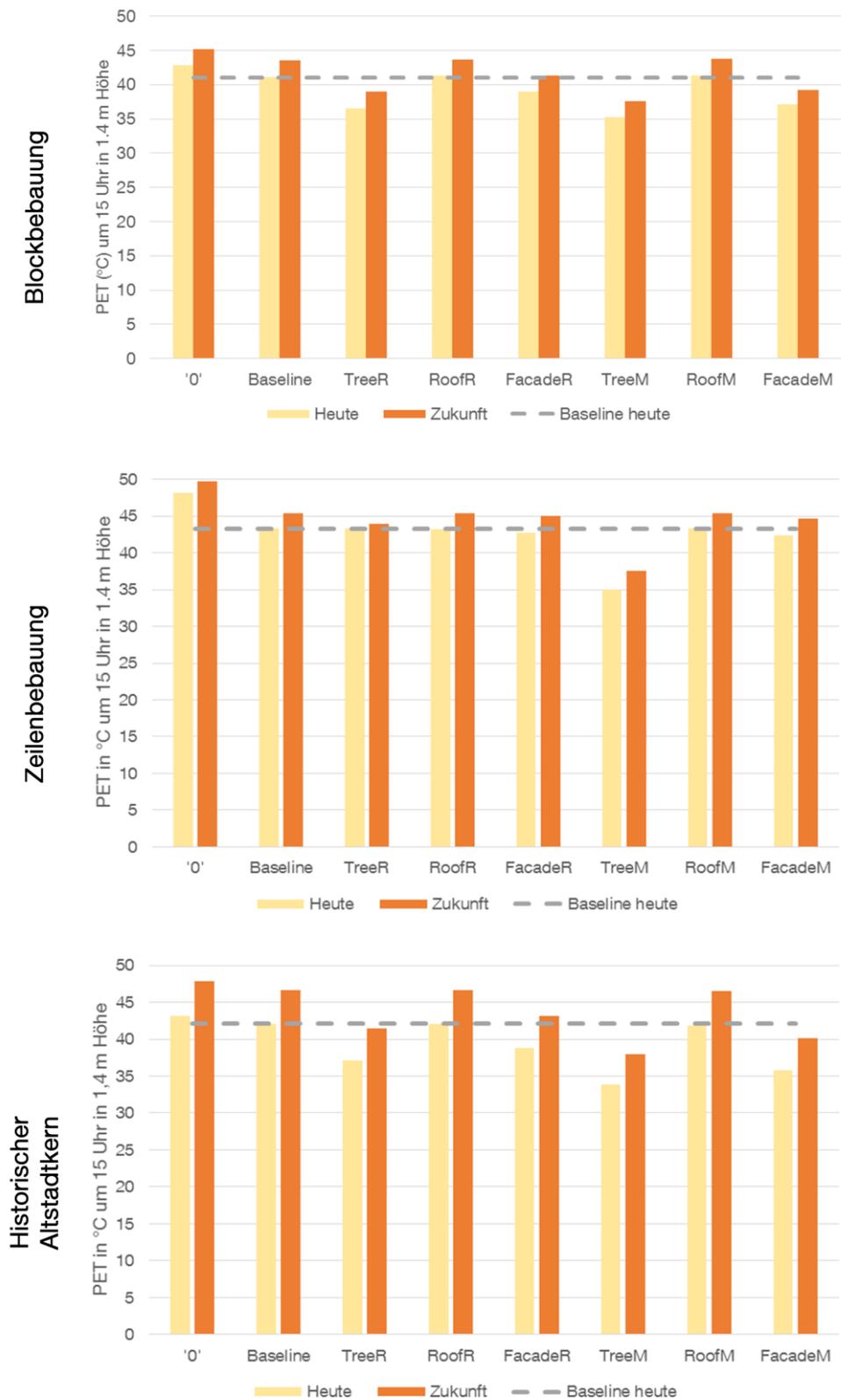


Abbildung 28: PET Werte unter heutigen und zukünftigen Klimabedingungen. Der graue Balken repräsentiert den PET Wert im aktuellen Begrünungszustand und unter heutigem Klima, damit sich das Potential von GI, zukünftige Klimawandelauswirkungen abzuschwächen, ablesen lässt

## Abflussregulation durch grüne Infrastruktur

Ereignet sich ein Starkregen über einem dicht bebauten und versiegelten Stadtgebiet wie der Blockbebauung, fließt ein Großteil des Regenwassers oberflächlich ab und wird der Kanalisation zugeführt. Im Bestandsszenario unter heutigen Klimabedingungen macht der Oberflächenabfluss fast 96 % der Gesamtniederschlagsmenge aus, wird eine Niederschlagsintensität von 5-jähriger Wiederkehrzeit betrachtet, steigt dieser Anteil auf fast 97 %, da die im Fallstudiengebiet zur Verfügung stehenden Wasserspeicherkapazitäten zum einen sehr begrenzt und zum anderen rascher gefüllt sind. Die Wasserspeicherung findet durch Infiltration von Oberflächenwasser in Baumscheiben und den begrünten Innenhöfen und durch Interzeption in den Baumkronen statt. Zusätzlich verbraucht alle Vegetation Wasser zur Evapotranspiration, wodurch weiteres Niederschlagswasser vom oberflächigen Abfluss zurückgehalten wird. Tabelle 44 und Tabelle 45 im Anhang geben die einzelnen Prozesse der Wasserbilanz im Detail in m<sup>3</sup> und prozentualem Anteil an der Gesamtniederschlagsmenge wieder.

Da durch den geringen Vegetationsanteil für diese Funktionen im Fallstudiengebiet kaum Möglichkeiten zur Verfügung stehen, führt v.a. die Bereitstellung zusätzlicher Regenwasserrückhaltekapazitäten durch UGI zu positiven Effekten auf die Regulation von Starkregenerignissen. Durch die Analyse der einzelnen hydrologischen Prozesse zeigt sich, dass Baumpflanzungen ihre Reduktionsleistungen hauptsächlich durch Interzeption in den Baumkronen sowie Evapotranspiration und Infiltration in den Baumscheiben erreichen. Ihr maximales Regulationspotential liegt bei 2 % (Abbildung 29). Dagegen punkten Dachbegrünungen durch die Retentionsleistung ihrer Substratschichten. Entscheidend ist hier v.a. der Flächenanteil, der zur Infiltration und damit Retention von Regenwasser zur Verfügung steht. So vermindern Dachbegrünungen den Anteil des Regenwasserabflusses an der Gesamtniederschlagsmenge gegenüber der aktuellen Begrünungssituation um bis zu 14,8% und erweisen sich in den Untersuchungen als effektivste Maßnahme, da sie mit dem größten Grünflächenanteil in die Szenarien eingeht.

Mit der Reduktion des Oberflächenabflusses geht ein Anstieg in der Evapotranspiration einher (vgl. Tabelle 44 und Tabelle 45 im Anhang), wovon der größte Anteil auf die Transpiration der Pflanzen und die Verdunstung aus dem Boden entfällt. Außerdem führt ein höherer Vegetationsanteil in den Szenarien zu einem größeren Wasserbedarf aus dem Boden (gesättigte und ungesättigte Zone), was in den trockenen Sommermonaten wiederum geringere Wasserspeicherung in der ungesättigten Zone nach sich zieht. Unter zukünftigen Klimabedingungen sind die Regulationspotentiale grüner Infrastruktur etwas geringer als unter heutigen Bedingungen, da die schon begrenzten Speicherkapazitäten eine höhere Niederschlagsmenge bewerkstelligen müssen.

Wie Abbildung 29 zeigt, wird bereits in der Stunde des Starkregenereignisses der Großteil des Niederschlags oberflächlich abgeführt. Dadurch hat das Niederschlagswasser wenig Zeit zur Infiltration und Evapotranspiration. Aus diesem Grund ist es für eine effektive Starkregenregulation wichtig, im Untersuchungsgebiet möglichst große Wasserspeicherkapazitäten vorzuhalten, welche kurzfristig zur Verfügung stehen, wie u.a. Gründächer und offener Boden in den Baumscheiben.

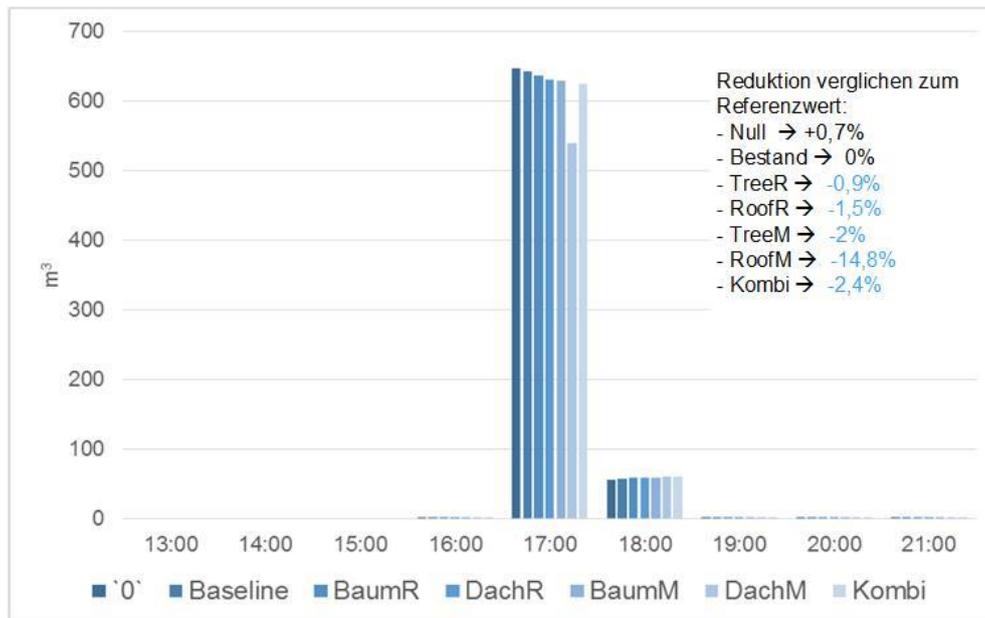


Abbildung 29: Oberflächenabfluss in m<sup>3</sup> unter heutigen Klimabedingungen (2-jährige Wiederkehrzeit)

#### 4.2.5 Schlussfolgerung und Zusammenfassung

In diesem Arbeitspaket wurde die Wirksamkeit verschiedener Grünmaßnahmen zur Anpassung an klimatische Extremereignisse wie Hitze und Starkregen bewertet. Die Untersuchungen belegen, dass die Durchführung von Klimaanpassungsmaßnahmen dringend notwendig ist, da es unter der aktuellen Begrünung zu extremem Hitzestress sowie zu einer Zunahme des Oberflächenabflusses kommen wird. Urbane grüne Infrastruktur in Form von Baumpflanzungen, Dach- und Fassadenbegrünung trägt positiv zur Anpassung an klimatische Extremereignisse bei, die Regulationsleistungen unterscheiden sich jedoch nach Art der Maßnahme sowie ihrer Quantität und dem Ort ihrer Umsetzung. Die Untersuchung von Unterschieden, wenn verschiedene Arten der jeweiligen Begrünungsmaßnahme eingesetzt werden, sollte noch Gegenstand weiterer Forschung sein.

Für die Hitzeregulation sind in erster Linie Verschattung und Evapotranspiration wichtig, Begrünungsmaßnahmen sollten in diesem Fall v.a. in stark sonnenexponierten Bereichen umgesetzt werden. Besonders Baumpflanzungen wie auch Fassadenbegrünung erweisen sich hier als effektiv. Blockbebauung und Stadtkern überhitzen weniger stark, da sie aufgrund der hohen Bebauungsdichte mehr verschattete Freiräume aufweisen.

Die Zeilenbebauung hat durch die geringere Bebauungsdichte im Schnitt weniger begrünbare Dach- und Fassadenanteile und zudem bereits im Bestand einen hohen Grünanteil. Die Gesamtwirkung der Begrünungsmaßnahmen am Gebäude fällt dadurch geringer aus. Bei niedrigen Gebäudehöhen wie im historischen Stadtkern erbringen Gründächer eine höhere Kühlleistung für den thermischen Komfort auf Straßenebene. Das Potential, die Auswirkungen des Klimawandels abzuschwächen und mindestens heutige Komfortbedingungen im Straßenraum zu erreichen, können zusätzliche Baumpflanzungen in allen Siedlungstypen und große Flächenanteile an Fassadenbegrünungen in der Blockbebauung und im historischen Stadtkern erreichen.

Für die Starkregenregulation kommt es v.a. auf die Bereitstellung zusätzlicher Retentionsflächen an, wohin Regenwasser infiltrieren kann. Hier ist also darauf zu achten, dass ein ausreichend großer Grünflächenanteil angelegt wird. In stark verdichteten Innenstadtquartieren wie der Blockbebauung eignen sich dafür v.a. Gründächer, welche die größte Regulationsleistung erbringen können, und auch Baumpflanzungen.

Die Forschungsergebnisse ermöglichen Stadtplanern zu priorisieren, welche Maßnahme in welcher Quantität und an welchem Standort für eine effektive Klimaanpassung einzusetzen ist. In zukünftiger Forschung gilt es, diese Untersuchungen auszuweiten und die Effektivität weiterer Grünmaßnahmen sowie unterschiedlicher Arten und Pflanztechniken zu untersuchen.

## Fazit

### Hitzeregulation:

- Grüne Infrastruktur leistet durch Verschattung und Evapotranspiration einen Kühleffekt.
- Sonnenexponierte Bereiche sind besonders anfällig gegenüber einer hohen Hitzebelastung, hier sollten Begrünungsmaßnahmen prioritär eingesetzt werden.
- Unterschiede zwischen den untersuchten Siedlungstypen kommen durch einen unterschiedlichen Grünanteil sowie Bebauungsdichten zustande.
- Baumpflanzungen und Fassadenbegrünung haben das Potential zukünftige Hitzeereignisse abzuschwächen und heutige Komfortbedingungen herzustellen.

### Starkregenregulation:

- Grüne Infrastruktur vermindert den oberflächlichen Regenwasserabfluss durch Evapotranspiration, Infiltration, Retention und Interzeption.
- In hoch versiegelten Innenstadtgebieten ist es insbesondere wichtig, zusätzliche Retentionsflächen zu schaffen, wohin Regenwasser infiltrieren kann.
- Dafür eignen sich u.a. Gründächer und auch Baumpflanzungen mit wasserdurchlässigen Baumscheiben.

## 4.3 Modellkopplung Gebäudesimulation und Mikroklimasimulation

### 4.3.1 Zusammenstellung der Gesamtproblematik und bisher bekannt gewordener Ergebnisse auf dem Gebiet der Aufgabenstellung

Der zukünftige Klimawandel mit steigenden Temperaturen sowie einer Intensivierung des städtischen Wärmeinseleffekts beeinträchtigt das Innenraumklima ebenso wie das Außenraumklima (Kapitel Energieeffizienz und Urbane Klimaregulation). Durch einen erhöhten Kühlenergiebedarf im Sommer kann der Klimawandel so Klimaschutzaktivitäten entgegenwirken sowie umfassende Klimaanpassungsmaßnahmen zur Hitzeregulation bedingen (Akbari, 2002; Fahmy & Sharples, 2011). Wie im Kapitel Urbane Klimaregulation aufgezeigt, hat grüne Infrastruktur große Potentiale, die Auswirkungen des Klimawandels auf das städtische Mikroklima und damit den thermischen Komfort im Außenraum zu regulieren. Die wesentlichen Funktionen dafür sind Verschattung und Evapotranspiration (Whitford, Ennos, & Handley, 2001). Auch der Zusammenhang von grüner Infrastruktur im Außenraum und dem Innenraumklima wurde bereits in einigen Studien untersucht (Fahmy & Sharples, 2011; Perini, Bazzocchi, Croci, Magliocco, & Cattaneo, 2017; Radhi, Sharples, Taleb, & Fahmy, 2017; C. P. Skelhorn, Levermore, & Lindley, 2016; Y. Wang, Bakker, de Groot, & Wörtche, 2014; Yang, Zhao, Bruse, & Meng, 2012). Diese Studien fokussieren ihre Untersuchungen auf sommerliche Hitzetage und die Vermeidung von zusätzlichem Energiebedarf zur Klimatisierung. Die Berechnung des Energiebedarfs in Gebäuden und die damit zusammenhängende Emission von Treibhausgasen beziehen sich jedoch normalerweise auf eine Jahresbilanz. Gerade wenn die Auswirkungen des Klimawandels untersucht werden, ist die Betrachtung des Energiebedarfs über ein Jahr wichtig, da ein potentieller Anstieg des Kühlenergiebedarfs im Sommer durch eine Reduktion des Heizenergiebedarfs in wärmeren Wintern wieder ausgeglichen werden könnte.

Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel dieser Untersuchung, die Effekte von Maßnahmen im Bereich der grünen Infrastruktur auf das Außenraumklima sowie das Innenraumklima im Jahresverlauf zu quantifizieren. So sollen Aussagen zur Wirksamkeit von grüner Infrastruktur gleichzeitig für Klimaschutz und Klimaanpassung getroffen werden. Die dafür nötige Verbindung von zwei verschiedenen Simulationsansätzen wird vorerst beispielhaft für den Siedlungstypen Blockbebauung getestet.

### 4.3.2 Angewandte wissenschaftliche und technische Methoden

Diese Studie bezieht sich auf den Modellbereich der Blockbebauung, der beispielhaft in der Münchner Maxvorstadt verortet ist. Dieser Siedlungstyp ist durch seine hohe Bebauungsdichte und den hohen Versiegelungsgrad besonders vom städtischen Wärmeinseleffekt betroffen, sowohl im Sommer als auch während der anderen Jahreszeiten.

Um sowohl das Außenraumklima als auch das Innenraumklima und den daraus resultierenden Energiebedarf zu quantifizieren, bedarf es zweier verschiedener Modellierungsansätze: das Außenraumklima wird mit ENVI-met V4 (siehe Kapitel Urbane Klimaregulation) simuliert, das Innenraumklima mit einer thermischen Gebäudesimulation (IDA-ICE, siehe Kapitel Energieeffizienz). Die mikroklimatische Simulation bewertet einzelne Tage, die Gebäudesimulation analysiert dagegen einen ganzen Jahresverlauf. Daher wird ein Ansatz benötigt, der diese zeitlichen Unterschiede überbrücken kann. Mithilfe unterschiedlicher Clusterverfahren wie z.B. „K-Means“, „PAM“ oder „Wards“ (Forgy, 1965; Murtagh & Legendre, 2014; Reynolds, Richards, De la Iglesia, & Rayward-Smith, 1992) können die Wetterdaten eines Jahres in Kategorien von Typtagen zusammengefasst werden. Diese repräsentieren wiederum das typische Klima zu verschiedenen Jahreszeiten (VDI, 2012). Mit ENVI-met werden folglich für jeden Typtag meteorologische Parameter für das Modellgebiet in stündlicher Auflösung errechnet, welche als Eingangsdaten für die Gebäudesimulation verwendet werden können. So können Unterschiede im Außenraumklima für verschiedene Begrünungssituationen direkt an das Gebäudemodell übergeben werden. Abbildung 30 stellt den Ablauf der Modellkopplung dar.

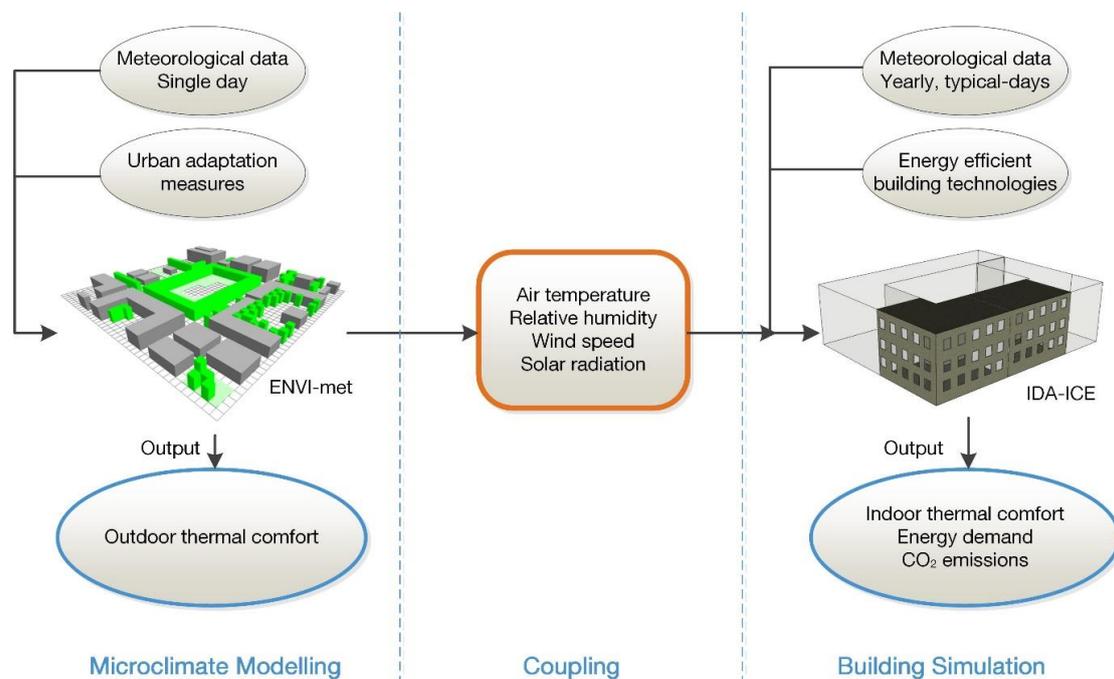


Abbildung 30: Kopplung von ENVI-met und der Gebäudesimulation über Typtage

Für die Analyse des Klimawandeleinflusses werden Typtage aus einer Periode für das aktuelle und aus einer Periode für das zukünftige Klima erstellt. Für das aktuelle Klima werden Messungen der LMU (Kapitel Urbane Klimaregulation) aus den Jahren 2000 bis 2009 verwendet. Das zukünftige Klima wird aus den Ergebnissen des regionalen Klimamodells REMO abgeleitet. Dabei wird die Periode 2061 bis 2090 des Szenarios A1B herangezogen. Die Bewertung von Maßnahmen der grünen Infrastruktur wird anhand von drei Szenarien durchgeführt. Auf Grund der hohen Wirkung auf die Klimaregulation (Kapitel Urbane Klimaregulation) werden die Untersuchungen auf die Maßnahme „Baum“ begrenzt. Das Referenzszenario „Ref“ ist ohne Bäume, das Szenario „Status quo (Baum\_SQ)“ stellt die aktuelle Situation im Modellbereich der Blockbebauung dar und das Szenario „Baum\_Max“ repräsentiert eine maximale Belegung des Modellbereiches durch Bäume. Eine detaillierte Beschreibung des Aufbaus der Begrünungsszenarien kann aus dem Kapitel Urbane Klimaregulation entnommen werden.

Während der Monate März bis Oktober ist die Vegetation in voller Belaubung, was in ENVI-met durch die Blattflächendichte (Leaf Area Density = LAD) berücksichtigt wird. In der mit der ENVI-met Software zur Verfügung gestellten Datenbank Albero sind empirische Daten zum LAD der häufigsten europäischen Baumarten sowie weiterer Begrünungsarten zur Verfügung gestellt. Um die Vegetation im Winter allerdings im unbelaubten Zustand darzustellen, bedarf es einer Anpassung der LAD-Werte. Da die Vegetation während der Monate November bis Februar vorrangig durch Baumstamm und Geäst charakterisiert wird, spricht man nun von der „Branch Area Density“ (BAD), welche einem reduzierten LAD Wert entspricht (Sjöman, Hirons, & Sjöman, 2016). Sjöman et al. (2016) bieten dafür als einzige Veröffentlichung empirisch gemessene BAD Werte für verschiedene Baumarten. Aus Daten des CityTree I-Projektes (von Astrid Moser zur Verfügung gestellt) konnten weiterhin BAD-Werte für Münchner Winterlinden und Robinien gewonnen werden. Aus diesen vorliegenden Daten wurden schließlich BAD-Werte für die in den Szenarien verwendeten Begrünungsformen abgeleitet (Tabelle 14).

| Vegetationsklasse          | LAD [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ] | BAD [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ] |
|----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Gras                       | 0,3                                   | 0,3                                   |
| Sträucher                  | 0,7                                   | 0,17                                  |
| Mittelgroßer Baum          | 1                                     | 0,24                                  |
| Großbaum mit breiter Krone | 1,2                                   | 0,29                                  |
| Großbaum                   | 2                                     | 0,7                                   |

Tabelle 14: Übersicht über die LAD und BAD Werte für alle Vegetationsklassen

### 4.3.3 Darstellung und Bewertung der erzielten Ergebnisse und ihrer praktischen Anwendbarkeit

#### Erstellung Typtage

Für die Darstellung des aktuellen (LMU) und zukünftigen (REMO) Klimas wird aus den oben beschriebenen Perioden ein mittleres Jahr für den Heiz- und Kühlbedarf ausgewählt. Mit Hilfe von je 6 Typtagen für den Heiz- und Kühlbedarf wird versucht, die Ergebnisse einer Jahressimulation zu erreichen. Abbildung 31 zeigt die Ergebnisse des Nutzenergiebedarfs eines Einfamilienhauses auf Basis einer Jahressimulation und mit Hilfe von Typtagen (Clusteranalyse). Es wird deutlich, dass durch die Berechnung mit Typtagen zwar ein Unterschied zu der Jahressimulation entsteht, die maximale Abweichung beträgt jedoch nur 4 kWh/m<sup>2</sup>a. Aus diesen Resultaten lässt sich ableiten, dass eine Anzahl von 6 Typtagen ausreichend ist, um den Energiebedarf für Heizen und Kühlen, im Rahmen dieser Untersuchung, mit ausreichender Genauigkeit abzubilden.

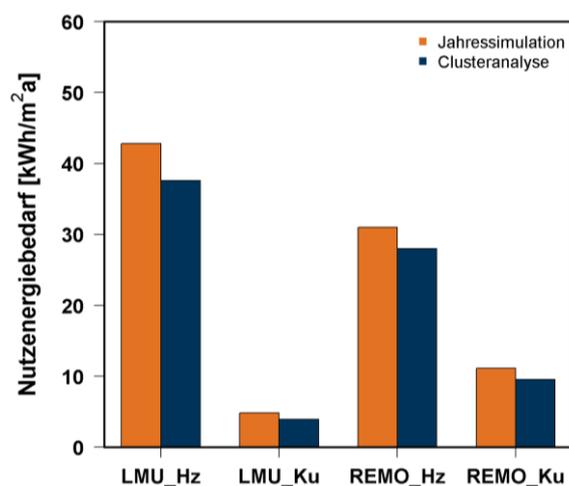


Abbildung 31: Vergleich einer Jahressimulation mit Typtagen (Clusteranalyse)

In Tabelle 15 und Tabelle 16 werden die einzelnen Typtage des Jahres für Heizen und Kühlen sowie deren jeweilige Anzahl dargestellt. Die Typtage für den Heizwärmebedarf bewegen sich zwischen den Monaten Oktober bis Mai und die Typtage für den Kühlbedarf zwischen Juni und September.

|            | Typtag Heizen | Anzahl | Typtag Kühlen | Anzahl |
|------------|---------------|--------|---------------|--------|
| <b>TT1</b> | 13. Januar    | 20     | 20. Juni      | 17     |
| <b>TT2</b> | 22. Februar   | 40     | 18. Juli      | 16     |
| <b>TT3</b> | 08. März      | 37     | 22. Juli      | 14     |
| <b>TT4</b> | 29. April     | 55     | 29. Juli      | 24     |
| <b>TT5</b> | 26. Oktober   | 51     | 14. August    | 26     |
| <b>TT6</b> | 14. November  | 54     | 20. August    | 21     |

Tabelle 15: Typtage aktuelle Klimaperiode (Wetterdaten LMU)

|            | <b>Typtag Heizen</b> | <b>Anzahl</b> | <b>Typtag Kühlen</b> | <b>Anzahl</b> |
|------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|
| <b>TT1</b> | 02. Januar           | 38            | 26. Juni             | 38            |
| <b>TT2</b> | 22. Februar          | 52            | 15. Juli             | 23            |
| <b>TT3</b> | 26. März             | 30            | 27. Juli             | 23            |
| <b>TT4</b> | 15. April            | 55            | 29. August           | 13            |
| <b>TT5</b> | 11. Mai              | 28            | 17. September        | 29            |
| <b>TT6</b> | 06. Oktober          | 15            | 24. September        | 21            |

Tabelle 16: Typtage für die zukünftige Klimaperiode (Klimaprojektionen aus REMO)

### Auswirkungen auf den Energiebedarf und Treibhausgasemissionen

Die Auswirkungen der Begrünungsmaßnahmen auf den Energiebedarf der Gebäude werden im Modellbereich Blockbebauung anhand eines Eck- und Mittelgebäudes untersucht. Abbildung 32 zeigt den Einfluss der drei Baumszenarien auf den Nutzenergiebedarf des Eckgebäudes für eine aktuelle Klimaperiode und eine zukünftige Klimaperiode. Das Gebäude ist nach dem im Kapitel Energieeffizienz beschriebenen Standard „EnEV“ saniert. Generell kann zwischen den beiden Klimaszenarien ein Anstieg des Kühlbedarfs (um 57% am Beispiel des Eckhauses und 73% am Beispiel des Mittelhauses) und ein Rückgang des Heizenergiebedarfs (um 33% für das Eckhaus bzw. 35% für das Mittelhaus) für die zukünftige Klimaperiode erkannt werden. Des Weiteren wird deutlich dass eine höhere Anzahl von Bäumen nicht nur den Kühlbedarf reduziert, sondern auch den Heizwärmebedarf ansteigen lässt. Dieser Anstieg ist vorwiegend auf die Verschattung von Fensterflächen während der Heizperiode zurückzuführen, in welcher passive solare Gewinne einen Heizwärmebedarf reduzieren können.

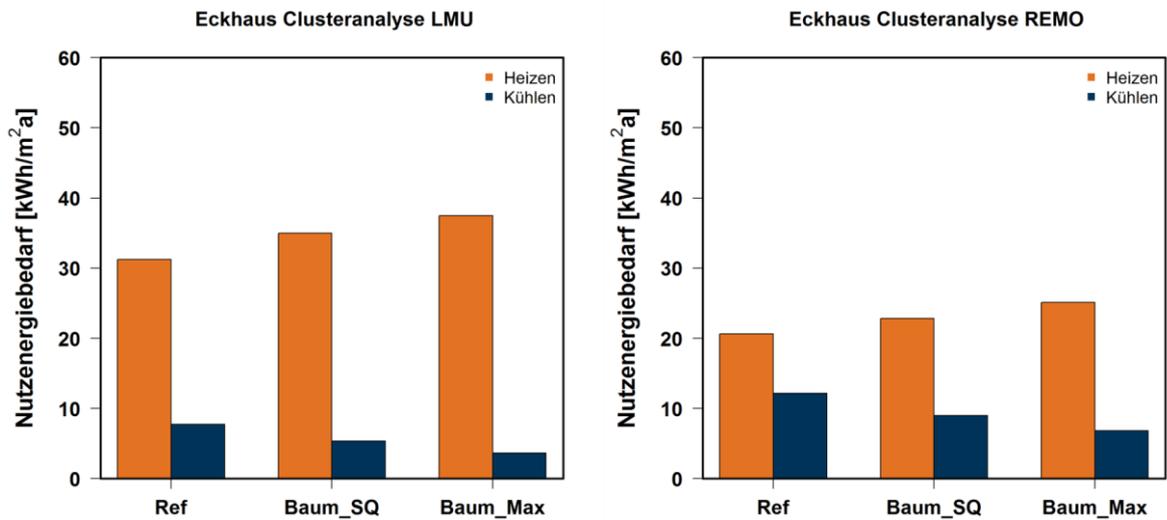


Abbildung 32: Einfluss der Begrünungsmaßnahmen auf Nutzenergieverbrauch des Eckgebäudes im Modellbereich Blockbebauung, links für heutige Klimabedingungen (LMU), rechts für zu künftige Klimabedingungen (REMO)

In Abbildung 33 werden die Unterschiede für den Heiz- und Kühlbedarf auf Basis des Referenzszenarios „Ref“ dargestellt. Es wird deutlich, dass in der aktuellen Klimaperiode die Erhöhung des Heizwärmebedarfs die Einsparungen im Kühlbedarf übersteigt (um 1,4 kWh/m²a im Szenario Baum\_SQ, um 2,1 kWh/m²a bei Baum\_Max also im Schnitt um 1,7 kWh/m²a). Dies ändert sich jedoch in der zukünftigen Klimaperiode. In der Periode 2061 bis 2090 übersteigen die Einsparungen des Kühlbedarfs den Anstieg des Heizwärmebedarfs in beiden Begrünungsszenarien (um 1 kWh/m²a im Szenario Baum\_SQ, um 0,9 kWh/m²a bei Baum\_Max also im Schnitt um 0,95 kWh/m²a).

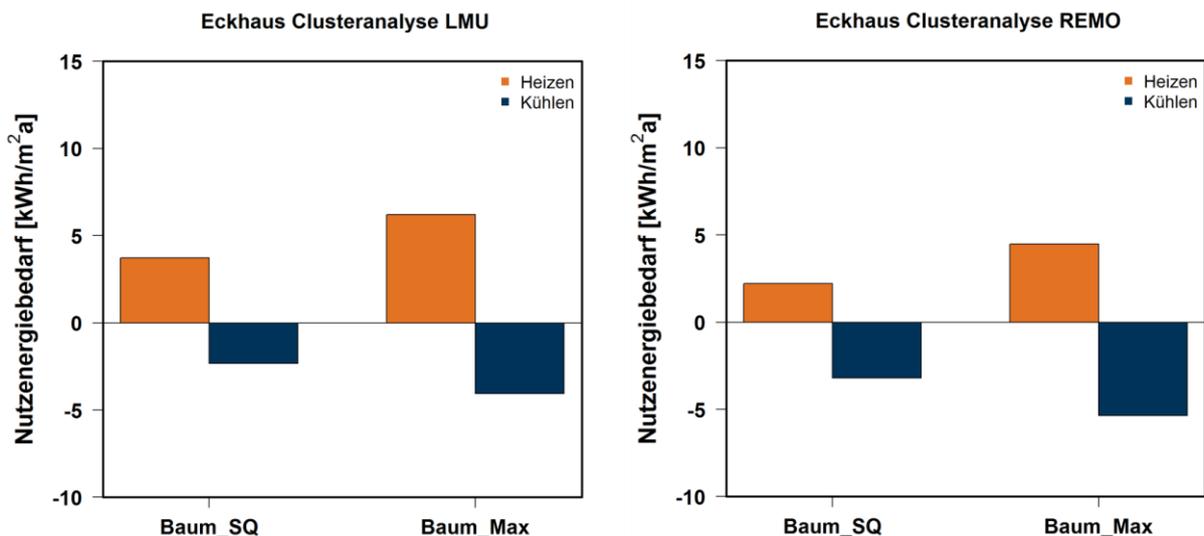


Abbildung 33: Differenz des Nutzenergiebedarfs gegenüber dem Referenzszenario „Ref“ in Abhängigkeit der Begrünungsszenarien „Baum\_SQ“ und „Baum\_Max“, links für heutige Klimabedingungen (LMU), rechts für zu künftige Klimabedingungen (REMO)

Abbildung 34 zeigt die Auswirkungen der Begrünungsmaßnahmen auf die Treibhausgasemissionen. Dabei wird der Heizwärmebedarf über Biomasse und der Kühlbedarf durch eine Luft/Luft Wärmepumpe gedeckt. Dies entspricht dem im Kapitel Energieeffizienz beschriebenen Anlagenszenario „Moderat“. Bei einer Deckung des Kühlbedarfs durch die beschriebene Anlagenkonfiguration zeigt sich ein deutlicher Vorteil durch eine erhöhte Anzahl von Bäumen im Modellbereich. Die Einsparung von Treibhausgasemissionen, verursacht durch den Kühlbedarf, überschreitet die zusätzlich verursachten Emissionen während der Heizperiode in beiden Begrünungsszenarien deutlich. Sie erreichen Werte von 22% Reduktion für das Szenario Baum\_SQ bzw. 37% für Baum\_Max im Vergleich zum Referenzszenario unter heutigen Klimabedingungen (LMU) sowie 23% für Baum\_SQ bzw. 37% für Baum\_Max unter zukünftigen Klimabedingungen (REMO). Diese Einsparungen werden maßgeblich durch die Verschattung von Fensterflächen durch zusätzliche Bäume erreicht. Diese exemplarischen Ergebnisse legen nahe, dass der Einsatz von Bäumen dem Einsatz einer Kühlung, welche durch nicht erneuerbaren Strom betrieben wird, vorzuziehen ist. Voraussetzung dafür ist, dass der Heizwärmebedarf des Gebäudes durch emissionsarme Energieträger, wie z.B. Pellets gedeckt wird.

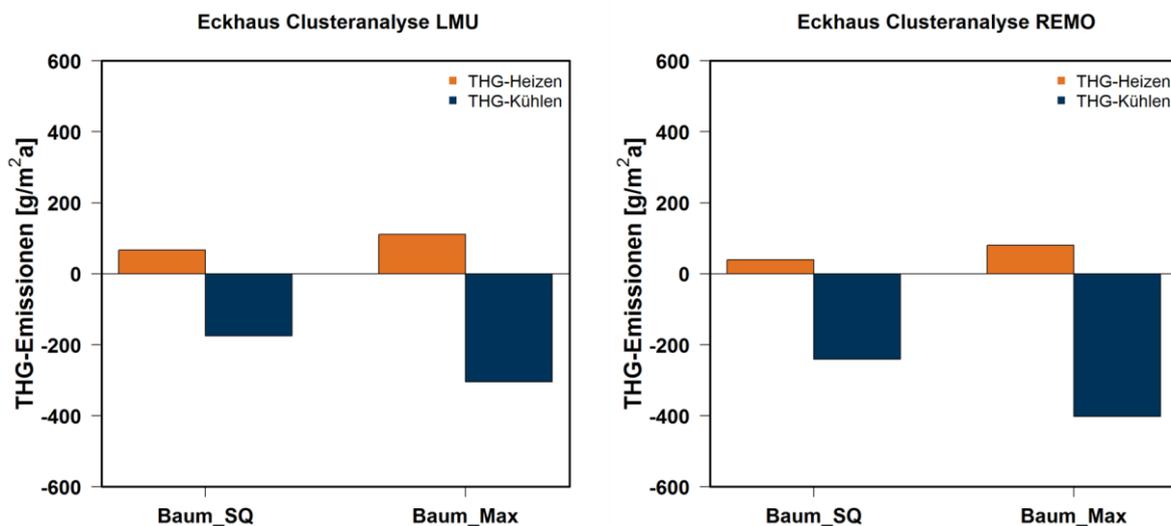


Abbildung 34: Differenz der Treibhausgas-Emissionen gegenüber dem Referenzszenario „Ref“ in Abhängigkeit der Begrünungsszenarien „Baum\_SQ“ und „Baum\_Max“, links für heutige Klimabedingungen (LMU), rechts für zukünftige Klimabedingungen (REMO)

#### 4.3.4 Schlussfolgerung und Zusammenfassung

Erste Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz von Typtagen eine Bewertung des Energiebedarfs für ein ganzes Jahr ermöglicht. Darauf aufbauend ist eine gemeinsame Bewertung von Mikroklimasimulation und thermischer Gebäudesimulation durchführbar. Generell erfordert dieser Ansatz viele Vereinfachungen und Annahmen, so existieren kaum empirische Daten zum Belaubungszustand der untersuchten Begrünungsmaßnahmen für die Jahreszeiten Frühling und Winter. Deshalb ist die Jahresbetrachtung der Begrünungsmaßnahmen schwierig, da keine detaillierten Werte für die Verschattungsleistung über das ganze Jahr vorhanden sind.

Die exemplarischen Ergebnisse des Nutzenergiebedarfs für das Eckgebäude machen deutlich, dass bei einer erhöhten Anzahl von Bäumen der Energiebedarf über das Jahr steigt. Denn bei aktuellem Klima ist der Anstieg des Heizwärmebedarfs höher als die Einsparungen des Kühlbedarfs. Durch die klimatischen Veränderungen könnte sich dieses Ergebnis umkehren, so dass die Einsparungen des Kühlbedarfs höher sind als der Anstieg des Heizwärmebedarfs.

Bei einer Berücksichtigung der Energieerzeugung mit dem Fokus auf Treibhausgas-Emissionen können auch andere Resultate entstehen. Wird eine emissionsarme Deckung des Heizwärmebedarfs, z.B. durch Pellets, vorausgesetzt und diese mit einer Kühlung durch nicht erneuerbaren Strom kombiniert, kann der gezielte Einsatz von Bäumen als Verschattung von Fensterflächen eine Reduktion der Treibhausgas-Emissionen bewirken.

#### Fazit

- Der Einsatz von Typtagen ermöglicht die Kopplung von Mikroklimasimulation und thermischer Gebäudesimulation
- Die durchgeführte Analyse ist mit großen Unsicherheiten behaftet da v.a. für die Begrünungsmaßnahmen nur eine geringe Anzahl von empirischen Daten über das ganze Jahr vorhanden sind.
- Der gezielte Einsatz von Bäumen als Verschattung von Fensterflächen kann, in Abhängigkeit der Energieerzeugung für das Heizen, eine Reduktion von Treibhausgas-Emissionen gegenüber dem Einsatz einer Kühlung mit nicht erneuerbaren Strom ermöglichen.

## 4.4 Biodiversität und Freiraum

### 4.4.1 Zusammenstellung der Gesamtproblematik und bisher bekannt gewordener Ergebnisse auf dem Gebiet der Aufgabenstellung

#### Problematik

Maßnahmen zur Minimierung des Energiebedarfs von Gebäuden und zur Regulation des Mikroklimas durch Grün haben neben ihrer Funktion des Klimaschutzes bzw. der Klimaanpassung erhebliche Auswirkungen auf die Qualität der Stadt als Lebensraum für Menschen, Tiere und Pflanzen. Bäume z. B. kühlen den Stadtraum und fixieren Kohlenstoffdioxid, aber sie sind immer auch ästhetische Elemente städtischer Freiräume, ermöglichen Naturerfahrung in der Stadt und fungieren als Habitate für verschiedene Tierarten. Auf der anderen Seite ergeben sich Konflikte durch die Ansprüche, die unterschiedliche Akteure an die Stadt als Lebensraum stellen. Während etwa die Eigenschaft urbaner Räume als Wärmeinseln z. B. in Hinblick auf die Gesundheit von alten oder kranken Menschen als problematisch erachtet wird, kann sie in anderer Hinsicht durchaus positiv bewertet werden, z. B. weil erst dadurch Lebensräume für eine Vielzahl stadttypischer (wärmeliebender) Tier- und Pflanzenarten entstehen. Das zeigt, dass die fokussierten Maßnahmen zu Klimaschutz und Klimaanpassung mehrere und unterschiedlichste Funktionen und Interessen gleichzeitig erfüllen bzw. bedienen müssen („Multifunktionalität“). Zu ihrer Implementierung bedarf es daher einer Perspektive, die unterschiedliche Fachdisziplinen und Akteurs-Interessen zu integrieren vermag. Die architektonisch-planerische Perspektive bzw. die entwerfend-gestalterische Arbeit an konkreten Lebensräumen leistet hier einen entscheidenden Beitrag.

Ziel des Arbeitspakets ist es, die in den Arbeitspaketen 2.2 und 2.3 anvisierten Maßnahmen (Sanierung, Baumpflanzung, Fassaden- und Dachbegrünung) hinsichtlich ihrer Wirkungen („Synergien“) auf die Qualität städtischer Freiräume und Biotope zu prüfen, räumlich konkrete Szenarien zu erarbeiten und Gestaltungsprinzipien für die Planung urbaner Lebensräume<sup>1</sup> abzuleiten.

#### Stand der Forschung

Hinsichtlich der Frage, welche Potentiale die Implementierung von grünen Infrastrukturmaßnahmen für die Gestaltung städtischer Lebensräume ergeben, besteht derzeit ein Wissensdefizit. Die Themen Klimaschutz und Klimaanpassung auf der einen und Arten- und Biotopschutz auf der anderen Seite werden in der kommunalen Raumplanung noch nicht zusammengedacht.

---

<sup>1</sup> Unter dem Begriff *Lebensraum* wird hier generell sowohl der des Menschen als auch der von nicht-menschlichen Organismen (Tiere, Pflanzen usw.) verstanden.

Von Seiten der Forschung liegen zum Thema „Klimawandel und Biodiversität“ mittlerweile eine große Menge von Arbeiten vor (z.B. Beierkuhnlein, 2014; Epple, Korn, Kraus, & Stadler, 2010; Essl & Rabitsch, 2013; Heller & Zavaleta, 2009; Nadler, Jaeschke, Bittner, Jentsch, & Beierkuhnlein, 2011). Einige wenige Arbeiten sind konkret auf planungspraktische Problemstellungen bezogen (DIFU, 2013; Korn, Schliep, & Stadler, 2010). Soweit wir sehen, wird die Frage, inwieweit Klimaschutz und -anpassung hinsichtlich des Arten- und Biotopschutz im *urbanen* Raum Synergien bzw. Konflikte zeitigen, bislang kaum bearbeitet. Andererseits gibt es zunehmend Arbeiten, die sich mit der klimaangepassten Gestaltung von urbanen Freiräumen befassen (z.B. Lenzholzer, 2015). Die Frage, welche Bedeutung diese Gestaltung für die urbane Artenvielfalt hat, wird dabei jedoch meist ausgeklammert oder nur am Rande artikuliert. Schließlich gibt es Ansätze, die zwar den Arten- und Biotopschutz im urbanen Raum auch unter freiraumgestalterischen Gesichtspunkten in den Blick nehmen, Klimaschutz und Klimaanpassung aber nur ansatzweise bearbeiten (z.B. Schelle, Hausladen, Hauck, & Weisser, 2015).

#### 4.4.2 Angewandte wissenschaftliche und technische Methoden

##### Vorgehen

Das Vorgehen gliedert sich in vier Teilschritte: (1) Als erstes werden Potentiale identifiziert, die sich aus den fokussierten Maßnahmen für die Artenvielfalt urbaner Räume ergeben. (2) In einem zweiten Schritt werden die Modellquartiere analysiert und zentrale freiraumplanerische und naturschutzfachliche Zielsetzungen identifiziert. (3) Anhand dieser Informationen werden dann unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus Kapitel 2.2. und 2.3. konkrete und integrative Entwurfsszenarien für die drei Siedlungstypen bzw. Modellquartiere erarbeitet. (4) Schließlich werden daraus allgemeine Prinzipien für die Gestaltung urbaner Lebensräume durch grüne Infrastrukturmaßnahmen abgeleitet.

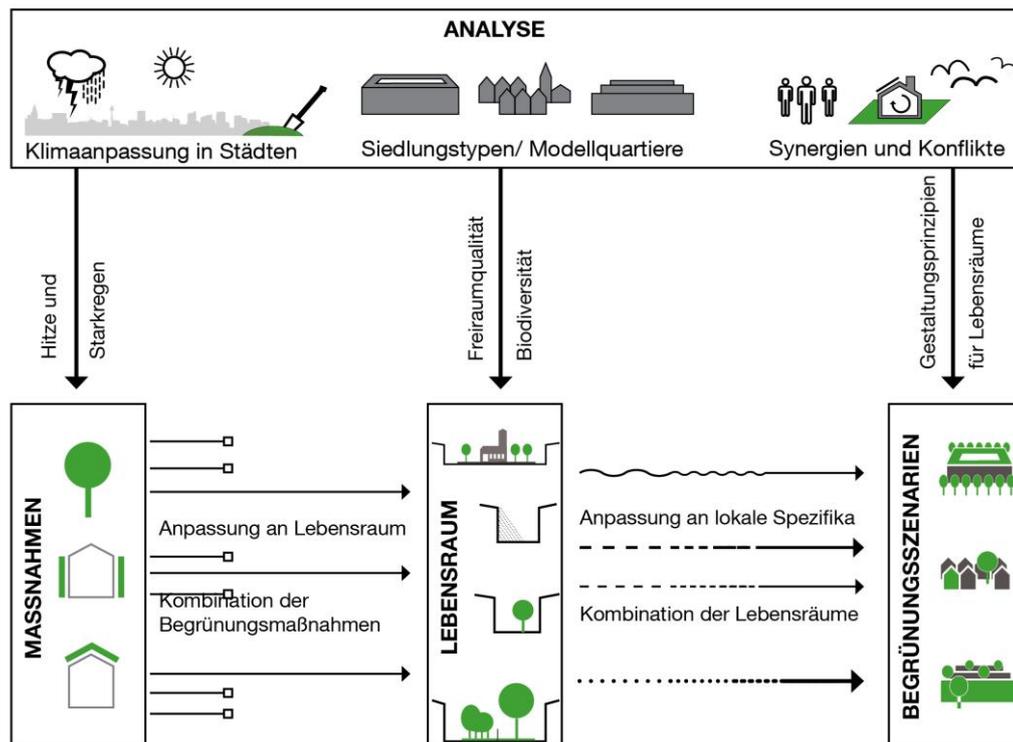


Abbildung 35: Darstellung der Vorgehensweise im Arbeitspaket Biodiversität und Freiraumqualität

#### 4.4.3 Recherche zu den Potentialen der ausgewählten Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen für die Gestaltung urbaner Lebensräume

Um Potentiale der ausgewählten Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahme (energetische Sanierung, Dachbegrünung, Fassadenbegrünung und Gehölzpflanzung) für die Biodiversität zu identifizieren wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Dafür wurde zum einen eine allgemeine Recherche anhand spezifischer Schlagwörterkombinationen<sup>2</sup> mit Hilfe der Suchmaschine „Google-Scholar“ durchgeführt. Darüber hinaus wurde gezielt in einschlägigen<sup>3</sup> wissenschaftlichen Zeitschriften recherchiert. Die Ergebnisse wurden durch Übersichts-Tagungs- und Fachbände sowie spezifische Online-Quellen (z.B. [www.urbanhabitats.org](http://www.urbanhabitats.org)) zum Thema ergänzt. Diese Recherche lieferte v. a. Ergebnisse für die Dachbegrünung, aber kaum für die Fassadenbegrünung und die Gehölzpflanzung (s. u.).

<sup>2</sup> Zum Beispiel „biodiversity“/„flora“/„fauna“ + „green roofs“/„green facades“/„urban trees“

<sup>3</sup> Unter anderem „Landscape and Urban Planning“, „Urban Forestry & Urban Greening“, „Building and Environment“, „Ecological Engineering“, „Urban Ecosystems“, „HortScience“, „Journal of Applied Ecology“

Für letztere wurde daher zudem eine erweiterte Recherche zu einzelnen Gehölzarten (Klettergehölze, Sträucher und Bäume) durchgeführt, die neben dem faunistischen Wert der Arten auch deren Angepasstheit an das städtische Klima sowie ihre Eignung als Straßenbaum berücksichtigt.

### Analyse der Modellquartiere

Für die Analyse der ausgewählten Siedlungstypen wurde auf unterschiedliche Quellen und Instrumente zurückgegriffen. Die Qualität der vorhandenen Bebauungs- und Grünstruktur wurde anhand von Luftbildern erfasst und durch Gebietsbegehungen ergänzt. Zentrale Charakteristika wurden photographisch dokumentiert. Grundlegende Strukturmerkmale wurden in Form von Strukturanalyseplänen und Piktogrammen dargestellt. Zur Charakterisierung der lokalen Flora und Fauna wurden lokalspezifische Daten der Artenschutz- und Biotopkartierung (ASK bzw. BK) des Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) ausgewertet und durch eigene Beobachtungen im Zuge von Gebietsbegehungen ergänzt. Lokalspezifische naturschutzfachliche Zielsetzungen wurden den relevanten Arten- und Biotopschutzprogrammen (ABSP) entnommen, die ebenfalls vom bayrischen Landesamt für Umwelt zur Verfügung gestellt werden. Die Informationen wurden durch Angaben aus der Literatur sowie durch Expertengespräche ergänzt. Um die Begrünungspotentiale in den Modellbereichen zu erfassen, wurde eine geoinformationssystem-basierte (GIS) quantitative Analyse der Oberflächen durchgeführt. Es wurden Straßen-, Hof-, Fassaden- und Dachflächen erfasst.

### Entwurfsszenarien mit ausgewählten Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen für die drei Modellbereiche

Um die räumlichen Wirkungen der modellierten Maßnahmenzenarien aus AP 2.3 auf urbane Lebensräume (Freiräume, Biotope) zu prüfen, wurden Fotocollagen angefertigt. Für jeden Modellbereich wurden Fotografien von zwei typischen Situationen (im öffentlichen Straßenraum und im privaten Hofbereich) erstellt und mit dem Programm Adobe Photoshop überarbeitet. Anhand von Grundrissen, Schnitten und Perspektiven wurde dargestellt, welche Maßnahmen (unter Berücksichtigung weiterer Rahmenbedingungen: Sparten, Verkehrsflächen usw.) sinnvoll einzusetzen wären. Anschließend wurde ihre Wirkung auf das Mikroklima mit ENVI-met modelliert. Dazu wurden die Entwürfe als Kombinationen verschiedener Begrünungsformen ins Modell implementiert und anhand des in AP 2.3 beschriebenen Vorgehens ausgewertet.

Der Entwurf stellt neben empirischen, experimentellen und modellierenden Methoden eine eigenständige Form der räumlichen Analyse und Erkenntnisweise dar (siehe z. B. (Van Ouwerkerk & Rosemann, 2001), (Hauberg, 2011), (Ammon, 2013)). Neben empirischen und modellierenden Instrumenten ermöglicht er, Räume in zusätzlichen Dimensionen ihrer lebensweltlichen Komplexität abzubilden und zu diskutieren.

Der Entwurf ist daher hervorragend geeignet, unterschiedliche Aspekte (Klimaschutz, Klimaanpassung, Arten- und Biotopschutz, Umsetzbarkeit usw.) in ihrer räumlichen Wirkung zu überlagern, ihre Synergien und Konflikte darzustellen und in ein funktionsfähiges räumliches Konzept zu integrieren (siehe z.B. Lenzholzer & Brown, 2016). Aus den räumlichen Studien wurden schließlich allgemeine Gestaltungsprinzipien abgeleitet.

#### 4.4.4 Während der Durchführung des Vorhabens der Universität bekannt gewordene Fortschritte auf diesem Gebiet bei anderen Stellen

Hinsichtlich der Frage nach Freiraumkonzepten, die die Themen Klimaanpassung, Klimaschutz *und* Biodiversität integrieren, sind uns von anderer Stelle keine Arbeiten bekannt. Auch zur Frage nach der Flora und Fauna der untersuchten *Siedlungstypen* liegen uns keine spezifischen Informationen zu aktuellen Arbeiten vor. Zur Frage nach den Biodiversitätspotentialen bestimmter Begrünungsformen im urbanen Raum wurde im Verlauf des Projekts eine Reihe von Arbeiten an anderer Stelle veröffentlicht. Sutton (2015) hat ein Buch zu „Green Roof Ecosystems“ herausgegeben, das auch eine Reihe von Arbeiten zur Biodiversität begrünter Dächer enthält. Thuring and Grant (2015) haben eine Auswertung von Veröffentlichungen zur Biodiversität von Dachbegrünungen verfasst. Die Landeshauptstadt Düsseldorf (2016) hat eine „Zukunftsbaumliste“ herausgegeben, die deshalb erwähnenswert ist, weil sie den Wert vieler potentieller Stadtbäume als Bienentracht berücksichtigt. Vom BfN wurde ein Positionspapier zum Thema „Schutz gebäudebewohnender Tierarten vor dem Hintergrund energetischer Gebäudesanierung“ herausgegeben. An der Bayerischen Landesanstalt für Wein- und Gartenbau werden verschiedene Baumarten auf ihre Tauglichkeit als Stadtbäume getestet (LWG, 2012, 2015). Am Zentrum für Stadtnatur und Klimaanpassung werden zudem im Rahmen der Teilprojekte 2 und 5 Untersuchungen zur Biodiversität angelegter Dachbegrünungen (Teilprojekte 2) und von Stadtbäumen (Teilprojekt 5) durchgeführt, die aber noch nicht abgeschlossen sind.

#### 4.4.5 Darstellung und Bewertung der erzielten Ergebnisse und ihrer praktischen Anwendbarkeit

##### Die Bedeutung der ausgewählten Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen für die Flora und Fauna im urbanen Bereich

Der derzeitige Wissensstand in Hinblick auf die Potentiale der ausgewählten Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen für die urbane Artenvielfalt stellt sich unterschiedlich dar. Während sich hinsichtlich der Begrünung von Dächern und ihrer Bedeutung für die urbane Flora und Fauna in den letzten beiden Jahrzehnten eine relativ umfangreiche Literatur entwickelte<sup>4</sup>, sind spezifische und planungspraktische Arbeiten zur Bedeutung der Begrünung von Fassaden, der Gebäudesanierung und der Pflanzung von Gehölzen für die urbane Artenvielfalt noch sehr selten.

##### Gebäudesanierung

Bislang wurden, soweit uns bekannt, keine systematischen Untersuchungen zum Einfluss energetischer Sanierungsmaßnahmen von Gebäuden auf die Artenvielfalt in Städten bzw. den Bestand gebäudebesiedelnder Tier- und Pflanzenarten veröffentlicht. In einem vor kurzem herausgegebenen Positionspapier des Bundesamts für Naturschutz gibt es lediglich einen Hinweis auf eine Untersuchung der Auswirkungen energetischer Sanierungen auf gebäudebrütende Vogelarten (BfN, 2016b). Ansonsten wird v. a. von Seiten der Naturschutzverbände auf die negativen Wirkungen energetischer Sanierung auf gebäudebewohnende Vogel- und Fledermausarten hingewiesen. Zugleich werden aber auch Chancen, die eine Instandsetzung der Gebäudehülle bietet, aufgezeigt.

Viele Vogel- und Fledermausarten nutzen Spalten, Nischen, Hohlräume usw. an und in Gebäuden als Fortpflanzungs- und Ruhestätten (z. B. Mauersegler, Rauchschnalbe, Mehlschnalbe, Dohle, Hausrotschwanz, Haussperling (siehe Bauer & Berthold, 1997); Zwergfledermaus, Breitflügelfledermaus, Zweifarbflledermaus, Graues Langohr, Braunes Langohr, Großes Mausohr, Abendsegler, Weißbrandfledermaus (siehe Meschede & Rudolph, 2004). Unverputzte Ziegelwände können zudem hohlraumnistenden Wildbienenarten (z. B. *Osmia cornuta*, *Osmia bicornis* (siehe Westrich, 2011) und Mauerpflanzen (z. B. *Asplenium trichomanes*, *A. ruta-muraria* (auf Kalk), *A. septentrionale* (siehe Ellenberg, 1996: 641 ff.) als Lebensraum dienen. Der Verlust dieser Lebensräume im Zuge der energetischen Instandsetzung der Gebäude stellt eine ernsthafte Bedrohung für die genannten Artengruppen dar (BfN, 2016b: 19).

---

<sup>4</sup> Als Überblick siehe z. B. (Cook-Patten, 2015; Fernandez-Canero & Gonzalez-Redondo, 2010; Oberndorfer et al., 2007; Sutton, 2015).

Die Erhaltung von Gebäudelebensräumen im Rahmen der energetischen Sanierung der Gebäudehülle muss daher als zentrales Ziel einer nachhaltigen Stadtentwicklung erachtet werden. Auf der anderen Seite können im Zuge der Gebäudeinstandsetzung relativ einfach neue und zusätzliche Lebensraumelemente geschaffen werden, z. B. durch fassadenintegrierte oder additive Spaltenquartiere für Fledermäuse oder Nisthilfen für Vögel und Wildbienen. Einen Überblick über die Thematik gibt das genannte Positionspapier des Bundesamts für Naturschutz (s. o.). Der Landesbund für Vogelschutz (LBV) hat eine Reihe von Broschüren herausgegeben, die Schutz- und Fördermöglichkeiten für gebäudebewohnende Vogel- und Fledermausarten im Detail beleuchten.<sup>5</sup> Ein äußerst wertvolle Hilfe zur Herstellung von Fledermausquartieren an Gebäuden ist die Arbeit von Dietz and Weber (2000).

### Dachbegrünung

Dachflächen unterliegen einem sehr geringen Nutzungsdruck. Daher weisen sie ein großes, bislang allerdings wenig genutztes Potential zur Anlage von Biotopen und damit zur Förderung der Flora und Fauna im städtischen Raum auf. Zur Flora und Fauna von Dachbegrünung liegt mittlerweile eine größere Anzahl an Veröffentlichungen vor.<sup>6</sup>

Als Hauptdeterminanten der Artenvielfalt auf begrünten Dächern gelten: (1) die Mächtigkeit der Substratschicht, (2) die Substratqualität und (3) die Wasserverfügbarkeit (siehe z.B. Brenneisen, 2006; Köhler, 2006; Oberndorfer et al., 2007). Generell gilt, dass Systeme mit mächtigeren Substratschichten und gezielter Wasserversorgung höhere Artenzahlen aufweisen können. Prinzipiell lassen sich auf Dächern eine Vielzahl unterschiedlicher Biotope herstellen: von Pionierstandorten mit rohen Substratauflagen (z. B. Tongranulat, Kies, Sand) über Trocken- und Halbtrockenrasen, Fett- und Feuchtwiesen bis hin zu Gehölzstrukturen und Dachgärten. Die Verwendung natürlicher Böden gilt in Hinblick auf den Artenreichtum der Begrünung als vorteilhaft (Brenneisen, 2006). Ein besonderer Vorteil von Dachbiotopen als Habitat für Tiere ist die relativ störungsarme und geschützte Lage (vgl. Fernandez-Canero & Gonzalez-Redondo, 2010). Ein hoher Reichtum an Pflanzenarten korreliert dabei oftmals mit einem hohen Tierartenreichtum (siehe z.B. Oberndorfer et al., 2007; Tonietto, Fant, Ascher, Ellis, & Larkin, 2011). Bei geeigneter Beschaffenheit bieten begrünte Dächer Lebensräume für eine Vielzahl von Vogel-, Wildbienen-, Käfer-, Spinnen-Arten usw. (siehe z.B. Baumann, 2006; Brenneisen, 2003, 2005; Colla, Willis, & Packer, 2009; Fernandez-Canero & Gonzalez-Redondo, 2010; Jones, 2002). Gründächer können mitunter sehr hohe Artenzahlen aufweisen und auch seltenen und gefährdeten Arten Lebensraum bieten (siehe z.B. Brenneisen, 2003; Jones, 2002; Kadas, 2006).

---

<sup>5</sup> (LBV, 2008b), (LBV, 2008a), (LBV, 2009a), (LBV, 2009b), (LBV, 2010), (LBV, 2011).

<sup>6</sup> Insgesamt wurden im Zuge der Recherche 70 Titel zum Thema gefunden. An dieser Stelle kann nur eine Zusammenfassung der wichtigsten Informationen erfolgen.

Zusätzliche Lebensraumrequisiten wie Totholz, Nistkästen und Wasserquellen wirken sich günstig auf die Fauna aus (Fernandez-Canero & Gonzalez-Redondo, 2010). Begrünte Dächer stellen daher wichtige Instrumente zur Erhaltung und Förderung der Artenvielfalt im urbanen Raum dar (siehe z.B. Brenneisen, 2006; Kadas, 2006; MacIvor & Lundholm, 2010; Zurbuchen & Müller, 2012).<sup>7</sup> Allerdings sind sie keinesfalls grundsätzlich ein vollwertiger Ersatz für natürliche Lebensräume.<sup>8</sup>

### Fassadenbegrünung

Neben Dächern bietet auch die Begrünung von Fassaden v. a. aufgrund des relativ geringen Nutzungsdrucks große Potentiale zur Förderung der urbanen Artenvielfalt. Verholzende Kletterpflanzen bieten wie auch andere Gehölze (s. u.) geschützte Fortpflanzungs- und Ruhestätten für freibrütende Vogelarten, Kleinsäuger und Gliederfüßer (siehe z.B. Chiquet, Dover, & Mitchell, 2012; Köhler, 1988; Madre, Clergeau, Machon, & Vergnes, 2015). Dabei gilt, dass der Wert des Gehölzes für die Fauna generell mit dem Alter zunimmt. Die Menge an Literatur zur Bedeutung begrünter Fassaden für die urbane Artenvielfalt ist äußerst spärlich. Um die Potentiale der Begrünungsform trotzdem abschätzen zu können, wurde eine Bewertung der gängigsten Klettergehölze (siehe FLL, 2000) durchgeführt.<sup>9</sup> (Gesamtartenliste siehe Anhang). Weitere mögliche Formen der Fassadenbegrünung stellen darüber hinaus fassadengebundene Pflanzmodule und Balkonbegrünungen dar. In beiden Fällen kann eine Vielzahl von Pflanzenarten verwendet werden. Durch die geeignete Auswahl kann die Menge und Vielfalt von Nahrungsquellen für (Wild-)Bienen, Schmetterlinge und andere Gliederfüßer zusätzlich erhöht werden. Systematische Untersuchungen zum Wert fassadengebundener Systeme für die urbane Artenvielfalt liegen, soweit wir sehen, bislang nicht vor. Sie wurden hier auch nicht weiter bearbeitet.

Die Ergebnisse zeigen, dass viele der gängig verwendeten Kletterpflanzenarten auch gut an das städtische Klima angepasst (stadtklimafest) sind. Für die Begrünung von Fassaden stehen unterschiedlich hoch wachsende sowie sommer- als auch wintergrüne Arten zur Verfügung. Viele Arten sind sehr wertvolle Nektar- und Pollenquellen, z. B. *Clematis vitalba* (Gewöhnliche Waldrebe), *Campsis radicans* (Amerikanische Klettertrompete), *Fallopia baldschuanica* (Schlingknöterich), *Hedera helix* (Efeu), *Hydrangea petiolaris* (Kletter-Hortensie), *Parthenocissus quinquefolia* (Selbstkletternde Jungfernebe), *P. tricuspidata* (Dreispitziige Jungfernebe), *Rosa arvensis* (Feld-Rose), *Wisteria floribunda* (Japanischer Blauregen) oder *W. sinensis* (Chinesischer Blauregen). Insbesondere verschiedene Geißblatt-Arten (*Lonicera spec.*) sind für Nachtfalter sehr attraktiv, andere sind sehr wichtige Nahrungsquellen für die Raupen vieler Nachtfalterarten, z. B. *Rubus fruticosus* (Brombeere). Viele Arten tragen

<sup>7</sup> Siehe z. B. (Kadas, 2006); (Brenneisen, 2006); (MacIvor & Lundholm, 2010); (Zurbuchen & Müller, 2012).

<sup>8</sup> Siehe z. B. (Schrader & Böning, 2006), (Westrich, 2011).

<sup>9</sup> Zur Bewertung wurden verschiedene Quellen herangezogen: (Diehl, 2013; Warda, 1998; Westrich, 2011; Zurbuchen & Müller, 2012) sowie eine Reihe weiterer, im Abschnitt „Gehölzpflanzung“ genannte.

Früchte, die gerne von Vögeln, Kleinsäugetern und Insekten verspeist werden, z. B. verschiedene Kiwi-Arten (*Actinidia arguta*, *A. deiciosa*, *A. kolomikta*), *Akebia quinata* (Fingerblättrige Akebie), Baumwürger (*Celastrus orbiculatus*, *C. scandens*) und *Herdera helix* (Efeu).<sup>10</sup> Bei der Verwendung der Kletterpflanzen sollte allerdings beachtet werden, dass viele der genannten Arten giftig sind. (Siehe Artenliste im Anhang)

### Gehölzpflanzung (ohne Kletterpflanzen)

Gehölze stellen insbesondere im urbanen Raum wertvolle Lebensraumrequisiten für eine Vielzahl von Tierarten dar (siehe z. B. (Gloor, 2014). Je älter die Gehölze, desto wertvoller sind sie in der Regel (ebd.). Künstliche Nisthilfen in jungen Bäumen eignen sich nur bedingt als Ersatz für natürliche Strukturen in alten Bäumen (vgl. z.B. Le Roux et al., 2015). Daher sollten alte Bestände (Bäume, aber auch Hecken und Gebüsche) möglichst erhalten werden. Neben dem Alter ist die Artzugehörigkeit entscheidend für die faunistischen Potentiale eines Gehölzes (Gloor, 2014) Es liegen nur wenige Veröffentlichungen vor, die konkrete Empfehlungen für die Verwendung von Baumarten und -sorten im urbanen Raum unter dem Gesichtspunkt ihres Werts für die lokale Fauna geben.<sup>11</sup>

Eine sehr wertvolle Arbeit zur Bedeutung unterschiedlicher Baumarten für die urbane Fauna stammt von Gloor (2014). Im Rahmen der Arbeit wurden 70 (größtenteils heimische) Baumarten bezüglich ihrer Bedeutung für die Artengruppen Bienen, Schmetterlinge, Käfer, Vögel und Säugertiere bewertet<sup>12</sup>. Um auch die Tauglichkeit der Arten für die Verwendung im urbanen Raum beurteilen zu können, wurde die Liste von Gloor mit einschlägigen Gehölzverwendungslisten abgeglichen. Um die Tauglichkeit der Arten bzw. Sorten für den Straßenraum zu beurteilen wurde auf die Liste potentieller Straßenbaumarten der Deutschen Gartenamtsleiterkonferenz (GALK, 2015) sowie die Arbeiten der Bayerischen Landesanstalt für Wein- und Gartenbau (LWG, 2012, 2015) zurückgegriffen. Die Angepasstheit an das urbane Klima (Trockenheit) wurde anhand der Klimaartenmatrix (KLAM: „Stadt“) von Roloff bewertet (Roloff, 2013; Roloff, Gillner, & Bonn, 2009; Roloff, Korn, & Gillner, 2009).

Dabei zeigte sich, dass für viele Arten und Sorten, die hinsichtlich ihrer Stadtklimatauglichkeit empfehlenswert erscheinen, von Seite Gloors keine Angaben vorliegen. Daher wurde eine

---

<sup>10</sup> Die Begrünung von Fassaden kann sich jedoch auch nachteilig auf die lokale Artenvielfalt auswirken, z. B. auf die Niststätten von bestimmten Wildbienenarten, die auf vegetationsfreies, unverputztes Mauerwerk angewiesen sind sowie auf (lichtbedürftige) Mauerfarne. Für manche Vogelarten wie den Mauersegler oder auch Fledermäuse kann die Begrünung von Fassaden problematisch sein, weil der freie Anflug an die Niststätten verhindert wird.

<sup>11</sup> Der (internationalen) Rezeption der Fragestellung steht sicher auch entgegen, dass es hierbei immer nur um Arten bzw. Sorten eines bestimmten geographischen Raums geht. Dass die urbane Flora auch heute schon beträchtlich von exotischen Arten geprägt ist (egal auf welchem Kontinent) ist allerdings Fakt. Eine Behandlung der Frage auf internationaler Ebene wäre also durchaus sinnvoll und hilfreich, innovative Lösungen für grüne Infrastrukturen zu finden.

<sup>12</sup> Bei den Baumarten handelt es sich nach Gloor um die häufigsten in der Stadt Zürich gepflanzten (und damit um in Mitteleuropa potentiell verwendbare Arten) sowie um eine Reihe von faunistisch besonders wertvollen Arten.

zusätzlich Recherche zu den faunistischen Potentialen dieser Arten durchgeführt.<sup>13</sup> Es ergab sich eine Liste von 202 Baum- und Straucharten bzw. -sorten sowie 39 Kletterpflanzenarten (6 Kräuter, 33 Gehölze) (siehe Anhang). Die Ergebnisse zeigen, dass eine Vielzahl von Arten im urbanen Raum gepflanzt werden kann, die jeweils unterschiedliche Potentiale für unterschiedliche Tiergruppen aufweisen. Es wird ersichtlich, dass sowohl heimische als auch gebietsfremde Gehölze sowie Hybride und Züchtungen einen wertvollen Beitrag zur Förderung der urbanen Fauna leisten und unter stadtklimatischen Bedingungen sowie im Straßenraum werden eingesetzt können.

Zu den faunistisch wertvollsten Gehölzgattungen zählen Eichen (*Quercus*), Linden (*Tilia*), div. Gattungen der Rosengewächse (*Prunus*, *Malus*, *Pyrus*, *Sorbus*, *Crataegus*), Weiden (*Salix*), Ahorn (*Acer*), Pappeln (*Populus*), Buchen (*Fagus*) und Erlen (*Alnus*). Auch Nadelbäume (Gattungen: *Pinus*, *Picea*, *Abies*, *Larix*) sind für bestimmte Tierartengruppen sowohl als Fortpflanzungs- als auch als Nahrungshabitat von Bedeutung. Die einzelnen Arten der genannten Gattungen sind allerdings unterschiedlich gut an stadtklimatische Verhältnisse (Hitze, Trockenheit) bzw. die Verwendung als Straßenbaum angepasst. Feld-Ahorn (*Acer campestre*), Französischer Ahorn (*A. monspessulanum*), Spitz-Ahorn (*A. platanoides*; hier div. Sorten) und Rot-Ahorn (*A. rubrum*) z.B. eignen sich als Stadt- und (m.E.) als Straßenbaum, während z. B. Bergahorn (*A. pseudoplatanus*) und Silber-Ahorn (*A. saccharinum*) zwar hervorragende Spender von Pollen, Nektar und Honigtau sind, aber weder im Straßenraum noch unter stadtklimatischen Verhältnissen bestehen können.

Unter den Erlen sind Grau-Erle (*Alnus incana*) und Purpur-Erle (*A. x spaethii*) gut an das Stadtklima angepasst, letztere ist zudem gut als Straßenbaum geeignet. Die Schwarz-Erle (*Alnus glutinosa*) dagegen ist zwar für Schmetterlinge äußerst wertvoll, für die Verwendung im Straßenraum und unter stadtklimatischen Verhältnissen aber nicht verwendbar. Die Rot-Buche (*Fagus sylvatica*) ist für die Verwendung im Stadt- und (stark versiegelten) Straßenraum ebenfalls nicht zu empfehlen, obwohl sie in faunistischer Hinsicht zu den wertvollsten Gehölzarten zählt. Unter den Rosengewächsen gibt es etliche faunistisch wertvolle und stadtklimafeste Arten, z. B. verschiedene Apfel-Arten (*Malus spec.*).

Der Wollapfel (*Malus tschonoskii*) ist zudem als Straßenbaum gut geeignet. Die Gattungen *Prunus* und *Sorbus* weisen besonders viele faunistisch wertvolle potentielle Stadtbaumarten auf: z.B. Aprikose (*Prunus armeniaca*) Vogel-Kirsche (*Prunus avium*), Kirsch-Pflaume (*P. cerasifera*), Weichsel-Kirsche (*P. mahaleb*), Gewöhnliche Trauben-Kirsche (*Prunus padus*), Mehlbeere (*Sorbus aria*), Speierling (*S. domestica*), Schwedische Mehlbeere (*S. intermedia*), Elsbeere (*S. torminalis*) (einige der genannten Arten sind allerdings nicht als Straßenbaum

---

<sup>13</sup> Allgemeine Informationen zu verschiedenen Artengruppen wurden (Warda, 1998) entnommen, Informationen zur Bedeutung für Schmetterlinge stammen aus (Bundesamt für Naturschutz (BfN), 2016a), zur Bedeutung als Bienenweide aus (Landeshauptstadt Düsseldorf, 2016; LfL, 2016; MLRBW, 2016).

geeignet; siehe Anhang). Unter den Eichen sind z. B. die Zerr-Eiche (*Quercus cerris*), die Trauben-Eiche (*Q. petraea*) und die Amerikanische Rot-Eiche (*Quercus rubra*) faunistisch wertvoll und als Straßenbaum sowie für die Verwendung im Stadtklima geeignet, während die Stiel-Eiche zwar ebenfalls als Straßenbaum geeignet, aber nur bedingt an die stadtklimatischen Verhältnisse angepasst scheint.

Winter-Linde (*Tilia cordata*), Mandschurische Linde (*T. mandshurica*), Silber-Linde (*T. tomentosa*) und Krim-Linde (*T. x euchlora*) sind stadtklimafeste Linden-Arten. Als faunistisch wertvolle stadtklimafeste Baumarten sind zudem zu nennen: Weißer Maulbeerbaum (*Morus alba*), Schwarz-Kiefer (*Pinus nigra*) und Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), Silber-Pappel (*Populus alba*), Zitter-Pappel (*Populus tremula*). Hopfenbuche (*Ostrya carpinifolia*) und Japanischer Schnurbaum (*Sophora japonica*) eignen sich zudem für die Verwendung im Straßenraum.

Unter den faunistisch wertvollen Straucharten, die an das städtische Klima angepasst sind, sind u. a. nennenswert: Felsenbirne (*Amelanchier ovalis*), Gewöhnliche Berberitze (*Berberis vulgaris*), Sommerflieder (*Buddleja davidii*), div. Weißdorn-Arten (*Crataegus spec.*), Sand-Ginster (*Genista pilosa*), Sanddorn (*Hippophae rhamnoides*), Steppen-Kirsche (*Prunus fruticosa*) und Schlehe (*P. spinosa*), Purgier-Kreuzdorn (*Rhamnus cathartica*), Kartoffel-Rose (*Rosa rugosa*), Sal-Weide (*Salix capraea*), Wolliger Schneeball (*Viburnum lantana*).

Die Ergebnisse zeigen jedoch auch, dass hinsichtlich der Fragestellung noch sehr großer Forschungsbedarf besteht. Bislang sind die heimischen Arten sehr viel intensiver betrachtet worden. Für nicht-heimische Arten sowie Zuchtformen (Hybride, Sorten) liegen dagegen bislang kaum Informationen bereit, obwohl ihre Bedeutung für die Gehölzpflanzung in Städten in Zukunft zunehmen wird.

## Analyse Blockbebauung – Maxvorstadt

### Allgemeine Kennzeichen

Die Maxvorstadt kennzeichnen charakteristische Merkmale einer gründerzeitlichen Blockbebauung. Kennzeichnend für die Freiraumstruktur ist ein schachbrettartiges System aus Straßen. Einzelbäume sowie ein- und zweireihige Alleen prägen den Straßenraum. Die geschlossene fünfgeschossige Bebauung trennt den belebten Straßenraum von einem ruhigen Innenhof. Die Innenhöfe sind stark versiegelt, i. d. R. mit Nebengebäuden bebaut und partiell mit Einzelbäumen, Hecken, Gebüsch, kleinräumigen Gartenanlagen begrünt. Vereinzelt wird die dichte Bebauung durch öffentliche Grünflächen (z. B. Nordfriedhof) und Plätze (z. B. Königsplatz) aufgelockert.

Blockbebauungen gelten aufgrund des hohen Versiegelungsgrads und des geringen Grünanteils als relativ artenarm (Klausnitzer, 1987; StMUVG, 2004). Wie auch die Daten der ASK

zeigen, ist die lokale Fauna geprägt von ubiquitären und synanthropen Tierarten. Viele Arten sind ursprünglich Bewohner trockenwarmer Felslandschaften (vgl. (Klausnitzer, 1987), (Larson, Matthes, & Kelly, 2000), (StMUVG, 2004)). Darüber hinaus kann die Blockbebauung aber auch relativ seltene und gefährdeten Arten (z. B. dem Gartenrotschwanz) Lebensraum bieten. Nischen, Hohlräume und Spalten an und in mehrgeschossigen Gebäuden stellen dabei wichtige Lebensraumelemente dar. Der Straßenraum stellt für die meisten laufenden Arten eine unüberwindbare Barriere dar, so dass v. a. fliegende Tierarten und windverbreitete Pflanzen in der Blockbebauung Lebensräume finden.

Für manche Arten können geschlossene Kronenräume im Straßenraum allerdings wichtige Ausbreitungs- und Verbindungswege darstellen (Klausnitzer, 1987). Die störungsarmen Hinterhöfe bieten zudem Habitate für relativ häufige Gartenvögel wie Blaumeise und Kohlmeise. Größere Grünräume (z.B. Nordfriedhof) bieten darüber hinaus auch typischen Wald- und Parkarten Lebensräume.

#### *Ziele des lokalen Arten- und Biotopschutzprogramms*

Das Arten- und Biotopschutzprogramm (ABSP) der Stadt München (StMUVG, 2004) nennt für den Bereich der Maxvorstadt als allgemeine Ziele: (a) die Aufwertung der Bebauungsflächen durch: Entsiegelung; Dach- und Fassadenbegrünungen; Gehölzpflanzungen; (b) die Aufwertung von Verkehrsflächen durch: Entsiegelung; Extensivierung und Diversifizierung der Begrünung; (c) Erhaltung und Förderung von Lebensräumen spezieller Arten (z. B. Gartenrotschwanz) sowie gebäudebesiedelnder Tier- und Pflanzenarten.

#### *Freiraumqualitäten*

Die Maxvorstadt ist als Quartier sehr beliebt.<sup>14</sup> Öffentliche Grünanlagen stellen wichtige Aufenthaltsräume dar. Der öffentliche Straßenraum ist durch Erdgeschossnutzungen belebt. Die Blockbebauung verfügt allerdings nur über wenig private Freiflächen (z. B. Gärten). Auch in den ruhigen, geschlossenen Höfen bleibt dafür kaum Platz. Sie sind stark fragmentiert und mit Nebengebäuden verdichtet. Die Freiflächen sind kaum begrünt und stark versiegelt. Die Freiraumqualität ist durch das Verkehrsaufkommen in den Straßen und durch den hohen Stellplatzanteil in den Innenhöfen eingeschränkt. Nachverdichtung und die prognostizierten Klimawandelauswirkungen haben zusätzlich negative Auswirkungen. Vor allem der Baumbestand ist durch die Erweiterung von Gebäude- und Verkehrsflächen, insbesondere Tiefgaragen, gefährdet. Der mit der Verdichtung zunehmende urbane Wärmeinseleffekt stellt in Kombination mit den prognostizierten Klimawandelauswirkungen die Aufenthaltsqualität zusätzlich in Frage.

---

<sup>14</sup> Siehe <http://www.muenchen.de/stadtteile/maxvorstadt.html>

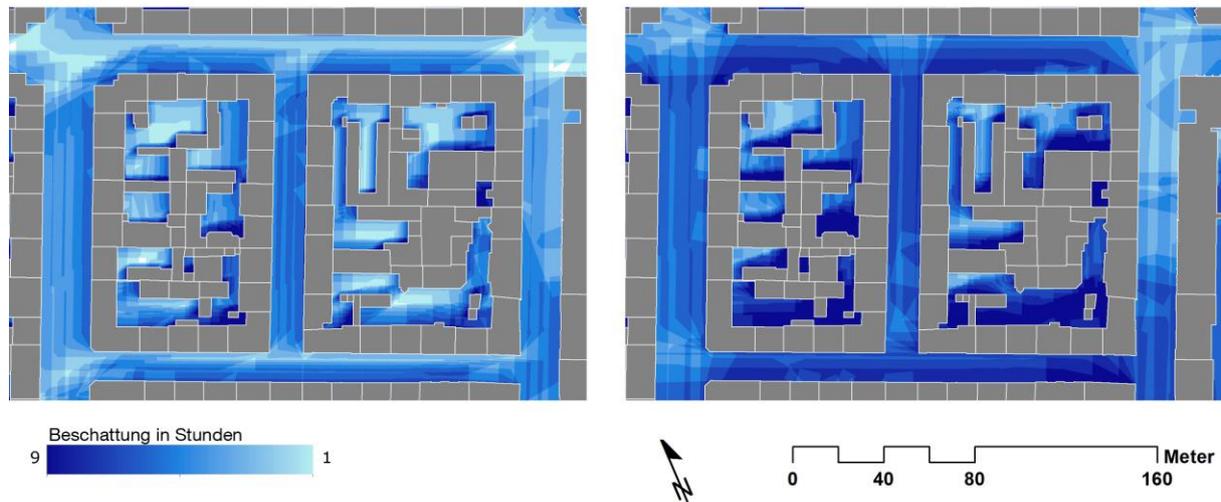
*Schattenanalyse*

Abbildung 36: Verschattungsstudien für den 21. Juni und 21. September zwischen 9 und 18 Uhr

Die Verschattung der Straßenräume ist je nach Tages- und Jahreszeit zu differenzieren. Haupt- und Nebenstraßen sowie Nord-Süd- und Ost-West-orientierte Straßen unterscheiden sich deutlich. Die fünfgeschossige Blockbebauung verschattet die Straßenräume und Innenhöfe vor allem in den kühleren Jahreszeiten stark. In den Innenhöfen ergeben sich über den Tag verteilt kleinräumig variierende Belichtungssituationen. Die nördlichen Hofbereiche sind das ganze Jahr über besonnt.

*Flächenpotentiale für Begrünungsmaßnahmen in der Blockbebauung*

Der öffentliche Straßenraum macht 20 % aller potentiell begrünbaren Flächen aus. Abzüglich der benötigten Verkehrsflächen und den vorhandenen Spartenrassen bleibt nur wenig Raum zur (bodengebunden) Begrünung. Der Anteil der Innenhof-Flächen liegt bei 17 %. Erschließungs- und Stellplatzflächen lassen auch hier nur Platz für vereinzelte Baumstandorte. Die Herstellung neuer Stellplätze in Tiefgaragen gefährdet einerseits den Gehölzbestand, andererseits bietet ihre Begrünung neue Möglichkeiten der Gestaltung. Die Fassaden- und Dachflächen machen aber den größten Flächenanteil aus und sind bisher kaum begrünt. Dächer mit einem Neigungswinkel von  $< 30^\circ$  haben einen Anteil von 24 %. Die Dachflächen der Nebengebäude haben einen Flächenanteil von 13 %. Sie befinden sich im Innenhof, in geschützter Lage und können auch intensiv begrünt werden. Die potentiell begrünbaren Fassadenflächen machen den größten Flächenanteil aus (40 %). Straßenseitig verhindert der Nutzungsdruck am Fuß der Fassaden meist eine bodengebundene Begrünung. Die Fassaden im Innenhof haben einen Anteil von 20 % an der Gesamtfläche und stellen dagegen eine sehr einfache Begrünungsoption dar.

*Räumliche Wirkung unterschiedlicher Maßnahmen*

Als Standort im öffentlichen Straßenraum wurde die Theresienstraße gewählt.



Abbildung 37: Null-Szenario ohne jegliche Begrünung für Straßenraum und Innenhof

Das Fehlen jeglicher Begrünung macht die kleinräumliche Differenzierung durch die Baustruktur im Hinterhof sichtbar. Ohne Grünstrukturen oder belebende Raumelemente wirken die Straßenräume monoton und die Innenhöfe unwirklich.



Abbildung 38: Szenario flächendeckende Baumpflanzung für Straßenraum und Innenhof

Durch eine flächendeckende Bepflanzung mit Bäumen wird der entsiegelte Verkehrsraum zum angenehmen Aufenthaltsraum. Die heutigen Anforderungen für Verkehrs- und Spartenrassen wären allerdings nicht zu erfüllen. Auch würden Hofflächen und die Wohnungen unter der ständigen Beschattung leiden.



Abbildung 39: Szenario flächendeckende Fassadenbegrünung im Straßenraum und Innenhof

Eine durchgängige Fassadenbegrünung würde die nüchterne Architektursprache der strengen Blockbebauung radikal verändern und das Fassadenbild beleben. Jedoch verändert sich damit auch der historische Charakter des Quartiers. Sowohl der Herstellungs- als auch der Pflegeaufwand der fassadengebundenen, modularen Begrünung wäre zudem sehr hoch. Die begrünten Fassaden böten allerdings als vertikales Biotop ein besonders Erlebnis von „Natur“. Begrünte Fassaden im Innenhof ließen neue Rückzugsräume für Menschen und div. Tierarten (freibrütende Vogelarten, Insekten) entstehen.



Abbildung 40: Szenario flächendeckende Dachbegrünung im Straßenraum und Innenhof

Eine Begrünung der hochgelegenen Dachflächen ist vom Straßenraum aus kaum wahrnehmbar. Im Innenhof schaffen extensive Dachbegrünungen auf den Nebengebäuden von oben gesehen einen neuen Raumeindruck. Eine Intensivierung der Dachbegrünung würde den Innenhof als Biotop oder nutzbare Freifläche erheblich aufwerten.

### *Zielsetzungen für den Entwurf*

Ziel des Entwurfs soll es sein, die Quartiere der dichten Blockbebauung mit Begrünungsmaßnahmen zu einem Teppich aus begrünten Hinterhöfen und einem Netz lebendiger Straßen zu verweben. Die Straßenräume sollten vor allem mit Bäumen zu multifunktionalen Bewegungs- und Aufenthaltsräumen aufgewertet werden. Sie bilden einen organischen Kontrast zur nüchternen Architektur und stellen wichtige Habitatelemente in den ansonsten äußerst grauen Straßenräumen dar. Durch die Kombination unterschiedlicher Begrünungsmaßnahmen bietet sich die Chance, den Innenhof für alle Bewohner des Blockes zu einer grünen „Oase“ zu entwickeln.

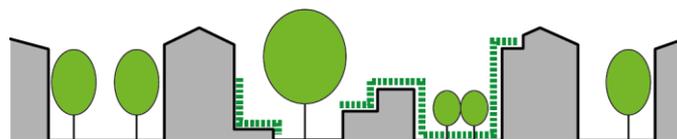


Abbildung 41: Verteilung grauer und grüner Elemente in der Blockbebauung

Durch die Differenzierung der Begrünungsmaßnahmen lässt sich ein vielfältiges Mosaik an Lebensräumen in den Straßen, Hinterhöfen und Gebäuden der Blockbebauung herstellen.

Gerade im Hinblick auf die Robustheit des Bestands und hinsichtlich der urbanen Fauna ist die Pflanzung unterschiedlicher Gehölzarten anzustreben. Zusammen mit vielfältig bepflanzten Tiefbeeten und der modularen Fassadenbegrünung entstehen (auch) im Straßenraum unterschiedlichste Lebensräume. In den Hinterhöfen lassen sich durch die Begrünung der Fassaden mit verschiedenen Kletterpflanzenarten diverse Habitat- und Aufenthaltsqualitäten erzeugen. Die Anlage von verschiedenen Dachbegrünungsformen erhöht die Vielfalt an Raumqualitäten und Habitaten erheblich. Die Pflanzung unterschiedlicher Gehölzarten, vom sonnenexponierten Großbaum bis zum schattenverträglichen Kleinstrauch erweitert den Reichtum an Arten und Eindrücken im Hinterhof zusätzlich.

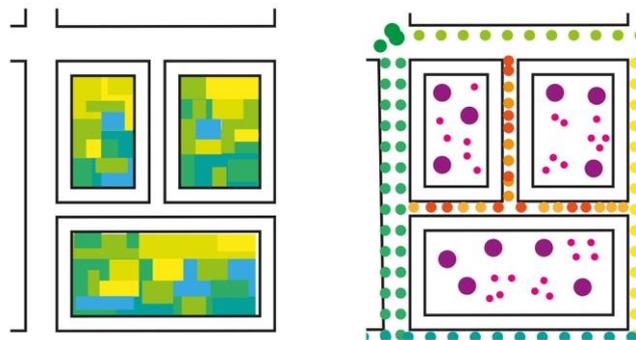


Abbildung 42: Lebensraum-Mosaik der Blockbebauung (links: Flächenmosaik; rechts: Gehölzmosaik)

Die Straßenräume der Maxvorstadt werden durch die Bepflanzung mit Bäumen zu einem Netz beschatteter Verbindungskorridore ausgebaut. Damit können sich insbesondere Fußgänger und Radfahrer auch an Hitzetagen gut bewegen und die kühleren öffentlichen Grünflächen erreichen. Auch für manche Tiere stellen die begrünten Straßen wichtige Verbindungskorridore dar. Tiere, wie Eichhörnchen z. B. nutzen die geschlossenen Kronenräume zur Wanderung in der Stadt. Die Höfe der Blockbebauung bieten die Möglichkeit ein Gefüge aus unterschiedlichsten Lebensräumen zu schaffen, die räumlich nahe aneinander liegen und damit die Durchlässigkeit des Stadtgefüges für viele Tier- und Pflanzenarten erhöhen.



Abbildung 43: Vernetzungsstruktur in der Blockbebauung

Integrative Betrachtung am Entwurf für Maxvorstadt



- |   |   |   |  |
|---|---|---|--|
|  | Energetische Sanierung Gebäudebestand   |  | Bodengebundene Fassadenbegrünung<br>z.B. <i>Hedera Helix</i> , <i>Parthenocissus quinquefolia</i> , <i>Actinidia arguta</i> , <i>Hydrangea petiolaris</i> , <i>Wisteria sinensis</i>   |
|  | Belag mit hohem Albedo  |  | Baumbestand Hauptstraße Nord-Süd ergänzen<br>z.B. mit <i>Tilia tomentosa</i> 'Brabant', <i>Sophora japonica</i> , <i>Quercus cerris</i>  |
|  | Wasserdurchlässiger Belag   |  | Baumneupflanzung Hauptstraße Ost-West<br>z.B. mit <i>Acer campestre</i> , <i>Robinia pseudoacacia</i> , <i>Alnus x spaethii</i>  |
|  | Rain gardens mit Stauden, Gräser, Zwergsträucher  |  | Baumbestand Nebenstraßen ergänzen<br>z.B. mit <i>Carpinus betulus</i> , <i>Malus tschonoskii</i> , <i>Amelanchier ovalis</i>   |
|  | Ziergarten auf Tiefgaragendach mit Rasen, Stauden, Gräser und Kleingehölzen   |  | Baumbestand Innenhof ergänzen<br>z.B. für vollsonnige Bereiche mit <i>Prunus avium</i> , <i>Pinus sylvestris</i> , <i>Pyrus salicifolia</i> , für schattige Bereiche <i>Pyrus communis</i> , <i>Acer cappadocicum</i> , <i>Corylus colurna</i> |
|  | Dachflächen für Solaranlagen geeignet   |  | Solitärsträucher Innenhof ergänzen<br>z.B. mit <i>Cornus mas</i> , <i>Viburnum lantana</i> , <i>Buddleja davidii</i>   |
|  | Dachterrasse  |   |  |
|  | Dachbegrünung Typ "Feuchtwiese"   |   |  |
|  | Dachbegrünung Typ "Nutzgarten"  |   |  |
|  | Dachbegrünung Typ "Trockenrasen"  |   |  |
|  | Wasserstelle/Brunnen  |   |  |
|  | Modulare Fassadenbegrünung mit Stauden und Gräser   |   |  |
|  | Begrünung Balkon/Laubengang in Pflanztrögen<br>z.B. <i>Bryonia alba</i> , <i>Lonicera caprifolium</i> , <i>Calystegia sepium</i> , <i>Tamus communis</i> , <i>Lathyrus latifolius</i> |   |  |

Abbildung 44: Verortung der Maßnahmen im Grundriss im Siedlungstyp Blockbebauung

### Maßnahmen im Straßenraum

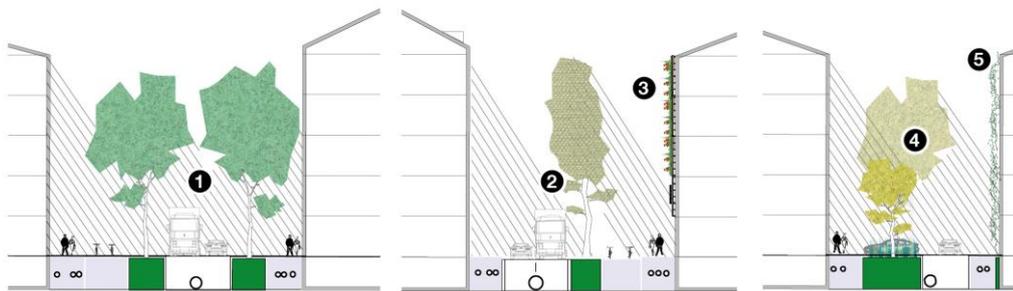


Abbildung 45: Verortung von Maßnahmen in Schemaschnitt durch die Straßenräume

1. Der Baumbestand der Nord-Süd-gerichteten Hauptstraße wird zu einer Allee mit stadtklimafesten Straßenbäumen ergänzt, die den Straßenraum und die Aufenthaltsräume vor den Ost- bzw. Westfassaden verschatten. Die Pflanzstreifen werden für die Versickerung und Speicherung von unbelastetem Oberflächenwasser aktiviert. Sie gliedern den Verkehrsraum zwischen Gehweg, Fahrradweg und Fahrbahn. Zwischen den Baumstandorten werden entsiegelte Parkbuchten für *carsharing* angeboten.
2. In den bisher baumfreien, in Ost-West-Richtung verlaufenden Hauptstraßen werden besonders trockenstress- und hitzeverträgliche Bäume zur Verschattung der Aufenthaltsbereiche vor den Südfassaden gepflanzt. Um die Durchlüftung nicht zu behindern, wird auf eine beidseitige Bepflanzung verzichtet und auf schmalkronige Arten zurückgegriffen. Die Baumreihe schirmt den Fußgänger- und Fahrradverkehr vor dem Automobilverkehr ab.
3. Stark strahlungsbelastete Süd- und West Fassaden der Hauptstraßen werden zusätzlich verschattet. Durch den hohen Nutzungsdruck am Fassadenfuß bieten sich hier modulare Begrünungs- oder technische Verschattungselemente an. Nischen für unterschiedliche Tiergruppen lassen sich in beide Fassadensysteme integrieren. Insbesondere die Begrünung mit modularen Elementen bietet ein breites Spektrum an Pflanzenarten und Lebensräumen. Als sog. *living walls* bieten sie ein außergewöhnliches Raumerlebnis und erzeugen besondere Orte im Quartier.
4. In den schmaleren Nebenstraßen reicht der Straßenquerschnitt nur für eine einreihige Bepflanzung mit Straßenbäumen aus. Als verkehrsberuhigter Bereich wird der Straßenraum mittig mit Gruppen unterschiedlicher Baumarten bepflanzt. Aus dem monofunktionalen Verkehrsraum wird ein multifunktionaler Aufenthalts- und Bewegungsraum für Anwohner. Die Stellplätze werden dazu auf das Nötigste reduziert, entsiegelt und zwischen den Baumgruppen angeordnet. Tiefbeete unter den Bäumen versickern einen Großteil der anfallenden Niederschläge vor Ort. Die Feuchtbiotope (*urban wetlands*) sind mit unterschiedlichen Gräsern, Kräutern und Stauden bepflanzt, die eine sehr hohe Verdunstungsleistung haben. Sie werten

den Straßenraum als Lebensraum auf. Mit in die Einfassungen der Tiefbeete integrierte Sitzgelegenheiten verbessern die Aufenthaltsqualität zusätzlich.

5. Strahlungsexponierte West- und Südfassaden in den Nebenstraßen werden zusätzlich begrünt. Der geringe Nutzungsdruck am Fassadenfuß ermöglicht eine bodengebundene Fassadenbegrünung, die die Qualität der Straße als wohl temperierten Spiel- und Aufenthaltsraum verbessert und zusätzliche Habitatstrukturen im Straßenraum schafft. Balkone und Loggien werden in den verkehrsberuhigten Straßen wieder zu nutzbaren Aufenthaltsräumen und sind mit Topfpflanzen begrünt.

#### *Maßnahmen am Gebäude*

6. Energetische Sanierungsmaßnahmen der Fassaden erfolgen an allen Gebäuden unter Berücksichtigung vorhandener Lebensräume gebäudebesiedelnder Tier- und Pflanzenarten. Zusätzliche Quartiere für Vögel, Fledermäuse und Wildbienen werden in die Gestaltung der Fassaden integriert. Laubengänge und Loggien werden in die Pufferzone einer zweiten Fassadenhülle zur Erweiterung der Wohnfläche integriert.

7. Die Dächer der Hauptgebäude werden aufgrund ihrer Dachneigung und extremen Exposition nicht begrünt. Insbesondere die Süd-, und West-orientierten Dächer sind für Solarzellen geeignet. Im Zuge der Nachverdichtung werden Dachausbauten mit Dachterrassen angelegt. Sie sind mit Zier- und Nutzpflanzen in Pflanztrögen begrünt und schaffen besondere Aufenthaltsorte über der Stadt.

8. Die stark strahlungsbelasteten Süd- und Westfassaden im Innenhof werden mit hochwachsenden Kletterpflanzen bodengebunden begrünt. Sie verbessern die Aufenthaltsqualität der Freiräume und tragen zur Reduktion der Hitze, Lärm- und Feinstaubbelastung im Innenhof bei. Je nach Art verbessern sie auch das Nahrungs- und Nistplatzangebot für diverse Tierarten. Die Verwendung verschiedener Kletterpflanzenarten mit unterschiedlichen Blattfärbungen und Blühaspekten, schafft ein abwechslungsreiches Fassadenbild über alle Jahreszeiten hinweg.

9. Die Begrünung von Loggien, Balkonen und Laubengängen erweitert das Angebot schattiger, privater Aufenthaltsräume in den Innenhöfen. An Rankgerüsten wachsen verschiedene Kletterpflanzen empor. In Kombination mit anderen Zier- oder Nutzpflanzen die von den Bewohnern in Töpfen unterhalten werden, entstehen vertikale Gärten. Die individuelle Bepflanzung erzeugt eine sehr hohe Artenvielfalt, die die monotonen Fassaden im Hinterhof beleben.

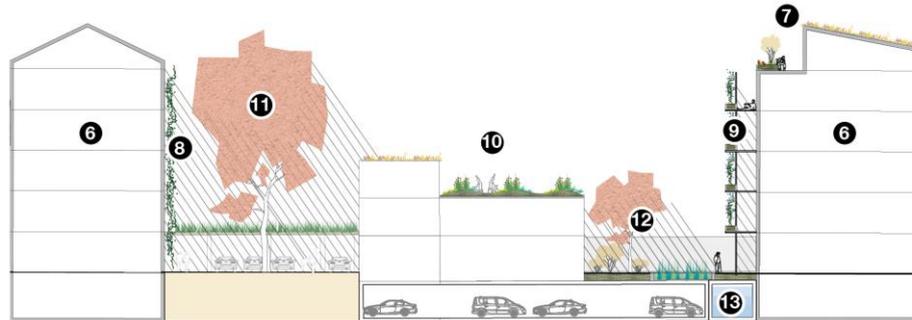
*Maßnahmen im Innenhof*

Abbildung 46: Schemaschnitt durch den Innenhof

10. Die Begrünung der relativ niedrigen Dächer im Innenhof ist eine sehr gute Option, um die Niederschläge zurückzuhalten und Grünflächen in der hochverdichteten Blockstruktur zu schaffen. Je nach Bausubstanz werden sowohl extensive als auch intensive Begrünungen angelegt. Vom Trockenrasen bis zur Feuchtwiese ergibt sich ein ungestörtes, kleinräumiges Lebensraummosaik inmitten der Stadt und wird für die Bewohner der umgebenden Wohnungen (von oben betrachtet) zum besonderen Naturerlebnis. Auf zugänglichen Dachflächen werden private oder gemeinschaftliche Gärten angelegt, durch die neue Aufenthaltsräume entstehen. Sie werden auch zum Anbau von Obst und Gemüse (*urbanes Gärtnern*) genutzt.

11. Der Bestand an Bäumen im Innenhof wird erhalten. Auf den sonnenexponierten Hofflächen werden zusätzliche Standorte mit ausreichendem Wurzelraum für Großbäume geschaffen. Ihre Kronen verschatten weite Bereiche der hitzebelasteten Hinterhöfe. Mit Abstand gepflanzt, ermöglichen sie einen ausreichenden Luftaustausch. Die Fläche unter der Krone kann als Stellplatz, Aufenthalts- oder Bewegungsfläche genutzt werden. Dabei schützen die Bäume vor nachbarschaftlichen Blicken und dienen diversen Tierarten als Singwarte, Nistplatz, Nahrungsquelle oder geschützter Rückzugsort. Zur Versickerung des Oberflächenwassers werden die befestigten Hofflächen auf ein Minimum reduziert und wasserdurchlässig befestigt. Die Baumstandorte sind großzügig entsiegelt. In den Randbereichen steigern Wiesen und Pflanzflächen die Artenvielfalt und versickern das Regenwassers der Hofflächen.

12. Tiefgargedächer werden flächig begrünt und als gemeinschaftlicher Garten genutzt. Eine großzügige Substratauflage und Retentionsmatten auf der Dachkonstruktion speichert Regenwasser und macht Gehölzpflanzungen möglich. Es werden ausschließlich Pflanzen verwendet, die mit dem geringen Wurzelraum auskommen. Durch die Kombination unterschiedlicher Gehölze mit Stauden, Kräutern und Gräsern, werden sehr differenzierte ästhetische und ökologische Qualitäten geschaffen.

13. Zur Bewässerung der Pflanzen in den zunehmenden Trockenperioden sind Wasserspeicher nötig. Insbesondere die Dach- und Fassadenbegrünungen ohne Bodenanschluss

brauchen kontinuierlich Wasser. Dazu werden in den Tiefgaragen Zisternen vorgesehen. Auf den Hof- und Dachflächen werden Wasserbecken zum Gießen genutzt. Zudem kühlen sie die Aufenthaltsräume. Fassadengebundene Begrünungen sollten mit Brauchwasser (Grauwasser) der Gebäude automatisch bewässert werden.

#### *Wirkung der Maßnahmen auf das Mikroklima*

Im Vergleich zur aktuellen Begrünungssituation wird der Grünanteil im Entwurf von 9 auf 38,5 % erhöht. Dies bewirkt eine Reduktion der PET um 10,6 % unter heutigen bzw. 4,2 % unter zukünftigen Klimabedingungen. Wie aus Abbildung 47 ersichtlich bewirkt v.a. die Verschattung durch die neu gepflanzten Bäume in den Straßenräumen und Hinterhöfen eine Verminderung der kleinräumigen Überhitzung. Fassadenbegrünung und begrünte Balkone reduzieren die Reflexion der solaren Einstrahlung in den Raum. Der Anteil an Freiräumen mit starkem Hitzestress wird verringert. Mit dem Entwurfsszenario kann folglich auch unter zukünftigen Klimabedingungen eine Wärmebelastung von im Schnitt 39 °C PET und damit niedriger als in der heutigen Situation erreicht werden.

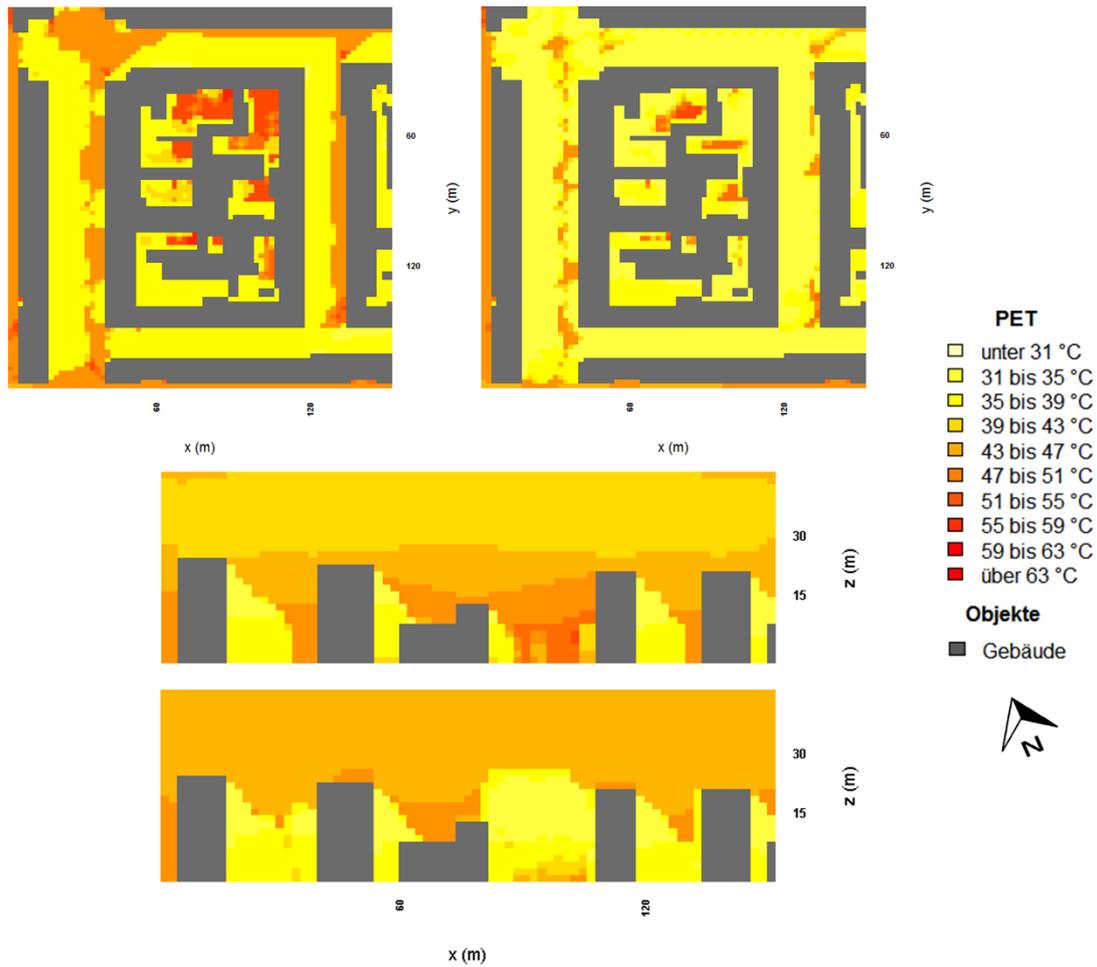


Abbildung 47: Oben: Die thermische Belastung in der Blockbebauung mit aktueller Begrünung (links) und im Entwurfsszenario (rechts) unter heutigen Klimabedingungen, um 15 Uhr eines Hitzetages in 1,4 m Höhe. Unten: Schnitt durch den Hinterhof der Blockbebauung bei y= 81 m, um 15 Uhr eines Hitzetages.

## Analyse Zeilenbebauung – Neuaubing

### *Allgemeine Kennzeichen*

Neuaubing liegt am westlichen Stadtrand von München. Das Quartier kennzeichnen typische suburbane Strukturen. Zwischen Landschaftsfragmenten, Einfamilienhaussiedlungen, Gewerbegebieten, Brachflächen und großen Verkehrsinfrastrukturachsen liegt das Wohngebiet mit einer lockeren Bebauung aus Zeilenbauten und Punkthochhäusern. Es gibt kaum Bezüge zu den angrenzenden Siedlungs- oder Landschaftsstrukturen. Die großflächigen Wohnanlagen sind in eine von weitläufigen Straßenräumen durchzogene parkartige Landschaft aus baumüberstandenen Rasenflächen eingebettet.

### *Arten- und Biotopausstattung*

Zeilenbebauungen gelten als relativ artenreich im Vergleich zu den beiden anderen betrachteten Siedlungstypen (vgl. Klausnitzer, 1987; StMUVG, 2004). Sie bieten vielen Arten Lebensraum, die mit den relativ extremen innerstädtischen Bedingungen nicht zurechtkommen.

In der Regel bestehen die Grünflächen aus Scherrasen mit Einzelbäumen und Baumgruppen. Laufende Tierarten sind hier einem erheblich geringeren Kollisionsrisiko ausgesetzt. Auf der anderen Seite sind prinzipiell alle ebenerdigen Bereiche des Siedlungsgebiets durch die Bewohner und ihre Haustiere (Hunde, Katzen) erreichbar. Die Gefährdung von Kleinsäugetern, Amphibien, Reptilien und bodenbrütenden Vogelarten durch Katzen (siehe z. B. Loss, Will, & Marra, 2013) ist hier sehr groß. Die mehr oder weniger häufige Lage der Siedlungen am Stadtrand bedingt und fördert die Migration von Arten in und aus der umgebenden Landschaft. Im Rahmen der ASK und eigener Begehung wurden im Modellquartier diverse Vogelarten nachgewiesen, die auf Gärten, Parks, Haine oder Wälder als Habitate angewiesen sind, Rotkehlchen, Stieglitz, Girlitz, Waldlaubsänger, Fitis, Zilpzalp, Bunt- und Grünspecht, Garten- und Hausrotschwanz. In der Umgebung wurden wiederholt verschiedene Reptilien- und Amphibienarten (Zauneidechse und Blindschleiche, Berg- und Teichmolch, Gras- und Laubfrosch, Erdkröte) nachgewiesen. Das nachgewiesene Artenspektrum der Fledermäuse umfasst neben dem Großen Abendsegler, Rauhaut- und Weißbrandfledermaus sowie die Zwergfledermaus. In den Trockenbiotopen und Brachflächen südlich des Modellbereichs wurden zahlreiche Vogel- und Insektenarten nachgewiesen, die im Stadtgebiet und darüber hinaus z. T. sehr selten sind (z. B. Schwarz- und Braunkehlchen; Blauflügelige Ödlandschrecke, Blauflügelige Sandschrecke, Idas-Bläuling).

### *Ziele des lokalen Arten- und Biotopschutzprogramm*

Das Arten- und Biotopschutzprogramm (ABSP) der Stadt München (StMUVG, 2004) nennt für Zeilenbebauungen als allgemeine naturschutzfachliche Maßnahmen u. a.: (a) Regenerierung natürlicher Böden; (b) Regenwasserversickerung über bewachsene Versickerungsbereiche; (c) Entsiegelung (auch) von (kleinen) Flächen, v. a. am Fuße südexponierter Mauern; (d) Erhaltung und Herstellung von Lebensräumen gebäudebewohnender Tierarten; (e) Erhaltung und Förderung des Struktureichtums (extensiv genutzte Wiesen, alte Gehölzbestände, Totholz, Brachflächen usw.); (f) Extensivierung der Pflege (Umwandlung von Scherrasen in ein- oder zweischürige Magerwiesen); (g) Förderung von Fassaden- und Dachbegrünung; (h) Anlage von Mietergärten.

### *Freiraumqualitäten*

Die punktuelle Bebauung und undifferenzierten Grünflächen schaffen keine spezifischen Raumqualitäten. Die Architektur ist auf ihre Wohnfunktion reduziert und unterscheidet sich in ihrer Gestaltung nur hinsichtlich des Gebäudetyps. Der Straßenraum ist als reiner Verkehrsraum angelegt. Das Verkehrsbegleitgrün dient als Abstandsgrün zwischen Verkehrsraum und Wohnort. Es fehlen Aufenthaltsmöglichkeiten, definierende Raumkanten und belebende öffentliche Programme wie Einzelhandel und Gastronomie. Den Freiflächen in der Wohnanlage mangelt es an Aufenthaltsqualitäten und Nutzungsmöglichkeiten. Durch die Initiative „Aktives Stadtteilzentrum Neuaubing-Westkreuz“ wird versucht, Bewohner und neue Akteure für die Quartiersentwicklung zu mobilisieren.<sup>15</sup>

### *Schattenanalyse*

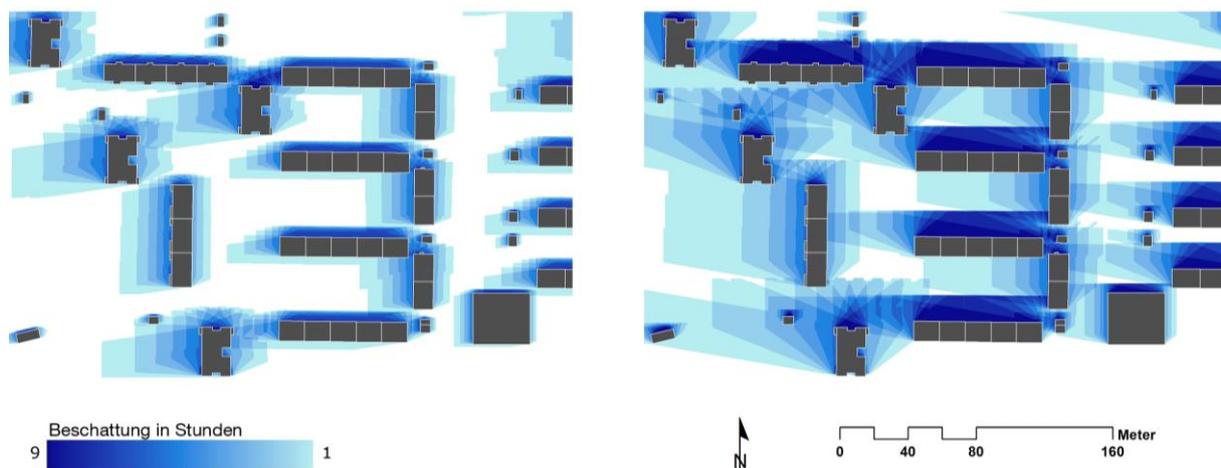


Abbildung 48: Verschattungsstudien für den 21.Juni und 21.September zwischen 9 und 18 Uhr

<sup>15</sup> <https://aktive-zentren-neuaubing-westkreuz.de/mitmachen/beteiligung.html>

Die Freiräume sind über alle Jahres- und Tageszeiten hinweg durch die lockere Bebauung wenig verschattet. In den kühlen Jahreszeiten entstehen hier angenehm besonnte, aber zugeige Aufenthaltsräume. Im Sommer wird es zur Mittagszeit sehr heiß (s. Kap. 2.4), lässt jedoch zum Abend hin angenehm besonnte Aufenthaltsräume entstehen. Auch die Südseiten der Zeilenbauten sind über alle Jahres- und Tageszeiten voll besonnt. An Hitzetagen sind hier Verschattungsmaßnahmen nötig, die trotzdem die Belichtung der Wohnungen in den kühleren Jahreszeiten erlauben.

### *Flächenpotentiale*

Der Anteil der bestehenden Grünflächen liegt bei 43 % und kann nur noch minimal durch neue Maßnahmen erhöht werden. Die Verkehrsräume haben einen Flächenanteil von 22 %. Hier können nur Gehölzpflanzungen ergänzt oder überdimensionierte Verkehrsflächen zum Teil entsiegelt werden. Die Flachdächer der Gebäude haben einen Flächenanteil von 12 % und könnten sehr einfach extensiv begrünt und mit aufgeständerten Solaranlagen kombiniert werden. Die strahlungsexponierten Fassaden haben einen Anteil 23 %. Eine Begrünung insbesondere der Südfassaden ist sehr einfach herzustellen und kann auch mit Balkonen oder Loggien kombiniert werden.

### *Räumliche Wirkung unterschiedlicher Maßnahmenszenarien*

Als Standort im öffentlichen Raum wurde die Radolfzeller Straße gewählt. Die Freiräume innerhalb der Wohnanlage wurden vom Dach eines Punkthochhauses aufgenommen.



Abbildung 49: Null-Szenario ohne jegliche Begrünung für Straßenraum und Innenhof

Ohne jegliche Begrünung zeigen sich die räumlichen Defizite der Zeilenbebauung, z. B. das Fehlen räumlicher Kanten. Die funktionalistische Architektur und der immer gleiche Gebäudetyp bedingen Identitätslosigkeit und räumliche Monotonie.



Abbildung 50: Szenario flächendeckende Baumpflanzung für Straßenraum und Innenhof

Es entsteht der Eindruck von verstreuten Gebäuden, die in einem Wald stehen. Die Wohnanlage könnte damit als Lebensraum für viele waldbewohnende Tiere aktiviert werden und würde ein besonderes Naturerlebnis für die Bewohner bieten. Ein solches Szenario würde aber nur an wenigen Hitzetagen im Jahr die Freiraumqualität verbessern. Durch die Differenzierung in dicht mit Bäumen bestandene und offene Bereiche ließen sich neue Raumqualitäten schaffen.



Abbildung 51: Szenario flächendeckende Baumpflanzung für Straßenraum und Innenhof

Eine durchgängige Fassadenbegrünung mit unterschiedlichen Kletterpflanzen würde das Fassadenbild beleben und dem Quartier einen neuen Charakter geben. Die begrüntten Fassaden böten die Möglichkeit auch die Aufenthaltsqualität in südseitigen Loggien oder auf Balkonen zu verbessern. Zudem entstünden zusätzliche Nistmöglichkeiten und Nahrungsquellen für viele Tierarten.



Abbildung 52: Szenario flächendeckende Dachbegrünung im Straßenraum und Innenhof

Die Dächer der Punkthochhäuser eignen sich aufgrund der Höhe (Windexposition) nur bedingt als Biotop. Allerdings könnten sie als Dachterrassen mit einzigartigem Ausblick genutzt werden. Die Begrünung der niedrigeren Zeilengebäude könnte extensiv erfolgen und für Tierarten der umgebenden Brach- und Bahnflächen neue und geschützte Lebensräume schaffen.

### *Zielsetzungen für den Entwurf*

Durch die Differenzierung bestehender Grünflächen und die Kombination mit neuen Begrünungsmaßnahmen kann das Spektrum an unterschiedlichen Lebensräumen im Siedlungstyp „Zeilenbebauung“ erheblich erweitert werden. Die Rasenflächen können durch Intensivierung bzw. Extensivierung von Nutzung und Pflegemaßnahmen einerseits in extensive Wiesenflächen und andererseits in intensive Gärten differenziert werden. Das punktuelle Verdichten bzw. Auslichten des Baumbestands generiert offene, schattige und halbschattige Lebensräume. Private und gemeinschaftlich genutzte Gärten schaffen Aneignungsflächen in der Wohnanlage. Durch Versickerungsgräben, Wasserflächen, Trockenbiotope oder Geländemodellierungen werden neue Lebensräume geschaffen, die einen wichtigen Beitrag zur Klimaanpassung leisten und Bezüge zur umgebenden Kulturlandschaft herstellen.

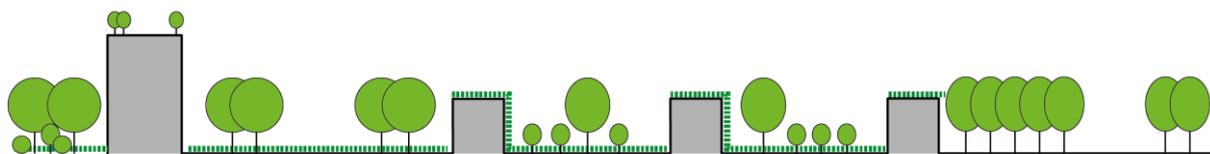


Abbildung 53: Verteilung grauer und grüner Elemente in der Zeilenbebauung

Durch die Qualifizierung der Grünflächen und Begrünungsmaßnahmen entsteht eine neue Vielfalt an Lebensräumen. Mit Kletterpflanzen begrünete und mit Niststätten ausgestattete Fassaden übernehmen Funktionen als Fortpflanzungs-, Nahrungs- oder Jagdlebensraum für unterschiedliche Vogel-, Fledermaus- und Insektenarten.

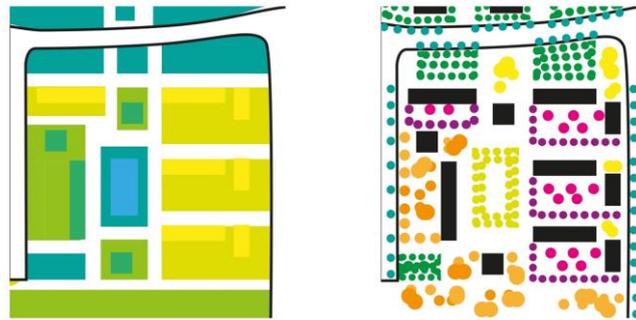


Abbildung 54: Lebensraum-Mosaik der Zeilenbebauung (links: Flächenmosaik; rechts: Gehölzmosaik)

Extensiv begrünte Dächer von Zeilenbauten und Garagen bilden zusammen mit bepflanzten Versickerungsflächen entlang der Straßen ein Netzwerk von Trockenlebensräumen. Straßenbäume, dichte Gehölzbestände um die Parkplätze und geschlossene Haine auf den zentralen Plätzen stellen wertvolle Gehölzbiotope dar. Die extensiven Wiesen mit einzelnen Gehölzgruppen sowie die Gehölze, Rasenflächen und Beete der Zier- und Nutzgärten ergänzen das Spektrum mit strukturreichen, halboffenen Lebensräumen. Wechselfeuchte Retentionsbereiche und die zentrale Wasserfläche erweitern das differenzierte Lebensraumangebot zusätzlich.



Abbildung 55: Vernetzungsstruktur in der Zeilenbebauung

Vor allem für den Siedlungstyp „Zeilenbebauung“ erscheint die Einbettung der Quartiere in die umgebende Landschaft von zentraler Bedeutung. Durch die verschiedenen Biotope werden jeweils charakteristische Bezüge zur umgebenden (Stadt-)Landschaft hergestellt. Im Fall des Modellquartiers werden funktionale und räumliche Verbindungen zu den großflächigen Trockenlebensräumen von Bahnflächen und Gewerbebrachen hergestellt. Die Gärten führen das charakteristische kleinräumige Lebensraumgefüge der benachbarten Einfamilienhaus-siedlungen fort. Das Mosaik aus Gehölzbeständen, Wiesenflächen und Gewässern nimmt Bezug zur parkartigen Lohe-Landschaft.

Integrative Betrachtung am Entwurf für Neuaußing



Abbildung 56: Verortung der Maßnahmen im Grundriss des Siedlungstyps Zeilenbebauung

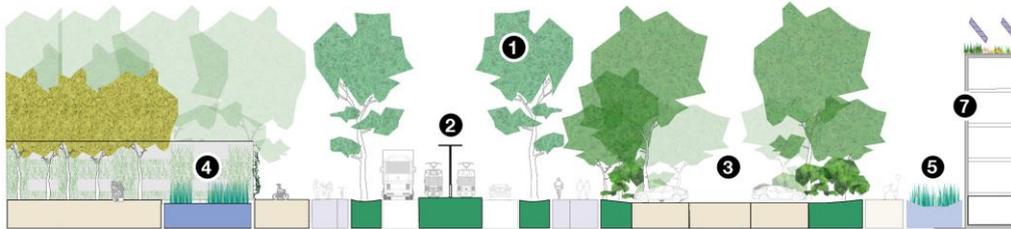
*Maßnahmen im Straßenraum*

Abbildung 57: Verortung der Maßnahmen im Schemaschnitt durch den Straßenraum

1. Großbäume ergänzen im Straßenraum den Straßenbaumbestand. Die Baumreihen verschatten die versiegelten Verkehrsflächen und definieren klare Raumkanten. Am Seitenstreifen der Fahrbahn, zwischen den Baumstandorten versickern extensiv begrünte Muldenrigolen das Oberflächenwasser. Die sehr großzügig dimensionierten Straßenflächen werden reduziert und die Parkstreifen am Rand entsiegelt.
2. Eine neue Straßenbahnlinie bindet das Quartier an die zentralen Einzelhandelszentren und S-Bahnstationen an. Die Trasse wird in die Fahrbahnmitte integriert und als Trockenrasen begrünt. Sie bietet neben dem Blühaspekt zusätzliche Nahrungsquellen und Ausbreitungskorridore für viele Tierarten.
3. Die derzeit vollversiegelten Parkplatzbereiche werden für das Regenwassermanagement aktiviert und zur besseren Verschattung stärker eingegrünt. In den Randbereichen wird der Baumbestand mit verschiedenartigen Gehölzen zu einem gestuften Gehölzsaum entwickelt. Großbäume verschatten die Parkplätze. Die bestehenden Asphaltflächen werden entsiegelt und mit wasserdurchlässigen Belägen befestigt. Auf Kosten einzelner Parkplätze werden in den tiefer gelegenen Pflanzflächen Sträucher und Bäume gepflanzt und Regenwasser versickert. Durch Kombination verschiedener einheimischer Gehölze entsteht ein artenreicher Saum, der als grünes Volumina den Raum städtebaulich fasst und wichtige Rückzugsräume für viele Tierarten bietet. Die Saumstrukturen ähneln einem Waldrand, der einen strukturreichen und je nach Exposition kleinklimatisch vielfältigen Lebensraum für diverse Tierarten schafft.
4. Wichtige Eingangsbereiche zur Wohnanlage werden zu Plätzen mit einem Belag aus wassergebundener Decke aufgeweitet. Zurückversetzte Baumhaine definieren den Raum in der Tiefe und schaffen schattige Aufenthaltsmöglichkeiten. Im Zentrum der Platzfläche stehen mit wechselfeuchter Vegetation bepflanzte Retentionsbecken, die das Oberflächenwasser der benachbarten Straßen- und Parkplatzflächen versickern. Zudem schaffen sie neue visuelle Aspekte im Straßenraum und bieten neue Lebensraumelemente für Tiere.

5. Die Fußwege der Wohnanlage auf der Nordseite der Gebäude werden mit wechselfeuchten Retentionsgräben ergänzt. Sie nehmen Niederschläge der befestigten Flächen auf und sind an die großen Retentionsbecken im Zentrum der Wohnanlage angeschlossen. Je nach Trockenheit oder Überflutungszustand zeigen sie unterschiedliche visuelle Aspekte und sind als temporär überflutete Bereiche besondere Biotope.

#### *Maßnahmen am Gebäude*

6. Die thermisch am stärksten belasteten Süd- und Westfassaden werden mit unterschiedlichen Kletterpflanzen bodengebunden begrünt. Je nach Art der Kletterpflanze schaffen sie zusätzliche visuelle Aspekte sowie Nahrungsquellen und Fortpflanzungsstätten für diverse Tierarten (Insekten, freibrütende Vogelarten, an vertikalen Strukturen jagende Fledermäuse usw.). Die Begrünung der bestehenden Balkone und Loggien mit sommergrünen Kletterpflanzen verwandelt die überhitzten Bereiche in den Sommermonaten zu angenehm verschatteten Aufenthaltsräumen und lässt trotzdem im Winter ausreichend Licht in die Wohnungen.

7. Bei Sanierungsmaßnahmen ist der Verlust an Lebensräumen für gebäudebewohnende Tierarten zu vermeiden. An den thermisch weniger belasteten Ost- und Nordfassaden werden im Zuge von Sanierungsmaßnahmen Nisthöhlen bzw. Quartiere für gebäudebewohnende Vogel-, Fledermaus- und Wildbienenarten integriert.

8. Die Flachdächer der Zeilenbauten sind im Gegensatz zu den meist durch Bäume verschatteten Rasenflächen voll besonnt. Die derzeit stark überhitzenden Kiesdächer werden ohne großen technischen Aufwand mit artenreichen Magerrasen begrünt. Damit schaffen sie einen Bezug zu den Lebensräumen der umgebenden Brach- und Bahnflächen. Über der Dachbegrünung können Solarzellen aufgeständert werden, deren Wirkungsgrad sich durch die Kühlleistung der darunterliegenden Grünfläche an heißen Tagen deutlich steigern lässt.

9. Auf den Dächern der Punkthochhäuser werden Dachterrassen angelegt. Sie sind als Biotop zu exponieren und für Tiere schlecht zu erreichen. Für die Bewohner der Häuser bieten sie allerdings einzigartige Aussichtspunkte und einen Aufenthaltsbereich für die Hausgemeinschaft. In Pflanztrögen wachsende Gehölze spenden den nötigen Schatten.

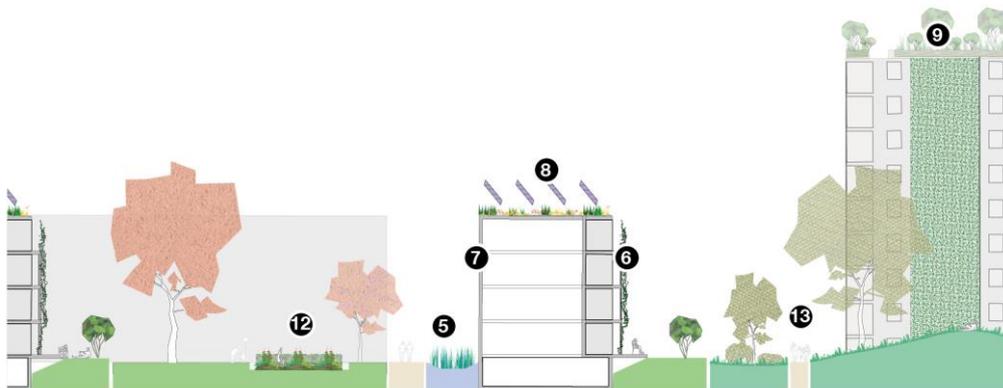
*Differenzierung der Grünflächen*

Abbildung 58: Schemaschnitt durch die Freiräume zwischen den Gebäuden

10. In den zentralen Aufenthaltsräumen der Wohnanlage wird der Baumbestand zu einem Hain verdichtet. Darunter entsteht eine gut verschattete Platzfläche aus wassergebundener Decke, die sich als Aufenthaltsraum oder Spielfläche nutzen lässt. Für Tiere bietet der zusammenhängende Kronenraum wertvolle Rückzugsräume und Nistmöglichkeiten.
11. Eine große Wasserfläche akzentuiert als besonderes Raumelement den zentralen Aufenthaltsbereich der Wohnanlage. Das Feuchtbiotop ist Lebensraum für viele besondere Tierartengruppen (z. B. Libellen, Amphibien, Wasservögel) und lädt zur Naturbeobachtung ein. Darüber hinaus kann das Becken bei Starkregenfällen als Retentionsbecken zusätzliche Wassermengen aufnehmen. An heißen Tagen kühlen die Wasserfläche und die Wasserpflanzen mit hoher Verdunstungsleistung die Wohnanlage zusätzlich.
12. Die Räume zwischen den Zeilenbauten werden zu Gärten intensiviert. Für Erdgeschosswohnungen werden direkte Zugänge in Privatgärten geschaffen. Sträucher, Hecken und Trockensteinmauern grenzen die Gartenparzellen voneinander ab und bereichern den Raum mit zusätzlichen Biotopstrukturen an. Der Baumbestand wird mit Obstbäumen locker ergänzt. Für die Mieter der oberen Geschosse werden die mittigen Bereiche als Aneignungsflächen zur gemeinschaftlichen Nutzung oder als Mietgarten angeboten. Sie erweitern den Wohnraum um privaten Freiraum und geben den Bereichen eine individuelle Gestaltungsmöglichkeit. Der eigene Garten ermöglicht für die multinationale Bewohnerschaft den Ausdruck ihrer individuellen Freiraum- und Gartenbaukultur. Das fördert den kulturellen Austausch und steigert die soziale Verantwortung für den Grünraum.

13. Angelehnt an typische Landschaftsmerkmale der Umgebung werden die peripheren Grünflächen durch Aushagerung und Extensivierung der Pflegemaßnahmen (ein- oder zweischürige Mahd) in artenreiche Wiesen umgewandelt. Geländemodellierungen bieten zusätzlich die Möglichkeit der Standort-Differenzierung in feuchte Mulden und trockene Kuppen. Der Gehölzbestand wird ausgelichtet oder punktuell zu landschaftstypischen Gehölzgruppen verdichtet, um strukturreiche, halboffene Lebensräume zu schaffen. Die Artenvielfalt lässt sich hier auch durch weniger stadtklimafeste, heimische Gehölze erhöhen. Es entsteht eine für die Region charakteristische Landschaftsform, in die die Gebäude eingebettet werden.

#### *Wirkung der Maßnahmen auf das Mikroklima*

Auch in der Zeilenbebauung wird der Grünanteil im Entwurf signifikant von 55,2 auf 74,4 % erhöht. Dadurch senkt sich die durchschnittliche PET um 5,5 % unter heutigen Klimabedingungen, in der Zukunft kann die heutige thermische Situation (Bestandsszenario unter heutigen Klimabedingungen) nicht mehr erreicht werden – die PET-Werte steigen um 0,5 %. Als effektiv für die Reduktion der thermischen Belastung in diesem Siedlungstyp zeigt sich die Erhöhung der Vegetation durch kleinräumige Maßnahmen wie Sträucher und Kleinbäume, mit denen im Entwurf nahezu alle Freiräume begrünt wurden, sowie durch Fassadenbegrünung und begrünte Balkone. V.a. die Wirkung der Fassadenbegrünung zeigt sich im Schnitt in Abbildung 59. Auch die Anlage der zentralen Wasserfläche leistet einen Beitrag zur Kühlung durch Verdunstung und absorbiert solare Einstrahlung, im PET Wert drückt sich dieser Beitrag jedoch kaum aus.

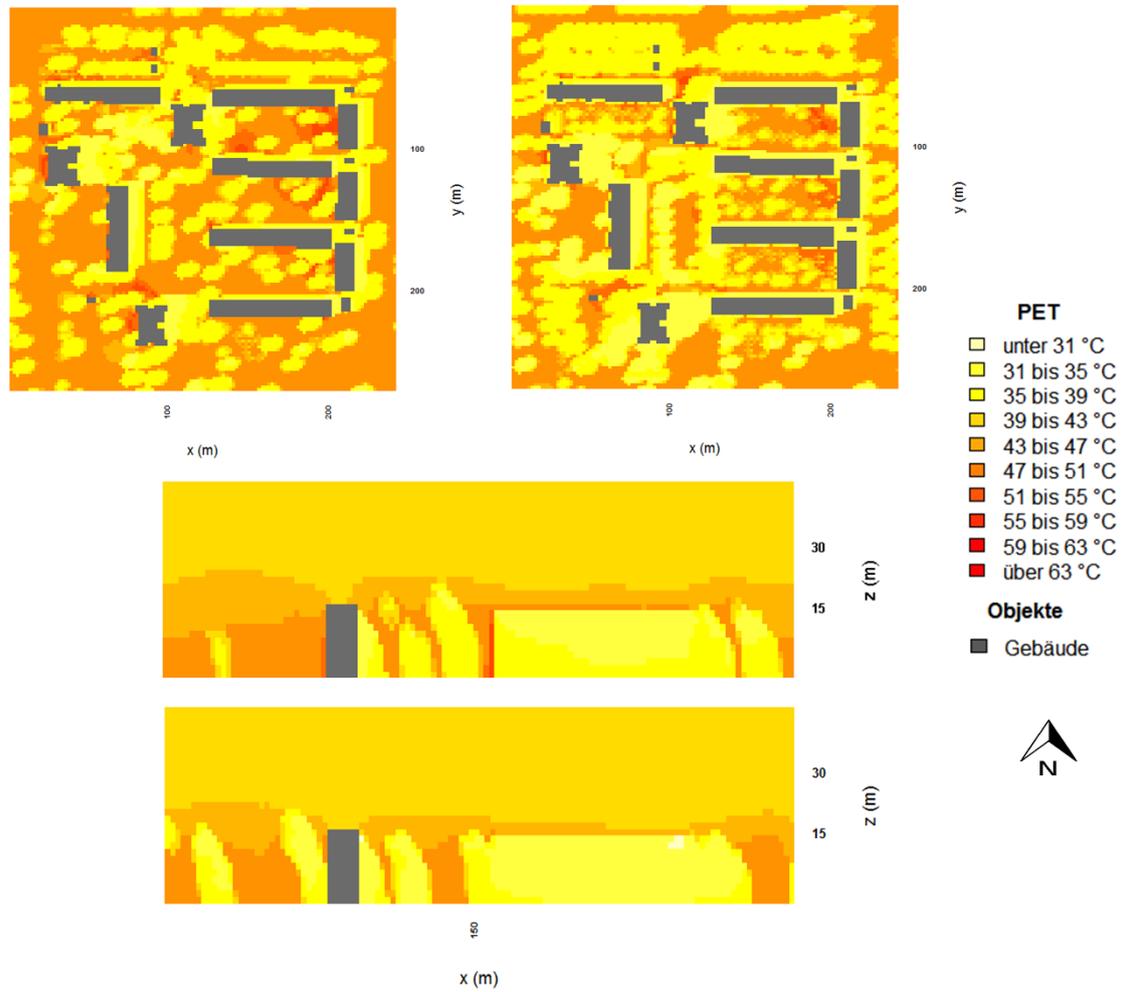


Abbildung 59: Oben: Die thermische Belastung in der Zeilenbebauung mit aktueller Begrünung (links) und im Entwurfsszenario (rechts) unter heutigen Klimabedingungen, um 15 Uhr eines Hitzetages in 1,4 m Höhe. Unten: Schnitt entlang der Nordseite der Zeilenbebauung bei y= 140m, um 15 Uhr eines Hitzetages.

## Analyse Historischer Stadtkern – Heidingsfeld

### *Allgemeine Kennzeichen*

Der historische Stadtkern von Heidingsfeld ist von einer sehr hohen baulichen Dichte und einem geringem Grünanteil geprägt. Die dichten Blockstrukturen sind in ein enges Netz öffentlicher Straßenräumen eingewoben. Das Innere der Blöcke ist von versiegelten, dicht mit Nebengebäuden bebauten Hinterhöfen oder kleinen Stadtgärten geprägt. Besondere Orte bilden große historische Solitärbauten wie Kirche und Rathaus, die die kleinteilige Stadtstruktur auflockern. Der Stadtbach stellt ein besonders Element dar und verbindet den Stadtkern mit dem Main. Zusammen mit den großflächigen Grünstrukturen der Befestigungsanlagen bildet das Mainufer einen wichtigen Lebensraum für Tiere und Menschen v. a. an heißen Tagen.

### *Arten- und Biotopausstattung*

Historische Stadtkerne gelten wie auch Blockrandbebauungen wegen des hohen Versiegelungsgrads und der geringen Begrünung als relativ artenarm (vgl. Klausnitzer, 1987). Allerdings finden sich mitunter sehr alte Vegetationsbestände: Einzelbäume, Kletterpflanzen und v. a. Gärten unterschiedlicher Größe und Form (Schlossgärten, Bauergärten, Klostersgärten). Durch die unterschiedliche Ausdehnung und Orientierung der Gebäude, Straßen, Gassen und Plätze ergibt sich sowohl im Hinterhof als auch im Straßenraum ein sehr kleinräumiges klimatisches Mosaik. Im Gegensatz zu anderen innerstädtischen Siedlungstypen sind historische Stadtzentren daher in der Regel deutlich strukturreicher. Über die für innerstädtische Bebauungen typischen Arten hinaus finden sich hier einige zusätzliche Spezialisten, die insbesondere Dachstühle, Mauernischen, Holzverschalungen usw. von historischen Gebäuden als Lebensraum nutzen. Unter den Fledermäusen sind das z. B. das Große Mausohr oder die Wimperfledermaus (siehe (Meschede & Rudolph, 2004)), unter den Vögeln z. B. Schleiereule, Turmfalke, Mehlschwalbe und Dohle (siehe (Bauer & Berthold, 1997); (StMLU, 1999). Mehlschwalbe (Nester an Stadthäusern), Turmfalke (Kirchturm), Rotkehlchen (Stadtmauer) und Saatkrähen (Kolonie an der Stadtmauer) wurden im Zuge der Ortsbegehungen in Heidingsfeld erfasst. Weitere typische Siedlungselemente wie Stadtbäche, Stadtmauern und unmittelbar angrenzende Landschaftselemente (z.B. Main, Weinberge) beeinflussen den vorhandenen Artenpool und erweitern das Lebensraumspektrum zusätzlich. Mit Nachtigall, Zaunkönig und Rotkehlchen wurden in der Umgebung im Zuge der ASK drei typische Auwald--Arten nachgewiesen. Zudem gibt es Hinweise auf einige gebäudebesiedelnde Fledermausarten (Mücken- und Breitflügelfledermaus) im Bereich der Mainaue, die vermutlich als Jagdhabitat genutzt wird.

### *Ziele des lokalen Arten- und Biotopschutzprogramm*

Für die Stadt Würzburg liegt kein Arten- und Biotopschutzprogramm (ABSP) vor, daher wurde auf das ABSP des Landkreises (Kapitel 3.10 „Siedlungen“ und 4.4 „Mainaue“) zurückgegriffen (StMLU, 1999). Dort werden als naturschutzfachliche Ziele (u.a.) genannt: (a) Erhaltung und Wiederherstellung typischer Auen-Lebensräume; (b) Verbesserung der Funktion des Mains und seiner Aue; (c) Erhaltung und Wiederherstellung der Verbindung von Aue und Hängen des Mains; (d) Erhöhung des Struktureichtums in den Siedlungen; (e) Verbesserung der Lebensraumfunktion von Gewässern im Siedlungsbereich; (f) Extensivierung der Grünflächen; (g) Gehölzpflanzungen; (h) Erhaltung alter Gehölz- und Totholzbestände; (i) Erhaltung und Förderung von gebäudebewohnenden Tier- und Pflanzenarten; (j) Erhaltung historischer Gartenanlagen.

### *Freiraumqualitäten*

Die Bebauungsstruktur historischer Stadtkerne hat sich aus den historischen Anforderungen von maximaler Dichte und Nutzbarkeit innerhalb der Stadtmauern über Jahrhunderte entwickelt. Architektur und öffentliche Räume haben eine hohe Qualität. Gassen, Straßen und Plätze werden heute allerdings vom (ruhenden) Verkehr dominiert. In den Hinterhöfen und an der Stadtmauer sind z.T. noch Teile einer traditionellen Gartenbaukultur zu finden. Sie könnten im Zuge der Klimaanpassung wieder reaktiviert werden und einen Bezug zur Geschichte des Ortes herstellen.

### *Schattenanalyse*

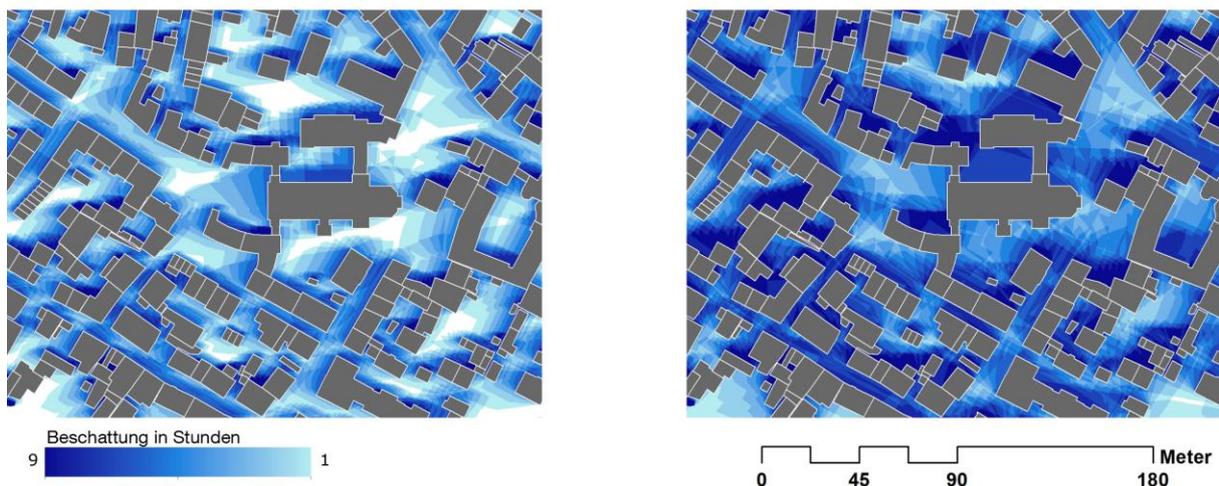


Abbildung 60: Verschattungsstudien für den 21.Juni und 21.September zwischen 9 und 18 Uhr

Die dichte und verwinkelte Anordnung der niedrigen Gebäude führt zur Verschattung der meisten Freiräume über das ganze Jahr und zu den meisten Tageszeiten. Vor allem die Gassen sind kaum besonnt und angenehme Räume an heißen Tagen. Zentrale Plätze oder breitere Straßen sind besser belichtet und bieten gute Aufenthaltsmöglichkeiten das ganze Jahr über. Im Sommer ist allerdings der Schatten von Bäumen nötig. Der Freiraum am Stadtbach ist über das ganze Jahr besonnt. Er würde einen angenehmen Aufenthaltsort v. a. in den Abendstunden darstellen. Die ebenerdigen Bereiche Hinterhöfe sind meist verschattet, während die Dächer der Garagen usw. meist besonnt sind.

### *Flächenpotentiale*

Der öffentliche Raum nimmt 19 % der Gesamtfläche des historischen Stadtkernes ein. Geringe Straßenbreiten und der hohe Nutzungsgrad ermöglichen nur punktuell eine Begrünung. Die Flächen der Innenhöfe machen fast ein Drittel (30 %) der Gesamtfläche aus. Eine Begrünung/Nutzung als Garten gelingt nur durch die Verlagerung von Stellplätzen (z. B. in ein nahegelegenes zentrales Parkhaus). Die Dachflächen der historischen Gebäude mit einer Dachneigung  $< 30^\circ$  machen nur 1 % aus. Gründe des Denkmalschutzes würden gegen eine Begrünung sprechen. Dagegen sind Nebengebäude wie Garagen sehr viel einfacher zu begrünen und besitzen meist ein Flachdach. Sie machen immerhin 6,1 % der Gesamtoberfläche aus und würden als Dachterrassen neue Freiraumqualitäten bieten. Das größte Potential liegt in der Begrünung von Fassaden mit 44 %. Vor allem in engen Gassen und in den engen Hinterhöfen sind Fassadenbegrünungen ein traditionelles, platzsparendes Mittel zur Begrünung.

### *Räumliche Wirkung unterschiedlicher Maßnahmenszenarien*

Als Standort im öffentlichen Raum wurde der Kirchplatz gewählt. Die privaten Gärten wurden vom Dach einer Garage in der Stengergasse aufgenommen.



Abbildung 61: Null-Szenario ohne jegliche Begrünung für Straßenraum und Innenhof

Durch das Fehlen jeglicher Begrünung zeigt sich die Qualität der städtebaulichen Struktur in ihrer kleinräumigen Differenziertheit und traditionellen Bauweise. Mit einem neuen Belag können hier auch ohne große Begrünungsmaßnahmen hochwertige Freiräume entstehen.



Abbildung 62: Szenario flächendeckende Baumpflanzung für Straßenraum und Innenhof

Durch die flächendeckende Bepflanzung des Kirchplatzes entstünden angenehme Aufenthaltsräume mit mediterranem Flair. Die Bäume ergänzen die historische Bebauung gut. Der Kronenansatz müsste allerdings relativ hoch sein, um Sichtbezüge zur historischen Bebauung, insbesondere der Kirche, zuzulassen. In den Innenhöfen würden Obstbäume eine Verbindung zur traditionellen Gartenbaukultur herstellen.



Abbildung 63: Szenario flächendeckende Fassadenbegrünung im Straßenraum und Innenhof

Eine vollflächige Fassadenbegrünung würde die differenzierten Qualitäten des historischen Stadtbildes zu stark beeinflussen. Eine differenzierte Begrünung einzelner Fassaden ist dagegen sehr gut denkbar, insbesondere klassische Formen, welche die Architektur unterstützen. Auch Nebengebäude können gut begrünt werden und zu Lauben oder Pergolen erweitert werden.



Abbildung 64: Szenario flächendeckende Dachbegrünung im Straßenraum und Innenhof

Zur Begrünung der steilen Dächer wäre nur Moosen und Flechten oder eine Begrünung mit Textilmatten ((Pfoser, Jenner, Heinrich, Heusinger, & Weber, 2013)) möglich. Die deutlich sichtbare Begrünung der steilen Dächer würde das Stadtbild verändern und vermutlich nicht mit dem Denkmalschutz vereinbar sein. Eine extensive Begrünung von Nebengebäuden wäre dagegen sehr gut vorstellbar. Auch Dachterrassen mit Pflanztrögen würden sich mit der historischen Baustruktur gut vereinbaren lassen und sehr angenehme private Aufenthaltsräume generieren.

### *Zielsetzungen für den Entwurf*

Die Qualität urbaner Lebensräume im historischen Stadtkern besteht vor allem in der Architektur und den Grünräumen außerhalb der Stadtmauer. Sie muss erhalten werden. In den vegetationsarmen öffentlichen Räumen haben Begrünungsmaßnahmen dort, wo Platz dafür gewonnen werden kann, eine besonders große Wirkung auf die Qualität der Lebensräume. In den Hinterhöfen entstehen durch traditionelle Formen der Begrünung neue Lebensraumqualitäten. Dachterrassen und begrünte Garagendächer stellen eine bisher kaum vorhandene Qualität dar.

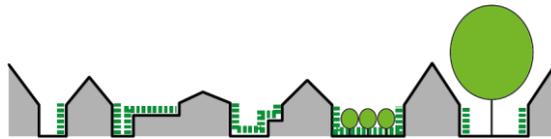


Abbildung 65: Verteilung grauer und grüner Elemente im historischen Stadtkern

Durch die Kombination und Differenzierung der Begrünungsmaßnahmen ergibt sich im historischen Stadtkern ein differenziertes Mosaik an Lebensraumqualitäten. Eine der Standortvielfalt entsprechende Vielfalt an Baumarten erzeugen differenzierte Raumeindrücke, neue Aufenthaltsqualitäten und vielfältige Habitatstrukturen im ansonsten sehr grauen öffentlichen Raum.



Abbildung 66: Lebensraum-Mosaik des historischen Stadtkerns (links: Flächenmosaik; rechts: Gehölzmosaik)

Die Begrünung der Fassaden mit verschiedenen Kletterpflanzen und die Gestaltung der Gebäudevorbereiche mit Pflanztrögen erweitert diese Vielfalt. In den Hinterhöfen verdichten sich begrünte Mauern, Dachterrassen und Pergolen, Obstbäume und Nutzgärten, Ziergärten und Brunnen zu einem Mikromosaik unterschiedlichster Qualitäten.



Abbildung 67: Vernetzungsstruktur im historischen Stadtkern

Qualität und Vielfalt der innerstädtischen Lebensräume lässt sich durch die Vernetzung mit den umgebenden Grünstrukturen des Befestigungsringes oder der Flussaue deutlich erhöhen. An heißen Tagen finden die Menschen hier kühle Aufenthalts- und Bewegungsräume vor. Viele Tierarten finden im historischen Stadtkern nur Teile der für sie notwendigen Umweltbedingungen (z. B. Fortpflanzungsstätten an und in Gebäuden). Die angrenzenden Vegetationsstrukturen und Landschaftsräumen ergänzen wesentliche Elemente (z. B. Nahrungsquellen). Um die Erreichbarkeit dieser Grünräume auch für Menschen zu gewährleisten, müssen bestehende Verbindungen in die Stadt erhalten und darüber hinaus neue geschaffen werden.

Integrative Betrachtung am Entwurf für Heidingsfeld



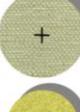
- |   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  | Energetische Sanierung Bestandsgebäude   |  | Baum Bestand erhalten   |
|  | Belag mit hohem Albedo   |  | Baumneupflanzung auf Platzfläche<br>in sonnigen Lagen z.B. mit <i>Tilia tomentosa</i> 'Brabant', <i>Sorbus domestica</i><br>in schattigen Lagen z.B. mit <i>Quercus petraea</i> ,<br><i>Nyssa sylvatica</i> |
|  | Wasserdurchlässiger Belag  |  | Baumneupflanzung im Straßenraum<br>z.B. mit <i>Alnus x spaethii</i> , <i>Gleditsia triacanthos</i><br>'Shademaster', <i>Magnolia kobus</i> ,<br><i>Acer platanoides</i> 'Cleveland'                         |
|  | Wassergebundene Decke  |  | Baumneupflanzung in Baulücke<br>z.B. mit <i>Prunus subhirtella</i> 'Autumnalis'   |
|  | Ziergarten   |  | Obstbaum Innenhof<br>z.B. mit <i>Malus spec.</i> , <i>Prunus spec.</i> , <i>Pyrus spec.</i>   |
|  | Nutzgarten   |  | Solitärstrauch Nutzgarten<br>z.B. <i>Ribes spec.</i> , <i>Rubus spec.</i>   |
|  | Historische Gartenanlage   |  | Ziergehölze Dachterrasse in Pflanztrögen  |
|  | für Solaranlagen geeignete Dachflächen   |   |   |
|  | Dachterrasse   |   |   |
|  | extensive Dachbegrünung  |   |   |
|  | Wasserstelle/ Brunnen  |   |   |
|  | Bodengebundene Fassadenbegrünung<br>z.B. mit <i>Actinidia kolomikta</i> , <i>Rosa chinensis</i> ,<br><i>Rubus fruticosus</i> , <i>Lonicera periclymenum</i> ,<br><i>Vitis vinifera</i> |   |   |
|  | Mauer mit Kletterpflanzen (Artenauswahl s.o.)<br>oder Obstspalieren begrünt  |   |   |
|  | Pergola mit Kletterpflanzen (Artenauswahl s.o.)  |   |   |

Abbildung 68: Verortung der Maßnahmen im Grundriss des Siedlungstyps historischer Stadtkern

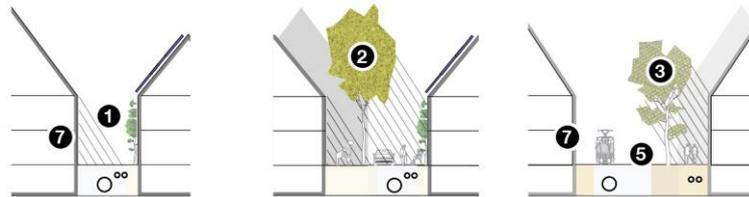
*Maßnahmen im öffentlichen Raum*

Abbildung 69: Verortung der Maßnahmen in Schemaschnitten durch die verschiedenen Straßenräume

1. In engen Gassen werden strahlungsexponierte Süd- und Westfassaden bodengebunden begrünt. Dazu werden kleine Aussparungen im Straßenraum als Wurzelraum vorgesehen, die die Eigentümer bepflanzen. Als Kletterpflanzen sind insbesondere traditionelle Arten wie Efeu, Wilder Wein, Kletterrosen, Obstspaliere oder Weinstöcke empfehlenswert, die einen Bezug zur historischen Bebauung und traditionellen Gartenbaukultur herstellen. Die Bereiche vor den Gebäuden lassen sich zudem mit Blumentöpfen oder Pflanztrögen individuell gestalten. Sitzgelegenheiten wie Hausbänke reaktivieren den öffentlichen Raum als Kommunikations- und Aufenthaltsort.
2. Baulücken oder Gebäuderücksprünge bieten auch in engeren Gassen Raum für einzelne Baumstandorte. Insbesondere süd- und westexponierte Nischen werden dadurch verschattet und als Aufenthaltsräume aufgewertet. Um die engen Räume zu bepflanzen, bieten sich vor allem Baumarten der 2. und 3. Wuchsordnung an.
3. Die breiteren, stärker besonnten Straßenräume werden abschnittsweise mit Baumreihen verschattet, ohne dass diese in Konkurrenz zum historischen Stadtbild treten. Es bieten sich vor allem schmal- oder kleinkronige Baumarten an, die weniger Wurzel- und Kronenraum benötigen und eine Durchlüftung auch weiterhin ermöglichen. Im ansonsten kahlen Straßenraum sind die Bäume wichtiger Aufenthaltsraum und Ort des sozialen Austausches für die Stadtbewohner. Hier sind Sitzgelegenheiten anzubieten. Zudem verschatten die Bäume Stellplätze oder Marktstände ohne ihre Nutzung einzuschränken. Der Wurzelraum wird mit Baumscheiben geschützt.

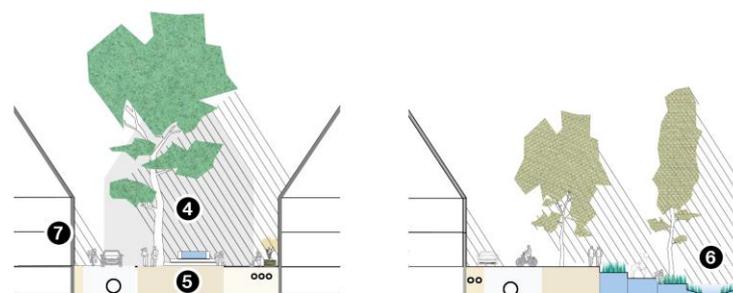


Abbildung 70: Schemaschnitte durch einen Platz und den Stadtbach

4. Auf den voll besonnten Plätzen vor Kirche und Rathaus ist Platz für große, weitausladende Einzelbäume oder markante Baumgruppen. In Kombination mit einem Brunnen definieren sie traditionell das Zentrum des Platzes. Neben dem historischen Bezug kühlen diese die Umgebung und sind als Wasserquelle für Tiere besonders wertvoll. Stufen sind ein gutes Mittel um Geländesprünge in die Gestaltung zu integrieren oder bestimmte Bereiche von Plätzen zu akzentuieren. Als Sitzstufe ermöglichen sie Aufenthaltsmöglichkeiten ohne zusätzlich störendes Stadtmobiliar im historischen Stadtraum zu platzieren.

5. Die Oberflächenbeschaffenheit der Straßen und Plätze spielt eine wesentliche Rolle. Natursteinpflaster stellt einen Bezug zur historischen Bedeutung der öffentlichen Räume her. Großen Fugenanteile und eine ungebundene Bauweise vermindern den Abflussbeiwert. Zusammen mit einer hellen Oberfläche verringert sich auch die Überhitzung dieser Flächen. Auch wassergebundene Wegedecken sind traditionelle Befestigungsmethoden und kennzeichnen die Aufenthaltsbereiche unter den Bäumen. Sie vermindern den Entsiegelungsgrad und überhitzen weit weniger als z. B. Asphaltflächen. Manche Tierarten wie Spatzen oder Sandbienen profitieren von den feinsandigen Oberflächen.

6. Der Stadtbach wird als öffentlicher Raum zum Flanieren mit hoher Aufenthaltsqualität reaktiviert. Das Bachbett wird geweitet und mit standortgemäßen Baumarten bepflanzt. Die Uferbereiche lassen sich als sog. sponge park zur Hochwasserregulation und Retention nutzen. Dazu werden Terrassen mit wasserspeicherfähigem Substrat angelegt und mit verdunstungsstarker Vegetation bepflanzt. Das Wasser wird im Wurzelraum gefiltert und stark verzögert an den Bach abgegeben.

#### *Maßnahmen am Gebäude*

7. Bei der energetischen Sanierung der Gebäude werden Lebensräume gebäudebewohnender Tier- und Pflanzenarten erhalten bzw. ersetzt. Darüber hinaus werden weitere Quartiere und Nisthilfen für charakteristische Vogel- und Fledermausraten geschaffen. Bei der Gestaltung der Fassadenoberflächen sind weitgehend traditionelle Formen zu nutzen. Nur Gebäude an besonderen Orten mit wichtigen Funktionen für die Öffentlichkeit wie Bibliotheken etc. werden neue Fassadenmaterialien oder weite Fensteröffnungen mit technischen Verschattungssystemen eingesetzt.

8. Auf leicht zugänglichen Anbauten und Garagen werden, soweit es die Bausubstanz zulässt, Dachterrassen angelegt. Sie erweitern die relativ dunklen und engen Wohnräume um private Aufenthaltsräume im Freien. Stauden, Gräser und Kleingehölze werden in Töpfe oder Tröge gepflanzt. Auf unzugänglichen oder statisch weniger belastbaren Dächern der Nebengebäude erweitern extensive Leichtdachbegrünungen das Lebensraumspektrum im historischen Stadtkern mit zusätzlichen Trockenbiotopen.

### *Maßnahmen in den Höfen*

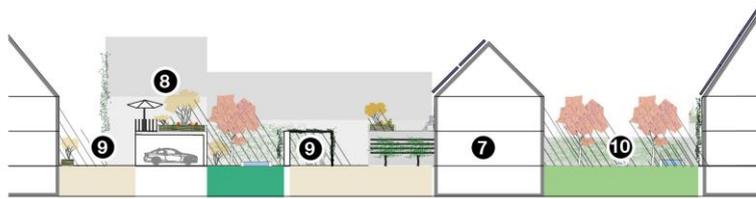


Abbildung 71: Schemaschnitt durch die Hinterhöfe eines Straßenblocks

9. In den engen Hinterhöfen werden süd- und westexponierten Fassaden und freistehende Grenzmauern mit Nutzpflanzen wie Wein, Kiwi oder Obstspalieren begrünt. Blütenreiche Zierpflanzen wie Glyzinie oder Clematis haben eine besondere ästhetische Wirkung auf die Höfe. Diese Kletterpflanzen sind auch zur Begrünung traditioneller, sehr wirkungsvoller Verschattungselemente wie Lauben und Pergolen geeignet. In der Kombination mit Flächenentsiegelung, Topfpflanzen und kleinen Wasserstellen (Brunnen) entstehen aus kleinen, weitgehend versiegelten Hofflächen wohltemperierte, grüne Oasen mit hoher Aufenthaltsqualität für Mensch und Tier.

10. In etwas größeren Hinterhöfen werden Bäume gepflanzt und Nutzgärten geschaffen. Gärten mit Beeten, Nuss- oder Obstbäume, Obstspalieren oder Weinlauben revitalisieren die traditionelle Gartenbaukultur. Neben dem produktiven Aspekt bieten die Nutzgärten durch ihre Vielfalt an Gehölzen, Kräutern und Gräsern ein weites Spektrum an visuellen Eindrücken und Lebensräumen für Tiere.

### *Wirkung der Maßnahmen auf das Mikroklima*

Die Entwurfsgestaltung führt zu einer Erhöhung des Grünanteils von 11,3 auf 37,2 %. Gleichzeitig kann so die thermische Belastung von im Schnitt 42°C auf 36,5°C PET gesenkt werden, das entspricht einer Reduktion von 13,1 %. Unter zukünftigen Klimabedingungen wird eine Reduktion von 2,1 % im Vergleich zu heute erreicht, was allerdings weiterhin einer extremen Belastungssituation entspricht. Im Straßenraum wird die verbesserte thermische Situation durch Fassadenbegrünung und bei mehr Raumangebot auch Baumpflanzungen (z.B. Schnitt in Abbildung 72) erreicht. In den Innenhöfen erbringen Pergolen eine leistungsfähige Verschattung der Freiräume, weiterhin ergänzen Sträucher, Kleinbäume und extensive Dachbegrünungen auf niedrigen Flachdächern die Kühlwirkung. Als überhitzter Bereich bleibt im Entwurf der Kirchplatz bestehen, der aus verkehrstechnischen Gründen von zusätzlicher Begrünung freigehalten wurde.

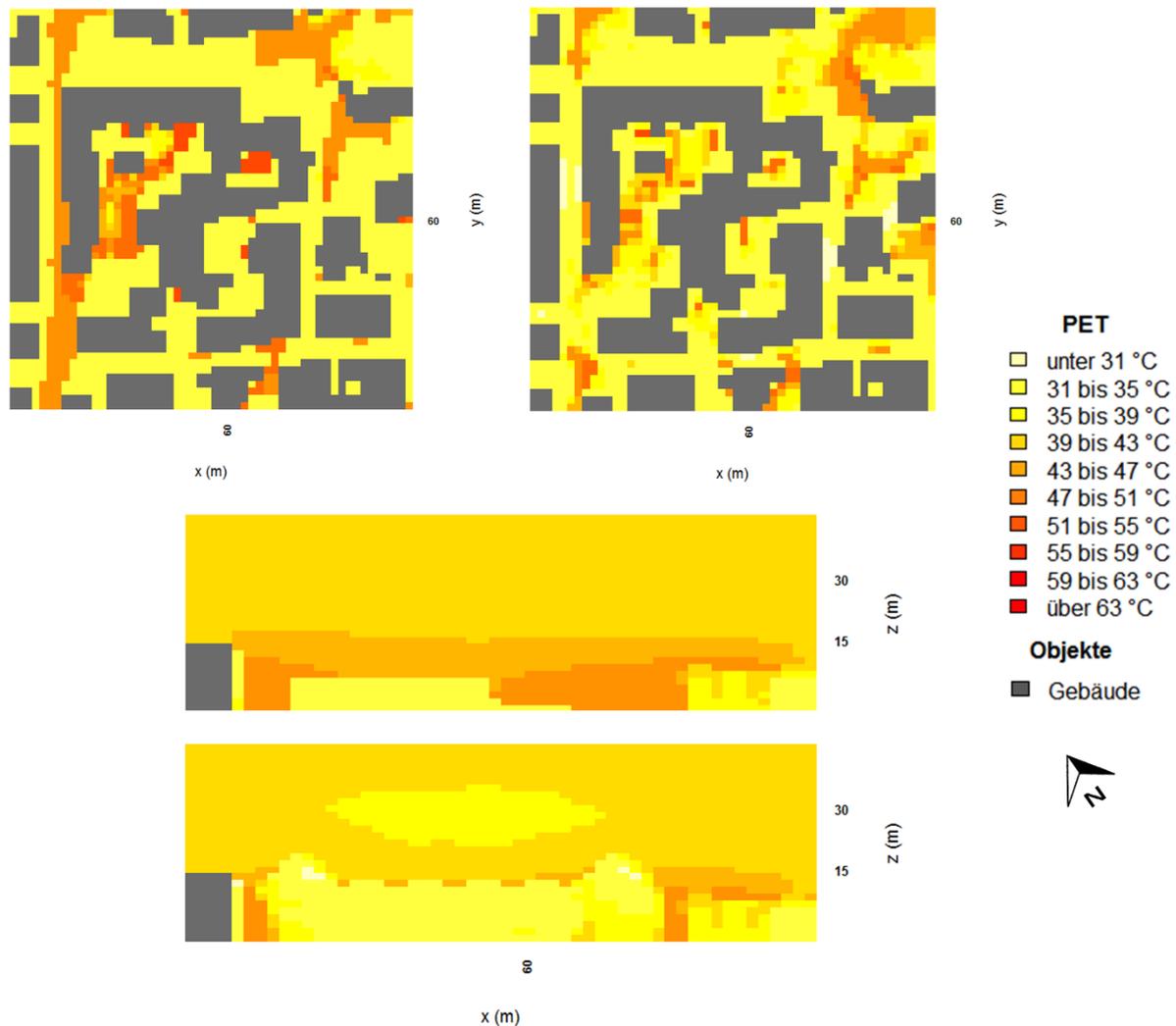


Abbildung 72: Oben: Die thermische Belastung im historischen Stadtkern mit aktueller Begrünung (links) und im Entwurfsszenario (rechts) unter heutigen Klimabedingungen, um 15 Uhr eines Hitzetages in 1,4 m Höhe. Unten: Schnitt durch die Ost-West ausgerichtete Straße und den Pfarrhof bei  $y=129\text{m}$ , um 15 Uhr eines Hitzetages.

#### 4.4.6 Schlussfolgerung und Zusammenfassung

Maßnahmen zur Minimierung des Energiebedarfs von Gebäuden und zur Regulation des Mikroklimas durch Grün haben neben ihrer primären Funktion zu Klimaschutz und -anpassung große Potentiale, um die Qualität der Stadt als Lebensraum zu steigern. Die Betrachtung städtischer Freiräume und Biotope als von Menschen, Tieren, Pflanzen usw. gemeinsam genutzte *urbane* Lebensräume, eröffnet neue Potentiale für die Gestaltung von Stadtquartieren. Gerade im urbanen Raum sind Lebensräume des Menschen (wie oben gezeigt wurde) immer auch Lebensräume für bestimmte Tiere und Pflanzen. Eine Trennung von „Freiraumqualität“ und „Biodiversität“ erscheint insofern obsolet – nicht zuletzt, weil „Biodiversität“ wesentlich zur Qualität des Freiraums beiträgt.

Es gilt als wesentliches Charakteristikum urbaner Räume, dass sie sowohl „graue“ als auch „grüne“ Bestandteile aufweisen. Die Qualität eines Lebensraumes ist geprägt von der unterschiedlichen Dichte, Zusammensetzung und Verteilung von bebautem Raum und Vegetation. Je nach Siedlungstyp variieren diese Faktoren und prägen so die Identität eines Quartiers. Attraktive Lebensräume entstehen aus der sinnvollen Überlagerung von „Grau“ und „Grün“.

Die räumliche Struktur der Stadt bedingt ein Muster aus kleinräumig unterschiedlich besonnten und verschatteten, trockenen und feuchten Bereichen. Dieses Mosaik an Standorten ermöglicht die Koexistenz einer einzigartigen Vielfalt von Pflanzen- und Tierarten sowie Nutzungsmöglichkeiten für den Menschen. Sowohl Menschen als auch Tiere haben auf ihre je eigene Weise das Bedürfnis nach belebten (öffentlichen) Räumen, aber auch nach (privaten) Rückzugsorten, in denen sie in einer von sozialer und räumlicher Dichte geprägten Stadt Ruhe finden. Durch die Ausdifferenzierung der Maßnahmen zum Zweck von Klimaschutz- und Anpassung gilt es dieses Mosaik in Wert zu setzen.

Stadtgrün muss für alle Stadtbewohner erreichbar sein („Umweltgerechtigkeit“) (BMUB, 2016). Für die meisten Bürger z. B. ist die Nähe von Wohnung und „grünen“ Freiräumen wesentlich, andere überbrücken auch größere Entfernungen. Ebenso verhält es sich für Tiere und Pflanzen, die je nach Ausbreitungsmedium und andere Ansprüche an die Vernetzung ihrer Lebensräume stellen. Über die Vernetzung in der Stadt hinaus gilt es zudem, die Stadt mit der sie umgebenden Landschaft zu vernetzen.

#### *Planungsmethode zur Entwicklung städtischer Lebensräume*

Die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Stadtplanern, Architekten, Ingenieuren, Landschaftsarchitekten, Ökologen und Soziologen eröffnet neue Potentiale für die Gestaltung von Stadtquartieren. Neben der fachspezifischen Auswertung von Bestandsdaten ist es dabei wichtig, gemeinsam die Situation vor Ort durch verschiedene fachliche Brillen wahrzunehmen und sich darüber auszutauschen. Zudem müssen die unterschiedlichen Bedürfnisse und Ansprüche der Akteure im Stadtraum beachtet werden. Der Entwurf kann helfen, die unterschiedlichen Belange zu integrieren, die an den Raum gestellt werden.

#### Fazit

Sowohl die Beachtung der genannten Prinzipien zur Gestaltung urbaner Lebensräume als auch die interdisziplinäre Zusammenarbeit und integrative Betrachtung im Rahmen von konkreten räumlichen Szenarien (Entwurf) sind wesentlich für die Erhaltung und Entwicklung einer lebenswerten Stadt. Städte können auch in Zukunft attraktiv für unterschiedliche soziale Milieus sein und eine Vielfalt an Tier- und Pflanzenarten beheimaten. Eine hohe Dichte begrünter, vielfältiger und gut vernetzter Lebensräume bestimmt ihre Attraktivität und sichert damit nicht zuletzt ihre Bewohnbarkeit.

## 4.5 Umsetzung in die Stadtplanung

### 4.5.1 Zusammenstellung der Gesamtproblematik und bisher bekannt gewordener Ergebnisse auf dem Gebiet der Aufgabenstellung

Stadtentwicklung und Stadtplanung beziehen sich auf die raumwirksamen Planungsprozesse einer Stadt mit verschiedenen Schwerpunkten: während Stadtentwicklung die gesamte Ausrichtung der zukünftigen Stadt beschreibt und weite Themenbereiche wie ökonomische, soziale, kulturelle und ökologische Bereiche umfasst, bezieht sich Stadtplanung im engeren Sinne auf die baulichen und räumlichen Entwicklungen, die seitens der Kommune mittels der Bauleitplanung beeinflusst werden. Dabei hat sich die Stadtplanung an den Zielen der Raumordnung zu orientieren, den Raum gemäß der Raumordnungsziele nachhaltig und sozialverträglich zu gestalten.

Das Raumordnungsgesetz hält als Grundsatz in § 2 Abs. 6 fest: „Den räumlichen Erfordernissen des Klimaschutzes ist Rechnung zu tragen, sowohl durch Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, die der Anpassung an den Klimawandel dienen“. Ebenso wird im Baugesetzbuch (BauGB), in welchem die konkrete Umsetzung von Bauvorhaben geregelt ist, seit der Novelle 2011 explizit Klimaschutz und Klimaanpassung berücksichtigt. Bauleitpläne sollen laut § 1 Abs. 5 BauGB dazu beitragen, dass: „nachhaltige städtebauliche Entwicklung, Klimaschutz und Klimaanpassung insbesondere auch in der Stadtentwicklung“ gefördert werden und dass nach § 1 Abs. 6 Nr. 7 (a) BauGB bei der Bauleitplanung „die Auswirkungen auf Tiere, Pflanzen, Boden, Wasser, Luft, Klima und das Wirkungsgefüge zwischen ihnen sowie die Landschaft und die biologische Vielfalt“ berücksichtigt werden. Diese Forderungen zeigen, dass die Gesetzgebung auf die Herausforderungen des Klimawandels reagiert hat, doch sind meist langfristige Planungshorizonte gegeben und die Forderungen der Gesetze bleiben unkonkret. Der Klimawandel provoziert neue Verantwortungen und erfordert rasches Handeln. Die Stadtplanung steht heute vor der zentralen Herausforderung, die kurzfristigen Planungsentscheidungen vor Ort mit den langfristigen Strategien und Zielen der Stadtentwicklung zu vereinbaren.

Der Gesetzgeber hat auf die Herausforderungen des Klimawandels reagiert und den Kommunen stehen vielfältige Instrumente zur Verfügung (s.u.). Rechtlich werden die Planungen von Ordnungs- und Fachrechten der Länder und des Bundes flankiert. Diese Regelwerke stellen zugleich Schranken der kommunalen Planung dar (z.B. Zulässigkeit nach BauGB) als auch Möglichkeiten zur Durchsetzung von Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen (z.B. Ausgleichregelungen bei der Flächenversiegelung). Zunehmend deutlich wird auch der Einfluss der Europäischen Richtlinien, besonders im Energiebereich, aber auch beim Arten- und Biotopschutz oder der Hochwasserrichtlinie.

Die Ziele dieses Arbeitspakets sind die Identifikation von den Umsetzungshemmnissen, die in bayerischen Städten für die Umsetzung von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen bestehen und gleichzeitig soll aufgezeigt werden, mit welchen stadtplanerischen Mitteln solche Ziele verfolgt werden können. Denn rechtliche Instrumente wurden besonders seit den Novellen im Baugesetzbuch der Jahre 2011 und 2013 ausgebaut, und dennoch ist der Stand der Umsetzung in den Kommunen sehr unterschiedlich.

#### 4.5.2 Angewandte wissenschaftliche und technische Methoden

Sowohl Textanalysen und als auch Methoden der empirischen Sozialforschung wurden in AP 2.5. vorgenommen. Der Stand der Forschung basiert auf Dokumenten- und Literaturanalysen. Dazu wurden Fachartikel und Publikationen von Forschungsprojekten herangezogen. Auch Gesetzgebungstexte, Abkommen und Zielvereinbarungen im Bereich Klima/Gesundheit/Stadtentwicklung wurden analysiert, um darzulegen, wie die legislativen Gremien auf die Herausforderung des Klimawandels reagiert haben.

Die Texte wurden anhand qualitativer Inhaltsanalysen ausgewertet und in eine Endnote Datenbank eingepflegt. Außerdem wurden leitfadengestützte, halb-standardisierte Experteninterviews mit Kommunalvertretern der acht größten bayerischen Städte geführt. Die ersten Befragungen zwischen August und November 2014 fanden mit Vertretern aus den Partnerstädten München und Würzburg statt (siehe Zwischenbericht 3, Arbeitspaket 2.2), um Einschätzungen von Personen aus der stadtplanerischen Praxis zu erhalten, inwieweit Klimaschutz- und Klimaanpassungsziele in den Entscheidungsfindungsprozessen gegenwärtig berücksichtigt werden.

In der zweiten Befragungsrunde, die ebenfalls mit Hilfe leitfadengestützter Experteninterviews stattfand, wurden neben den Partnerstädten München und Würzburg auch Kommunalvertreter von sechs weiteren bayerischen Städten mit mehr als 100.000 Einwohnern befragt. Die Interviews wurden, sofern möglich transkribiert. Die leitenden Fragen für den Gesprächsverlauf (nicht-standardisierter Fragebogen, offene Interviewfragen) bezogen sich auf

- a) Institutionelle Ausrichtung der Verwaltung für Klimaschutz und Klimaanpassung
- b) Einflussfaktoren für die Umsetzbarkeit
- c) Zentrale Akteure
- d) Treiber und Hürden – Einschätzungen zu Engagement, Initiativen
- e) Aufbau Bundesrepublik Deutschland; top-down oder bottom-up Steuerung
- f) rechtlichen planerischen Instrumente der Kommunen

Die Gespräche der „zweiten Runde“ wurden mit Vertretern der Städte München, Würzburg, Augsburg, Erlangen, Regensburg, Nürnberg, Fürth und Ingolstadt geführt.

#### 4.5.3 Während der Durchführung des Vorhabens der Universität bekannt gewordene Fortschritte auf diesem Gebiet bei anderen Stellen

Bei den bundesweiten Ausschreibungen zu Projektförderungen ist deutlich zu erkennen, dass zunehmend Projekte mit dem Fokus auf innerstädtische Grünflächen unterstützt werden, während bei den Vorläufer-Projekten stärker die energetischen Aspekte einer nachhaltigen Stadtplanung betont worden sind. Auch die transdisziplinäre Zusammenarbeit wird stärker als in der Vergangenheit gefördert. So unterstützen beispielsweise die Ausschreibungen der „Klimaschutzinitiative – Kommunale Klimaschutz-Modellprojekte“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) auf der Grundlage der nationalen Klimaschutzinitiative investive Modellprojekte im kommunalen Klimaschutz ausschließlich mit mindestens einem kommunalen Partner. Die ressortübergreifende Zusammenarbeit wurde auf Bundesebene ausgebaut: die Innovationsplattform Zukunftsstadt wurde erweitert und wird vom BMUB und BMBF gemeinsam koordiniert. Sie soll die geplanten und laufenden Forschungsvorhaben zum Thema „Grün in der Stadt“ stärker bündeln und den Wissenstransfer zwischen Forschung und Kommunen erleichtern.

Das Cluster „Grün in der Stadt“, das auf die Unterstützung des Weißbuchs „Stadtgrün“ ausgelegt ist, zielt auf die direkte Anwendbarkeit in der Praxis ab. Das Weißbuch ist im Mai 2017 publiziert worden und enthält Handlungsanweisungen und Maßnahmen zur Entwicklung grüner Infrastruktur ((Bundeministerium für Umwelt, 2017)). Studien zur Übertragbarkeit des Gartenstadtmodells auf heutige Bauvorhaben, sowie zur Umweltgerechtigkeit, zu urbanen Freiräumen sowie auf die Entwicklung von Handlungszielen für das Stadtgrün. Dafür wurden seit 2015 empirische Grundlagen zur Grünausstattung in deutschen Großstädten mit dem Fokus auf qualitative Ziele, Gründefizite, Ausstattungskennziffern, Erreichbarkeiten und Qualitätskriterien recherchiert und die Möglichkeiten von Grenzwerten und Kenndaten (z.B. zur Erreichbarkeit von Grünflächen usw.) diskutiert.

Die Thematik der Biodiversität ist in diesem Zusammenhang jedoch noch nicht abschließend behandelt. Die Erstellung des Weißbuchs beruht auf einem partizipativen Ansatz und erlaubte online-Kommentierungen von Vereinen, Verbänden und Interessierte während der Erstellung. Diese Möglichkeit wurde von verschiedenen Akteuren wahrgenommen: Vereine aus der Zivilgesellschaft z.B. zu urban gardening sowie aus der Wissenschaft sind unter den Kommentatoren. Die Maßnahmenvorschläge sollen im gesamten Bundesgebiet anwendbar sein und sind entsprechend allgemein formuliert.

Für die Stärkung von innerstädtischen Grünflächen besitzt die österreichische Hauptstadt Wien Vorbildcharakter, die einen Strategieplan explizit gegen den städtischen Wärmeinseleffekt erstellt hat (Magistrat der Stadt Wien, 2015). In Wien werden zudem für Neubauten alternative Mobilitätskonzepte getestet, so entsteht gegenwärtig z.B. eine autofreie Mustersiedlung in Wien-Floridsdorf. Innovative Projekte in Deutschland sind in den letzten Jahren beispielsweise an der Hafen City Universität in Hamburg durchgeführt worden. Das Forschungsfeld „umweltgerechte Stadt- und Infrastrukturplanung“ umfasst Arbeiten zur wassersensiblen Stadtentwicklung, zur Gründächern als Retention von Niederschlagswasser und Untersuchungen zu kooperativen Planungsprozesse. Ein im April 2017 vorgestellter Leitfaden („Wissensdokument“) beinhaltet Checklisten zur Gefährdungsanalyse um klimarelevante Aspekte in Planungsabläufe zu integrieren (HCU, 2017). Gezielt auf das Instrument des Flächennutzungsplanes ausgerichtet ist der Leitfaden der Stadt Regensburg, der aufzeigt, wie eine Klimafolgenabschätzung in die Umweltprüfung im Planungsverfahren integriert werden sollte (Jacoby & Beutler, 2013).

Folgende Tabelle fasst eine Auswahl der im Rahmen der jüngeren Projekte veröffentlichten Handlungsempfehlungen und Leitfäden zusammen. Für die Leitfäden, die vor allem auf Bundesebene vorliegen, wurde systematisch untersucht, welche inhaltlichen Schwerpunkte sie beinhalten, inwiefern sie Bezüge zu Grünflächen und/oder Synergie-Effekten von Klimaschutz und Klimaanpassung ansprechen und ob sie übertragbar sind.

|                                    | <b>TITEL</b>  | <b>BEWERTUNG und INHALTLICHE SCHWERPUNKTE</b>  | <b>Quelle</b>  |
|------------------------------------|---|--|----------------|
| Auswahl Leitfäden und Empfehlungen | Anpassung an den Klimawandel in Stadt und Region – Forschungserkenntnisse und Werkzeuge zur Unterstützung von Kommunen und Regionen | Beschreibung von 23 best-practice Beispielen anhand der fünf Schritte: Betroffenheit, Gefährdung, Maßnahmen, Umsetzung, Monitoring. Fokus Hitze, Sturzfluten und Starkregen. Für Umsetzung allgemeine Forderungen beinhaltet   | (BBSR, 2016a)  |
|                                    | Die Folgen des Klimawandels in Deutschland – was können wir tun und was kostet es?  | Hintergrundpapier zu Beispielen der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen: Hitzebeständige Straßenbelege, Hochwasserschutz und Dachbegrünung. Beispiel Dachbegrünungen in Düsseldorf: Ergebnis: Klimawandelanpassung lohnt sich langfristig, sollte gefördert und festgesetzt werden | (UBA, 2012a)   |
|                                    | Folgen des Klimawandels – Verkehr, Tourismus und Energieversorgung vor neuen Herausforderungen, ein Leitfaden                       | Guter Überblick zu Auswirkungen, Handlungsempfehlungen mit Fokus auf Unternehmen, aber z.B. beim ÖPNV Überschneidungen zu Kommunen vorhanden   | (StMUV, 2015a) |
|                                    | Gartenstadt 21 Grün, Urban, Vernetzt  | Prüfung der Übertragbarkeit des historischen Gartenstadt-Modells auf drei gegenwärtige Praxisbeispiele. Visuell ansprechend. Sehr relevant für wachsende Städte  | (BBSR, 2017)   |
|                                    | Gemeinschaftsgärten im Quartier – Handlungsleitfaden für Kommunen   | Anregungen, um Grün- und Brachflächen für Gemeinschaftsgärten zu nutzen, Instrumente und Beispiele zur Förderung genannt   | (BMUB, 2015a)  |
|                                    | Grün in der Stadt – für eine lebenswerte Zukunft Grünbuch Stadtgrün   | Ressortübergreifende Publikation der Bundesministerien – vielfältige qualitative Argumente für mehr Grün in den Städten, wenige quantitative Angaben zur Wirksamkeit   | (BMUB, 2015b)  |

|   |   |   |
|---|---|---|
| Handbuch zur guten Praxis der Anpassung an den Klimawandel  | Zusammenführung der Praxisergebnisse aus KomPASS. Im Bereich Stadt- und Freiraumplanung Darstellung Krupp Park (Essen) und Klimaanpassungsplan (FFM)                        | (UBA, 2013)   |
| Handbuch Stadtklima   | Enthält Envi-MET Simulationsergebnisse zu GI, Empfehlungen für Planungsabläufe, umfassende Herleitung zu Klimaauswirkungen  | (Umweltministerium NRW, 2010)                       |
| Heute Zukunft gestalten – Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel                              | KlimaMoro Forschungsergebnisse von drei Modellregionen, Fokus auf Anpassung, v.A. Hochwasser. Viele allgemeine Statements von Projektbeteiligten enthalten                  | (BMVBS, 2013a)                                      |
| ImmoKlima, Immobilien- und wohnungswirtschaftliche Strategien und Potenziale zum Klimawandel      | Fokus auf Immobilien- und Wohnungswirtschaft. Best Practices auf Gebäudeebene. Für kommunale Strategien wichtiger Akteur und gute Beispiele für PPP und social corporatives | (BMVBS, 2011)                                       |
| Klimaschutz Bayern 2020   | Gute Übersicht über laufende Aktivitäten und Programme in Bayern  | (StMUG, 2013)                                       |
| Klimaschutz in der räumlichen Planung Gestaltungsmöglichkeiten der Raumordnung und Bauleitplanung | guter Überblick über Raumordnung und Planung generell, Darstellungsmöglichkeiten Regionalplanung beinhaltet ebenso wie Kommunalplanung, sehr gute Literatur                 | (UBA, 2012b)  |
| Klimaschutz in Kommunen – Praxisleitfaden   | Standardwerk für Klimaschutzkonzepte, zweite Auflage derzeit in Bearbeitung, bundesweiter Fokus, eher „Grau“ als „Grün“, Instrumente z.Zt. veralteter Stand BauGB           | (DIFU, 2011)  |
| Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel – ein integrierter Politikansatz                     | Sehr allgemeine Erläuterung globaler Klimawandelfolgen und kaum konkrete Maßnahmenbeschreibungen. Behandelt allerdings explizit Synergien von KS und KA                     | (AMICA Klimabündnis, 2007)                          |
| Leitfaden Dachbegrünung für Kommunen  | Nicht uneingeschränkt auf Bayern zu übertragen, Fokus auf Förderinstrumenten in NRW   | (Ansel, Baumgarten, Dickhaut, Kruse, & Meier, 2011) |
| Leitfaden nachhaltiges Bauen  | Fokus Gebäudesektor, aber in Bezug auf Denkmalschutz und Sanierung auch Empfehlungen für die Kommunalebene beinhaltet   | (BMVBS, 2013b)                                      |
| Noch wärmer noch trockener? Stadtnatur und Freiraumstrukturen im Klimawandel                      | Sehr umfangreiche und fundierte Studie, besonders in Bezug auf Freiraum und Naturschutz. Sehr gute Analysen der Planungsinstrumente auf den unterschiedlichen Ebenen        | (BfN, 2011)   |
| Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel Regionale Klimaanpassung                               | Fokus auf regionalplanerische Festlegungen und Beratungsprodukte, aber einzelne best practices auf Stadtebene   | (BMVI, 2016)  |
| StadtKlima ExWost – Kommunale Strategien und Potenziale zum Klimawandel                           | Neun Expertisen aus der ExWoSt Forschungsergebnisse gute Zusammenfassung und Übersicht über Strategien. Detailliert und Fallbezogen   | (BMVBS, 2013c)                                      |
| Überflutungs- und Hitzevorsorge durch die Stadtentwicklung  | Fokus Regenwassermanagement. Umfangreiche Aufbereitung der Fallbeispiele.   | (BBSR, 2015a)                                       |
| Urbane Räume nachhaltig gestalten – Entscheidungshilfen für eine klimagerechte Stadtentwicklung   | Präsentation MUKKLIMO und INKAS, Beispiele für Albedo und Dachbegrünung in verschiedenen Siedlungstypen enthalten. Insgesamt sehr kurz (15 Seiten).                         | (DWD, 2015b)  |

|   |   |  |
|---|---|--|
| Urbanes Grün in der doppelten Innenentwicklung  | Sehr detaillierte Übersicht zur Nachverdichtungsproblematik, inkl. Empirischer Umfragedaten, viele Praxisbeispiele enthalten  | (Böhm, Böhme, Bunzel, Kühnau, & Reinke, 2016) BfN                                |
| Von Science Fiction Städten lernen – Szenarien für die Stadtplanung   | Wenig Bezug zu Klimawandel, aber hinsichtlich Steuerung / Macht sind für das Thema Partizipation und Governance wertvolle Anregungen enthalten  | (BBSR, 2015b)  |
| Integration einer Klimafolgenabschätzung in die Umweltprüfung zum Flächennutzungsplan                       | Umfassende Diskussion über die Wirksamkeit der UVP: Fazit: KA und KA lassen sich in die UVP einspeisen  | (Jacoby & Beutler, 2013)   |
| Weißbuch „Grün in der Stadt“  | Bundesweiter Fokus, enthält bundespolitische Absichten, sehr umfassende Behandlung, z-T. abstrakte Formulierungen   | (BMUB, 2015)   |
| KomPass-Klimalotse und Tatenbank  | Leitfaden des UBA der in sechs Modulen in fünf Schritten durch die Anpassungsphasen leitet. Für Unternehmen und Kommunen. Gut aufbereiteten, zahlreiche Erfolgsbeispiel aus vielen Städten aber dennoch z.T. unkonkrete Anweisungen. Tatenbank Austausch-Plattform: Aktivitäten können eingestellt werden und Kontakt zu anderen Projekten initiiert werden | <a href="http://www.klimalotse.anpassung.net/">www.klimalotse.anpassung.net/</a> |
| Grüne Infrastruktur im urbanen Raum: Grundlagen, Planung und Umsetzung in der integrierten Stadtentwicklung |   | (Hansen et al., 2017)  |

Tabelle 17: Übersicht über aktuelle Arbeiten und Vorhaben

#### 4.5.4 Darstellung und Bewertung der erzielten Ergebnisse und ihrer praktischen Anwendbarkeit

Bei Befragungen in den acht größten bayerischen Städten wurde die Einschätzung der Praxisakteure deutlich, dass sich die Klimaschutz- und Anpassungsstrategien nicht als neues Thema einbringen lassen – vielmehr muss ein „Mainstreaming“ verfolgt werden, d.h. ein Einspeisen und Mitdenken dieser Ziele in alle Planungsabläufe. Dies erfordert eine stärkere referatsübergreifende Zusammenarbeit, welche anhand von strategischen Leitbildern gefördert werden kann. Leitbilder dienen vor allem der Sensibilisierung und können die Identifikation aller Beteiligten mit den Zielen einer klimaorientierten Stadtentwicklung sicherstellen.

Nach § 1 BauGB und § 1a BauGB sind Klimaschutz und Klimaanpassung Abwägungsbelange. Den Kommunen stehen, abgeleitet von der Planungshoheit des ART. 28 GG im Wesentlichen der Flächennutzungsplan ((FNP) § 5 BauGB)) und der Bebauungsplan ((BP) §9 BauGB)) zur Verfügung, um Klimaschutz- und Anpassungsbelange darzustellen. In Bayern ist es im Gegensatz zu anderen Bundesländer gemäß Art. 4 Abs. 2 BayNatSchG Pflicht, den Landschaftsplan in den FNP zu integrieren, bzw. auf Ebene des Bebauungsplans einen Grünordnungsplan vorzulegen.

Die Zusammenarbeit der Planungsämter unterschiedlicher Ebenen wird im Zusammenhang mit dem Klimawandel wichtiger werden: zum einen spielen für die Durchlüftung der Städte (Frischluftzufuhr und Kaltluftschneisen) die Topographie und Umgebung eine große Rolle, zum anderen erfährt das Umland für den Ausbau und Transport der erneuerbaren Energien einen Bedeutungszuwachs.

Im FNP können Grünflächen, wie Parkanlagen, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätze, Friedhöfe, Wasserflächen, sowie die Flächen, die im Interesse des Hochwasserschutzes und der Regelung des Wasserabflusses frei zu halten sind, dargestellt werden. Auch Flächen für Landwirtschaft und Wald sowie Flächen für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft sind darstellbar. Der FNP kann bereits potenzielle Ausgleichsflächen beinhalten, die für die Eingriffsregelung in Betracht kommen und deren Sicherung für die Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege daher anzustreben ist. Mit dem Bebauungsplan sind etliche Möglichkeiten gegeben, die Einfluss auf Grün- und Freiflächen haben, wie beispielsweise Festsetzungen von Flächen, die von der Bebauung freizuhalten sind und ihre Nutzung, Flächen für die Rückhaltung und Versickerung von Niederschlagswasser, öffentliche und private Grünflächen, Flächen für die Landwirtschaft und Wald, das Anpflanzen von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen.

Neben FNP und BP gewinnen informelle Planungsinstrumente aufgrund ihrer höheren Flexibilität an Bedeutung, z.B. städtebauliche Verträge nach § 11 BauGB. Kommunen können auf Basis individueller Vereinbarungen z.B. mit Investoren verhandeln, welche Bepflanzungen bei Ausgleichsmaßnahmen auf dem Grundstück gesetzt werden (Bindungsverträge). Die Belange des Klimaschutzes wurden in der jüngsten Novellen des BauGB (2011 & 2013) auch dadurch gestärkt, dass nach § 1 Abs. 6, 11 nun auch sonstige städtebauliche Planungen wie Klimaschutzkonzepte in der Abwägung zu berücksichtigen sind. Zudem sind nach dem besonderen Städtebaurecht (§171a BauGB) Stadtumbaumaßnahmen aus Klimaschutzgründen zulässig, was Stadtentwicklungs-, Stadtsanierungs- und Stadtumbauvorhaben als Hebel für Klimaschutz- und Klimaanpassung attraktiver werden lässt. In diesen Programmen werden Bundesfördermittel zur Verfügung gestellt, um Bestandsgebiete zu überplanen. Nach § 136 BauGB müssen dafür „städtebauliche Missstände“ vorliegen, worunter seit der Novelle 2011 auch Klimaschutz und Klimaanpassungsbedarf gefasst werden. Seitdem können Planungen, die dem städtischen Wärmeinseleffekt entgegenwirken durch die Städtebauförderung gefördert werden.

Ebenfalls kann für die Umsetzung von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen das Instrument der Satzungen als kommunale Rechtsverordnungen gezielt eingesetzt werden. Beispielsweise können in der (Freiraum-) Gestaltungssatzung Grünflächen vorgeschrieben werden oder Vorgaben des BauGB verschärft werden. So lassen sich Nebengebäude begrünen oder Höfe entsiegeln. Mit Blick auf zunehmende Starkregenereignisse können Regenrückhaltebecken und Flächen zur Versickerung vorgegeben werden. Auch Möglichkeiten der Verschattung öffentlicher Plätze, z.B. durch Sonnensegel sind gegeben. Gerade vor dem Hintergrund des demographischen Wandels, dem zunehmenden älteren Bevölkerungsanteil ist die Gesundheit ein ernst zu nehmender Faktor, dem stadtplanerisch begegnet werden muss.

Anreizsysteme zur Motivation und Engagement der Zivilbevölkerung sind für Bestandsgebäude von großer Bedeutung. In der Landeshauptstadt München sind beispielhafte Programme vorhanden, die Dachbegrünungen oder Hinterhofaufwertungen fördern (Süddeutsche Zeitung, 2015). Gleichzeitig wird deutlich, dass weiterhin Informations- und Kommunikationsbedarf besteht, denn zum Teil werden die Programme nicht zur Gänze abgerufen (dies kann nicht allein auf den Kommunikationsbedarf zurückgeführt werden. Es bestehen darüber hinaus Vorbehalte bei Hausbesitzern, Begrünungsmaßnahmen durchzuführen: am häufigsten wird eine Beschädigung der Außenwand befürchtet).

Um die in den AP 2.2. bis AP 2.4. quantitativen Berechnungen und qualitativen Freiraumbewertungen sowie die Untersuchungen zur Biodiversität mit Akteuren aus der kommunalen Praxis hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit zu prüfen, wurden Interviews in den acht größten bayerischen Städten mit über 100.000 Einwohnern in Vorbereitung auf den Leitfaden durchgeführt. Das erhobene Stimmungsbild zeigt, dass die Kommunen in ihren Zuständigkeitsgebieten vor allem aufgrund lokaler Problemstellungen aktiv werden. Die Impulse für Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen gehen nicht primär von den übergeordneten Stellen der Landes- oder Bundesebene aus, sondern von ortspezifischen Fragestellungen. Elf zentrale Aussagen lassen sich zusammenfassen:

1. Strategische Ausrichtungen sind für die Stadtentwicklung wichtig, müssen sich aber mit der kurzfristigen Planungspraxis im „Alltagsgeschäft“ verbinden lassen.
2. Neben den reinen Klimaschutzmaßnahmen, die in erster Linie auf CO<sub>2</sub>-Reduktion abzielen, gewinnen Klimaanpassungsstrategien an Bedeutung. Die Verzahnung beider Bereiche wird in allen Städten angestrebt, in der Verwaltung sind die Zuständigkeiten teilweise gebündelt, teilweise getrennt.
3. Personelle und finanzielle Kapazitäten der Kommunen sind beschränkt. Klimaschutz- und Anpassung müssen als freiwillige Aufgaben ständig um Mittel kämpfen.
4. Transdisziplinäre Forschungsprojekte können einen Beitrag zur Umsetzung leisten und die öffentliche Wahrnehmung steigern.

5. Das Hauptproblem aller untersuchten Städte besteht in dem Zielkonflikt nachhaltiger Stadtentwicklung, einerseits innerstädtische Grünflächen zu schaffen und zu erhalten (Klimaanpassung) und gleichzeitig dem steigenden Wohnraumbedarf nachzukommen. Denn kompakte, energieeffiziente Innenstädte mit wenig motorisiertem Individualverkehr (Klimaschutz) konkurrieren mit Grünflächen- und Freiräumen.
6. Für die Bewohner gewinnen Grünflächen an Bedeutung, für die Umsetzbarkeit ist die qualitative Aufwertung der Freiräume ein größeres Argument als Klimaanpassung.
7. Klimaschutz- und -anpassungsziele müssen vor dem laufenden Verfahren wahrgenommen werden, um nachfolgend eine Chance zu haben, berücksichtigt zu werden. Dafür ist die öffentliche Sensibilisierung unerlässlich. Auch die verwaltungsinterne Kommunikation muss z.B. anhand interner Leitfäden und gemeinsamer Leitbilder vertieft werden.
8. Bei Wettbewerben müssen Klimaschutzziele von Anfang an gefordert werden, d.h. bereits in der Auslobung.
9. Die verfügbaren Instrumente sind nicht per se unzureichend, doch oftmals fehlt noch das know-how. Die Verfahren sind komplex und zum Teil die Zuständigkeiten unklar.
10. Rechtlicher Anpassungsbedarf besteht hinsichtlich der Verankerung von Klimaschutz und Anpassung als kommunale Pflichtaufgabe.
11. Die Stadtwerke werden als ein Schlüsselakteur wahrgenommen. Bei der Energieerzeugung liegt der größte Hebel zur Umstellung auf erneuerbare Energien und somit zur Reduktion von Kohlenstoffdioxid.

Der Klimawandel stellt die bayerischen Städte und Gemeinden vor Herausforderungen, die nahezu alle Zuständigkeitsbereiche der Stadtverwaltung betreffen, etwa den Gesundheitssektor, den Katastrophenschutz, die Stadtentwässerung, den Hoch- und Tiefbau, die Grünordnung und den Gartenbau, die Stadtplanung sowie die Stadtentwicklung. Eine wichtige klimarelevante Einflussgröße ist zudem die Verkehrsbelastung, da dies zu einer Verstärkung der innerstädtischen thermischen Belastung führt, wofür wiederum dem Umwelt- oder dem Verkehrsamt die Verantwortung obliegt. Teilweise übergeordnet, teilweise als eigenständige Einheiten, teilweise in andere Stellen integriert sind Stabstellen, Referate oder Abteilungen für Klimaschutz- und Anpassung tätig, um klimarelevante Aspekte in die Entscheidungsprozesse einzubringen. Und schließlich ist der kommunale Haushalt betroffen, der ebenso an der Umsetzung von Klimaschutz- und -anpassungsmaßnahmen beteiligt ist. Abbildung 73 stellt die Wirkungszusammenhänge vereinfacht dar.

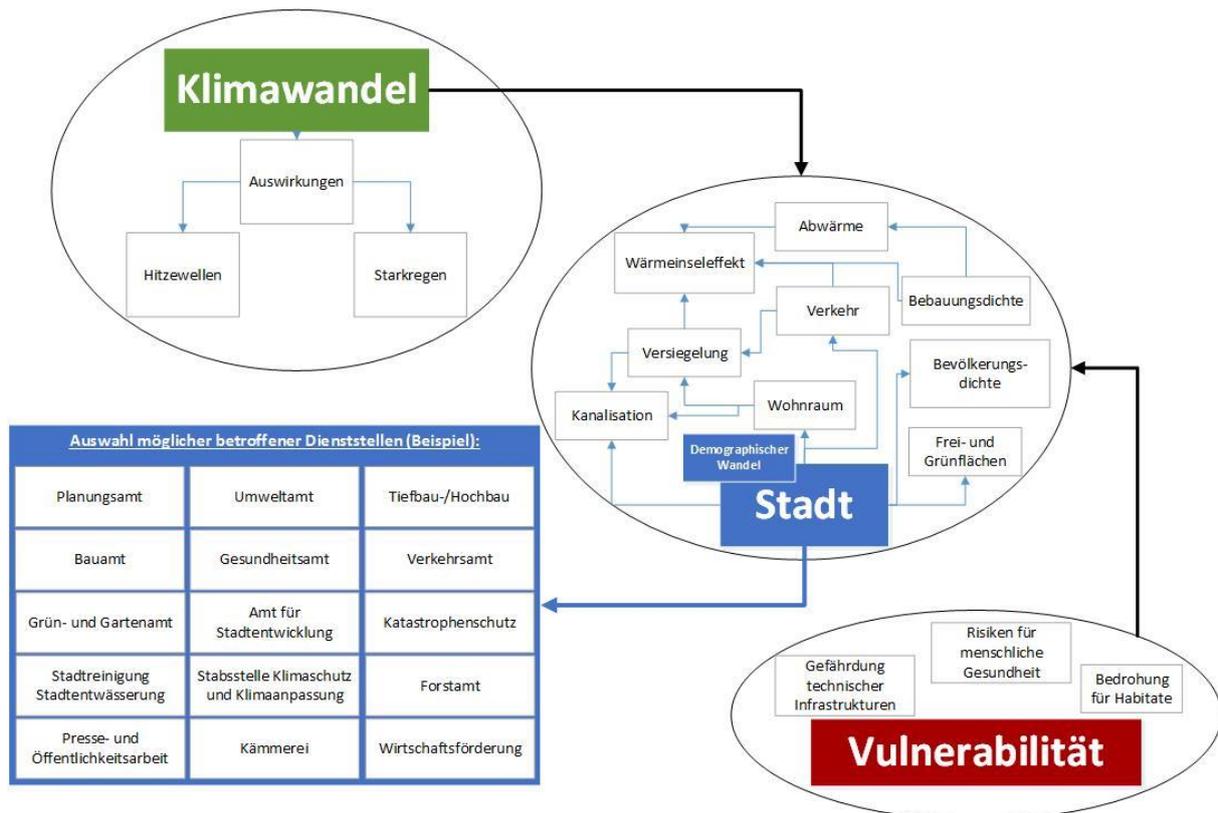


Abbildung 73: Zusammenhängen zwischen Klimawandel und Stadtentwicklung

In den Fragebögen wurden Informationen zu Schwerpunkten der institutionellen Ausrichtung der Verwaltungen, Einflussfaktoren, zentralen Akteuren, Treiber und Hürden, Abhängigkeiten und den rechtlichen planerischen Instrumenten der Kommunen erhoben. Sie werden nachfolgend zusammengefasst:

#### A) Institutionelle Behandlung von Klimaschutz und Klimaanpassung

In den kommunalen Verwaltungen der bayerischen Städte mit über 100.000 Einwohnern ist kein einheitliches Bild zu erkennen, wie die Themen institutionell aufgestellt sind: teilweise werden die Themen „getrennt“ behandelt, in anderen Städten in einer Stelle gebündelt. Bei der Umsetzung von Klimaschutz- und Klimaanpassung in die Planungsabläufe sind bei beiden Themen mehrere Dienststellen betroffen. Auch in den Städten, in denen organisatorisch unterschiedliche Stellen für Schutz und Anpassung zuständig sind, wurde deutlich, dass die inhaltlichen Überschneidungen so bedeutsam sind, dass in den Abwägungsprozessen meist keine klare Trennung möglich oder sinnvoll ist.

## B) Einfluss auf die Stadtentwicklung?

Viele Maßnahmen (besonders im Bereich der Klimaanpassung) sind bereits seit Jahrzehnten etablierte Bereiche und in der kommunalen Praxis bereits verankert. Sie wurden jedoch in der Vergangenheit oftmals unter einem anderem Label oder Etikett durchgeführt: z.B. ist der Hochwasserschutz keine neue Aufgabe. Er wurde aber bisher nicht unter dem Stichwort Klimawandelanpassung behandelt. Daher werden einige Maßnahmen nicht direkt auf das eigene Tun im Sinne der klimagerechten Stadtentwicklung zurückgeführt. Allerdings wird wahrgenommen, dass sie mehr Gehör finden und durch den Klimawandel das Thema Anpassung derzeit die Umsetzung erleichtert, beispielsweise von Grünmaßnahmen. Für die betreffenden Dienststellen hilft es, dass das Thema politisch gerade „en vogue“ ist. So ist z.B. das Einwerben von Fördergeldern einfacher geworden. Einzelne Dienststellen berichteten, dass auch wenn das Thema Klimaanpassung in der kommunalen Praxis bereits verfolgt worden ist, nun im Kontext Klimawandel das Interesse seitens der Forschung bedeutend angestiegen ist und mehr Aktivität erkennbar wird (z.B. neue DIN zu Hochwasser wurde verschärft). Vermehrt wurde der individuelle Antrieb genannt: das Thema Klimaschutz und Klimaanpassung sei generell positiv besetzt.

## C) Akteure

Hinsichtlich Klimaschutz sind die im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) geförderten Klimaschutzmanager in den Gemeinden sehr wichtig, weil sie dem Thema „eine Stimme“ geben. Häufig sind alte Vorhaben auf dem Tisch, aber es kommen über die geförderten Personalstellen frischer Wind und vor allem verstärkte personelle Kapazitäten. Ansonsten bestehen häufig Probleme bei der Umsetzung, weil Kommunen unterbesetzt sind und keinen Zugriff auf den Stellenschlüssel haben, wie das folgende Zitat verdeutlicht: „*das regelt die Regierung von Mittelfranken*“. Für die Umsetzbarkeit der einzelnen Maßnahmen sind v.a. die Eigentümerstrukturen entscheidend. Aus Sicht der Kommune sind die sehr heterogenen, kleinteiligen Gruppen der privaten Hausbesitzer schwer erreichbar und es bleibt eine große Herausforderung, diese z.B. für Sanierungsvorhaben im Bestand zu gewinnen. Daher ist die Bedeutung von kollektiven Akteuren zu unterstreichen, da beispielsweise über Wohnungsbaugenossenschaften oder Bauträgergenossenschaften größere Hebel bewegt werden können als über individuelle Entscheidungsträger. Teilweise wurden starke Lobbyisten als wichtige Akteure genannt, die vor Ort den Erfolg bzw. Misserfolg entschieden, wie z.B. Landwirte, Förster oder Winzergenossenschaften, die ihre Interessen vor Stadtratssitzungen an die Abgeordneten herantragen. Ein Problem besteht teilweise bei der Entwicklung neuer Baugebiete mit vielen Einzeleigentümern, denn die Stadt darf keine Architekten empfehlen. Der Stand des Wissens ist bei den Auftragnehmern aber extrem unterschiedlich und für nachhaltige Planung sind manche Büros mehr und manche weniger geeignet, ohne dass die Kommune auf die Auswahl hinwirken kann.

## D) Fördernde und hemmende Faktoren

Insgesamt wird wahrgenommen, dass vielfältige und vielseitige Klimaschutz- und Anpassungsaktivitäten auf kommunaler Ebene stattfinden.

Die Umsetzung von Klimaschutzzielen und Anpassungsvorhaben ist auf konkrete Zahlen und Daten angewiesen. Ohne definierten Grenzwerte sind die Ziele z.B. in die Abwägung mit anderen Planungsbelangen nur schwer erfolgreich einzubringen, qualitative Argumente sind häufig „zu weich“. Obwohl beide Themen von Trägern öffentlicher Belange (TÖB) vertreten werden und beispielsweise Planungsreferate Klimaschutzargumente von der Klimaschutzabteilung einfordern, werden diese nicht zwingend berücksichtigt oder es bleibt offen „zu wieviel“ sie umgesetzt werden (können). Ein Grund dafür könnte sein, dass Klimaschutz (und -anpassung) keine kommunalen Pflichtaufgaben sind. Wirtschaftliche Aspekte stehen in vielen Städten im Vordergrund und oftmals können Investoren die Vorhaben maßgeblich bestimmen. In einigen städtischen Planungsprozessen wird die Klimapolitik noch zu wenig im Bewusstsein gesehen: „*wir müssen es erstmal schaffen, überhaupt gehört zu werden*“.

Schwierigkeiten bei der Implementierung von Klimaschutz wird auch als psychologisches und politisches Problem gesehen. Suffizienz gehe in der öffentlichen Wahrnehmung zu oft mit Verzicht einher, doch die Leute seien häufig auch zu bequem und so stellt Klimaschutz ein allgemeines gesellschaftliches Problem dar. Insgesamt werde der Klimawandel als nicht greifbares Phänomen wahrgenommen, sei „zu weit weg“, um persönliches Handeln zu provozieren. Das Grundproblem wird in dem Widerspruch „Streben nach unbegrenztem Wachstum in einer begrenzten Welt“ gesehen. So werden Sozialwohnungen für die Kommune schnell zu teuer und damit werden Klima/Energie Standards verringert/ herabgesetzt. In beiden Feldern spielen somit wirtschaftliche Interessen die größte Rolle, v.a. wenn private Investoren Bauherren sind. Auch die kurzen Legislaturperioden werden als Hemmnisse identifiziert, da sie nur 4-6- Jahre betragen und bei Maßnahmen häufig vor der Amortisierung / Gewinn ein Nachfolger gewählt wird, d.h. „*die Lorbeeren erntet jemand anders*“.

## E) Föderaler Aufbau der Bundesrepublik Deutschland

Die Stadtplanung unterliegt etlichen Zielen der politisch übergeordneten Ebenen (International, EU, Bund, Land) bezüglich der Vorgabe von umsetzungsrelevanten Bestimmungen. Gleichzeitig stehen den Kommunen aufgrund der in § 28 Grundgesetz verankerten Planungshoheit sehr weitreichende Kompetenzen zu. Die Politik „von oben“ wird von den Befragten nicht als „*allmächtig*“ gesehen, vielmehr sei die Rolle der Bürger und des Marktes nicht zu unterschätzen. Dies mache ein Vergleich zum Prozess des FCKW Verbots deutlich: seitens der Politik sei dieses nie umgesetzt worden, jedoch haben die Käufer auf den Kauf von FCKW haltigen Produkten verzichtet und eine Selbstverpflichtung der Unternehmen durchgesetzt.

Die Kommunen nehmen ihre Aufgabe der „Politik vor Ort“ wahr und greifen tendenziell auf, was die Bürgerschaft umtreibt/fordert. Somit wird mehr Druck „von unten“ als von oben wahrgenommen, denn die Verwaltungen wollen und müssen Themen der Bürgerschaft bedienen. Ein Problem der Steuerungsebenen bestünde in der Praxis weniger zwischen den verschiedenen politischen Ebenen sondern zum Teil aufgrund der unterschiedlichen Zugriffsmöglichkeiten auf einzelne Sektoren. So besteht kaum Handlungsspielraum im Bereich der Landwirtschaft und nur unzureichend auf den Verkehrssektor – wohl aber auf das Bauwesen, und „*der Gebäudesektor soll es richten*“.

## F) Instrumente

Die den Kommunen zur Verfügung stehende Instrumente werden in der Mehrheit als ausreichend bewertet, allerdings sei ihr Einsatz teilweise nicht genug zielgerichtet. Zum Teil fehlt das Know-how in den Verwaltungen, anhand welcher Vorgaben sich beispielsweise Grünmaßnahmen umsetzen lassen. Im Bestand sei es nahezu unmöglich, um allein mit Anreizsystemen wie Wettbewerben Klimaschutz- und -anpassungsvorhaben umzusetzen. Mittel für Förderprogramme stünden aufgrund der Haushaltspläne nicht ausreichend zur Verfügung.

Konkrete Daten und Grenzwerte sind für die Argumentation in Abwägungsprozessen wichtig, es besteht Bedarf an belastbaren Forschungsergebnissen, um z.B. die Wirkung von Begründungen zu belegen. Häufig sind die Möglichkeiten, derartige Wirkungen nachzuweisen, nicht bekannt, dies sei beispielsweise beim Naturschutz einfacher: wenn eine bestimmte Art geschützt ist, folgt daraus ein Verbot der Baugenehmigung. Für Klimaschutzbegründungen sind die Grenzwerte hingegen nicht deutlich. Im Verfahren werden Begründungen kumuliert; beispielsweise spielen für Grünanlagen Argumente für die Aufenthaltsqualität, für Klimaanpassung und für den Naturschutz parallel eine Rolle.

Von zentraler Bedeutung sei das Timing. In allen befragten Städten gaben die Interviewpartner an, dass die frühzeitige Berücksichtigung der Belange im Entscheidungsprozess der entscheidende Faktor sei: „*Während des laufenden Bauleitplanverfahrens ist es eigentlich schon zu spät*“, daher müssen sie bereits vorher integriert werden. So müsse bei Wettbewerben stärker darauf geachtet werden, dass Forderungen für den Klimaschutz von Anfang an gefordert werden, und schon Bestandteil der Auslobung sein. Sonst könne die Kommune die ihr zur Verfügung stehenden Handlungsspielräume zur Implementierung von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen später nicht mehr so gezielt nutzen.

Der Austausch und die interkommunale Zusammenarbeit werden als gewinnbringende Instrumente eingestuft, dies sei insbesondere dann der Fall, sobald persönliche Kontakte bestehen.

#### 4.5.5 Schlussfolgerung und Zusammenfassung

Es ist davon auszugehen, dass klimapolitische Entscheidungen in den Städten und Gemeinden nicht weniger oder einfacher werden. Sie sind komplex und betreffen alle Bereiche der Stadtentwicklung. Weiterhin bleibt die Sensibilisierung für das Thema wichtig. Obwohl kommunale Klimaschutzstrategien mittlerweile weit verbreitet sind, müssen sie verstärkt mit der Anpassung verzahnt werden und parallel in der Planung Berücksichtigung finden. Grüne Infrastruktur bietet dafür einen Ansatz, doch noch sind die Vorteile nicht gut genug verbreitet, um in der Praxis entscheidende Durchschlagkraft erlangt zu haben. Die Forschungsergebnisse der Computersimulationen aus den AP 2.2 und 2.3. können als Argumentationsgrundlage für die Implementierung solcher Maßnahmen dienen, d.h. sie könnten für Förderprogramme oder Gesetzgebungsprozesse relevant sein. Belastbare Daten aus der Wissenschaft sind für die kommunalen Entscheidungsprozesse wichtig, da Zahlen, Fakten und Grenzwerte oftmals fehlen um die Wirksamkeit zu belegen. Überzeugend sind derartige Maßnahmen sobald ihre Multifunktionalität ersichtlich wird, d.h. sobald die betroffenen Quartiersbewohner direkt von der Aufwertung ihrer Freiräume und einer erhaltenen Flora und Fauna profitieren.

- Empfehlungen

Die Implementierung von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen ist nicht als neues Thema in der Stadtplanung zu platzieren, sondern ist vielmehr in bestehende Aufgaben und Verfahren zu integrieren, um in Entscheidungsprozessen „automatisch“ mitgedacht zu werden. Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen sollten nach Möglichkeit mit anderen Vorhaben kombiniert werden. Grüne Infrastrukturmaßnahmen könnten aufgrund ihrer Multifunktionalität für die Stadtentwicklung eine weitaus bedeutendere Rolle spielen als es ihnen in den meisten Städten und Gemeinden Bayerns bis dato zukommt. Weil sie einen Effekt auf die Energieeffizienz von Gebäuden haben können und gleichzeitig das Mikroklima regulieren sowie Folgen des Klimawandels wie urbane Wärmeinseleffekte schwächen können, bieten sie sowohl Potenziale für Klimaschutz- als auch Klimaanpassung. Zudem können sie sich positiv auf die Artenvielfalt auswirken und – richtig eingesetzt – die Aufenthaltsqualität erheblich erhöhen und somit auch indirekt zum Klimaschutz beitragen, beispielsweise durch attraktive Naherholungsgebiete als Ersatz für Fernreisen.

- Probleme

Grüne Infrastrukturmaßnahmen stellen zwar häufig gute Lösungsansätze dar, stehen aber gerade in wachsenden Städten in Konkurrenz zu weiteren Flächenansprüchen, allen voran dem Wohnungsbau. Auch entsteht ein Zielkonflikt zu der „Stadt der kurzen Wege“, d.h. einer sehr kompakten Gestaltung, die Verkehrswege reduziert und damit ebenfalls klimafreundlich sein

kann. Nicht zuletzt bemängeln Kommunen fehlende personelle und finanzielle Kapazitäten, um dem Thema gerecht werden zu können. Umso wichtiger erscheinen vor diesem Hintergrund, die sog. „no-regret“ bzw. „low-regret“ Maßnahmen, worunter Maßnahmen gefasst werden, die aus anderen Gründen durchgeführt werden, aber einen Mehrwert für Klimaschutz- bzw. Anpassung aufweisen und somit keinesfalls „umsonst“ realisiert werden.

- **Ausblick:**

Weiterführende Forschungsfragen zeichnen sich ab. Besonders hinsichtlich der Skalierung von Ergebnissen von der Gebäudeebene auf das Quartier besteht großer Forschungsbedarf. Auch ist der Ansatz, Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen für spezifische Siedlungstypen zu entwickeln, weiter auszubauen. Dazu sind Erhebungen zu den verschiedenen Siedlungstypen erforderlich. Da diese für die Potenzialerhebung dezentraler Wärmeversorgungsnetze in etlichen Kommunen ebenfalls als Grundlage dienen, bietet sich die Verschneidung mit derartigen Projekten an. Auch hinsichtlich der lokalen Klimawandelauswirkungen besteht Forschungsbedarf. Zum einen liegen nur unzureichende Analysen über die lokalen Klimaveränderungen vor (Klimadatenauswertung) zum andern verfügen noch zu wenige Städte über stadtklimatische Funktionskarten mit Aussagen dazu, welche Frischluftschneisen beispielsweise von der Bebauung freizuhalten sind. Zudem muss der Austausch unter Praxispartnern gestärkt werden, damit erfolgreiche Projekte mehr Nachahmer finden. Daran schließt sich die Notwendigkeit an, Forschungsergebnisse breiter zu streuen. Der Brückenschlag von Wissenschaft und Forschung zur aktuellen Planungspraxis könnte über längere Projekte mit noch intensiverem Austausch optimiert werden.

## 5. Übertragbarkeit der Ergebnisse

Im Zeitraum von Anfang Mai bis Ende Oktober 2016 wurde am ZSK eine Masterarbeit mit dem Titel „Vergleich struktureller Eigenschaften von Siedlungstypen in bayerischen Großstädten – Eine Geodaten-Analyse als Grundlage für die Übertragbarkeit von Klimaanpassungsmaßnahmen und Beurteilung der Vulnerabilität“ angefertigt.

Ziel der Arbeit war es, auf Basis von Geodaten (ALKIS-Datensätze) und Orthofotos die Vergleichbarkeit zwischen den Modellbereichen des Teilprojekts 1 und ähnlichen Wohnblöcken in anderen Städten herzustellen sowie Gemeinsamkeiten und Unterschiede der vorherrschenden Siedlungstypen Blockrandbebauung, historische Altstadtbebauung und Zeilenbebauung herauszuarbeiten. Um die in den Modellbereichen entwickelten Klimaanpassungsmaßnahmen auf andere Gebiete und Städte übertragen zu können, lag das Hauptaugenmerk auf der Gegenüberstellung relevanter struktureller Eigenschaften. Anhand vergleichbarer Eigenschaften kann beispielsweise das Potential für Begrünungsmaßnahmen auf Freiflächen und Fassaden abzuschätzen sein. Zusätzlich wurden auf Grundlage derselben Daten Kennzahlen entwickelt, die in Zusammenhang mit der klimawandelbedingten Vulnerabilität von Städten stehen. Hierfür wurden (ebenfalls auf Wohnblockebene) unter anderem der Versiegelungsgrad und der Grünflächenanteil betrachtet. Auf diese Weise konnten Städte identifiziert werden, deren Siedlungstypen eine vergleichsweise höhere Resilienz aufweisen als andere.

### 5.1 Vorgehensweise

Zunächst wurde ein Untersuchungsgebiet definiert für das die Übertragbarkeits- und Vulnerabilitätsanalyse durchgeführt werden sollte und die notwendige Datengrundlage geschaffen. Anschließend wurden Kartierungskriterien definiert, um in den Städten des Untersuchungsgebiets diejenigen Wohnblöcke zu identifizieren, deren Siedlungstypen den Modellbereichen entsprechen. Es wurden Kennzahlen für den Siedlungstyp-Vergleich ermittelt. Für die Analyse der Übertragbarkeit von Klimaanpassungsmaßnahmen wurden strukturelle Eigenschaften von Wohnblöcken und deren Bauwerke betrachtet. Zur Bewertung der Vulnerabilität wurden qualitative Aussagen über die Freiraumzusammensetzung in der Umgebung der Wohnblöcke und potentielle Regulationsleistungen grüner Infrastruktur in Kennzahlen überführt. Zur Visualisierung wurden Tabellen und Boxplot-Darstellungen angefertigt, die die Streuung und die Medianwerte der strukturellen Kennzahlen verdeutlichen, sowie Karten, die das Vorkommen und die Verteilung der Siedlungstypen in den Stadtgebieten veranschaulichen.

## 5.2 Untersuchungsgebiet

Bei der Wahl des Untersuchungsgebietes wurde berücksichtigt, dass im Teilprojekt 1 die Auswirkungen von Hitze- und Starkregenereignissen auf Städte behandelt werden und das ZSK dabei den Fokus auf die Situation in Bayern gelegt hat. Eine zu Beginn des Bearbeitungszeitraums durchgeführte Recherche unter den Städten Bayerns hat ergeben, dass insbesondere Großstädte mit mehr als 100.000 Einwohnern administrative und strukturelle Eigenschaften aufweisen, die in Bezug auf die genannten Klimawandelauswirkungen als kritisch einzustufen sind. Dazu zählen der hohe Versiegelungsgrad im Stadtgebiet, die Einwohnerdichte und der geringe Grünflächenanteil. Über diese, den Ist-Zustand beschreibenden Faktoren hinaus, werden regelmäßig Trendanalysen über die zukünftige Entwicklung der Städte veröffentlicht.

Das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) attestierte zum damaligen Zeitpunkt allen Großstädten nach Analyse sozioökonomischer Aspekte im bundesweiten Vergleich eine wachsende bzw. tendenziell wachsende Bevölkerung und Wirtschaftsleistung. Unter kleineren Städten fand sich vermehrt die Einstufung „tendenziell schrumpfend“. Aus diesem Grund wurden in der Masterarbeit die acht bayerischen Großstädte München, Nürnberg, Augsburg, Regensburg, Ingolstadt, Würzburg, Fürth und Erlangen untersucht.

Zwischenzeitlich hat das BBSR eine aktualisierte Fassung seiner Trendanalyse veröffentlicht, in der kein Unterschied zwischen Groß- und Mittelstädten mehr zu erkennen ist. Stattdessen deutet die Indikatoranalyse darauf hin, dass viele Städte Bayerns im bundesweiten Vergleich einen deutlichen Wachstumsprozess durchlaufen, der ihre sozio-ökonomische und wirtschaftliche Situation stark beeinflusst. Sieben der acht Großstädte werden neuerdings als überdurchschnittlich wachsend eingestuft und auch für die Mittelstädte gilt vermehrt diese Trendentwicklung (BBSR, 2016b).

Insgesamt gibt es acht Großstädte in Bayern mit über 100.000 Einwohnern (Bayerisches Landesamt für Statistik, 2016), aufgeführt in Tabelle 18, die in dieser Arbeit behandelt werden. Für den Vergleich der acht Großstädte und ihrer ST werden Geodaten ausgewertet. Im folgenden Kapitel werden die verwendeten Daten vorgestellt und erläutert, welche Aussagekraft sie in Bezug auf die Frage- und Zielstellung besitzen.

| <b>Stadt</b> | <b>Einwohnerzahl</b> |
|--------------|----------------------|
| München      | 1.429.600            |
| Nürnberg     | 501.100              |
| Augsburg     | 281.100              |
| Regensburg   | 142.300              |
| Ingolstadt   | 131.000              |
| Würzburg     | 124.200              |
| Fürth        | 121.500              |
| Erlangen     | 106.400              |

Tabelle 18: Einwohnerzahlen bayerischer Großstädte Stand 2015

### 5.3 Datengrundlage

Für die Bearbeitung waren die ALKIS-Vektordaten der digitalen Flurkarte, der tatsächlichen Nutzung sowie des 3D-Gebäudemodells zweckdienlich, die vom bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) zur Verfügung gestellt wurden. In den Datensätzen sind wichtige Objekte der realen Welt digitalisiert, wodurch bspw. sämtliche Siedlungsflächen der Städte sowie auch außerdem Vegetations- und Verkehrsflächen, mit ihren zugeordneten Nutzungsarten als Geobjekte (Polygone) vorliegen. Auch für die Gebäude liegen Vektordaten vor, die u. a. Informationen zu Fläche und Höhe enthalten.

### 5.4 Kartierung von Siedlungstypen

Um ähnliche Wohnblöcke in unterschiedlichen Städten miteinander vergleichen zu können, war eine umfassende Kartierung nötig, bei der die Siedlungstyp Blockrandbebauung, Historische Altstadtbebauung und Zeilenbebauung in allen Großstädten identifiziert wurden. Hierfür wurden Kartierungskriterien entwickelt, die einerseits die strukturellen Gegebenheiten in den Modellbereichen berücksichtigen und andererseits auf Definitionen der Siedlungstypen aus der Literatur zurückgreifen. Bei der Formulierung der Kriterien wurde berücksichtigt, dass für die Kartierung georeferenzierte Liegenschaftsdaten von Flurstücken und Gebäuden sowie Orthofotos zur Verfügung standen. Dementsprechend zählen die Anordnung von Gebäuden und deren Höhe zu den wichtigsten Faktoren, die über die Zuordnung eines Wohnblocks zu einem ST entscheiden.

## Kennzahlen für den Vergleich der Siedlungstypen

Die Kennzahlen, anhand derer das Übertragbarkeitspotential für die Klimaanpassungsmaßnahmen abgeschätzt wurde, umfassen auf Stadtebene die Anzahl und die Gesamtfläche der kartierten Wohnblöcke je Siedlungstyp. Auf Wohnblockebene wurden Gesamt- und Freiraumfläche sowie Gebäudehöhe, -fläche und -volumen betrachtet. Absolute Zahlen wurden wenn möglich in relative Größen überführt. Beispiele hierfür sind die Grundflächenzahl (GRZ) und die Baumassezahl (BMZ), die die Gebäudefläche und das Volumen in Relation zur Wohnblockfläche setzen. Die Bedeutung dieser Parameter für diese Forschungsvorhaben ist bereits am Beispiel von Begrünungsmaßnahmen erwähnt worden, sie sind aber auch wichtige Faktoren bei der Berechnung von Heizenergiebedarfs-Szenarien und der Simulation des Freiraumklimas.

Auf Grundlage der Erkenntnisse zu urbanen Wärmeinseln und Regulationsleistungen grüner Infrastruktur sind vulnerabilitätsbestimmenden Kennzahlen entwickelt worden. In einem Puffergebiet von 500 m um die kartierten Wohnblöcke wurden zunächst die prozentuale Siedlungstypenzusammensetzung aus Verkehrs-, Siedlungs-, Gewerbe- und Grünflächen als Indiz für Flächenversiegelung und Bebauungsdichte betrachtet. Die Anzahl der Grünflächen ist eine relevante Kenngröße bei der Beurteilung der Freiraumqualität. Größeren Grünflächen mit einer Fläche >2,5 ha wurde unterstellt, dass sie ein kühlendes Mikroklima entwickeln können, das sich auch positiv auf die angrenzende Bebauung auswirken kann. Sie wurden daher unter dem Begriff potentielle Regulationsflächen zusammengefasst und deren Anzahl und Gesamtfläche betrachtet. Zuletzt wurde die Vernetzung der Wohnblockumgebung mit potentiellen Regulationsflächen ermittelt, indem die Länge der Kontaktanten zwischen Grünfläche und umliegender Bebauung in Relation zum Umfang des Puffergebietes gesetzt wurde. Je größer der berechnete Wert, desto stärker ist die Vernetzung und desto leichter haben Bewohner Zugang zu den Grünflächen. Durch eine vorangegangene Datenaufbereitung wurde sichergestellt, dass schmale Wegenetze innerhalb der Grünanlagen eliminiert wurden, die ansonsten Parkanlagen in viele Einzelflächen fragmentiert hätten.

Tabelle 19 zeigt die erarbeiteten Kategorien, die nach der Siedlungstyp-Kartierung für jede Stadt ermittelt wurden. Es handelt sich dabei um strukturelle Faktoren für die Bewertung des Übertragbarkeitspotentials und vulnerabilitätsbestimmende Größen für die Beurteilung der Resilienz von Siedlungstypen.

| Stadt  | Wohnblock   | Umgebung der Wohnblöcke   |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anzahl Wohnblöcke</li> <li>- Gesamtfläche</li> <li>Siedlungstyp</li> <li>- Anteil an UMZ</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wohnblockfläche</li> <li>- Gebäudefläche</li> <li>- Freiraumfläche</li> <li>- Gebäudehöhe</li> <li>- Gebäudevolumen</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Siedlungstypenzusammensetzung</li> <li>- Anzahl an Grünflächen</li> <li>- Anzahl an pot. Regulationsflächen</li> <li>- Kantenlänge und Vernetzung</li> <li>- Gesamtfläche pot. Regulationsflächen</li> </ul> |

Tabelle 19: Kennwerte Siedlungstypologie

## 5.5 Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass in allen acht bayerischen Großstädten Wohnblöcke mit den Siedlungstyp Blockrandbebauung, Historische Altstadtbebauung und Zeilenbebauung zu finden sind (einzige Ausnahme ist Ingolstadt, für das keine Wohnblöcke dem Typ Blockrandbebauung zugeordnet werden konnten). Damit sind die vom ZSK TP1 vorgeschlagenen Anpassungsmaßnahmen grundsätzlich für alle betrachteten Städte relevant.

Die Anzahl der Wohnblöcke, ihre Gesamtfläche und der Anteil an der sog. „urban morphological zone“ (UMZ) variiert aber für die verschiedenen Siedlungstypen sehr stark zwischen den Städten und steht nur bedingt in Zusammenhang mit der Größe der Städte. Die „urban morphological zone“ (UMZ) entspricht dabei dem besiedelten Gemeindegebiet und repräsentiert die Summe der Siedlungs- und Verkehrsflächen. Sie wurde für das „Urban vulnerability map book“ der Europäischen Umweltagentur (European Environment Agency, 2016) verwendet.

So finden sich in München 654 und in Nürnberg 520 Einzelblöcke mit Blockrandbebauung, während in den anderen Städten dieser Siedlungstyp im Durchschnitt nur 37 Mal vorkommt. Beim Siedlungstyp Zeilenbebauung ist es ähnlich: München hat 585 Wohnblöcke dieses Typs, Nürnberg 257 und Augsburg 103. In den restlichen Städten kommt der Siedlungstyp im Schnitt 50 Mal vor. Ein abweichendes Bild zeigt sich beim Siedlungstyp Historische Altstadtbebauung. Hier finden sich die meisten Wohnblöcke in Nürnberg (206), Würzburg (172), Augsburg (156) und Regensburg (150). Weniger häufig kommt dieser Typ in Ingolstadt und Erlangen (65) vor und in Fürth und München nur sehr selten (21). Hier wird auch besonders deutlich, dass Anzahl und Gesamtfläche der Wohnblöcke gesondert voneinander betrachtet werden müssen. Obwohl in Augsburg deutlich weniger Blöcke der Historische Altstadtbebauung identifiziert werden konnten als in Nürnberg, nimmt der Siedlungstyp in der Fuggerstadt eine besonders große Gesamtfläche ein (über 100 ha), da die einzelnen Wohnblöcke im Durchschnitt sehr viel größer sind als in Nürnberg.

Auch der Vergleich weiterer Kennzahlen der Siedlungstyp macht deutlich, dass oftmals kein einheitliches Niveau über Stadtgrenzen hinweg besteht. Vielmehr ist in der Regel eine unterschiedlich hohe Abweichung zwischen den Städten sowie von den Kennzahlen der Modellbereiche zu erkennen.

Darüber hinaus weisen sämtliche Beobachtungen der Kennzahlen eine hohe Standardabweichung auf, die in Einzelfällen extreme Werte annimmt. Daraus lässt sich schließen, dass für die betrachteten strukturellen Eigenschaften nicht ein einziger repräsentativer Wert existiert, sondern die Wohnblöcke auch innerhalb einer Stadt sehr unterschiedlich ausgeprägt sind. Diese Befunde wirken sich a) auf das Übertragbarkeitspotential von Handlungsmaßnahmen aus den Modellbereichen und b) auf das Ausmaß an Vulnerabilität der Wohnblöcke aus.

## Blockrandbebauung

Die Auswertung der Median-Kennzahlen für den Siedlungstyp Blockrandbebauung zeigt, dass fünf der Städte ähnlich große Wohnblöcke des Typs haben, die entsprechenden Medianwerte aber kleiner sind als bei Wohnblöcken in München und damit auch als der Modellbereich Maxvorstadt. Ähnlich verhält es sich bei Gebäudefläche und Gebäudevolumen. Besonders groß ist der Unterschied beim Niveau der Gebäudehöhe, wo der niedrigste Wert 6 m von der Modellblock-Höhe von 18 m abweicht.

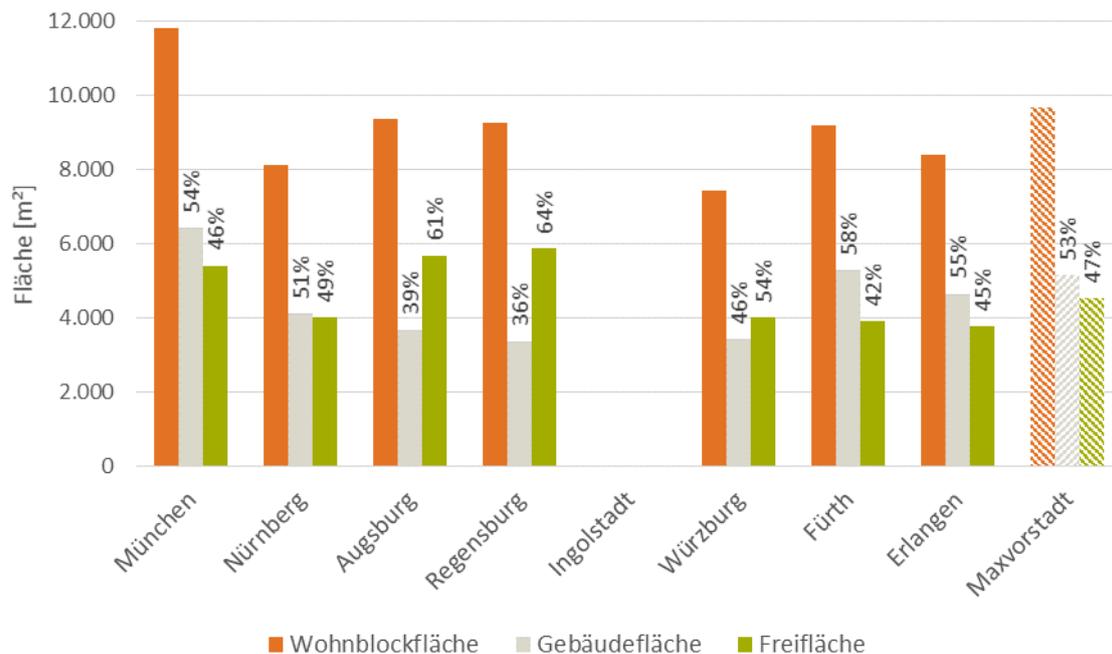


Abbildung 74: Flächenzusammensetzung im ST Blockrandbebauung

Der Modellbereich Maxvorstadt stellt damit einen Wohnblock dar, der tendenziell größer ist und mit höheren und voluminöseren Gebäuden bebaut ist. Für die Übertragbarkeit der entwickelten Handlungsmaßnahmen bedeutet dies, dass z. B. Fassadenbegrünungen (und die daraus resultierenden Regulationsleistungen) in anderen Städten nicht vollumfänglich angewendet werden können. Gegebenenfalls ist daher eine Anpassung der Handlungsmaßnahmen nötig, die das niedrigere Kennzahlenniveau des Siedlungstyps Blockrandbebauung außerhalb Münchens berücksichtigt. Unabhängig davon muss eine Einzelfallbetrachtung der Wohnblöcke stets Bestandteil der Planungen sein.

Weniger stark variieren die Ausprägungen der Freiraummerkmale für diesen Siedlungstyp. Lediglich Regensburg und Augsburg unterscheiden sich deutlich von den anderen Städten und auch dem Modellbereich Maxvorstadt, da sie mit über 60% einen sehr hohen Grünflächenanteil haben.

Kein nennenswerter Unterschied konnte hingegen bei der Untersuchung der Umgebung der Wohnblöcke festgestellt werden. Sowohl die Siedlungstypenzusammensetzung (Verkehrs-, Siedlungs-, Grünflächen u. Ä.), als auch die Anzahl an Grün- und potentiellen Regulationsflächen und deren Vernetzung mit Siedlungsflächen gleichen sich beim Siedlungstyp Blockrandbebauung über Städtegrenzen hinweg. Verkehrsflächen nehmen ca. ein Viertel der Fläche ein und Wohnbauflächen zwischen einem Drittel und 40%. Der Gesamtanteil an Siedlungsflächen ist in Würzburg, Nürnberg und München mit etwa 60% am höchsten und die zwei letztgenannten Städte haben zudem einen besonders hohen Anteil an Industrie- und Gewerbeflächen in der Umgebung des Siedlungstyp Blockrandbebauung.

Hinsichtlich der Vulnerabilität des Siedlungstyps Blockrandbebauung unterscheiden sich die Städte somit in der Regel nicht nennenswert voneinander. In Einzelaspekten (insbesondere quantitative Kennzahlen) gibt es trotzdem Städte, die resilienter erscheinen als andere (z. B. Regensburg und Augsburg in Bezug auf die Freiraumzusammensetzung, Erlangen in Bezug auf die Gebäudehöhe).

### Zeilenbebauung

Wohnblock-, Gebäudefläche und Gebäudevolumen des Siedlungstyps Zeilenbebauung weisen im Städtevergleich unterschiedlich hohe Medianwerte auf, die teilweise deutlich voneinander abweichen. Werden diese Werte aber zueinander in Relation gesetzt, zeigt sich, dass sowohl GRZ als auch BMZ für den Siedlungstyp in allen Städten annähernd gleich groß sind. Ebenso verhält es sich bei der Gebäudehöhe, die in den betrachteten Wohnblöcken und auch im Modellbereich bei 13-16 m liegt. Eine bemerkenswerte Ähnlichkeit herrscht auch bei der Siedlungstypenzusammensetzung in der Umgebung der Wohnblöcke sowie bei Anzahl und Verteilung von Grün- und potentiellen Regulationsflächen und deren Vernetzung mit Siedlungsstrukturen.

Lediglich bei der Wohnblockfläche besteht eine große Diskrepanz: Grundsätzlich sind die Wohnblöcke des Siedlungstyp deutlich kleiner als der Modellbereich in Neuaubing. Im Extremfall beträgt der Größenunterschied 38.000 m<sup>2</sup> (Neuaubing – Würzburg, Faktor 7). Damit ist keine Aussage über eine unterschiedlich hohe Vulnerabilität innerhalb des Siedlungstyps Zeilenbebauung möglich.

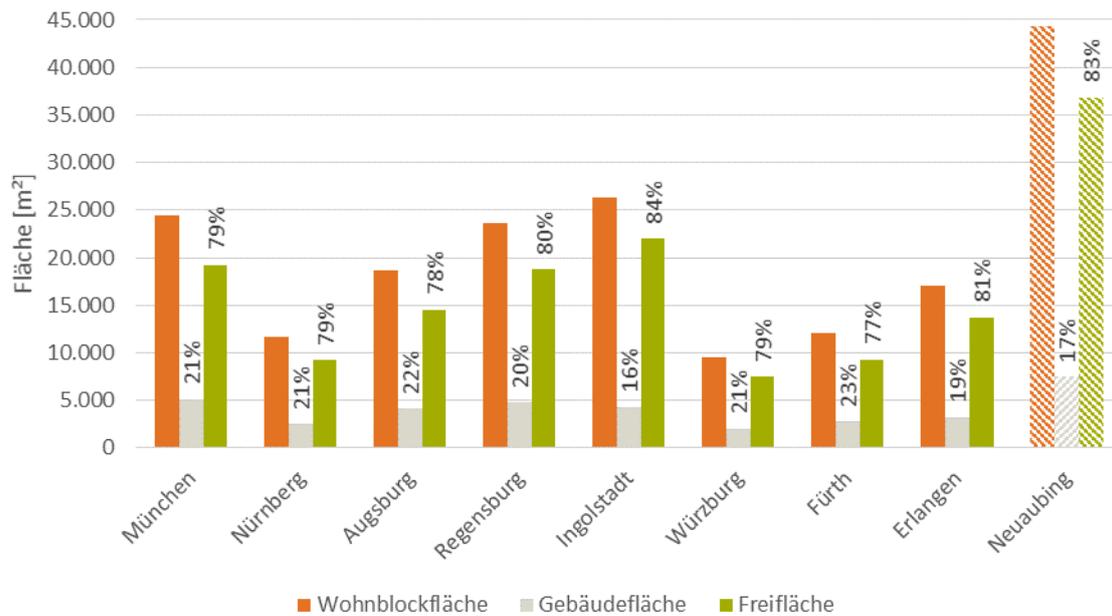


Abbildung 75: Flächenzusammensetzung von Wohnblöcken mit Siedlungstyp Zeilenbebauung

Da sich die strukturellen Eigenschaften des Siedlungstyps in vielen betrachteten Aspekten sehr stark ähneln, kann die Übertragbarkeit von Klimaanpassungsmaßnahmen als gegeben angesehen werden. Dies betrifft insbesondere die Kennzahlen Gebäudehöhe, GRZ und BMZ.

Die einzige Einschränkung für die Übertragbarkeit ergibt sich eventuell aus der Wohnblockfläche, die im Modellbereich bedeutend größer ist als außerhalb. Diese Tatsache kann Auswirkungen auf das Potential für Freiraumbegrünung haben, unabhängig von der beobachteten GRZ. Es muss im Planungsprozess daher unbedingt berücksichtigt werden, dass außerhalb des Modellbereichs kleinere Wohnblockflächen zu erwarten sind.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die drei untersuchten Siedlungstypen in allen acht größten Städten Bayerns, mit Ausnahme der Zeile in Ingolstadt, vorkommen und die Sanierungs- und Begrünungsmaßnahmen für die Städte gleichermaßen wichtig sind. Gleichwohl weichen ihre Eigenschaften von den ausgewählten Modellbereichen ab. Trotz dieser Schwankungsbreiten bei siedlungsstrukturellen Merkmalen sind sie eine geeignete Bezugsebene für spezifische Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen, denn alle vorgeschlagenen Maßnahmen lassen sich dort (unter Berücksichtigung der genannten besonderen Strukturen) umsetzen.

## Historische Altstadtbebauung

Sowohl bei Medianwerten der Wohnblockfläche als auch bei Gebäudefläche und -volumen ähneln sich die Wohnblöcke des Siedlungstyp Historische Altstadtbebauung sehr stark (Ausnahme: Gebäudefläche in München) und auch eine Übereinstimmung mit den Kennzahlen des Modellbereichs ist gegeben. Bei der Flächenzusammensetzung zeigt sich ein systematischer Unterschied: Die Wohnblöcke der Großstädte sind dichter bebaut (GRZ durchschnittlich 0,62) als der Modellbereich in Würzburg/Heidingsfeld (GRZ = 0,49). Dieser hat auch deutlich niedrigere Gebäude (10 m) als die anderen Städte, in denen die Höhe Werte von 11-19 m annimmt und mit der Stadtgröße korreliert.

Die Siedlungstypenzusammensetzung in der Umgebung der Wohnblöcke ist bei Historischer Altstadtbebauung sehr unterschiedlich, tendenziell ist aber der Siedlungs- und Verkehrsflächenanteil in größeren Städten am höchsten. Auch die Anzahl an Grün- und potentiellen Regulationsflächen variiert stark (München, Nürnberg und Augsburg 10%, Ingolstadt 31%, Fürth 45%). Aus der Kombination dieser Kennzahlen ergibt sich, dass der Siedlungstyp in einwohnerschwachen Städten eine höhere Resilienz aufweist.

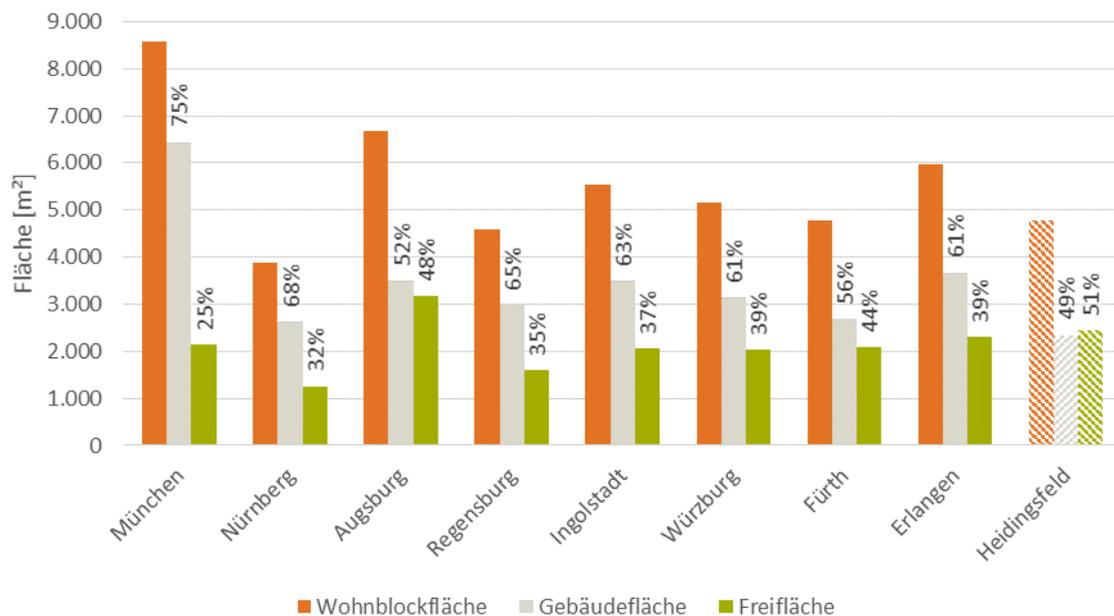


Abbildung 76: Flächenzusammensetzung im ST Historische Altstadtbebauung

Die Sonderstellung des Modellbereichs hinsichtlich Gebäudehöhe und Freiflächenzusammensetzung wirft die Frage auf, ob der Wohnblock in Würzburg/Heidingsfeld als Repräsentant für den Siedlungstyp Historische Altstadtbebauung geeignet ist. Einerseits ist nicht sicher, ob entwickelte Anpassungsmaßnahmen übertragen werden können, wenn sie von strukturellen Eigenschaften wie Gebäudehöhe oder Freiflächenverfügbarkeit abhängen. Darüber hinaus ist anzuzweifeln, dass die simulierten Auswirkungen des Klimawandels auf den Modellbereich einen vergleichbaren Einfluss haben wie auf die viel dichter bebauten Wohnblöcke des Siedlungstyps in anderen Städten. Möglicherweise ist die Vulnerabilität der Historischen Altstadtbebauung außerhalb des Modellbereichs deutlich höher.

## 6. Wissensverbreitung

Innerhalb der Bearbeitungszeit des TP1 fanden 3 Workshops mit Partnern aus Wissenschaft und Praxis statt. Alle Workshops hatten zum Ziel, über die laufenden Arbeiten des Projekts zu informieren, die Zwischenergebnisse mit Experten aus der Praxis rückzukoppeln und den fachlichen Austausch zu fördern. Berichte zu den Veranstaltungen finden sich in den jeweiligen Zwischenberichten.

1. ZSK Expertenworkshop am 22. November 2013
2. ZSK Partnerstädte Workshop am 4. Juni 2014
3. ZSK Workshop "Wirkung grüner Infrastrukturen – Herausforderungen in der Praxis" am 21. Mai 2015

Zum Abschluss des TP1 fand am 15. Mai 2017 das ZSK Symposium statt, bei dem zuerst in einer Podiumsdiskussion der Brückenschlag zwischen Forschungsergebnissen und deren praktischer Anwendung in Kommunen diskutiert und im Anschluss die Ergebnisse bzw. Zwischenergebnisse der einzelnen ZSK Teilprojekte präsentiert und diskutiert wurden. In der Präsentation des TP1 wurde sowohl die Forschungsergebnisse aus den einzelnen Arbeitspaketen als auch die daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen zur Umsetzung von Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen vorgestellt. Am Symposium nahmen 93 angemeldete Vertreter aus Wissenschaft und Praxis teil.

Während der Laufzeit des Projekts konnten der Forschungsansatz, Ergebnisse sowie Handlungsempfehlungen auf verschiedenen Veranstaltungen einer breiten Öffentlichkeit präsentiert werden. Der Forschungsansatz und die Ergebnisse der einzelnen APs wurden auf Fachkonferenzen zu den jeweiligen Themen innerhalb Deutschlands und vorrangig im europäischen Ausland vorgestellt und zur wissenschaftlichen Diskussion gestellt. Eine Übersicht über alle Konferenzbeiträge und weitere Veröffentlichungen findet sich in Tabelle 48 im Anhang.

Der breiteren Öffentlichkeit das Thema der Integration von Klimaschutz und Klimaanpassung näherzubringen ist ein erklärtes Ziel des ZSK TP1. Dazu boten sich verschiedenste Veranstaltungsformate an, u.a. die EURO CITIES Konferenz im November 2014 in München, die Regionalkonferenz Alpen des StMUV im September 2015 in München und die Münchner Wissenschaftstage zum Thema „Städte der Zukunft“ im November 2015. Um den Besuchern dieser Veranstaltungen zusätzliches Informationsmaterial anbieten zu können, wurden Flyer mit den relevantesten Projekthaltungen auf Deutsch und Englisch entworfen und ausgelegt. Die Flyer stehen auch auf der Projekthomepage zum Download bereit. Weitere Veranstaltungen mit Beteiligung des TP1 finden sich in den jeweiligen Zwischenberichten.

Um die Öffentlichkeit und kommunale Akteure für Klimawandelauswirkungen und den Handlungsbedarf in Städten zu sensibilisieren und über Handlungsmöglichkeiten zu informieren, wurde ein Leitfaden entwickelt. Dieser richtet sich an Bürger und Entscheidungsträger in bayerischen Kommunen und präsentiert zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten von urbanen Räumen inklusive konkreter Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen. Vor allem die Leistung der urbanen grünen Infrastruktur stand dabei im Mittelpunkt. In verschiedenen Kapiteln informiert der Leitfaden die prognostizierten Auswirkungen des Klimawandels in Bayern (Grundlagen Kapitel 1-4). Ausgewählte Maßnahmen, wie dessen Folgen begegnet werden kann, werden vorgestellt und anhand der drei verschiedenen Siedlungstypen aufgezeigt, die das TP1 bearbeitet hat (Kapitel 5-7). Abschließend zeigt eine Übersicht die verfügbaren Instrumente für die kommunalen Planungsprozesse. Die Inhalte des Leitfadens wurden auf dem ZSK Symposium am 15. Mai erstmals der Öffentlichkeit vorgestellt.

## 7. Ausblick

Während der Projektlaufzeit stellte sich heraus, dass vor allem die Flächenkonkurrenzen in wachsenden Städten die größte Herausforderung für die Planung darstellen. In Gesprächen mit kommunalen Vertretern wurde immer betont, dass die Nutzung der stark limitierten städtischen Freiräume für entweder Nachverdichtung oder Erhalt und Erweiterung von Grünflächen das drängendste Thema ist. Es gilt, die steigende Nachfrage nach Wohnraum mit den Anforderungen an klimaresiliente Stadtstrukturen zu vereinbaren. Um diese Anforderungen gleichzeitig bewältigen zu können, brauchen Städte Handlungsanweisungen und eine wissenschaftliche Argumentationsgrundlage für die Planung von funktionalen Grünstrukturen.

Um die Implementierung grüner Maßnahmen für Klimaresilienz in der Stadtentwicklung zu unterstützen, ermöglicht ein vom BMBF gefördertes Vorhaben der Lehrstühle „Energieeffizientes und Nachhaltiges Planen und Bauen“ und „Strategie und Management der Landschaftsentwicklung“ Planungsprozesse und -instrumente anhand von Reallaboren zu untersuchen und weiterzuentwickeln und somit die im TP 1 begonnene Forschungsarbeit fortzuführen. Das Vorhaben ist am 1. Mai 2017 gestartet und wird zusammen mit der Landeshauptstadt München der Ludwig-Maximilians-Universität München und dem Institut für ökologisches Wirtschaften durchgeführt.

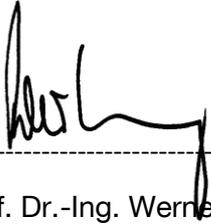
Neben den Untersuchungen städtischer Planungsprozesse ist es auch entscheidend, den kommunalen Entscheidern belegbare Daten zu Nachverdichtung zu liefern. Als Fortführung des TP 1 bietet sich daher an, Auswirkungen unterschiedlicher Nachverdichtungskonzepte auf den Klimaschutz (Energiebedarf, THG-Emissionen) und Klimaanpassung (Mikroklima, Außenraum) unter Berücksichtigung des Klimawandels zu quantifizieren und vor dem Hintergrund bestehender Rechtsverordnungen zu bewerten. Eine Projektskizze dazu wurde beim StMUV im Februar 2017 eingereicht.

Um der Stadt als komplexes Gefüge gerecht zu werden und sich den Herausforderungen, die alle Lebensbereiche betreffen, zu stellen, hat sich der interdisziplinäre Ansatz des TP 1 bewährt. Durch die integrative Betrachtung von Klimaschutz und Klimaanpassung sowie Freiraumqualität und Biodiversität konnten in TP 1 bereits wichtige Fragestellungen angegangen werden. In zukünftige Forschungsvorhaben müssen dennoch weitere Disziplinen wie z.B. Mobilität und menschliche Gesundheit einbezogen werden. Dies hat das TP 1 der Erarbeitung von drei weiteren Forschungsvorhaben forciert:

- Antrag „Cities as Living Systems“ für die Exzellenzinitiative mit einem TUM Konsortium bestehend aus über 25 Lehrstühlen (abgelehnt)
- Antrag „Klimaorientierte Strategien für resiliente Städte“ bei BayKlif mit Partnern an der TUM und Universität Würzburg, Koordination Prof. Dr. Hamacher (wird begutachtet)
- Antrag „Gesundheit und Klima in Augsburg“ bei BayKlif mit Partnern an der TUM und Universität Augsburg, Koordination Prof. Dr. Traidl-Hoffmann (wird begutachtet).

Neben der Erarbeitung von wissenschaftlichen Erkenntnissen für die bayerischen Kommunen ist es auch ein wichtiges Anliegen, die Bevölkerung über die zu erwartenden Klimawandelauswirkungen und die Anpassungsmöglichkeiten daran durch grüne Infrastruktur zu sensibilisieren. Unter dem Dach des ZSK gibt ein neues Forschungsvorhaben nun die Möglichkeit dazu: im Rahmen der Landesgartenschau 2018 werden in Würzburg an verschiedenen Stationen die Regulationsleistungen von Bäumen auf das urbane Mikroklima vermessen und direkt vor Ort für Besucher erlebbar gemacht. Das Projekt wird seit dem 1. Mai 2017 vom StMUV gefördert und von Lehrstühlen für „Strategie und Management der Landschaftsentwicklung“ und „Waldwachstumskunde“ zusammen mit der Universität Würzburg bearbeitet.

Auch nach dem Abschluss des TP 1 läuft das erweiterte ZSK mit seinen Teilprojekten und der Koordinationsstelle weiter.



(Prof. Dr.-Ing. Werner Lang)



(Prof. Dr. Stephan Pauleit)

München, 31.07.2017

Technische Universität München  
Zentrum Stadtnatur und Klimaanpassung (ZSK)  
Raum 4157  
Arcisstraße 21  
80333 München  
Tel.: +49 89 289-23852  
Fax.: +49 89 289-23991

## Referenzen

- Akbari, H. (2002). Shade trees reduce building energy use and CO<sub>2</sub> emissions from power plants. *Environmental Pollution*, 116(1), 119-126.
- Alavipanah, S., Wegmann, M., Qureshi, S., Weng, Q., & Koellner, T. (2015). The Role of Vegetation in Mitigating Urban Land Surface Temperatures: A Case Study of Munich, Germany during the Warm Season. *Sustainability*, 7(4), 4689.
- AMICA Klima-Bündnis. (2007). Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel - ein integrierter Politikansatz. Frankfurt am Main.
- Ammon, S. (2013). Wie Architektur entsteht – Entwerfen als epistemische Praxis. In S. Ammon & E. M. Froschauer (Eds.), *Wissenschaft entwerfen* (pp. 336-360). Wilhelm Fink: München.
- Ansel, W., Baumgarten, H., Dickhaut, W., Kruse, E., & Meier, R. (2011). Leitfaden Dachbegrünung für Kommunen. Nürtingen: HafenCity Universität Hamburg (HCU).
- Armson, D., Stringer, P., & Ennos, A. R. (2013). The effect of street trees and amenity grass on urban surface water runoff in Manchester, UK. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(3), 282-286. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2013.04.001>
- Arnold, C. L. J., & Gibbons, J. . (1996). Impervious Surface Coverage: The Emergence of a Key Environmental Indicator. *Journal of the American Planning Association*, 62(2), 243-285.
- Barker, T., Bashmakov, I., Alharthi, A., Amann, M., Cifuentes, L., Drexhage, J., . . . Yamaji, K. (2007). Mitigation from a cross-sectoral perspective. In B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave & L. A. Mayer (Eds.), *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Bauer, H.-G., & Berthold, P. (1997). Die Brutvögel Mitteleuropas. Bestand und Gefährdung.
- Baumann, N. (2006). Ground-Nesting Birds on Green Roofs in Switzerland: Preliminary Observations. *Urban Habitats*, 4, 37-44.
- Bayerisches Landesamt für Statistik. (2016). Bevölkerungszahlen.
- Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) (Ed.). (1999). *Arten- und Biotopschutzprogramm Landkreis Würzburg*. München.
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUVG) (Ed.). (2004). *Arten- und Biotopschutzprogramm Bayern – Stadt München*. München.
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG). (2013). Klimaschutz Bayern 2020. München.
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV). (2015a). Folgen des Klimawandels - Verkehr, Tourismus und Energieversorgung vor neuen Herausforderungen: Ein Leitfaden. München.
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV). (2015b). Klima-Report Bayern 2015 (ed.).
- Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie (StMWi). (2015a). Aktuelle Zahlen zur Energieversorgung in Bayern - Prognose für die Jahre 2013 und 2014.
- Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie (StMWi) (Producer). (2015b). Energie Atlas Bayern: Fragebogen 2015-12-02-1. Retrieved from

<http://geoportal.bayern.de/energieatlas-karten/?jsessionid=5DAACE478A3C4B13E01EAA091A01DF08?wicket-crypt=USl6Rvh2uqY>

- Beierkuhnlein, C. (2014). *Auswirkungen des Klimawandels auf Fauna, Flora und Lebensräume sowie Anpassungsstrategien des Naturschutzes*. Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- Beierkuhnlein, C., Fischer, D., & Thomas, S. (2011). Biogeographische Analyse gesundheitsrelevanter Arten und Prognose ihres Ausbreitungspotenzials in Bayern unter künftig veränderten Klimabedingungen. Retrieved 20.01.2016, from [https://www.lgl.bayern.de/forschung/forschung\\_interdisziplinaer/fp\\_vicci\\_projekt7\\_bericht.htm](https://www.lgl.bayern.de/forschung/forschung_interdisziplinaer/fp_vicci_projekt7_bericht.htm)
- Benedict, M. E., & McMahon, E. T. (2006). Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities. *Landscape Ecology*, 22(5), 797-798. doi: 10.1007/s10980-006-9045-7
- Blesl, M. (2002). Räumlich hoch aufgelöste Modellierung leitungsgebundener Energieversorgungssysteme zur Deckung des Niedertemperaturwärmebedarfs *Forschungsbericht* (Vol. Band 92). Stuttgart: Universität Stuttgart.
- BMVBS, B. f. V. B. u. S. (2011). ImmoKlima  
Immobilien- und wohnungs-  
wirtschaftliche Strategien und  
Potenziale zum Klimawandel *Ein ExWoSt-Forschungsvorhaben*. Berlin.
- Böhm, J., Böhme, C., Bunzel, A., Kühnau, C., & Reinke, M. (2016). Urbanes Grün in der doppelten Innenentwicklung *BfN Skripten* (Vol. 444). Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147-155. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>
- Brenneisen, S. (2003). *Ökologisches Ausgleichspotenzial von extensiven Dachbegrünungen – Bedeutung für den Arten- und Naturschutz und die Stadtentwicklungsplanung*. (Doctoral dissertation), Universität Basel, Basel.
- Brenneisen, S. (2005). *Naturraum Dach (NADA) – Untersuchung von Nutzungen extensiver Dachbegrünungen durch Wildbienen*. Wädenswil: Hochschule Wädenswil.
- Brenneisen, S. (2006). Space for Urban Wildlife: Designing Green Roofs as Habitats in Switzerland. *Urban Habitats*, 4, 27-36.
- Bründl, W., Mayer, H., & Baumgartner, A. (1986). *Untersuchung des Einflusses von Bebauung und Bewuchs auf das Klima und die lufthygienischen Verhältnisse in bayerischen Großstädten*. München: Lehrstuhl für Bioklimatologie und Angewandte Meteorologie der Universität München.
- Bründl, W., Mayer, H., & Baumgartner, A. (1986). Untersuchung des Einflusses von Bebauung und Bewuchs auf das Klima und die lufthygienischen Verhältnisse in bayerischen Großstädten *Klimamessungen München*. München: Lehrstuhl für Bioklimatologie und Angewandte Meteorologie der Universität München.
- Bruse, M., & Environmental Modelling Group. (2015). ENVI-met. Retrieved 2015/02/01, from <http://envi-met.info/>
- Bundeministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). (2017). Weißbuch Stadtgrün, Grün in der Stadt - Für eine lebenswerte Zukunft. Berlin.
- Bundesamt für Naturschutz (BfN). (2011). Noch wärmer, noch trockener? Stadtnatur und Freiraumstrukturen im Klimawandel *Naturschutz und Biologische Vielfalt* (Vol. 111). Bonn.

- Bundesamt für Naturschutz (BfN). (2016a). *floraweb – Hitliste der Schmetterlingspflanzen*. floraweb.de/pflanzenarten/schmetterlingspflanzen.xsql (zuletzt abgerufen am 20.04.2017): Bundeamt für Naturschutz (BfN).
- Bundesamt für Naturschutz (BfN) (Ed.). (2016b). *Schutz gebäudebewohnender Tierarten vor dem Hintergrund energetischer Gebäudeesanierung in Städten und Gemeinden*. Bonn: Bundeamt für Naturschutz (BfN).
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). (2015a). *Überflutungs- und Hitzevorsorge durch die Stadtentwicklung Strategien und Maßnahmen zum Regenwassermanagement gegen urbane Sturzfluten und überhitzte Städte* Bonn.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). (2015b). *Von Science-Fiction-Städten lernen - Szenarien für die Stadtplanung*. Bonn.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). (2016a). *Anpassung an den Klimawandel in Stadt und Region - Forschungserkenntnisse und Werkzeuge zur Unterstützung von Kommunen und Regionen*. Bonn.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). (2016b). Raubeobachtung.de. Retrieved 02.05.2017, from [http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raubeobachtung/raubeobachtungde\\_node.html](http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raubeobachtung/raubeobachtungde_node.html)
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). (2017). *Gartenstadt 21 Grün - Urban - Vernetzt*. Bonn.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). (2015). *Zukunftsstadt: Strategische Forschungs- und Innovationsagenda*. In K. Referat Nachhaltigkeit, Energie (Ed.). Berlin.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). (2015a). *Gemeinschaftsgärten im Quartier - Handlungsleitfaden für Kommunen*. Berlin.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). (2015b). *Grün in der Stadt - Für eine lebenswerte Zukunft: Grünbuch Stadtgrün*. Berlin.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (Ed.). (2016). *Umweltgerechtigkeit in der Sozialen Stadt – Gute Praxis an der Schnittstelle von Umwelt, Gesundheit und sozialer Lage*.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). (2013a). *Heute Zukunft gestalten - Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel*. Berlin.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). (2013b). *Leitfaden nachhaltiges Bauen*. Berlin.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). (2013c). *StadtKlima: Kommunale Strategien und Potenziale zum Klimawandel. Expertisen ExWoSt Informationen (Vol. 39)*. Berlin.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). (2016). *Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel. Regionale Klimaanpassung: Regionalplanerische Festlegungen und Beratungsprodukte MORO Informationen (Vol. 13)*. Berlin.
- Chiquet, C., Dover, J. W., & Mitchell, P. (2012). Birds and the urban environment: the value of green walls. *Urban Ecosystems*, 16(3), 453-462. doi: 10.1007/s11252-012-0277-9
- CIBSE-TM55. (2014). *Design for future climate: case studies*: The Chartered Institution of Building Services Engineers.
- Colla, S. R., Willis, E., & Packer, L. (2009). Can green roofs provide habitat for urban bees (Hymenoptera: Apidae)? *Cities and the Environment (CATE)*, 2(1), 4.
- Cook-Patten, S. C. (2015). Plant Biodiversity on Green Roofs In R. Sutton (Ed.), *Green Roof Ecosystems* (pp. 193-209). Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer.

- Czemiel Berndtsson, J. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*, 36(4), 351-360. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.014>
- Demuzere, M., Orru, K., Heidrich, O., Olazabal, E., Geneletti, D., Orru, H., . . . Faehnle, M. (2014). Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. *Journal of Environmental Management*, 146(0), 107-115. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.025>
- Deutsche Bundesregierung. (2008a). *Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel* Berlin.
- Deutsche Bundesregierung. (2008b). *Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel*. Berlin.
- Deutsche Bundesregierung. (2015). *Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel*.
- Deutscher Wetterdienst (DWD). (2015a). *Klimatologische Kenntage*. Retrieved 01.04.2015, from <http://www.deutscherwetterdienst.de/lexikon/index.htm?ID=K&DAT=Klimatologische-Kenntage>
- Deutscher Wetterdienst (DWD). (2015b). *Urbane Räume nachhaltig gestalten - Entscheidungshilfe für eine klimagerechte Stadtentwicklung*. Offenbach.
- Deutscher Wetterdienst (DWD). (2016). *Starkregen*. Retrieved 10/03/2017, from <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/begriffe/S/Starkregen.html>
- Deutsches Institut für Urbanistik (DIFU). (2011). *Klimaschutz in Kommunen Praxisleitfaden* Berlin.
- Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Difu). (2015). *KommAKlima: Kommunale Strukturen, Prozesse und Instrumente zur Anpassung an den Klimawandel in den Bereichen Planen, Umwelt und Gesundheit*. *KommAKlima*, 7.
- DHI. (2014). *MIKE SHE*. Retrieved 24.11.2014, from <http://www.mikebydhi.com/products/mike-she>
- Diehl, D. A. (2013). *Ein Garten für Fledermäuse – Lebensräume schaffen im naturnahen Garten*. Darmstadt: pala-verlag.
- Dietz, M., & Weber, M. (2000). *Baubuch Fledermäuse-Eine Ideensammlung für fledermausgerechtes Bauen*. *Arbeitskreis Wildbiologie Universität Gießen*, 223.
- DIN1946-6. (2009). *Raumlufttechnik - Teil 6: Lüftung von Wohnungen - Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung: DIN 1946-6:2009-05*.
- DIN4108-2. (2013). *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz: DIN 4108-2:2013-02*.
- Duguma, L. A., Wambugu, S. W., Minang, P. A., & van Noordwijk, M. (2014). A systematic analysis of enabling conditions for synergy between climate change mitigation and adaptation measures in developing countries. *Environmental Science & Policy*, 42, 138-148. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2014.06.003>
- Duhme, F., & Pauleit, S. (1997). *Naturschutzplanung in urbanen Räumen*. In K. H. E. L. Spandau (Ed.), *Naturschutz in Deutschland* (pp. 183-200). Stuttgart: Verlag E. Ulmer.
- Ellenberg, H. (1996). *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. Stuttgart: Ulmer.
- EnEV. (2014). *Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV)*. *Bundesgesetzblatt*, 2013(Teil I), 3951-3990.
- Epple, C., Korn, H., Kraus, K., & Stadler, J. (2010). *Biologische Vielfalt und Klimawandel*. Bonn: Bundesamt für Naturschutz.

- Erhorn-Kluttig, H., Jank, R., Schrempf, L., Dütz, A., Rumpel, F., Schrade, J., . . . Schmidt, D. (2011). *Energetische Quartiersplanung: Methoden-Technologien-Praxisbeispiele*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Essl, F., & Rabitsch, W. (2013). *Biodiversität und Klimawandel*. Berlin, Heidelberg: Spektrum.
- European Climate Adaptation Platform (Climate-ADAPT). (2016). Urban vulnerability to climate change in Europe - an interactive map book. Retrieved 14.07.2016, from <http://climate-adapt.eea.europa.eu/knowledge/tools/urban-adaptation/introduction>
- European Commission (EC). (2013). Green infrastructure - Enhancing Europe's natural capital *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions*. Brussels: European Commission.
- European Environmental Agency (EEA). (2012). Urban adaptation to climate change in Europe - Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies *EEA report* (Vol. 2/2012): EEA.
- Fahmy, M., & Sharples, S. (2011). Urban form, thermal comfort and building CO2 emissions - a numerical analysis in Cairo. *Building Services Engineering Research and Technology*, 32(1), 73-84. doi: 10.1177/0143624410394536
- Fahmy, M., Sharples, S., & Yahiya, M. (2010). LAI based trees selection for mid latitude urban developments: A microclimatic study in Cairo, Egypt. *Building and Environment*, 45(2), 345-357. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.014>
- Feist, W. (2016). Kriterien für den Passivhaus-, EnerPHit- und PHI-Energiesparhaus-Standard. Darmstadt: Passivhaus Institut.
- Fernandez-Canero, R., & Gonzalez-Redondo, P. (2010). Green Roofs as a Habitat for Birds: A Review. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9(15), 2041-2052.
- Fischer, F. (2016). *Vergleich struktureller Eigenschaften von Siedlungstypen in bayerischen Großstädten – Eine Geodaten-Analyse als Grundlage für die Übertragbarkeit von Klimaanpassungsmaßnahmen und Beurteilung der Vulnerabilität*. (Masterthesis), Technische Universität München, München.
- Foltyn, M., Komischke, H., & Schimdt, I. (2014). Vergleichende Analyse Globaler Klimamodellsimulationen für Bayern (Süddeutschland) und umliegende Gebiete: Bayerisches Landesamt für Umwelt.
- Forgy, E. W. (1965). Cluster analysis of multivariate data: efficiency vs interpretability of classifications. *Biometrics*, 21, 768-769.
- Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau e. V. (FLL). (2000). *Fassadenbegrünungsrichtlinie, Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen*. Bonn: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau e. V.
- Frank, T. (2005). Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland *Energy and Buildings*, 37, 1175-1185.
- Gaffin, S. R., Rosenzweig, C., & Kong, A. Y. Y. (2012). Adapting to climate change through urban green infrastructure. *Nature Clim. Change*, 2(10), 704-704.
- Gilbert, O. L. (1989). *Urban Ecology*. London: Chapman & Hall.
- Gloor, S. (2014). *Der ökologische Wert von Stadtbäumen bezüglich ihrer Bedeutung für die Biodiversität*. Zürich: SWILD Zürich.
- Gómez-Baggethun, E., & Barton, D. N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86, 235-245.
- Gregoire, B. G., & Clausen, J. C. (2011). Effect of a modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality. *Ecological Engineering*, 37(6), 963-969. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.02.004>

- Großklos, M. (2014). Kumulierter Energieaufwand und CO<sub>2</sub>-Emissionen verschiedener Energieträger und -versorgungen. Retrieved 01.09, 2016, from [http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/werkzeuge/kea.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/werkzeuge/kea.pdf)
- HafenCity Universität (HCU). (2017). KLIQ - Klimafolgenanpassung innerstädtischer hochverdichteter Quartiere in Hamburg. Retrieved 24-04-2017, from <https://www.hcu-hamburg.de/index.php?id=8361>
- Hall, J. M., Handley, J. F., & Ennos, A. R. (2012). The potential of tree planting to climate-proof high density residential areas in Manchester, UK. *Landscape and Urban Planning*, 104(3–4), 410–417. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.11.015>
- Hamdy, M., & Hensen, J. L. M. (2015). *Ranking of dwelling types in terms of overheating risk and sensitivity to climate change*. Paper presented at the Building Simulation 2015, Hyderabad, India.
- Hansen, R., Born, D., Lindschulte, K., Rolf, W., Bartz, R., Becker, C. W., . . . Pauleit, S. (2017). Grüne Infrastruktur im urbanen Raum: Grundlagen, Planung und Umsetzung in der integrierten Stadtentwicklung. In B. f. N. (BfN) (Ed.), *Abschlussbericht zum F+E-Vorhaben „Grüne Infrastruktur im urbanen Raum: Grundlagen, Planung und Umsetzung in der integrierten Stadtentwicklung“ (FKZ 3515820800)*. Bonn.
- Hauberg, J. (2011). Research by Design – a research strategy. *Lusofona Journal of Architecture and Education*, 5.
- HCU, H. C. U. (2017). KLIQ - Klimafolgenanpassung innerstädtischer hochverdichteter Quartiere in Hamburg. Retrieved 30.05.2017, from <https://www.hcu-hamburg.de/research/forschungsgruppen/reap/reap-projekte/klimafolgenanpassung-innerstaedischer-hochverdichteter-quartiere-in-hamburg-kiq/>
- Heller, N. E., & Zavaleta, E. S. (2009). Biodiversity management in the face of climate change: A review of 22 years of recommendations. *Biological Conservation*, 142(1), 14–32. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2008.10.006>
- Hertle, H., Pehnt, M., Gugel, B., Dingeldey, M., & Müller, K. (2015). Wärmewende in Kommunen: Leitfaden für den klimafreundlichen
- Umbau der Wärmeversorgung (Vol. Band 41 Schriftenreihe Ökologie): Heirich Böll Stiftung.
- Hoier, A., & Ehorn, H. (2013). Energetische Gebäudesanierung in Deutschland Studie Teil I: Entwicklung und energetische Bewertung alternativer Sanierungsfahrpläne: Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP).
- Hooff, T., Blocken, B., Timmermans, H. J. P., & Hensen, J. L. M. (2014). On the predicted effectiveness of climate adaptation measures for residential buildings. *Building and Environment*, 82, 300–316.
- Hooff, T., Blocken, B., Timmermans, H. J. P., & Hensen, J. L. M. (2016). Analysis of the predicted effect of passive climate adaptation measures on energy demand for cooling and heating in a residential building. *Energy*, 94, 811–820.
- Höppe, P. (1999). The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 43(2), 71–75. doi: 10.1007/s004840050118
- Horbert, M. (2000). Klimatologische Aspekte der Stadt- und Landschaftsplanung *Landschaftsentwicklung und Umweltforschung*. Berlin: Fachbereich 7 Umwelt und Gesellschaft der Technischen Universität Berlin.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor & H. L. Miller (Eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014a). Climate Change 2014 Synthesis Report Summary for Policymakers. Retrieved 11.01.2016, from [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014b). Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Jacob, D., Bülow, K., Kotova, L., Moseley, C., Petersen, J., & Rechid, D. (2012). Regionale Klimaprojektionen für Europa und Deutschland. Ensemble-Simulationen für die Klimafolgenforschung *CSC Report*. Climate Service Center.
- Jacob, D., Göttel, H., Kotlarski, S., Lorenz, P., & Sieck, K. (2008). Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland: Umweltbundesamt.
- Jacoby, C., & Beutler, K. (Producer). (2013, 07.05.2017). Integration einer Klimafolgenabschätzung in die Umweltprüfung zum Flächennutzungsplan am Beispiel der Flächennutzungsplanung mit integrierter Landschaftsplanung der Stadt Regensburg Retrieved from [http://www.klimastadtraum.de/SharedDocs/Downloads/Veroeffentlichungen/Modellprojekte/ExWoSt/Regensburg%20Leitfaden%20Integration.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](http://www.klimastadtraum.de/SharedDocs/Downloads/Veroeffentlichungen/Modellprojekte/ExWoSt/Regensburg%20Leitfaden%20Integration.pdf?__blob=publicationFile&v=2)
- Jänicke, B., Meier, F., Hoelscher, M.-T., & Scherer, D. (2014). Evaluating the Effects of Facade Greening on Human Bioclimate in a Complex Urban Environment. *Advances in Meteorology*, vol. 2015 (Article ID 747259), 15 pages. doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/747259>
- Jayasooriya, V. M., & Ng, A. W. M. (2014). Tools for Modeling of Stormwater Management and Economics of Green Infrastructure Practices: a Review. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(8), 1-20. doi: 10.1007/s11270-014-2055-1
- Jones, R. A. (2002). Tecticolous invertebrates: a preliminary investigation of the invertebrate fauna on green roofs in urban London. *English Nature, London*.
- Kadas, G. (2006). Rare Invertebrates Colonizing Green Roofs in London. *Urban Habitats*, 4, 66-86.
- Klausnitzer, B. (1987). *Ökologie der Großstadtf fauna*. Stuttgart, New York: Gustav Fischer.
- Klein, R. J. T., Schipper, E. L. F., & Dessai, S. (2005). Integrating mitigation and adaptation into climate and development policy: three research questions. *Environmental Science & Policy*, 8(6), 579-588. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2005.06.010>
- Klemm, W., Heusinkveld, B. G., Lenzholzer, S., & van Hove, B. (2015). Street greenery and its physical and psychological impact on thermal comfort. *Landscape and Urban Planning*, 138, 87-98. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.009>
- Köhler, M. (1988). Die Besiedlung von Kletterpflanzen durch Insekten und Spinnen in Berlin (West). *Zeitschrift für Angewandte Zoologie*, 75, 195-202.
- Köhler, M. (2006). Long-Term Vegetation Research on Two Extensive Green Roofs in Berlin. *Urban Habitats*, 4, 3-26.
- KOSTRA-DWD. (2000). Niederschlagshöhen und -spenden nach KOSTRA-DWD 2000. In D. W. D.-. Hydrometeorologie (Ed.). Hannover: ITWH GmbH.
- Kreft, S., Eckstein, D., Dorsch, L., & Fischer, L. (2015). Global Climate Risk Index 2016 *Who Suffers Most From Extreme Weather Events? Weather-related Loss Events in 2014 and 1995 to 2014*. Berlin: German Watch.
- Kroner, H. (2000). Abflussbeiwert. Retrieved 27.06.2016, from <http://www.baulexikon.de/Bautechnik/Begriffe/Bautechnik/a/baulexikon>
- Lalic, B., & Mihailovic, D. T. (2004). An Empirical Relation Describing Leaf-Area Density inside the Forest for Environmental Modeling. *Journal of Applied Meteorology*, 43(4), 641-645. doi: 10.1175/1520-0450(2004)043<0641:AERDLD>2.0.CO;2

- Landeshauptstadt Düsseldorf (Ed.). (2016). *Zukunftsbaumliste Düsseldorf*. Düsseldorf: Landeshauptstadt Düsseldorf: Garten-, Friedhofs und Forstamt.
- Larson, D. W., Matthes, U., & Kelly, P. E. (2000). *Cliff Ecology – Pattern and Process in Cliff Ecosystems*. Cambridge: Cambridge University Press.
- LBV. (2008a). *Gemeinsam unter einem Dach: Menschen und Schwalben*. München: Landesbund für Vogelschutz.
- LBV. (2008b). *Gemeinsam unter einem Dach: Menschen, Spatzen, Mauersegler*. München: Landesbund für Vogelschutz.
- LBV. (2009a). *Gemeinsam unter einem Dach: Mensch, Turmfalke, Dohle*. München: Landesbund für Vogelschutz.
- LBV. (2009b). *Gemeinsam unter einem Dach: Menschen und Fledermäuse*. Landesbund für Vogelschutz.
- LBV. (2010). *Die Spatzenfibel*. München: Landesbund für Vogelschutz.
- LBV. (2011). *Das Mauerseglerbaubuch*. München: Landesbund für Vogelschutz.
- Lee, H., Mayer, H., & Chen, L. (2016). Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg, Southwest Germany. *Landscape and Urban Planning*, 148, 37-50. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.12.004>
- Lenzholzer, S. (2015). *Weather in the City-How Design Shapes the Urban Climate*. Nai 010 Uitgevers/Publishers.
- Lenzholzer, S., & Brown, R. D. (2016). Post-positivist microclimatic urban design research: A review. *Landscape and Urban Planning*, 153, 111-121. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.05.008>
- LfL (Ed.). (2016). *Bienentracht in Dorf und Flur*. Freising: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL).
- Lobaccaro, G., & Acero, J. A. (2015). Comparative analysis of green actions to improve outdoor thermal comfort inside typical urban street canyons. *Urban Climate*, 14, Part 2, 251-267. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2015.10.002>
- LWG (Ed.). (2012). *Projekt Stadtgrün 2021 – Selektion, Anzucht und Verwendung von Gehölzen unter sich ändernden klimatischen Bedingungen (Teil 1)*. Veitshöchheim: Bayerische Landesanstalt für Wein- und Gartenbau (LWG).
- LWG (Ed.). (2015). *Projekt Stadtgrün 2021 – Selektion, Anzucht und Verwendung von Gehölzen unter sich ändernden klimatischen Bedingungen (Teil 2)*. Veitshöchheim: Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG).
- Maclvor, J. S., & Lundholm, J. (2010). Insect species composition and diversity on intensive green roofs and adjacent level-ground habitats. *Urban Ecosystems*, 14(2), 225-241. doi: 10.1007/s11252-010-0149-0
- Madre, F., Clergeau, P., Machon, N., & Vergnes, A. (2015). Building biodiversity: Vegetated façades as habitats for spider and beetle assemblages. *Global Ecology and Conservation*, 3, 222-233. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gecco.2014.11.016>
- Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung - Magistratsabteilung 22. (2015). *Urban Heat Islands Strategieplan Wien*. Wien.
- Matzarakis, A., Mayer, H., & Iziomon, M. G. (1999). Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*, 43, 76-84.
- Meschede, A., & Rudolph, B.-U. (2004). *Fledermäuse in Bayern*. Stuttgart: Ulmer.
- Millennium Ecosystem Assessment (MA). (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC.

- MLRBW (Ed.). (2016). *Bienenweidekatalog – Verbesserung der Bienenweide und des Artenreichtums*. Stuttgart: Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg.
- Moser, A., Rötzer, T., Pauleit, S., & Pretzsch, H. (2015). Structure and ecosystem services of small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) and black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in urban environments. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(4), 1110-1121. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2015.10.005>
- Moser, S. C. (2012). Adaptation, mitigation, and their disharmonious discontents: an essay. *Climatic Change*, 111(2), 165-175. doi: 10.1007/s10584-012-0398-4
- Murtagh, F., & Legendre, P. (2014). Ward's Hierarchical Agglomerative Clustering Method: Which Algorithms Implement Ward's Criterion? *Journal of Classification*, 31(3), 274-295.
- Nadler, S., Jaeschke, A., Bittner, T., Jentsch, A., & Beierkuhnlein, C. (2011). Auswirkungen von Extremereignissen auf die Biodiversität – eine Literaturanalyse. In U. Feit & H. Korn (Eds.), *Treffpunkt Biologische Vielfalt X* (pp. 87-94). Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- Naturkapital Deutschland (TEEB DE). (2016). *Ökosystemleistungen in der Stadt – Gesundheit schützen und Lebensqualität erhöhen*. (I. Kowarik, R. Bartz & M. Brenck Eds.). Berlin, Leipzig: Technische Universität Berlin, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ).
- Neue Zürcher Zeitung. (2015, 11.01.2016). Pariser Abkommen: Alle Länder in der Klimapolitik gefordert. from <http://www.nzz.ch/international/europa/vor-der-plenarversammlung-in-paris-neues-klimaabkommen-vor-beschluss-1.18661996>
- Nik, V. M., & Kalagasidis, A. (2013). Impact study of the climate change on the energy performance of the building stock in Stockholm considering four climate uncertainties. *Building and Environment*, 60, 291-304.
- Norton, B. A., Coutts, A. M., Livesley, S. J., Harris, R. J., Hunter, A. M., & Williams, N. S. G. (2015). Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 134, 127-138. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.018>
- Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R. R., Doshi, H., Dunnett, N., . . . Rowe, B. (2007). Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience*, 57(10), 823-833. doi: 10.1641/b571005
- Oke, T. R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, 7(8), 769-779. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0004-6981\(73\)90140-6](http://dx.doi.org/10.1016/0004-6981(73)90140-6)
- Oke, T. R. (1982). The Energetic Basis Of The Urban Heat-Island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1-24. doi: 10.1002/qj.49710845502
- Oke, T. R. (2011). Urban heat islands. *The Routledge Handbook of Urban Ecology*, 120-131.
- Oke, T. R., Crowther, J. M., McNaughton, K. G., Monteith, J. L., & Gardiner, B. (1989). The Micrometeorology of the Urban Forest [and Discussion]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 324( 1223), 335-349. doi: 10.1098/rstb.1989.0051
- Patz, J. A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., & Foley, J. A. . (2005). Impact of regional climate change on human health. *nature*, 438(17), 310-317. doi: 10.1038/nature04188
- Pauleit, S. (2005). Das Umweltwirkgefüge städtischer Siedlungsstrukturen – Entwicklung und Erprobung eine landschaftsökologischen Ansatzes für die städtische Umweltplanung. In L. S. L. Trepl (Ed.), *Landschaftsökologie. Die Lehre Wolfgang Habers dargestellt in Dissertationen und Habilitationsschriften von 1966-2001* (Vol. 14, pp. 447-466). Freising.

- Pauleit, S., & Breuste, J. H. (2011). Land use and surface cover as urban ecological indicators. In J. Niemelä (Ed.), *Handbook of Urban Ecology* (pp. 19-30). Oxford: Oxford University Press.
- Pauleit, S., & Duhme, F. (2000). Assessing the Environmental Performance of Land Cover Types for Urban Planning. *Journal of Landscape and Urban Planning*, *52*(1), 1-20.
- Pauleit, S., Liu, L., Ahern, J., & Kasmierczak, A. (2011). Multifunctional green infrastructure planning to promote ecological services in the city. In J. Niemela, J. Breuste, G. Guntenspergen, N. McIntyre, T. Elmqvist & P. James (Eds.), *Urban ecology: Patterns, processes, and applications* (pp. 272-286). Oxford: Oxford University Press.
- Penman, H. L. (1956). Estimating evaporation. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, *37*(1), 43-50. doi: 10.1029/TR037i001p00043
- Perini, K., Bazzocchi, F., Croci, L., Magliocco, A., & Cattaneo, E. (2017). The use of vertical greening systems to reduce the energy demand for air conditioning. Field monitoring in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, *143*, 35-42. doi: <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.036>
- Pfeifer, S., Bülow, K., Gobiet, A., Hänslar, A., Mudelsee, M., Otto, J., . . . Jacob, D. (2015). Robustness of Ensemble Climate Projections Analyzed with Climate Signal Maps: Seasonal and Extreme Precipitation for Germany. *Atmosphere*, *6*(5), 677-698.
- Pfoser, N., Jenner, N., Heinrich, J., Heusinger, J., & Weber, S. (2013). *Gebäude, Begrünung, Energie* Darmstadt: Technische Universität Darmstadt.
- Pielke Jr, R. A. (1998). Rethinking the role of adaptation in climate policy. *Global Environmental Change*, *8*(2), 159-170. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0959-3780\(98\)00011-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0959-3780(98)00011-9)
- Pistohl, W. (2007). *Handbuch der Gebäudetechnik: Planungsgrundlagen und Beispiele - Band 2* (Vol. 6. Auflage). Köln: Werner Verlag.
- Radhi, H., Sharples, S., Taleb, H., & Fahmy, M. (2017). Will cool roofs improve the thermal performance of our built environment? A study assessing roof systems in Bahrain. *Energy and Buildings*, *135*, 324-337. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.048>
- Rahman, M. A., Moser, A., Rötzer, T., & Pauleit, S. (2017). Microclimatic differences and their influence on transpirational cooling of *Tilia cordata* in two contrasting street canyons in Munich, Germany. *Agricultural and Forest Meteorology*, *232*, 443-456. doi: <http://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.10.006>
- Referat für Gesundheit und Umwelt der Landeshauptstadt München (RGU). (2012). IHKM - Integriertes Handlungsprogramm Klimaschutz in München. Klimaschutzprogramm 2013. Maßnahmenkatalog. München, Germany: Landeshauptstadt München.
- Reynolds, A., Richards, G., De la Iglesia, B., & Rayward-Smith, V. (1992). Clustering rules: A comparison of partitioning and hierarchical clustering algorithms. *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms*, *5*, 475-504.
- Rode, P. (2014). *Green Cities*. Paper presented at the Beiträge zu einer ökologischen Moderne? Auf der Suche nach einer sozial gerechten, offenen und Ressourcen schonenden Gesellschaft, Berlin.
- Roth, U. (1980). *Wechselwirkungen zwischen der Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen*. Bonn: Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau.
- Salata, F., Golasi, I., Petitti, D., de Lieto Vollaro, E., Coppi, M., & de Lieto Vollaro, A. (2017). Relating microclimate, human thermal comfort and health during heat waves: An analysis of heat island mitigation strategies through a case study in an urban outdoor environment. *Sustainable Cities and Society*, *30*, 79-96. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2017.01.006>

- Schneider, M., Rupp, J., Wirth, V., Teichmann, U., Bründl, W., Kossmann, M., & Mühlbacher, G. (2016). Konzept zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels in der Landeshauptstadt München. München: Referat für Gesundheit und Umwelt der Landeshauptstadt München.
- Schrader, S., & Böning, M. (2006). Soil formation on green roofs and its contribution to urban biodiversity with emphasis on Collembolans. *Pedobiologia*, *50*(4), 347-356. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pedobi.2006.06.003>
- Sjöman, J. D., Hirons, A., & Sjöman, H. (2016). Branch Area Index of Solitary Trees: Understanding Its Significance in Regulating Ecosystem Services. *Journal of Environmental Quality*, *45*(1), 175-187. doi: 10.2134/jeq2015.02.0069
- Skelhorn, C., Lindley, S., & Levermore, G. (2014). The impact of vegetation types on air and surface temperatures in a temperate city: A fine scale assessment in Manchester, UK. *Landscape and Urban Planning*, *121*(0), 129-140. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.09.012>
- Skelhorn, C. P., Levermore, G., & Lindley, S. J. (2016). Impacts on cooling energy consumption due to the UHI and vegetation changes in Manchester, UK. *Energy and Buildings*, *122*, 150-159. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.01.035>
- Stott, P. A., Stone, D. A., & Allen, M. R. (2004). Human contribution to the European heatwave of 2003. *nature*, *432 (Letters to Nature)*, 610-614.
- Süddeutsche Zeitung. (2015). Die Welt will die Klimawende, pp. 1-1.
- Sukopp, H., & Wittig, R. (Hrsg.). (1993). *Stadtökologie*. Stuttgart: G.Fischer.
- Sutton, R. (Ed.). (2015). *Green Roof Ecosystems*. Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer.
- Tan, J., Zheng, Y., Song, G., Kalkstein, L. S., Kalkstein, A. J., & Tang, X. . (2007). Heat wave impacts on mortality in Shanghai, 1998 and 2003. *International Journal of Biometeorology*, *51*, 193-200. doi: 10.1007/s00484-006-0058-3
- Thuring, C., & Grant, G. (2015). The biodiversity of temperate extensive green roofs—a review of research and practice. *Israel Journal of Ecology & Evolution*, 1-14.
- Tonietto, R., Fant, J., Ascher, J., Ellis, K., & Larkin, D. (2011). A comparison of bee communities of Chicago green roofs, parks and prairies. *Landscape and Urban Planning*, *103*(1), 102-108. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.07.004>
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2008). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies
- UBA. (2013). Handbuch zur guten Praxis der Anpassung an den Klimawandel. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Umweltbundesamt (UBA). (2012a). Die Folgen des Klimawandels in Deutschland – was können wir tun und was kostet es? Dessau-Roßlau.
- Umweltbundesamt (UBA). (2012b). Klimaschutz in der räumlichen Planung - Gestaltungsmöglichkeiten der Raumordnung und Bauleitplanung. Dessau-Roßlau.
- Umweltministerium NRW. (2010). Handbuch Stadtklima - Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel. Düsseldorf.
- Umweltministerium NRW. (2011). Handbuch Stadtklima - Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel. Düsseldorf.
- UNESCO. (2015). Country Profile Germany. from <http://www.uis.unesco.org/DataCentre/Pages/country-profile.aspx?regioncode=40500&code=DEU>
- United Nations (UN). (2014). World Urbanization Prospects.

- Van Ouwerkerk, M., & Rosemann, J. (2001). *Research by Design: International Conference Faculty of Architecture Delft University of Technology in co-operation with the EAAE/AEEA November 1-3 2000: Proceedings A*. Delft: Delft University Press.
- VBW. (2012). Energetische Gebäudesanierung in Bayern: Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V.
- VDI. (2012). Richtlinie VDI 2067. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Wang, J., Endreny, T. A., & Nowak, D. J. (2008). Mechanistic Simulation of Tree Effects in an Urban Water Balance Model. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 44(1), 75-85. doi: 10.1111/j.1752-1688.2007.00139.x
- Wang, Y., Bakker, F., de Groot, R., & Wörtche, H. (2014). Effect of ecosystem services provided by urban green infrastructure on indoor environment: A literature review. *Building and Environment*, 77(0), 88 - 100. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.021>
- Wang, Y., Bakker, F., de Groot, R., Wortche, H., & Leemans, R. (2015). Effects of urban trees on local outdoor microclimate: synthesizing field measurements by numerical modelling. *Urban Ecosystems*, 1-27. doi: 10.1007/s11252-015-0447-7
- Warda, H.-D. (1998). *Das große Buch der Garten- und Landschaftsgehölze*. Bad Zwischenahn: Bruns.
- Westrich, P. (2011). *Wildbienen: die anderen Bienen*. München: Dr. Friedrich Pfeil.
- Whitford, V., Ennos, A. R., & Handley, J. F. (2001). "City form and natural process" – indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning*, 57(2), 91-103. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-2046\(01\)00192-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-2046(01)00192-X)
- Yang, X., Zhao, L., Bruse, M., & Meng, Q. (2012). An integrated simulation method for building energy performance assessment in urban environments. *Energy and Buildings*, 54(0), 243-251. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.07.042>
- Zacharias, S., & Koppe, C. (2015). Einfluss des Klimawandels auf die Biotropie des Wetters und die Gesundheit bzw. die Leistungsfähigkeit der Bevölkerung in Deutschland. Berlin: Umweltbundesamt.
- Zeit online. (2015, 11.01.2016). Klimawandel in Deutschland: Wärmer, wärmer, wärmer. Wetter ist nicht gleich Klima. from <http://www.zeit.de/wissen/umwelt/2015-12/klimawandel-deutschland-temperatur-hitzerekord>
- Zölch, T., Henze, L., Keilholz, P., & Pauleit, S. (under review). Regulating urban surface runoff through nature-based solutions - an assessment at the micro-scale. *Environmental Research*.
- Zölch, T., Maderspacher, J., Wamsler, C., & Pauleit, S. (2016). Using green infrastructure for urban climate-proofing: An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale. *Urban Forestry & Urban Greening*, 20, 305-316. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2016.09.011>
- Zurbuchen, A., & Müller, A. (2012). *Wildbienenschutz – von der Wissenschaft zur Praxis*. Bern, Stuttgart, Wien: Haupt.

## Glossar

### Albedo

Albedo bezeichnet das Reflexionsvermögen einer Fläche, die nicht selbst leuchtet oder spiegelt. Eine schwarze Fläche absorbiert 100% der Strahlung und hat eine Albedo von 0,0. Neuschnee z.B. hat eine Albedo von ca. 0,9 (90% Rückstrahlung).

### BayKLAS

Die Bayerische Klimaanpassungsstrategie (BayKLAS) ist ein 2009 vom StMUG herausgegebenes politisches Strategiepapier ohne rechtliche Verbindlichkeit. Es zeigt bereits durchgeführte Anpassungsmaßnahmen der Bayerischen Staatsregierung und Handlungsmöglichkeiten für die Zukunft. 2017 wurde eine überarbeitete Version veröffentlicht.

- ➔ Klimaanpassung wird als gesamtgesellschaftliche Aufgabe gesehen
- ➔ entwickelt zusammen mit Bayerischem Klimarat

### Biodiversität

Biodiversität (auch als Biologische Vielfalt bezeichnet) umfasst die Vielfalt von Ökosystemen, die Vielfalt der Arten und die genetische Vielfalt innerhalb einer Art.

### Blattflächenindex (LAI = Leaf Area Index)

Der LAI berechnet sich aus der Summe der Blattflächen einer Pflanze durch die von ihr überdeckte Bodenoberfläche und gibt die Belaubungsdichte eines Pflanzenbestands an.

Der LAI dividiert durch die Höhe des Bestands ergibt die Blattflächendichte (LAD = Leaf Area Density).

### CO<sub>2</sub>

Kohlenstoffdioxid ist ein Treibhausgas. Es entsteht bei der Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Substanzen unter ausreichender Sauerstoffzufuhr und als Produkt der Zellatmung im Organismus von Lebewesen.

### Dezentrales Regenwassermanagement

Dezentrale naturnahe Regenwasserbewirtschaftung bedeutet, dass Niederschläge grundsätzlich dort, wo sie anfallen, erfasst und – soweit möglich – an Ort und Stelle durch geeignete Anlagen wieder dem natürlichen Wasserkreislauf zugeführt werden.

## Evapotranspiration

Evapotranspiration ist die Summe aus Evaporation (direkte Verdunstung über unbewachsenem Land und Wasser) und Transpiration (Verdunstung durch Pflanzen und Tiere) und beschreibt in der Meteorologie die Wasserabgabe eines Gebiets an die Atmosphäre.

## Eistag (Klimatologischer Kenntag)

An einem Eistag liegt das Maximum der Lufttemperatur unter 0 °C. Von der Anzahl der Eistage lässt sich die Strenge eines Winters ableiten.

- Allgemein bei klimatologischen Kenntagen: Die mittlere Anzahl der XY-Tage pro Jahr kann zur effektiven Klimaklassifikation herangezogen werden.

## Extremereignis

Eine einheitliche Definition besteht nicht. Ein Extremereignis ist ein selten auftretender kurzer Zeitraum im Geschehen von Wetter, Abfluss das in seiner Ausprägung von bestimmten Durchschnittswerten abweicht. Solche Ereignisse können beispielsweise heftige Stürme oder Hochwasser sein, aber auch das massenhafte Auftreten einer Insektenart.

## Frosttag (Klimatologischer Kenntag)

An einem Frosttag liegt das Minimum der Lufttemperatur unter 0 °C. Zusammen mit der Anzahl der Eistage lässt sich von der Anzahl der Frosttage die Strenge eines Winters ableiten.

## Gebäudesimulation

Simulationsumgebung zur Berechnung von Energieflüssen und Komfortvariablen in den vom Anwender definierten Räumen bzw. Gebäuden. Dabei stehen die Räume im Kontakt zu ihrer Umgebung, angrenzenden Bauteilen sowie Personen, Geräten und Gegenständen, welche sich in der jeweiligen Zone befinden. Dadurch ist es möglich, die dynamische Wechselwirkung zwischen Gebäude, Gebäudetechnik, Klima und Benutzer zu berechnen.

## Grüne Infrastruktur

Urbane grüne Infrastrukturen sind multifunktionale Netzwerke von Grün- und Freiflächen, die strategisch entwickelt werden, um die Lebensqualität in Städten zu fördern und sie an den Klimawandel anzupassen.

## Hitzetag (Klimatologischer Kenntag)

An einem Hitzetag (auch Heißer Tag) beträgt das Maximum der Lufttemperatur 30 °C oder mehr. Von der Anzahl der Hitzetage lässt sich die Güte eines Sommers ableiten.

## **Integriertes Klimaschutzkonzept (IKK)**

Das Integrierte Klimaschutzkonzept ist Teil der Nationalen Klimaschutzinitiative des Bundesumweltministeriums und wird auf Bundesebene gefördert. Es ist ein Energiekonzept, das als kommunales Planungsinstrument zur Erreichung wesentlicher nationaler Klimaschutzziele der Energieeinsparung und Energieeffizienz verwendet werden soll, um den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu senken. Inhalte und Aufbau entsprechen weitestgehend dem Energienutzungsplan, wobei Öffentlichkeitsarbeit und Bürgerbeteiligung größere Bestandteile sind.

- ➔ Praxisorientierte Bedienungsanleitung zur Energiewende
- ➔ <https://www.ffegmbh.de/kompetenzen/erstellung-von-lokalen-und-regionalen-energiekonzepten/315-was-ist-ein-integriertes-klimaschutzkonzept>

## **IDA-ICE**

IDA-ICE ist eine Software für die Simulation von Wärmetransport, vereinfachte Raumluftströmungen, den Einfluss von Solarstrahlung, interne Quellen wie Personen oder Geräte in Gebäuden sowie der Gebäudetechnik.

## **IPCC**

Der „Intergovernmental Panel on Climate Change“ (oft „Weltklimarat“ genannt) ist eine Einrichtung der Vereinten Nationen, deren Aufgabe es ist, den aktuellen Stand der wissenschaftlichen Klimaforschung zusammenzutragen und zu bewerten. Dabei liefert der IPCC lediglich Grundlagen für politische Entscheidungsträger, ohne Handlungsempfehlungen auszusprechen.

## **Klimaanpassung**

Maßnahmen, um die Vulnerabilität von Systemen (hier Städte) gegenüber Klimawandelauswirkungen zu senken.

## **Klimamodelle**

Klimamodelle werden für die Prognosen von Klimaszenarien verwendet. Sie können in numerische oder statistische Modelle unterschieden werden. Numerische Modelle berechnen mit Hilfe eines dreidimensionalen Gitters der Atmosphäre die darin vorkommenden physikalischen und chemischen Prozesse. Statistische Modelle verwenden Aufzeichnungen von vorhandenen Klimastationen und adaptieren diese für zukünftige Klimaprojektionen.

## **Klimaprojektionen**

Eine Klimaprojektion ist eine mögliche zukünftige Entwicklung von Klimavariablen. Diese Entwicklungen werden mit Hilfe von Klimaszenarien und einem Klimamodell berechnet.

## **Klimawandel**

Klimawandel ist ein Synonym für Klimaveränderung, also allgemein jede Veränderung des Klimas unabhängig von der betrachteten Größenordnung in Raum und Zeit.

## **KLIP**

Das vom StMUGV herausgegebene Klimaprogramm Bayern 2020 (KLIP) ist die Fortschreibung des Bayerischen Klimaschutzprogramms und wurde 2007 verabschiedet. Neben der Stärkung und Ergänzung nationaler und internationaler Bestrebungen, dem Klimawandel und seinen Auswirkungen vorzubeugen, enthält das Programm u. a. Maßnahmen zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen und zur Klimaanpassung.

→ <https://www.bayern.de/wp-content/uploads/2014/06/Klimaprogramm-Bayern-2020.pdf>

## **Kommunale Pflichtaufgabe**

Kommunale Aufgaben unterteilen sich zum einen in freiwillige Aufgaben, die aus Freiwilligen Selbstverwaltungsaufgaben bestehen, und Pflichtaufgaben. Letztere lassen sich in Pflichtige Selbstverwaltungsaufgaben, Pflichtaufgaben nach Weisung und Auftragsangelegenheiten gliedern.

## **Nutzungsmischung**

Mischung verschiedener Nutzungen wie Wohnen, Arbeiten, Einkaufen, Freizeit, Mobilität und Kultur auf Quartiers- bzw. Blockebene. Es wird zwischen einer funktionalen und einer sozialen Nutzungsmischung unterschieden.

## **Ökosystemleistung**

Direkte und indirekte Beiträge von Ökosystemen zum menschlichen Wohlergehen, d.h. Leistungen, die dem Menschen einen direkten oder indirekten wirtschaftlichen, materiellen, gesundheitlichen oder psychischen Nutzen bringen. Darunter werden Versorgungsdienstleistungen wie Nahrung und Wasser, Regulationsleistungen wie Schutz vor Hochwasser, Trockenheit, Bodendegradation und Krankheiten, Basisdienstleistungen wie Bodenbildung und Nährstoffkreisläufe, sowie kulturelle Dienstleistungen wie Erholung, spirituelle, religiöse und andere nichtmaterielle Leistungen gefasst.

## **Resilienz**

Fähigkeit eines Systems (hier Stadt) Umweltveränderungen wie den Auswirkungen des Klimawandels zu widerstehen und sich wieder zu erholen/regenerieren.

→ Höhere Resilienz = bessere Anpassungsfähigkeit

## **Siedlungsstruktur**

Die Siedlungsstruktur beschreibt die Struktur von Besiedlungsformen, die oft entlang von Verkehrsachsen entstanden sind und durch städtebaulichen Leitbilder geprägt wurden. Sie beinhaltet die Bebauungsdichte, Nutzungen, Bevölkerungsverteilung und die Infrastruktur.

## **Sommertag (Klimatologischer Kenntag)**

An einem Sommertag beträgt das Maximum der Lufttemperatur 25 °C oder mehr. Die Menge der Hitzetage ist in der Menge der Sommertage enthalten. Mit der Anzahl der Sommertage lässt sich die Güte eines Sommers ergänzend zur Anzahl der Hitzetage beschreiben.

## **Starkregen**

Als Starkregen werden große Niederschlagsmengen in einem bestimmten Zeitraum bezeichnet. Bei Niederschlagsmengen von 10 bis 25 l/m<sup>2</sup> in 1 Stunde spricht der DWD eine Markante Wetterwarnung aus, bei über 25 l/m<sup>2</sup> Regen in einer Stunde eine Unwetterwarnung. Folgen von Starkregenereignissen können z.B. stark steigende Wasserstände und/oder Überschwemmungen sein.

## **Synanthrope Arten**

Synanthrope Arten sind Arten, die an den menschlichen Siedlungsbereich angepasst sind.

## **Thermischer Komfort**

Der thermische Komfort beschreibt die gefühlte Temperatur, bei welcher der Mensch sich thermisch behaglich fühlt. Thermische Behaglichkeit ist dann gegeben, wenn der Mensch Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftbewegung und Wärmestrahlung in seiner Umgebung als optimal empfindet und weder wärmere noch kältere, weder trockenere noch feuchtere Luft (im Außen- und Innenraum) wünscht. Der thermische Komfort kann durch verschiedene Indices beschrieben werden, z.B. die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET).

## **Tropennacht (Klimatologischer Kenntag)**

In einer Tropennacht liegt das Minimum der Lufttemperatur zwischen 18 und 6 Uhr bei 20 °C oder mehr.

## **Ubiquitäre Arten**

Ubiquitäre Arten (auch Ubiquitisten genannt) sind weit verbreitete Generalisten („Allerweltarten“).

**Vulnerabilität**

Verwundbarkeit oder Verletzlichkeit eines Systems gegenüber dem Klimawandel. Wie vulnerabel ein System ist, hängt zum einen von der Art, dem Ausmaß und der Geschwindigkeit der Klimaänderung ab und zum anderen beeinflussen Sensitivität und Anpassungskapazität die Verwundbarkeit des jeweiligen Systems.

## Anhang

### A. Planung und Ablauf der Arbeiten

| Titel der Arbeit  | Verfasser          | Betreuer                             | Art der Arbeit | Abgeschlossen im Jahr |
|---|--------------------|--------------------------------------|----------------|-----------------------|
| Untersuchung und Entwicklung des Artenpotenzials ausgewählter Siedlungstypen unter Berücksichtigung von Klimaanpassung und Freiraumqualität am Beispiel München                           | Bachmaier, Marian  | R. Schelle, G. Hausladen, S. Pauleit | Bachelorarbeit | 2017                  |
| Passive Maßnahmen zur Anpassung von Sanierungskonzepten an den Klimawandel  | Farzan Banihashemi | J. Brasche, J. Maderspacher, W. Lang | Masterarbeit   | 2017                  |
| Unsicherheiten von Klimaprojektionen als Herausforderung für die urbane Klimawandel-Anpassung   | Blasi, Antonia     | J. Brasche, S. Pauleit               | Masterarbeit   | 2016                  |
| Urbane Klimawandelanpassung durch „Grüne Infrastruktur“, „Ökosystembasierte Anpassung“, „Ökosystemdienstleistungen“ und „Naturbasierte Lösungen“: eine vergleichende Analyse der Konzepte | Blasi, Antonia     | T. Zölch, S. Pauleit                 | Projektarbeit  | 2015                  |
| Development of an integrative heat risk index for urban neighbourhoods: Combining Tmrt modelling and vulnerability assessment   | Erlwein, Sabrina   | T. Zölch, S. Pauleit                 | Masterarbeit   | 2016                  |

|  |                    |                                      |                |      |
|--|--------------------|--------------------------------------|----------------|------|
| Methodische Herangehensweise an das Thema Urban Resilience: eine Betrachtung der Städte München und Austin   | Fessard, Felix     | D. Gondhalekar, W. Lang              | Masterarbeit   | 2014 |
| GIS-basierter Vergleich von Siedlungstypen in bayerischen Großstädten - eine Analyse vor dem Hintergrund von Klimawandel, Vulnerabilität und Anpassung | Fischer, Florian   | J. Brasche, S. Pauleit               | Masterarbeit   | 2016 |
| Untersuchung aktueller Sanierungskonzepte von Mehrfamilienhäusern unter Berücksichtigung des Klimawandels  | Frickova, Kristyna | J. Maderspacher, W. Lang             | Masterarbeit   | 2015 |
| Modellierung mikroklimatischer Effekte von Vegetation auf den thermischen Komfort in Würzburg-Heidingsfeld   | Füger, Christoph   | T. Zölch, W. Lang                    | Bachelorarbeit | 2016 |
| Die Zukunft des urbanen Baumbestandes unter dem Einfluss des Klimawandels am Beispiel der Münchner Maxvorstadt   | Grömling, Eva      | R. Schelle, G. Hausladen, S. Pauleit | Masterarbeit   | 2017 |
| Bäume in der Stadt des Klimawandels  | Grömling, Eva      | R. Schelle, G. Hausladen, S. Pauleit | Projektarbeit  | 2016 |
| Assessing the potential of green infrastructure to control urban surface runoff – modelling a case scenario with MIKE SHE                              | Henze, Lisa        | T. Zölch, S. Pauleit                 | Masterarbeit   | 2016 |

|  |                       |                        |               |      |
|--|-----------------------|------------------------|---------------|------|
| Klimaregulierung von Gebäuden durch Straßenbäume – StadtSiedlungstypenbasierte Quantifizierung der bestehenden Verschattungsleistung und weiterer Potentiale am Beispiel der Blockbebauung in Nürnberg und München | Krimbacher, Andre     | J. Tigges, S. Pauleit  | Masterarbeit  | 2015 |
| Soziale Vulnerabilität gegenüber Hitzeereignissen in der Stadt München. Eine Indikatorenanalyse der potentiellen Klimawirkung von Hitze auf die Bevölkerung Münchens   | Kühnhauser, Christina | J. Brasche, S. Pauleit | Masterarbeit  | 2016 |
| Modelisation of energy demand for buildings influenced by climate change   | LaCroix, Vianney      | J. Maderspacher        | Masterarbeit  | 2015 |
| Vergleich des Einflusses von Vegetation und Bebauungsstruktur in Bezug auf die Strahlungstemperatur (Tmrt) am Beispiel von Maxvorstadt und Neu-Aubing in München   | Loewert, Corinna      | T. Zölch, S. Pauleit   | Projektarbeit | 2017 |
| Mikroklimatische Wirkung und Potential verschiedener Anordnungen von Fassadenbegrünung unter realen städtebaulichen Bedingungen  | Meures, Johannes      | T. Zölch, S. Pauleit   | Projektarbeit | 2016 |

|  |                  |                        |               |      |
|--|------------------|------------------------|---------------|------|
| Mikroklimatische Effekte unterschiedlicher Varianten der Nachverdichtung im Bereich einheitlich strukturierter Wohnsiedlungen. Exemplarische Simulation einer Nachverdichtung anhand einer Wohnanlage in München | Meures, Johannes | T. Zölch, S. Pauleit   | Masterarbeit  | 2017 |
| Analyse und Prognose der Temperatursenkung durch Baumschatten am Beispiel Münchens   | Mock, Theresa    | J. Tigges, S. Pauleit  | Masterarbeit  | 2015 |
| Kommunale Klimaanpassungskonzepte in Deutschland - Chancen einer integrativen Stadtplanung?  | Nobbe, Polina    | J. Brasche, S. Pauleit | Projektarbeit | 2015 |
| Urbane Klimawandelanpassung durch „Grüne Infrastruktur“, „Ökosystembasierte Anpassung“, „Ökosystemdienstleistungen“ und „Naturbasierte Lösungen“: eine vergleichende Analyse der Konzepte                        | Paulik, Eva      | T. Zölch, S. Pauleit   | Projektarbeit | 2015 |
| Vergleich des Einflusses von Vegetation und Bebauungsstruktur in Bezug auf die Strahlungstemperatur (T <sub>mrt</sub> ) am Beispiel von Maxvorstadt und Neu-Aubing in München                                    | Pöschl, Angelika | T. Zölch, S. Pauleit   | Projektarbeit | 2017 |

|  |                  |                                 |                |      |
|--|------------------|---------------------------------|----------------|------|
| Vulnerabilität bayerischer Städte im Klimawandel   | Schmözl, Moritz  | D. Gondhalekar, W. Lang         | Bachelorarbeit | 2015 |
| Die Erfassung von Gründächern: Potenzialanalyse ihrer Retentionsleistung am Beispiel München   | Tallarita, Elena | T. Zölch, J. Tigges, S. Pauleit | Masterarbeit   | 2015 |
| Modelling the impacts of street, façade and roof greening on outdoor thermal comfort: A scenario-based case study in Munich, Germany | Wörner, Andreas  | T. Zölch, S. Pauleit            | Masterarbeit   | 2015 |

Tabelle 20: Abgeschlossene Studienarbeiten (Stand Juli 2017)

## B. Klimawandelauswirkungen

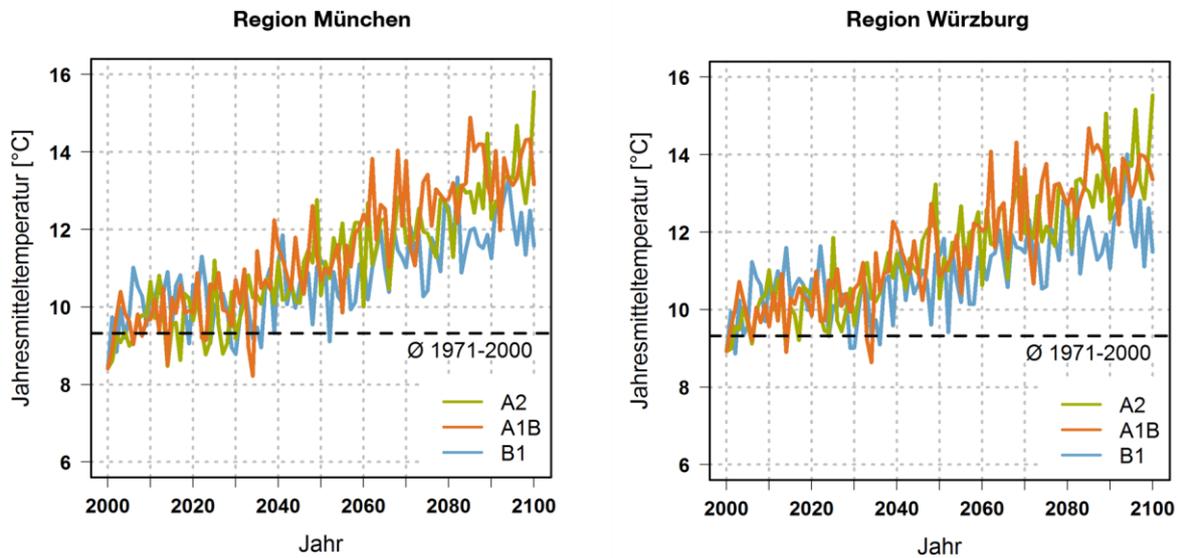


Abbildung 77: Entwicklung der Jahresmitteltemperatur der Regionen München und Würzburg in den Szenarien A2, A1B und B1

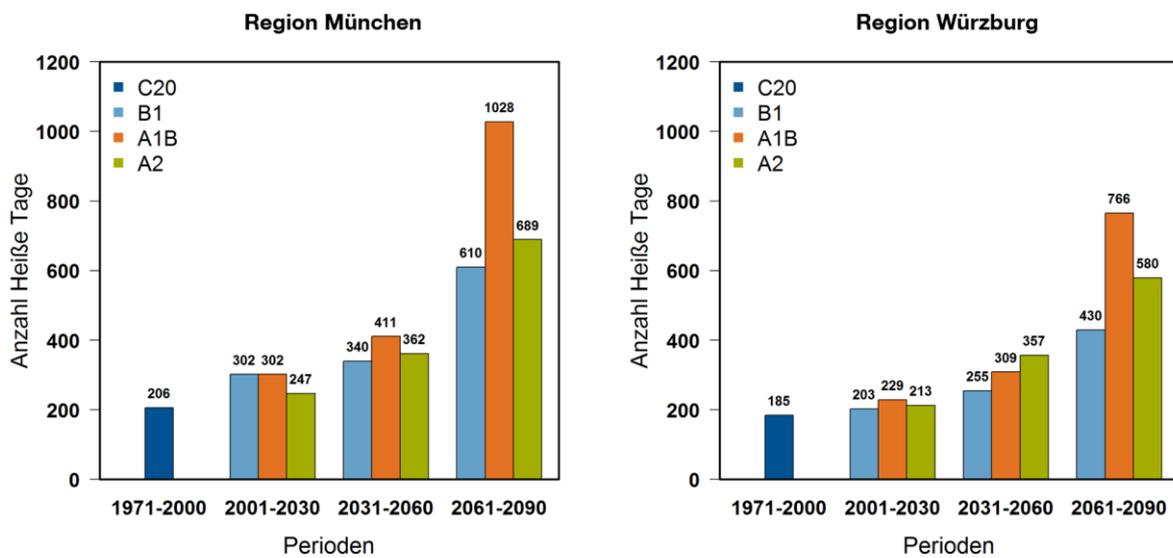


Abbildung 78: Entwicklung der Anzahl von „Heißen Tagen“ über die Perioden auf Basis der Szenarien B1, A1B und A2 für die Region München und Würzburg

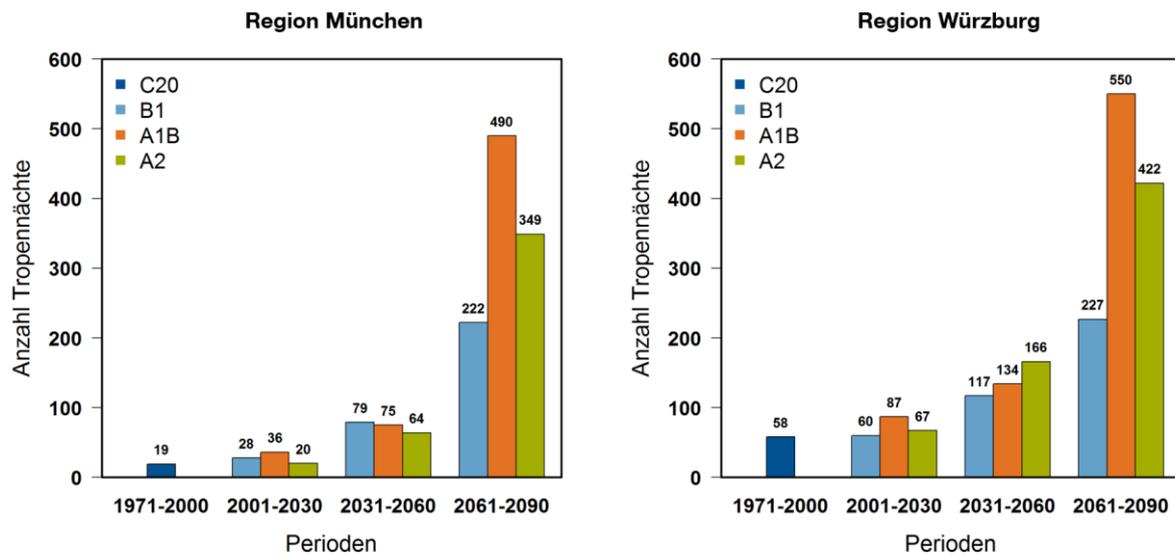


Abbildung 79: Entwicklung der Anzahl von „Tropennächten“ über die Perioden auf Basis der Szenarien B1, A1B und A2 für die Region München und Würzburg

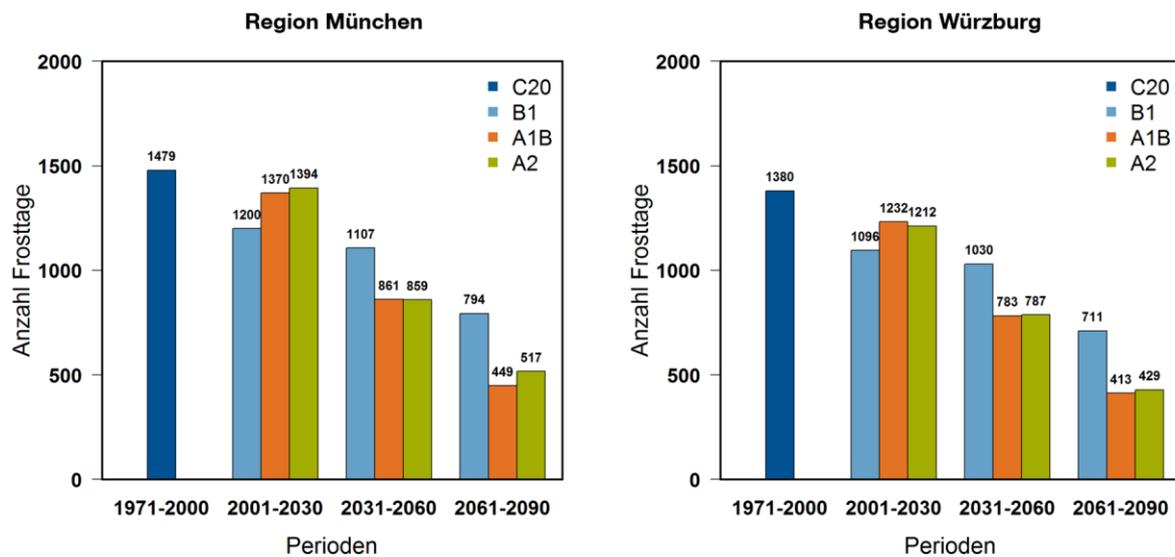


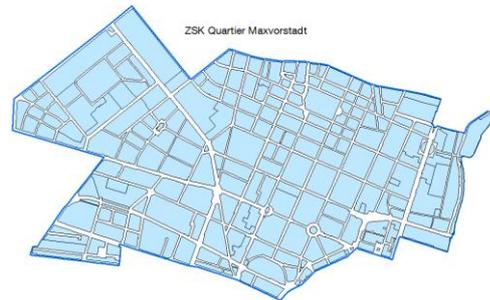
Abbildung 80: Entwicklung der Anzahl von „Frosttagen“ über die Perioden auf Basis der Szenarien B1, A1B und A2 für die Region München und Würzburg

## C. Siedlungstypen

### 1. ZSK Quartier Maxvorstadt

Insgesamt 230 Straßenblöcke

- Davon 143 mit Blockbebauung
- Blockbebauung ist mit 62% dominanter Siedlungstyp



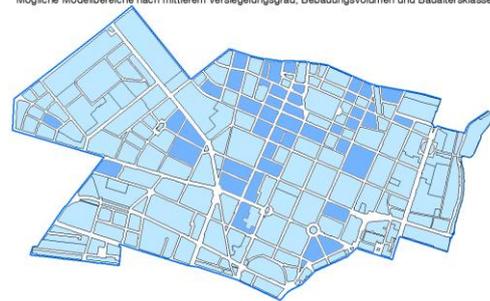
Datenquelle: RGLU München: Stadtstrukturtypenkartierung 2011, Vermessungsamt München: Stadtgrundkarte

### 2. Mögliche Modellbereiche nach Versiegelung, Bauungsvolumen und Baualtersklasse

Insgesamt 45 Straßenblöcke repräsentieren durchschnittliche bzw. dominante Werte (+/- 20%) für:

- Versiegelungsgrad: 79%
- Bauungsvolumen: überbaute Fläche 57%, Geschossanzahl 6
- Baualtersklasse: 4

Mögliche Modellbereiche nach mittlerem Versiegelungsgrad, Bauungsvolumen und Baualtersklasse



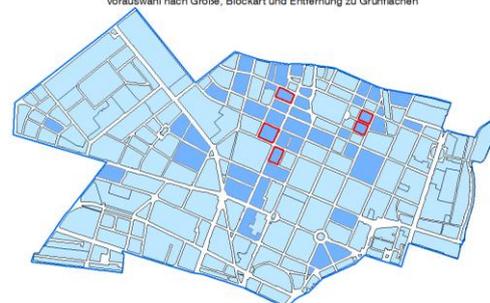
Datenquelle: RGLU München: Stadtstrukturtypenkartierung 2011, Vermessungsamt München: Stadtgrundkarte

### 3. Eingrenzung der Modellbereiche durch weitere Faktoren

Insgesamt 5 Straßenblöcke erfüllen zusätzlich die Kriterien:

- Blockgröße max. 180x180 m
- Möglichst geschlossene Bebauung (ideeller Siedlungstyp)
- Lage nicht angrenzend an öffentliche Grünflächen
- Typischer Querschnitt der umliegenden Straßen

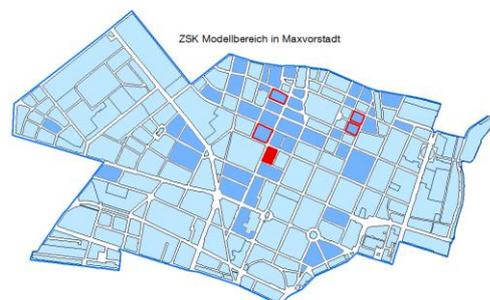
Mögliche Modellbereiche nach mittlerem Versiegelungsgrad, Bauungsvolumen und Baualtersklasse, Vorauswahl nach Größe, Blockart und Entfernung zu Grünflächen



Datenquelle: RGLU München: Stadtstrukturtypenkartierung 2011, Vermessungsamt München: Stadtgrundkarte

### 4. Finale Auswahl

Der final ausgewählte Straßenblock erfüllt alle Kriterien und zusätzlich ist der Zugang zum Hinterhof gewährleistet.



Datenquelle: RGLU München: Stadtstrukturtypenkartierung 2011, Vermessungsamt München: Stadtgrundkarte

Abbildung 81: Methodisches Vorgehen zur Auswahl der Modellbereiche am Beispiel der Blockbebauung

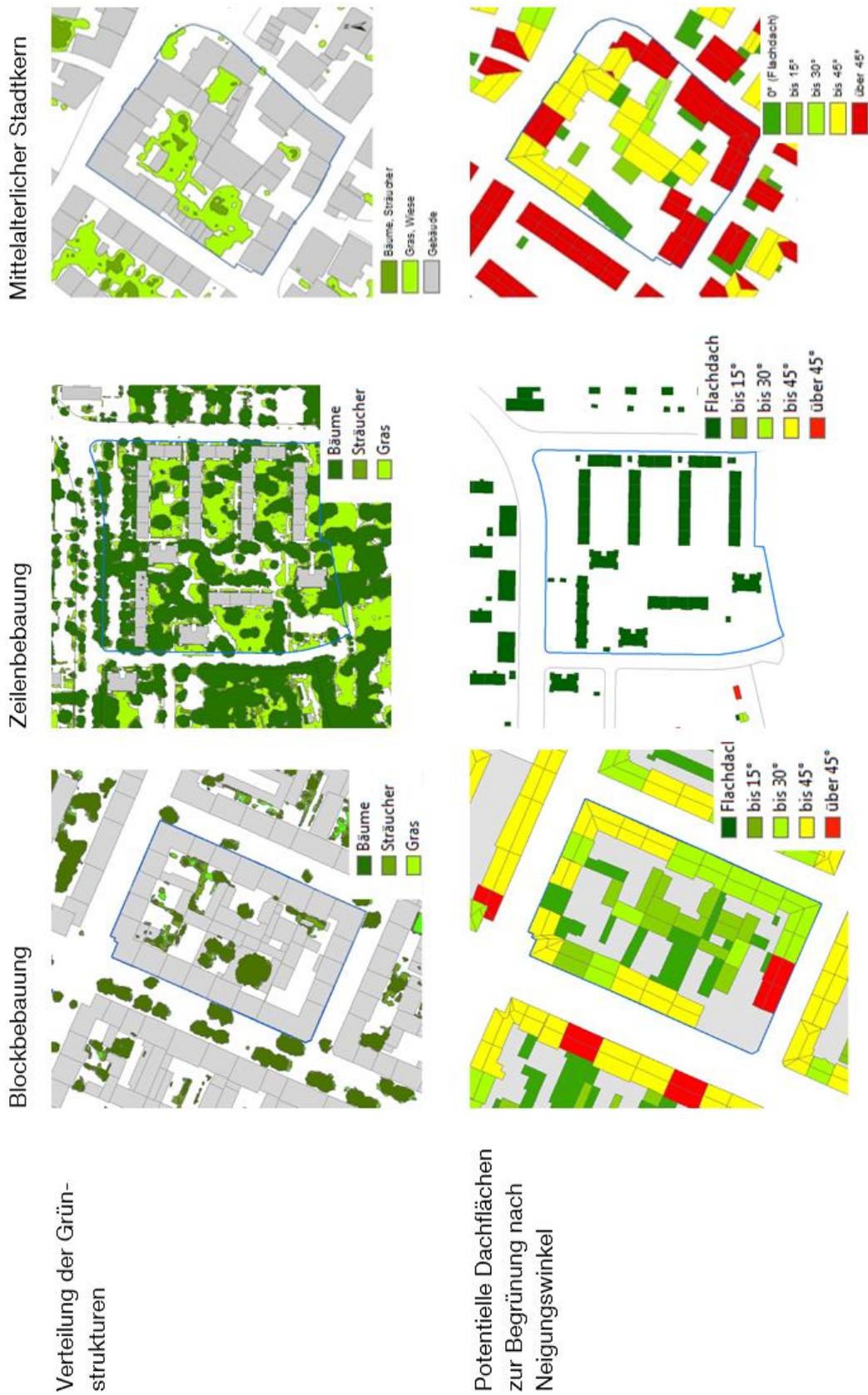


Abbildung 82: Grünstrukturen und potentielle Dachflächen zur Begrünung in den drei Modellbereichen

## D. Energieeffizienz unter Einfluss des Klimawandels

### Kennwerte der Simulationsmodelle für die Gebäudetypen

| Bezeichnung                             | [-] | Wärmeleitfähigkeit<br>[W/mK] | Dichte<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | Wärmekapazität<br>[J/kgK] | Dicke<br>[cm] |
|---|-----|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| Putz                                    |     | 0,35                         | 1100                           | 900                       | 1,5           |
| Vollziegel                              |     | 0,81                         | 1600                           | 1000                      | 30            |
| Außenputz                               |     | 0,58                         | 1200                           | 900                       | 1,5           |
| <b>U-Wert Gesamt [W/m<sup>2</sup>K]</b> |     |                              |                                |                           | 1,47          |

Tabelle 21: Materialisierung der Außenwand Bestand

| Bezeichnung                             | [-] | Wärmeleitfähigkeit<br>[W/mK] | Dichte<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | Wärmekapazität<br>[J/kgK] | Dicke<br>[cm] |
|---|-----|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| Putz                                    |     | 0,35                         | 1100                           | 900                       | 1,5           |
| Vollziegel + Däm-<br>mung               |     | 0,0765                       | 1600                           | 1000                      | 30            |
| Außenputz                               |     | 0,58                         | 1200                           | 900                       | 1,5           |
| <b>U-Wert Gesamt [W/m<sup>2</sup>K]</b> |     |                              |                                |                           | 0,24          |

Tabelle 22: Materialisierung der Außenwand EnEV

| Bezeichnung                             | [-] | Wärmeleitfähigkeit<br>[W/mK] | Dichte<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | Wärmekapazität<br>[J/kgK] | Dicke<br>[cm] |
|---|-----|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| Putz                                    |     | 0,35                         | 1100                           | 900                       | 1,5           |
| Vollziegel + Däm-<br>mung               |     | 0,0467                       | 1600                           | 1000                      | 30            |
| Außenputz                               |     | 0,58                         | 1200                           | 900                       | 1,5           |
| <b>U-Wert Gesamt [W/m<sup>2</sup>K]</b> |     |                              |                                |                           | 0,15          |

Tabelle 23: Materialisierung der Außenwand EnEVPlus

| Bezeichnung                             | [-] | Wärmeleitfähigkeit<br>[W/mK] | Dichte<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | Wärmekapazität<br>[J/kgK] | Dicke<br>[cm] |
|---|-----|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| Putz                                    |     | 0,35                         | 1100                           | 900                       | 1,5           |
| Vollziegel                              |     | 0,81                         | 1800                           | 1000                      | 11            |
| Putz                                    |     | 0,35                         | 1100                           | 900                       | 1,5           |
| <b>U-Wert Gesamt [W/m<sup>2</sup>K]</b> |     |                              |                                |                           | 2,55          |

Tabelle 24: Materialisierung der Innenwand Bestand, EnEV und EnEVPlus

| Bezeichnung                             | [-] | Wärmeleitfähigkeit<br>[W/mK] | Dichte<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | Wärmekapazität<br>[J/kgK] | Dicke<br>[cm] |
|---|-----|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| Putz                                    |     | 0,35                         | 1100                           | 900                       | 5             |
| Beton                                   |     | 1,7                          | 2300                           | 800                       | 15            |
| Putz                                    |     | 0,35                         | 1100                           | 900                       | 1,5           |
| <b>U-Wert Gesamt [W/m<sup>2</sup>K]</b> |     |                              |                                |                           | 2,25          |

Tabelle 25: Materialisierung der Zwischendecke Bestand, EnEV und EnEVPlus

| Bezeichnung                             | [-] | Wärmeleitfähigkeit<br>[W/mK] | Dichte<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | Wärmekapazität<br>[J/kgK] | Dicke<br>[cm] |
|---|-----|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| Holz                                    |     | 0,14                         | 500                            | 2300                      | 5             |
| Dämmung                                 |     | 0,045                        | 21                             | 850                       | 15            |
| Putz                                    |     | 0,35                         | 1100                           | 900                       | 1,5           |
| <b>U-Wert Gesamt [W/m<sup>2</sup>K]</b> |     |                              |                                |                           | 1,10          |

Tabelle 26: Materialisierung der Dachkonstruktion Bestand

| Bezeichnung                             | [-] | Wärmeleitfähigkeit<br>[W/mK] | Dichte<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | Wärmekapazität<br>[J/kgK] | Dicke<br>[cm] |
|---|-----|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| Holz                                    |     | 0,14                         | 500                            | 2300                      | 5             |
| Dämmung                                 |     | 0,045                        | 21                             | 850                       | 15            |
| Putz                                    |     | 0,35                         | 1100                           | 900                       | 1,5           |
| <b>U-Wert Gesamt [W/m<sup>2</sup>K]</b> |     |                              |                                |                           | 0,24          |

Tabelle 27: Materialisierung der Dachkonstruktion EnEV

| Bezeichnung                             | [-] | Wärmeleitfähigkeit<br>[W/mK] | Dichte<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | Wärmekapazität<br>[J/kgK] | Dicke<br>[cm] |
|---|-----|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| Holz                                    |     | 0,14                         | 500                            | 2300                      | 5             |
| Dämmung                                 |     | 0,00246                      | 21                             | 850                       | 15            |
| Putz                                    |     | 0,35                         | 1100                           | 900                       | 1,5           |
| <b>U-Wert Gesamt [W/m<sup>2</sup>K]</b> |     |                              |                                |                           | 0,15          |

Tabelle 28: Materialisierung der Dachkonstruktion EnEVPlus

| Bezeichnung                             | [-] | Wärmeleitfähigkeit<br>[W/mK] | Dichte<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | Wärmekapazität<br>[J/kgK] | Dicke<br>[cm] |
|---|-----|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| Estrich                                 |     | 1,66                         | 2100                           | 920                       | 5             |
| Dämmung                                 |     | 0,035                        | 70                             | 850                       | 2             |
| Beton                                   |     | 1,7                          | 2300                           | 880                       | 15            |
| <b>U-Wert Gesamt [W/m<sup>2</sup>K]</b> |     |                              |                                |                           | 1,10          |

Tabelle 29: Materialisierung Bodenplatte Bestand

| Bezeichnung                             | [-] | Wärmeleitfähigkeit<br>[W/mK] | Dichte<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | Wärmekapazität<br>[J/kgK] | Dicke<br>[cm] |
|---|-----|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| Estrich                                 |     | 1,66                         | 2100                           | 920                       | 5             |
| Dämmung                                 |     | 0,0067                       | 70                             | 850                       | 2             |
| Beton                                   |     | 1,7                          | 2300                           | 880                       | 15            |
| <b>U-Wert Gesamt [W/m<sup>2</sup>K]</b> |     |                              |                                |                           | 0,30          |

Tabelle 30: Materialisierung Bodenplatte EnEV

| Bezeichnung                             | [-] | Wärmeleitfähigkeit<br>[W/mK] | Dichte<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | Wärmekapazität<br>[J/kgK] | Dicke<br>[cm] |
|---|-----|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| Estrich                                 |     | 1,66                         | 2100                           | 920                       | 5             |
| Dämmung                                 |     | 0,00316                      | 70                             | 850                       | 2             |
| Beton                                   |     | 1,7                          | 2300                           | 880                       | 15            |
| <b>U-Wert Gesamt [W/m<sup>2</sup>K]</b> |     |                              |                                |                           | 0,15          |

Tabelle 31: Materialisierung Bodenplatte EnEVPlus

| Bezeichnung                                | Bestand | EnEV | EnEVPlus |
|--|---------|------|----------|
| U-Wert Glas [W/m <sup>2</sup> K]           | 3,5     | 1,3  | 0,8      |
| g-Wert SHGC [-]                            | 0,76    | 0,6  | 0,6      |
| $\tau$ -solar Solar Transmittance [-]      | 0,7     | 0,55 | 0,55     |
| T <sub>vis</sub> Visible Transmittance [-] | 0,8     | 0,8  | 0,8      |

Tabelle 32: Materialisierung der Fenster

| U-Werte [W/m <sup>2</sup> K] | Bestand | EnEV | EnEVPlus |
|------------------------------|---------|------|----------|
| Aussenwand                   | 1,47    | 0,24 | 0,15     |
| Innenwand                    | 2,55    | 2,55 | 2,55     |
| Zwischendecke/Boden          | 2,25    | 2,25 | 2,25     |
| Externe Boden                | 1,1     | 0,3  | 0,15     |
| Dach                         | 1,1     | 0,24 | 0,15     |
| Fenster                      | 3,5     | 1,3  | 0,8      |

Tabelle 33: Zusammenfassung der Wärmedurchgangskoeffizienten

| Parameter   | Werte  |
|---|--|
| Solltemperatur Heizen                             | 21 [°C]  |
| Solltemperatur Kühlen                             | 26 [°C]  |
| Grundluftwechsel + Infiltration = Luftwechselrate | 0,5 [h <sup>-1</sup> ] + 0,1 [h <sup>-1</sup> ] = 0,6 [h <sup>-1</sup> ] |
| Albedo-Wert der Gebäudehülle                      | 0,5 [-]  |

Tabelle 34: Randbedingungen für die Simulation

| Parameter  | Werte   |  |
|--|---|--|
| Grenzwert Übertemperaturgradstunden                          | 1200 [Kh/a]   |  |
| Wetterdaten  | REMO A1B 1970-2090 für München und Würzburg               |  |
| Grenzwert der Innentemperatur (Abhängig von der Klimaregion) | München<br>26 [°C]<br>(Klimaregion B)                     | Würzburg<br>27 [°C]<br>(Klimaregion C) |
| Grundluftwechsel   | 0,5 [h <sup>-1</sup> ]                                    |  |
| - Erhöhter Luftwechsel Tag (bei $g_{tot} \leq 0,4$ )         | - maximal 3 [h <sup>-1</sup> ]                            |  |
| - Erhöhter Luftwechsel Nacht (bei $g_{tot} \leq 0,4$ )       | - maximal 2 [h <sup>-1</sup> ]                            |  |
| Grenzbestrahlungsstärke pro m <sup>2</sup> Fensterfläche     |   |  |
| Nord-, Nordost-, Nordwestorientierte Fenster                 | 200 [W/m <sup>2</sup> ]                                   |  |
| alle anderen Richtungen                                      | 300 [W/m <sup>2</sup> ]                                   |  |
| Anwesenheit  | 24 [h/d]  |  |
| Interne Wärmelasten  | 100 [Wh/m <sup>2</sup> d] $\approx$ 4 [W/m <sup>2</sup> ] |  |

Tabelle 35: Randbedingungen gemäß der Normung DIN 4108-2: 2013-02

|      | Raumtemperatur | Lüftungsdauer             | Art der Lüftung                |
|------|----------------|---------------------------|--------------------------------|
| Ref. | 21,5 [°C]      | 7:00-7:30 und 21:00-23:00 | Minimale Lüftung Tag und Nacht |
| V1   | 21,5 [°C]      | 23:00 bis 6:00 Uhr        | Nachtlüftung                   |
| V2   | 21,5 [°C]      | 23:00 bis 6:00 Uhr        | Nachtlüftung                   |
| V3   | 23 [°C]        | Ganztägig                 | Automatisierte Fensterlüftung  |

Tabelle 36: Randbedingungen für die Fensterlüftung

## Vergleich der Siedlungstypen

| Siedlungstypen         | Delta zwischen P1 und P4 EnEV |                               | Delta zwischen P1 und P4 EnE-VPlus |                               |
|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
|                        | ∅ Heizen kWh/m <sup>2</sup> a | ∅ Kühlen kWh/m <sup>2</sup> a | ∅ Heizen kWh/m <sup>2</sup> a      | ∅ Kühlen kWh/m <sup>2</sup> a |
| Blockbebauung          | -11                           | +9                            | -10                                | +9                            |
| Zeilenbebauung         | -14                           | +8                            | -9                                 | +9                            |
| Historischer Stadtkern | -12                           | +6                            | -11                                | +6                            |

Tabelle 37: Vergleich der Siedlungstypen Anhand des Heiz- und Kühlbedarfs

| Siedlungstypen         | Delta zwischen P1 und P4 EnEV |                | Delta zwischen P1 und P4 EnE-VPlus |                |
|------------------------|-------------------------------|----------------|------------------------------------|----------------|
|                        | ∅ Moderat                     | ∅ Ambitioniert | ∅ Moderat                          | ∅ Ambitioniert |
| Blockbebauung          | +141 %                        | +37 %          | +147 %                             | +47 %          |
| Zeilenbebauung         | +129 %                        | +27 %          | +144 %                             | +40 %          |
| Historischer Stadtkern | +96 %                         | +13 %          | +115 %                             | +24 %          |

Tabelle 38: Vergleich der Siedlungstypen Anhand der Treibhausgas-Emissionen

| Siedlungstypen         | EnEV P4 Heizen kWh/m <sup>2</sup> a |    |    | EnEV P4 Kühlen kWh/m <sup>2</sup> a |      |      |
|------------------------|-------------------------------------|----|----|-------------------------------------|------|------|
|                        | V1                                  | V2 | V3 | V1                                  | V2   | V3   |
| Blockbebauung          | +3                                  | -  | -  | -6,4                                | -6,8 | -8,5 |
| Zeilenbebauung         | +4                                  | -  | -  | -5,5                                | -5,3 | -6,8 |
| Historischer Stadtkern | +3                                  | -  | -  | -4,3                                | -4,5 | -5,5 |

Tabelle 39: Einfluss der Klimaanpassungsmaßnahmen auf den Heiz- und Kühlbedarf für das Szenario EnEV in Periode 4

| Siedlungstypen         | EnEV P4 Moderat |       |       | EnEV P4 Ambitioniert |       |       |
|------------------------|-----------------|-------|-------|----------------------|-------|-------|
|                        | V1              | V2    | V3    | V1                   | V2    | V3    |
| Blockbebauung          | -47 %           | -51 % | -63 % | -28 %                | -35 % | -43 % |
| Zeilenbebauung         | -42 %           | -40 % | -54 % | -23 %                | -25 % | -33 % |
| Historischer Stadtkern | -43 %           | -44 % | -58 % | -23 %                | -27 % | -32 % |

Tabelle 40: Einfluss der Klimaanpassungsmaßnahmen auf die Treibhaushas-Emissionen für das Szenario EnEV in Periode 4

## E. Urbane Klimaregulation durch grüne Infrastruktur

| Meteorologische Inputdaten  | München                     | Würzburg                |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Heute                       | LMU Station Theresienstraße | DWD Station Hubland     |
| Typischer Hitzetag          | 18.06.2002                  | 12.07.2006              |
| Tmax [°C]                   | 32,1                        | 30,2                    |
| Tmin [°C]                   | 20,9                        | 20,0                    |
| Tmean [°C]                  | 26,4                        | 24,9                    |
| Hmean [ %]                  | 56,0                        | 64                      |
| Wind [m/s - °]              | 2,3 - 160                   | 2,1 - 175               |
| Bodenfeuchte [ %]           | 60                          | 60                      |
| Zukunft                     | REMO München 2030-2060      | REMO Würzburg 2030-2060 |
| Typischer extremer Hitzetag | 01.06.2058                  | 13.09.2048              |
| Tmax [°C]                   | 35,5                        | 35,1                    |
| Tmin [°C]                   | 19,4                        | 20,9                    |
| Tmean [°C]                  | 27,4                        | 27,1                    |
| Hmean [ %]                  | 50,4                        | 53,8                    |
| Wind [m/s - °]              | 1,9 – 192                   | 2,3 – 177               |
| Bodenfeuchte [ %]           | 60                          | 60                      |

Tabelle 41: Meteorologische Eingangsdaten in ENVI-met

| Vegetationsklasse   | Großbaum  | Großbaum mit breiter Krone                                      | Mittelgroßer Baum                                  | Büsche                | Gras/ Rasen |
|---|---|---|--|-----------------------|-------------|
| Species   | Z.B. <i>Robinia pseudo-acacia</i> , <i>acer platanoides</i> | Z.B. <i>Pterocarya fraxinifolia</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> | Z.B. <i>Betula pendula</i> , <i>Acer campestre</i> | Z.B. <i>Ligustrum</i> |             |
| Höhe [m]  | 15,0  | 20,0  | 6,0  | 3,0                   | 0,5         |
| Breite [m]  | 6,0   | 15,0  | 6,0  | 3,0                   | 1,0         |
| Wurzeltiefe [m]   | 3,0   | 2,0   | 1,4  | 1,2                   | 0,5         |
| Leaf area density – LAD [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ] | 2,0   | 1,2   | 1,0  | 0,7                   | 0,3         |
| Leaf area index – LAI [-]                                 | 6,1   | 5,1   | 4,0  | 3,3                   | 3,0         |
| Dimension in ENVI-met                                     | 3D  | 3D  | 3D   | 3D                    | 1D          |

Tabelle 42: Charakteristika der Vegetationsklassen in ENVI-met und MIKE SHE

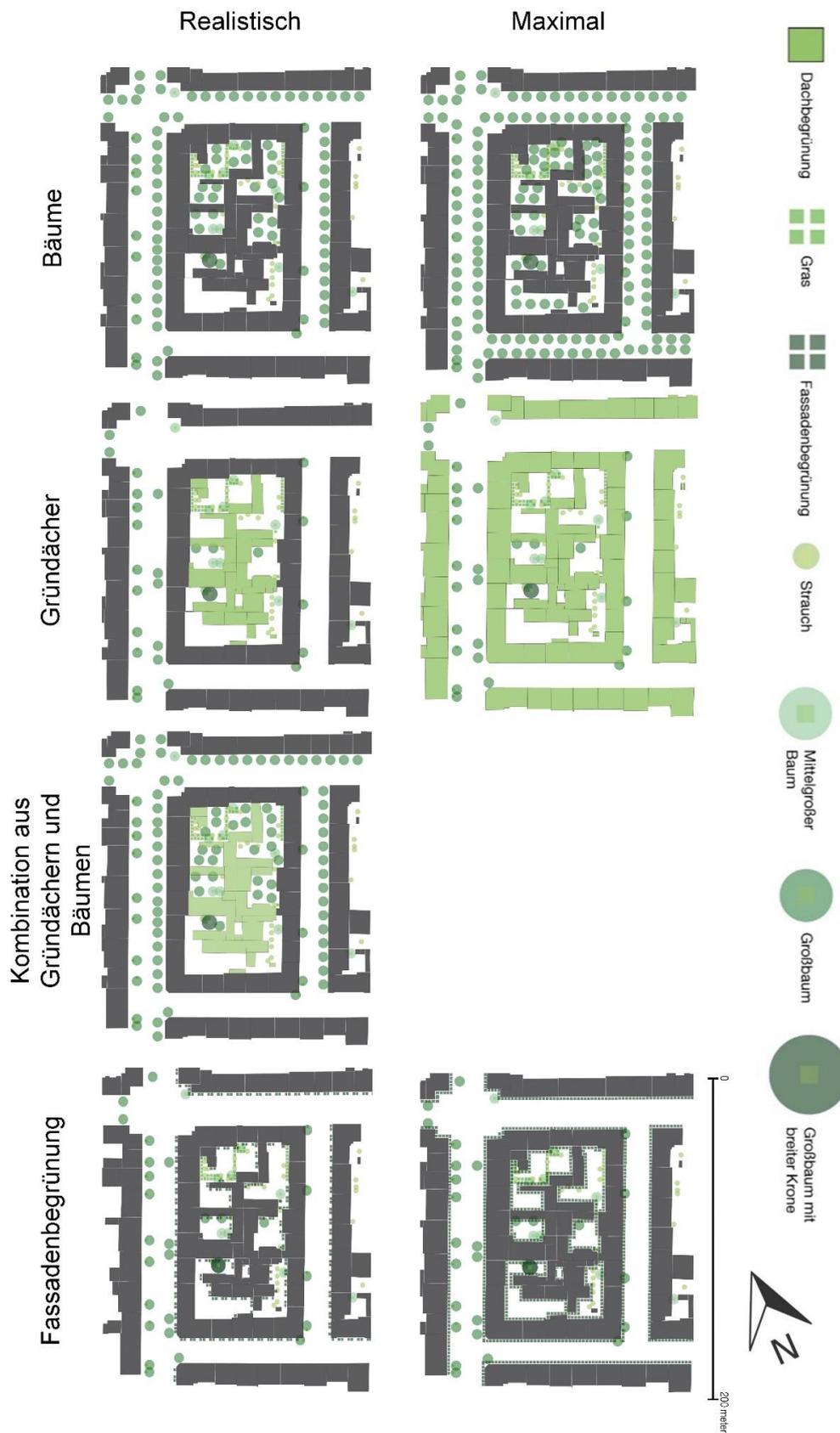


Abbildung 83: Grün szenarien in der Blockbebauung

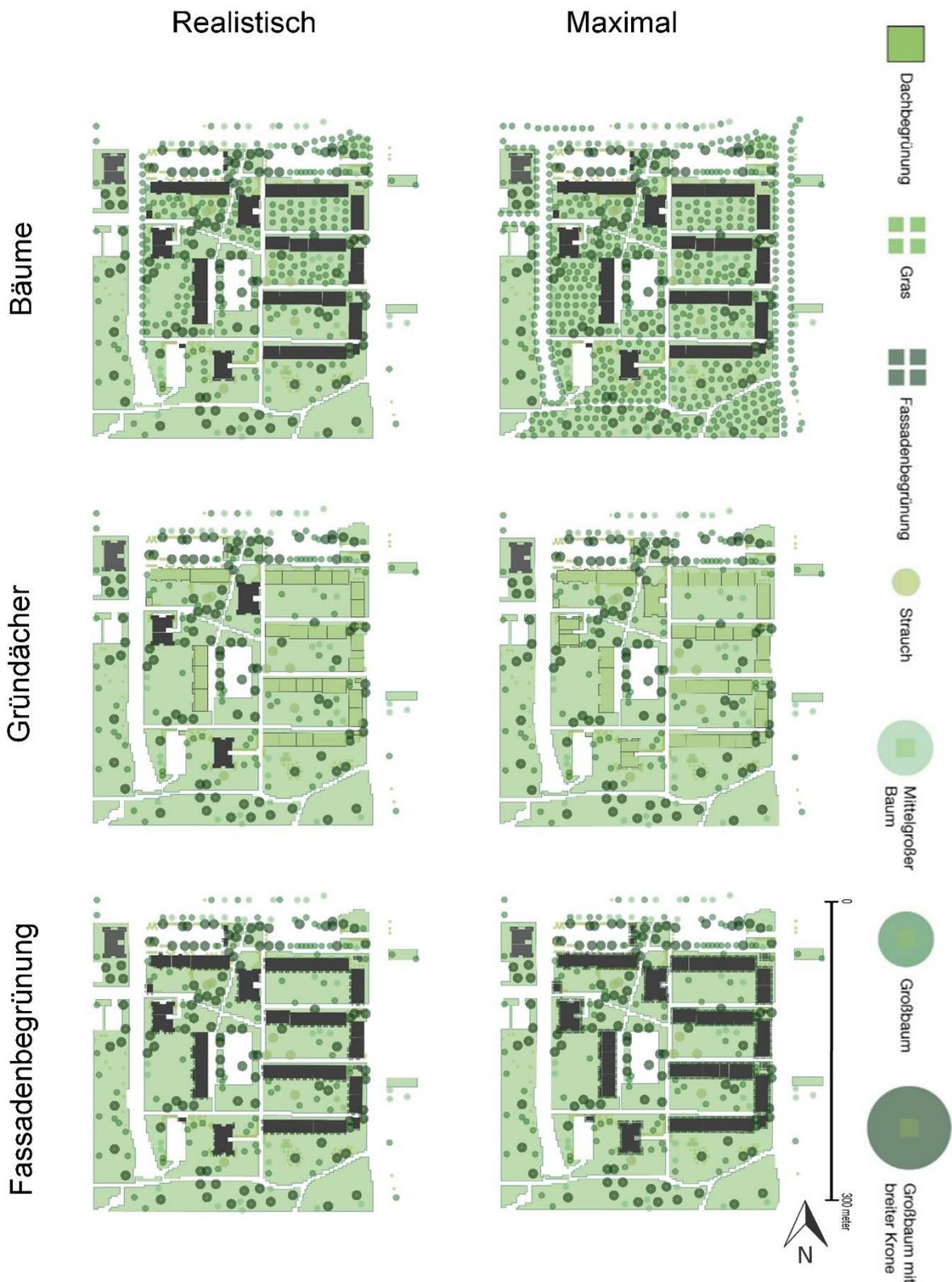


Abbildung 84: Grünscenarien in der Zeilenbebauung

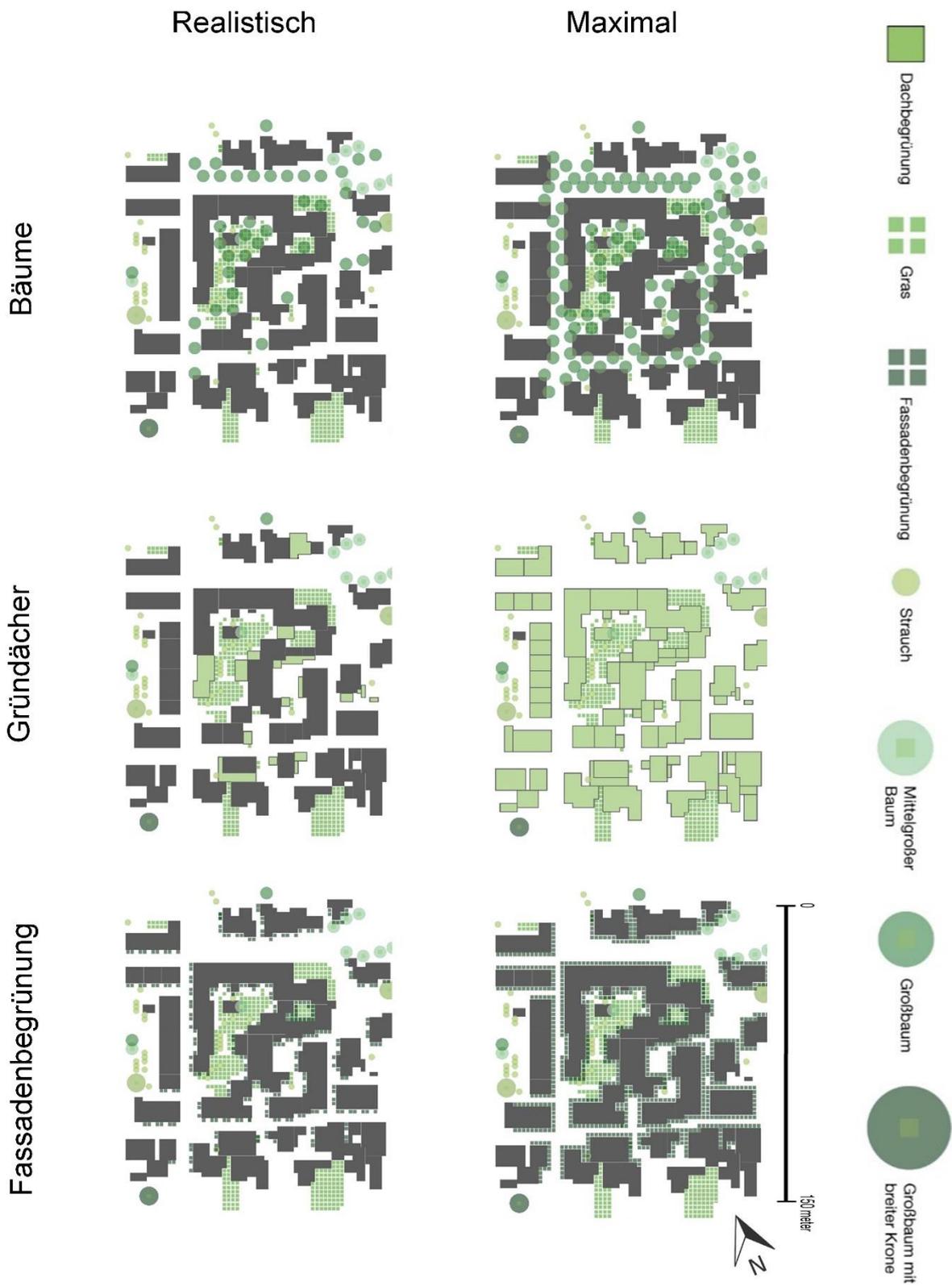


Abbildung 85: Grün szenarien im historischen Stadtkern

| <b>Blockbebauung</b>          |                |        |                   |        |
|-------------------------------|----------------|--------|-------------------|--------|
|                               | Heutiges Klima |        | Zukünftiges Klima |        |
|                               | PET [°C]       | %      | PET [°C]          | %      |
| Null = keine Begrünung        | 42,8           | + 4,3  | 45,2              | + 10,7 |
| Bestand = aktuelle Begrünung  | 41,1           | 0,0    | 43,5              | + 6,3  |
| TreeR                         | 36,5           | - 10,3 | 39,0              | - 4,0  |
| RoofR                         | 41,1           | 0,0    | 43,5              | + 6,3  |
| FacadeR                       | 39,0           | - 5,1  | 41,3              | + 0,9  |
| TreeM                         | 35,3           | - 13,0 | 37,6              | - 7,1  |
| RoofM                         | 40,9           | - 0,5  | 43,5              | + 6,3  |
| FacadeM                       | 37,1           | - 9,8  | 39,2              | - 4,1  |
| <b>Zeilenbebauung</b>         |                |        |                   |        |
|                               | Heutiges Klima |        | Zukünftiges Klima |        |
|                               | PET [°C]       | %      | PET [°C]          | %      |
| Null = keine Begrünung        | 48,1           | + 11,1 | 49,7              | + 14,8 |
| Bestand = aktuelle Begrünung  | 43,3           | 0,0    | 45,4              | + 5,5  |
| TreeR                         | 43,3           | 0,0    | 43,9              | + 1,4  |
| RoofR                         | 43,2           | - 0,2  | 45,4              | + 4,8  |
| FacadeR                       | 42,7           | - 1,3  | 45,0              | + 3,9  |
| TreeM                         | 35,0           | - 19,2 | 37,6              | - 13,1 |
| RoofM                         | 43,1           | - 0,5  | 45,4              | + 4,9  |
| FacadeM                       | 42,4           | - 2,1  | 44,6              | + 3,0  |
| <b>Historischer Stadtkern</b> |                |        |                   |        |
|                               | Heutiges Klima |        | Zukünftiges Klima |        |
|                               | PET [°C]       | %      | PET [°C]          | %      |
| Null = keine Begrünung        | 43,2           | + 2,7  | 47,8              | + 14,3 |
| Bestand = aktuelle Begrünung  | 42,0           | 0,0    | 46,6              | + 11,5 |
| TreeR                         | 37,1           | - 10,4 | 41,5              | - 0,5  |
| RoofR                         | 42,0           | - 0,1  | 46,6              | + 11,4 |
| FacadeR                       | 38,8           | - 7,3  | 43,2              | + 3,5  |
| TreeM                         | 33,8           | - 17,5 | 37,9              | - 7,5  |
| RoofM                         | 41,6           | - 0,9  | 46,3              | + 10,6 |
| FacadeM                       | 35,8           | - 13,8 | 40,1              | - 3,2  |

Tabelle 43: Durchschnittlicher PET (°C) in 1,4 m um 15 Uhr und relative Änderung ( %) verglichen mit Szenario B unter heutigem Klima

|  | Null   |        | Bestand |        | TreeR  |        | RoofR  |        | TreeM  |        | RoofM  |        | Kombi  |        |   |
|--|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|
|  | m3     | %      | m3      | %      | m3     | %      | m3     | m3     | %      | m3     | %      | m3     | %      | m3     | % |
| <b>02.05.2001 16 Uhr</b><br><b>07.05.2001 00 Uhr</b> |        |        |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| Niederschlag   | -779,0 | -100,0 | -779,0  | -100,0 | -779,0 | -100,0 | -779,0 | -100,0 | -779,0 | -100,0 | -779,0 | -100,0 | -779,0 | -100,0 |   |
| Evapotranspiration                                   | 0,0    | 0,0    | 20,9    | 2,7    | 50,5   | 6,5    | 49,1   | 6,3    | 87,1   | 11,2   | 190,4  | 24,5   | 78,3   | 10,1   |   |
| Evaporation<br>Interzeption                          | 0,0    | 0,0    | 2,0     | 0,3    | 4,8    | 0,6    | 4,0    | 0,5    | 8,2    | 1,1    | 14,3   | 1,8    | 6,7    | 0,9    |   |
| Evaporation<br>ungesättigte Zone                     | 0,0    | 0,0    | 3,9     | 0,5    | 9,3    | 1,2    | 12,1   | 1,6    | 15,9   | 2,0    | 53,3   | 6,9    | 17,3   | 2,2    |   |
| Transpiration<br>ungesättigte Zone                   | 0,0    | 0,0    | 12,5    | 1,6    | 30,6   | 3,9    | 30,4   | 3,9    | 52,8   | 6,8    | 119,1  | 15,3   | 48,5   | 6,2    |   |
| Evaporation<br>Oberflächenabfluss                    | 0,0    | 0,0    | 2,5     | 0,3    | 5,9    | 0,8    | 2,7    | 0,3    | 10,2   | 1,3    | 3,7    | 0,5    | 5,9    | 0,8    |   |
| Oberflächenabfluss                                   | 750,7  | 96,4   | 745,7   | 95,7   | 738,6  | 94,8   | 733,9  | 94,2   | 729,6  | 93,7   | 630,2  | 80,9   | 726,8  | 93,3   |   |
| Neubildung<br>gesättigte Zone                        | 0,0    | 0,0    | 6,0     | 0,8    | 13,6   | 1,7    | 6,0    | 0,8    | 21,9   | 2,8    | 5,6    | 0,7    | 16,5   | 2,1    |   |
| Speicheränderung                                     | 0,6    | 0,1    | -7,5    | -1,0   | -20,1  | -2,6   | -23,1  | -3,0   | -36,3  | -4,7   | -112,7 | -14,5  | -32,3  | -4,2   |   |
| Bilanz   | -27,7  | -3,6   | -14,0   | -1,8   | 3,6    | 0,5    | -13,2  | -1,7   | 23,3   | 3,0    | -65,6  | -8,4   | 10,3   | 1,3    |   |
| Anteil Modellfehler                                  | 0,1    | 0,0    | 0,3     | 0,0    | 0,4    | 0,1    | -1,7   | -0,2   | 0,5    | 0,1    | -10,5  | -1,4   | -1,5   | -0,2   |   |

Tabelle 44: Wasserbilanz des 2 jährigen Starkregenereignisses

|                                    | Null   |        | Bestand |        | TreeR  |        | RoofR  |        | TreeM  |        | RoofM  |        | Kombi  |        |        |
|------------------------------------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                    | m3     | %      | m3      | %      | m3     | %      | m3     | m3     | %      | m3     | %      | m3     | %      | m3     | %      |
| <b>02.05.2001 16 Uhr</b>           |        |        |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| <b>07.05.2001 00 Uhr</b>           |        |        |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Niederschlag                       | -978,9 | -100,0 | -978,9  | -100,0 | -978,9 | -100,0 | -978,9 | -100,0 | -978,9 | -100,0 | -978,9 | -100,0 | -978,9 | -100,0 | -100,0 |
| Evapotranspiration                 | 0,0    | 0,0    | 15,7    | 1,6    | 38,1   | 3,9    | 38,5   | 3,9    | 65,9   | 6,7    | 153,6  | 15,7   | 59,8   | 6,1    |        |
| Evaporation<br>Interzeption        | 0,0    | 0,0    | 2,0     | 0,2    | 4,9    | 0,5    | 4,1    | 0,4    | 8,5    | 0,9    | 14,8   | 1,5    | 6,9    | 0,7    |        |
| Evaporation<br>ungesättigte Zone   | 0,0    | 0,0    | 3,1     | 0,3    | 7,4    | 0,8    | 8,0    | 0,8    | 12,8   | 1,3    | 33,1   | 3,4    | 12,2   | 1,2    |        |
| Transpiration<br>ungesättigte Zone | 0,0    | 0,0    | 9,0     | 0,9    | 22,1   | 2,3    | 24,4   | 2,5    | 38,3   | 3,9    | 101,9  | 10,4   | 36,8   | 3,8    |        |
| Evaporation<br>Oberflächenabfluss  | 0,0    | 0,0    | 1,6     | 0,2    | 3,7    | 0,4    | 2,0    | 0,2    | 6,3    | 0,6    | 3,8    | 0,4    | 3,9    | 0,4    |        |
| Oberflächenabfluss                 | 952,3  | 97,3   | 946,6   | 96,7   | 938,5  | 95,9   | 932,6  | 95,3   | 928,3  | 94,8   | 805,7  | 82,3   | 924,7  | 94,5   |        |
| Neubildung<br>gesättigte Zone      | 0,0    | 0,0    | 2,8     | 0,3    | 6,5    | 0,7    | 2,7    | 0,3    | 10,1   | 1,0    | 2,1    | 0,2    | 7,8    | 0,8    |        |
| Speicheränderung                   | 0,6    | 0,1    | -6,3    | -0,6   | -16,7  | -1,7   | -14,8  | -1,5   | -30,3  | -3,1   | -70,4  | -7,2   | -22,2  | -2,3   |        |
| Bilanz                             | -25,9  | -2,7   | -20,1   | -2,1   | -12,5  | -1,3   | -19,7  | -2,0   | -4,9   | -0,5   | -87,8  | -9,0   | -8,8   | -0,9   |        |
| Anteil Modellfehler                | -0,2   | 0,0    | -0,3    | 0,0    | -0,4   | 0,0    | -2,0   | -0,2   | -0,6   | -0,1   | -7,9   | -0,8   | -1,7   | -0,2   |        |

Tabelle 45: Wasserbilanz des 5 jährigen Starkregenereignisses

## F. Biodiversität und Freiraum

| Straßenbaumtauglichkeit, Klimaangepasstheit und faunistischer Wert von Gehölzen  |                   |          |      |      |       |                    |   |   |   |   |   |      |      |
|--|-------------------|----------|------|------|-------|--------------------|---|---|---|---|---|------|------|
| Legende  |                   |          |      |      |       |                    |   |   |   |   |   |      |      |
| "GALK": Angaben zu Baumverwendung nach GALK: gg = gut geeignet, g = geeignet, gmE = geeignet mit Einschränkung, ng= nicht geeignet (Bemerkung beachten), im Test = Art potentiell als Stadtbaum geeignet,  |                   |          |      |      |       |                    |   |   |   |   |   |      |      |
| "KLAM": Angaben zu Klimatauglichkeit nach KLAM (Stadt) bzgl. Trockentoleranz (1. Zahl) und Winterhärte (2. Zahl): 1 = sehr geeignet, 2 = geeignet, 3 = problematisch, 4 = nur sehr eingeschränkt geeignet  |                   |          |      |      |       |                    |   |   |   |   |   |      |      |
| "Gloor" Angaben zum durchschnittlichen Biodiversitätspotential über untersuchte Artengruppen nach Gloor: 5 hoher Wert für die Biodiversität, 1 = geringer Wert für die Biodiversität, - = keine Angaben  |                   |          |      |      |       |                    |   |   |   |   |   |      |      |
| "Faunistischer Wert": B = Bienen, K= Käfer, F = Falter, V= Vögel, S = Säuger; Angaben zum Wert für die entsprechenden Tierartengruppen (der Einteilung von Gloor folgend): 5 = sehr hoher Wert, 4 = hoher Wert, 3 = grundsätzlich wertvoll, 2 = nur mäßig wertvoll, 1 = geringer Wert, - = keine Angaben                                       |                   |          |      |      |       |                    |   |   |   |   |   |      |      |
| "Ord." Angaben zur Wuchshöhe: 1 = >20 Meter, 2 = 10 bis 20 Meter, 3 = bis 10 Meter   |                   |          |      |      |       |                    |   |   |   |   |   |      |      |
| "Säu." = schmale, säulenförmige Wuchsform, "Str." = Zwerg- bis Großsträucher   |                   |          |      |      |       |                    |   |   |   |   |   |      |      |
| Angaben in Bemerkung: KLAM-Landschaft = Klimaartenmatrix für die Landschaft nach Roloff; Straßenbaumtest 2 nach GALK; Stadtgrün 2021 = Test von Baumarten durch die Bayerische Landesanstalt für Wein- und Gartenbau (LWG); sonstige Angaben für Bäume nach GALK und Warda; Angaben für Sträucher nach Warda; Sonstige Quellen siehe Haupttext |                   |          |      |      |       |                    |   |   |   |   |   |      |      |
| Pflanzenart  | Deutscher Name    | Ord.     | Galk | KLAM | Gloor | Faunistischer Wert |   |   |   |   | Bemerkung   | Säu. | Str. |
|  |                   |          |      |      |       | B                  | K | F | V | S |   |      |      |
| <i>Abies alba</i>  | Weiß-Tanne        | <u>1</u> | -    | *    | -     | -                  | - | 3 | - | - | * KLAM-Landschaft: eher im Nachteil   |      |      |
| <i>Acer campestre</i>  | Feld-Ahorn        | <u>1</u> | gmE  | 11   | 4     | 5                  | 4 | 4 | 4 | 3 | eiförmige, unregelmäßige, im Alter mehr rundliche Krone, verträgt trockene Böden und hohen Versiegelungsgrad, guter Bodenbefestiger für Ufer bzw. Hanglagen |      |      |
| <i>Acer campestre</i><br>'Elsrijk'   | Feld-Ahorn        | <u>2</u> | gmE  | 11   | -     | 4                  | - | - | - | - | wie die Art, jedoch gerader durchgehender Stamm, im Wuchs schmaler und gleichmäßiger, gebietsweise Frostschäden in der Krone, mehltaufrei                   | x    |      |
| <i>Acer campestre</i><br>'Huibers Elegant'   | Feld-Ahorn        | <u>3</u> | *    | 11   | -     | 4                  | - | - | - | - | sehr regelmäßiger, aufrechter Wuchs, gilt als mehltaufrei<br>* im Straßenbaumtest 2 seit 2007/08  |      |      |
| <i>Acer cappadocicum</i><br>syn. <i>A. colchicum</i>   | Kolchischer Ahorn | <u>2</u> | -    | 22   | 2,6   | 5                  | 3 | 1 | 2 | 2 | -   |      |      |

|  |                           |          |         |    |     |   |   |   |   |   |  |   |  |
|--|---------------------------|----------|---------|----|-----|---|---|---|---|---|--|---|--|
| <b><i>Acer monspessulanum</i></b>                | Französischer Ahorn       | <u>2</u> | im Test | 12 | –   | 5 | 5 | 5 | – | – | breit eiförmige, rundlicher Krone, auf geraden, durchgehenden Stamm achten, wärmeliebend, für trockene Standorte geeignet (Weinbauklima), gebietsweise Frostschäden, im Straßenbaumtest 2 seit 2005; Baumart in Stadtgrün 2021; Insektenmagnet |   |  |
| <b><i>Acer palmatum</i></b>                      | Fächer-Ahorn              | <u>3</u> | –       | –  | 2,6 | 5 | 3 | 1 | 2 | 2 | –  |   |  |
| <b><i>Acer platanoides</i></b>                   | Spitz-Ahorn               | <u>1</u> | gmE     | 21 | 3,6 | 5 | 4 | 3 | 3 | 3 | rundliche, dicht geschlossene Krone, blüht vor dem Blattaustrieb, sehr frosthart, empfindlich gegen Bodenverdichtung, Honigtauabsonderung,   |   |  |
| <b><i>Acer platanoides 'Apollo'</i></b>          | Kegelförmiger Spitz-Ahorn | <u>2</u> | gmE     | 21 | –   | 3 | – | – | – | – | wie die Art, jedoch aufrechter und schneller wachsend, winterhart, Honigtauabsonderung, im Straßenbaumtest 2 seit 2005   |   |  |
| <b><i>Acer platanoides 'Cleveland'</i></b>       | Kegelförmiger Spitz-Ahorn | <u>2</u> | g       | 21 | –   | 3 | – | – | – | – | ovale, im Alter breit eiförmige, regelmäßige Krone, Austrieb leuchtend rot, stadtklimafest, Honigtauabsonderung  |   |  |
| <b><i>Acer platanoides 'Deborah'</i></b>         | Spitz-Ahorn               | <u>2</u> | gmE     | 21 | –   | 3 | – | – | – | – | rundlich bis breit rundlich, gerader durchgehender Stamm, Honigtauabsonderung, Ergebnisse aus Straßenbaumtest 1 beachten   |   |  |
| <b><i>Acer platanoides 'Emerald Queen'</i></b>   | Spitz-Ahorn               | <u>2</u> | gmE     | 21 | –   | 3 | – | – | – | – | ovale Krone, in der Jugend betont aufrecht, hitze- und trockenheitsverträglich, windfest, geeignet für engere Straßenräume, Honigtauabsonderung  |   |  |
| <b><i>Acer platanoides 'Fairview'</i></b>        | Spitz-Ahorn               | <u>2</u> | *       | 21 | –   | 3 | – | – | – | – | aufrechte ovale Krone; anspruchslos und anpassungsfähig, hitzeverträglich und frosthart, Honigtauabsonderung, * im Straßenbaumtest 2 seit 2007/08  |   |  |
| <b><i>Acer platanoides 'Farlake's Green'</i></b> | Spitz-Ahorn               | <u>2</u> | gmE     | 21 | –   | 3 | – | – | – | – | gleichmäßig aufgebaut, hitze- und trockenheitsverträglich, windfest, wenig mehltauanfällig, empfindlich gegen Streusalz, Ergebnisse aus Straßenbaumtest 1 beachten   |   |  |
| <b><i>Acer platanoides 'Olmsted'</i></b>         | Spitz-Ahorn               | <u>2</u> | g       | 21 | –   | 3 | – | – | – | – | schmal, säulenförmig; geeignet für enge Räume in exponierter, lufttrockener Stadtlage, Honigtauabsonderung   | x |  |
| <b><i>Acer platanoides 'Royal Red'</i></b>       | Rotblättriger Spitz-Ahorn | <u>2</u> | gmE     | 21 | –   | 3 | – | – | – | – | Laub im Austrieb rot, danach bis zum Herbst konstant purpurschwarzrot, glänzend, sehr frosthart, hitzeverträglich, windfest, Honigtauabsonderung   |   |  |
| <b><i>Acer platanoides 'Ailershausen'</i></b>    | Spitz-Ahorn               | <u>2</u> | g       | 21 | –   | 3 | – | – | – | – | stark verzweigte, dichte, geschlossene Krone, gut geeignet für frostgefährdete Lagen, Honigtauabsonderung, im Straßenbaumtest 2 seit 2005  |   |  |

|   |                            |          |     |    |     |   |   |   |   |   |   |   |  |
|---|----------------------------|----------|-----|----|-----|---|---|---|---|---|---|---|--|
| <b><i>Acer platanoides 'Columnare'</i></b>    | Säulenförmiger Spitz-Ahorn | <u>2</u> | g   | 21 | -   | 3 | - | - | - | - | schmal, säulenförmig wachsend, sehr frosthart, hitzeverträglich, trockenheitsverträglich, windfest und schattenverträglich, Honigttauabsonderung, guter Kompartimentierer   | x |  |
| <b><i>Acer platanoides 'Globosum'</i></b>     | Spitz-Ahorn                | <u>3</u> | g   | 21 | -   | 3 | - | - | - | - | dicht verzweigte, geschlossene Kugelkrone (auf Lichtraumprofil achten), frosthart, hitze- und trockenheitsverträglich, windfest und schattenverträglich, Honigttauabsonderung, für Kübel und Container geeignet   |   |  |
| <b><i>Acer platanoides 'Summershade'</i></b>  | Spitz-Ahorn                | <u>1</u> | gmE | 21 | -   | 3 | - | - | - | - | ausladende und hängende Äste, bildet Quirle, windbruchgefährdet, stadtklimafest, Honigttauabsonderung   |   |  |
| <b><i>Acer pseudoplatanus</i></b>             | Berg-Ahorn                 | <u>1</u> | ng  | 41 | 4   | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | kalkverträglich, streusalzempfindlich, nicht geeignet bei Bodenverdichtungen und hohem Versiegelungsgrad, Honigttauabsonderung; unter den besten Spendern von Pollen, Nektar und Honigttau  |   |  |
| <b><i>Acer pseudoplatanus 'Erectum'</i></b>   | Schmaler Berg-Ahorn        | <u>1</u> | ng  | 41 | -   | 3 | - | - | - | - | wie die Art, jedoch in der Jugend schmalkroniger, Honigttauabsonderung  |   |  |
| <b><i>Acer pseudoplatanus 'Negenia'</i></b>   | Berg-Ahorn                 | <u>1</u> | ng  | 41 | -   | 3 | - | - | - | - | wie die Art, jedoch mit breit pyramidalen Krone, vergreift früh, Honigttauabsonderung   |   |  |
| <b><i>Acer pseudoplatanus 'Rotterdam'</i></b> | Berg-Ahorn                 | <u>1</u> | ng  | 41 | -   | 3 | - | - | - | - | wie die Art, in der Jugend säulenförmig, später breit kegelförmig, keine Leittriebentwicklung, Honigttauabsonderung   |   |  |
| <b><i>Acer rubrum</i></b>                     | Rot-Ahorn                  | <u>2</u> | gmE | 12 | -   | 4 | 4 | 4 | - | - | dunkelrote Blüte vor Blattaustrieb, frosthart, etwas hitzeempfindlich, bedingt stadtklimafest, flach wurzelnd, auf Kalkböden Chlorosegefahr<br>Östl. Nordamerika, Flussufer, Sümpfe, trockene Bergrücken, Mischwälder; wertvolles Insektennährgehölz, frühe Blüte |   |  |
| <b><i>Acer rubrum 'Scanlon'</i></b>           | Rot-Ahorn                  | <u>2</u> | -   | 12 | -   | 4 | 4 | 4 | - | - | wie die Art, jedoch schmal-eiförmige Krone, rote Blüte vor Blattaustrieb, im Straßenbaumtest 2 seit 2007/08   |   |  |
| <b><i>Acer saccharinum</i></b>                | Silber-Ahorn               | <u>1</u> | ng  | 31 | 2,6 | 5 | 3 | 1 | 2 | 2 | windbrüchig, kurzlebig, jedoch schnelle Wirkung, auf Kalkböden Chlorosegefahr, sehr früh blühend  |   |  |
| <b><i>Aesculus hippocastanum</i></b>          | Roskastanie                | <u>1</u> | gmE | 42 | 2,6 | 4 | - | - | - | - | empfindlich gegen Bodenverdichtungen und Streusalz, Fruchtfall beachten, starker Kronen- und Wurzeldruck; sehr gute Nektarquelle  |   |  |

|   |                               |          |     |    |     |   |   |   |   |   |  |  |   |
|---|-------------------------------|----------|-----|----|-----|---|---|---|---|---|--|--|---|
| <i>Aesculus hippocastanum</i> 'Baumannii'             | Gefüllt-blühende Rosskastanie | <u>1</u> | gmE | 42 | –   | 4 | – | – | – | – | wie die Art, jedoch länger und gefüllt blühend, keine Fruchtbildung  |  |   |
| <i>Aesculus x carnea</i>                              | Rotblühende Kastanie          | <u>2</u> | gmE | 21 | 2,6 | 4 | – | – | – | – | schwierig aufzuastern, nicht geeignet bei Bodenverdichtungen und hohem Versiegelungsgrad, geringer Befall durch Miniermotte, geringer Fruchtfall   |  |   |
| <i>Aesculus x carnea</i> 'Briotii'                    | Scharlachkastanie             | <u>2</u> | gmE | 21 | –   | 4 | – | – | – | – | wie die Art, jedoch kräftiger gefärbte Blüte, in verschiedenen Typen im Handel   |  |   |
| <i>Ailanthus altissima</i> syn. <i>A. glandulosum</i> | Götterbaum                    | <u>1</u> | ng  | 12 | 1   | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | außerordentlich schnellwüchsig, starke Ausbreitungstendenz, Bruchgefahr, sehr trockenheitsverträglich, wärmeliebend, salztolerant, besonders stadtklimafest  |  |   |
| <i>Alnus glutinosa</i>                                | Schwarz-Erle                  | <u>1</u> | –   | 42 | 2,6 | 3 | – | 5 | 3 | – | windfest, stickstoffbindend, schnelle Laubverrottung, sehr tief gehendes Wurzelsystem, nicht geeignet bei Bodenverdichtungen und hohem Versiegelungsgrad; Vogelnährgehölz  |  |   |
| <i>Alnus incana</i>                                   | Grau-Erle                     | <u>2</u> | ng  | 11 | 3   | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | anspruchlos, sehr froshart, windresistent, salztolerant, Stickstoffsammler; wurzelt flacher als <i>Alnus glutinosa</i> , bildet Ausläufer; Vogelnährgehölz   |  |   |
| <i>Alnus x spaethii</i>                               | Purpur-Erle                   | <u>2</u> | gg  | 21 | 2   | 2 | 2 | – | 4 | 1 | froshart, windfest, wüchsig, gerader, durchgehender Stamm, Schneebruchgefahr durch lang haftendes Laub, Ergebnisse aus Straßenbaumtest 1 beachten; frühe Blüte   |  |   |
| <i>Amelanchier ovalis</i>                             | Gewöhnliche Felsenbirne       | <u>3</u> | –   | 11 | –   | 4 | – | 2 | 4 | – | stadtklimafest, außerordentlich hitzeverträglich, sommerlich Trockenperioden werden schadlos überstanden; südexponierte, sommerwarme Standorte, lichte Gebüsche, Hecken; reichlich Nektar, Insekten- und Vogelnährgehölz |  | x |
| <i>Berberis vulgaris</i>                              | Gewöhnliche Berberitze        | <u>3</u> | –   | –  | –   | 3 | – | 4 | 4 | – | verträgt schadlos sommerliche Trockenperioden, wärmeliebend  |  | x |
| <i>Betula pendula</i>                                 | Hänge-Birke                   | <u>1</u> | gmE | 21 | 3,4 | 1 | 4 | 5 | 3 | 4 | lockere, hochgewölbte Krone, Seitenbezweigung oft lang herabhängend, froshart, nicht stadtklimafest, neigt zur Anhebung von Belägen, nicht in befestigten Flächen verwenden, Pflanzzeitpunkt beachten                    |  |   |

|  |   |          |     |    |     |   |   |   |   |   |  |   |   |
|--|---|----------|-----|----|-----|---|---|---|---|---|--|---|---|
| <i>Betula pendula</i><br>' <i>Dalecarlica</i> '      | Ornäs-Birke                               | <u>2</u> | -   | -  | -   | 1 | 4 | 5 | 3 | 4 | schmalkroniger, mittelhoher Solitärbaum, straff säulenförmig, auch im Alter schlank; geeignet als StraÙebaum für enge WohnstraÙen in nicht befestigten Flächen (Warda)   |   |   |
| <i>Betula pubescens</i>                              | Moor-Birke                                | <u>2</u> | -   | *  | -   | - | - | 4 | - | - | mildere Standorte, anspruchslos<br>*KLAM-Landschaft: eher im Nachteil; sehr wichtige Futterpflanze für zahlreiche heimische Falter   |   |   |
| <i>Buddleja davidii</i>                              | Sommerflieder                             | <u>3</u> | -   | -  | -   | 4 | - | 5 | - | - | außergewöhnlich trockenheitsresistent, sehr hitzefest, rauchhart, stadtklimafest; sehr wertvolles Insektennährgehölz späte Blüte   |   | x |
| <i>Calluna vulgaris</i>                              | Heidekraut/<br>Besenheide                 | <u>3</u> | -   | -  | -   | 5 | - | 5 | - | - | Charakterpflanze europäischer Heide- und Moorlandschaften, Magerweiden, lichte Eichen- und Kiefernwälder, sandige Böschungen, Felshänge, Moore   |   | x |
| <i>Carpinus betulus</i>                              | Hainbuche                                 | <u>1</u> | gmE | 21 | 3,2 | 2 | 3 | 5 | 3 | 4 | kegelförmig, im Alter hochgewölbt, nicht stadtklimafest, daher nicht in befestigten Flächen verwenden  |   |   |
| <i>Carpinus betulus</i><br>' <i>Fastigiata</i> '     | Pyramiden-Hainbuche                       | <u>2</u> | g   | 21 | -   | 2 | - | - | - | - | säulen- bis kegelförmige Krone, im Alter auseinanderfallend, weniger hitze- und strahlungsempfindlich als die Art, für Kübel und Container geeignet  | x |   |
| <i>Carpinus betulus</i><br>' <i>Frans Fontaine</i> ' | Säulen-Hainbuche                          | <u>2</u> | gmE | 21 | -   | 2 | - | - | - | - | wie <i>Carpinus betulus</i> 'Fastigiata', jedoch auch im Alter säulenförmig, Krone in der Jugend nicht ganz geschlossen, sehr windfest, vermehrt Spätfrostschäden an den Stämmen der Jungbäume, für Kübel und Container geeignet                             | x |   |
| <i>Castanea sativa</i>                               | Edelkastanie                              | <u>1</u> | -   | 22 | -   | 5 | 5 | 4 | - | - | kalkmeidend; sehr gute Nektarquelle  |   |   |
| <i>Cedrus atlantica</i>                              | Atlas-Zeder                               | <u>1</u> | -   | 14 | 1,8 | - | 1 | 2 | 2 | 2 | -  |   |   |
| <i>Celtis australis</i>                              | Südlicher oder<br>Europäischer Zürgelbaum | <u>1</u> | gmE | 13 | 1,5 | - | 1 | 1 | 2 | 2 | ausladend, rund, schirmförmige Krone, Stammbildung besser als bei <i>Celtis occidentalis</i> , Wärme liebend und für trockene Standorte geeignet (Weinbauklima)  |   |   |
| <i>Celtis occidentalis</i>                           | Abendländischer<br>Zürgelbaum             | <u>1</u> | ng  | 12 | -   | - | - | - | 4 | - | breit ausladend, Äste überhängend, geringe Bodenanforderungen, trockenheitsverträglich, Lichtraumprofil sehr schwer zu erreichen, gebietsweise Verwilderung, wassernah, entlang von Flüssen, Kalkklippen; beliebter Futterbaum für zahlreiche Vögel (Beeren) |   |   |

|                                     |                          |          |     |    |     |   |   |   |   |   |  |   |   |
|-------------------------------------|--------------------------|----------|-----|----|-----|---|---|---|---|---|--|---|---|
| <i>Cercidiphyllum japonicum</i>     | Japanischer Kuchenbaum   | <u>2</u> | –   | –  | 1,3 | – | 1 | 1 | 2 | 1 | Winternahrung für Vögel  |   |   |
| <i>Cercis canadensis</i>            | Kanadischer Judasbaum    | <u>3</u> | –   | *  | –   | 4 | – | – | – | – | *KLAM-Landschaft: eher im Vorteil  |   |   |
| <i>Cercis siliquastrum</i>          | Gewöhnlicher Judasbaum   | <u>3</u> | gmE | 14 | 1,2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | runde, breit auswachsende Krone, wärmeliebend (Weinbauklima), für trockene Standorte geeignet, auf geraden Leittrieb achten  |   |   |
| <i>Chamaecyparis lawsoniana</i>     | Scheinzypresse           | <u>2</u> | –   | –  | 1,5 | – | 1 | 1 | 2 | 2 | Winternahrung für Vögel  | x |   |
| <i>Cornus mas</i>                   | Kornelkirsche            | <u>3</u> | gg  | 11 | –   | 4 | 3 | 4 | – | – | kleinkronige, sehr zeitig blühende Bäume für enge Straßen, Stämme mit abblätternder Borke, anspruchslos, nicht frostempfindlich, stadtklimafest, Fruchtfall beachten, Lichtraumprofil beachten |   | x |
| <i>Cornus sanguinea</i>             | Blutroter Hartriegel     | <u>3</u> | –   | *  | –   | 4 | – | 4 | 4 | – | Warda: hitzetolerant, gut schattenverträglich, windverträglich, stadtklimafest<br>*KLAM-Landschaft: eher im Vorteil  |   | x |
| <i>Corylus avellana</i>             | Haselnuss                | <u>3</u> | –   | 31 | –   | 5 | – | 5 | 4 | 4 | mildere Standorte, lichte Laubwälder, Waldränder, Feldsäume, Auwälder, Buchen- und Eichenmischwälder, Hecken, Knicks, Feldgehölze  |   | x |
| <i>Corylus colurna</i>              | Baum-Hasel               | <u>1</u> | g   | 22 | 2   | 3 | 1 | – | 3 | 3 | regelmäßige, breit-kegelförmige Krone; anspruchslos, stadtklimafest, in manchen Jahren starker Fruchtfall, Einzelbaum, bestandsbildend in Wäldern  |   |   |
| <i>Cotoneaster integerrimus</i>     | Gewöhnliche Felsenmispel | <u>3</u> | –   | 11 | –   | 3 | – | 2 | – | – |  |   | x |
| <i>Crataegus crus-galli</i>         | Hahndorn                 | <u>3</u> | gmE | 21 | –   | 3 | – | – | 4 | – | breit-runde Krone, besonders lange Dornen, frosthart, windfest, Lichtraumprofil beachten, für Kübel und Container geeignet   |   | x |
| <i>Crataegus laevigata</i>          | Zweigrifflicher Weißdorn | <u>3</u> | –   | 31 | –   | 3 | – | – | – | – | Waldränder, Gebüsche, Felshänge, krautreicher Unterwuchs von Eichen- Buchen- und Kiefernwäldern  |   | x |
| <i>Crataegus monogyna</i>           | Eingrifflicher Weißdorn  | <u>3</u> | –   | 21 | 3,6 | 5 | 3 | 5 | 2 | 3 | Wege, Waldränder, Gebüsche, Hecken, Felshänge, Laub- /Nadelmischwälder   |   | x |
| <i>Crataegus monogyna 'Stricta'</i> | Säulenweißdorn           | <u>3</u> | gmE | 21 | –   | 3 | – | – | – | – | straff aufrecht bis säulenförmig, im Alter auseinanderfallend, Triebe mit Dornen behaftet, für Kübel und Container geeignet  | x | x |
| <i>Crataegus sp.</i>                | Weißdorn                 | <u>3</u> | –   | –  | 3,6 | 5 | 3 | 5 | 2 | 3 | sehr gute Bienenweide  |   | x |

|   |                               |          |     |    |     |   |   |   |   |   |  |   |   |
|---|-------------------------------|----------|-----|----|-----|---|---|---|---|---|--|---|---|
| <b><i>Cydonia oblonga</i></b>                       | Quitte                        | <u>3</u> | –   | –  | –   | 5 | – | – | – | – | hitzeverträglich, stadtklimafest; sehr gute Bienenweide  |   | x |
| <b><i>Cytisus scoparius</i></b>                     | Besenginster                  | <u>3</u> | –   | 22 | –   | 3 | – | 5 | – | – | –  |   | x |
| <b><i>Elaeagnus angustifolia</i></b>                | Schmalblättrige Ölweide       | <u>3</u> | –   | 12 | –   | 4 | 3 | 3 | – | – | trockenheitsresistent, hat in Salzresistenzversuchen am besten abgeschnitten, verträgt höchste Streusalzbelastung, hitzefest, windresistent, für trocken-heißes Stadtklima geeignet, rauchhart; Honigertrag: 100 kg/ha |   |   |
| <b><i>Erica tetralix</i></b>                        | Glocken- / Moor-Heide         | <u>3</u> | –   | –  | –   | 3 | – | – | – | – | –  |   | x |
| <b><i>Fagus sylvatica</i></b>                       | Rot-Buche                     | <u>1</u> | –   | 32 | 3,6 | 2 | 4 | 5 | 3 | 4 | –  | - |   |
| <b><i>Frangula alnus</i></b>                        | Faulbaum                      | <u>3</u> | –   | *  | –   | 3 | – | 5 | 3 | – | *KLAM-Landschaft: eher im Nachteil   |   |   |
| <b><i>Fraxinus excelsior</i></b>                    | Gemeine Esche                 | <u>1</u> | gmE | 22 | 2,8 | 1 | 2 | 4 | 3 | 4 | rundliche, lichte Krone, weit ausladend, später Austrieb, früher Laubfall, empfindlich gegen Oberflächenverdichtung  |   |   |
| <b><i>Fraxinus excelsior 'Westhof's Glorie'</i></b> | Nichtfruchtende Straßen-Esche | <u>1</u> | g   | 22 | –   | 1 | – | – | 3 | – | wie die Art, jedoch sehr später Laubaustrieb, deshalb kaum spätfrostgefährdet, gerader, durchgehender Stamm  |   |   |
| <b><i>Fraxinus ornus</i></b>                        | Blumen-Esche                  | <u>2</u> | g   | 14 | 1,8 | 4 | 2 | – | 2 | 2 | schwachwüchsig, stadtklimafest, selten mit geradem Leittrieb, auf Lichtraumprofil achten, nicht in befestigten Flächen verwenden, schöne Blüte<br>sonnig, warm, trocken, kalkreich; reiches Pollenangebot              |   |   |
| <b><i>Fraxinus ornus 'Rotterdam'</i></b>            | Blumen-Esche                  | <u>2</u> | g   | 14 | -   | 2 | – | – | – | – | wie die Art, jedoch mit regelmäßiger und kegelförmiger Krone, durchgehendem Leittrieb, trockenheits- und hitzeverträglich, für Kübel und Container geeignet, schöne Blüte<br>wintermildere Lagen                       |   |   |
| <b><i>Genista pilosa</i></b>                        | Sand-Ginster                  | <u>3</u> | –   | –  | –   | 5 | – | – | – | – | sonnige Wald- / Wegränder, Zwergstrauchheiden, lichte, verheidete Eichen- / Kiefernwälder, steinig-felsige Hänge und Trockenrasen  |   | x |
| <b><i>Genista tinctoria</i></b>                     | Färber-Ginster                | <u>3</u> | –   | –  | –   | 3 | – | – | – | – | trockene Magerwiesen, Wald- / Wegränder, lichte Eichen- / Föhrenwälder, Halbtrockenrasen, Heiden, trockene Felshänge, Gebüschränder  |   | x |
| <b><i>Ginkgo biloba</i></b>                         | Ginkgobaum                    | <u>1</u> | ng  | 12 | 1,2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | anspruchlos, stadtklimafest, frei von Schädlingen, hoher Lichtanspruch, schöne Herbstfärbung, zweihäusig, auf männliche Selektionen zurückgreifen  |   |   |

|  |                              |          |     |    |     |   |   |   |   |   |   |  |   |
|--|------------------------------|----------|-----|----|-----|---|---|---|---|---|---|--|---|
| <b><i>Gleditsia triacanthos</i></b>                          | Dreidorniger Lederhülsenbaum | <u>1</u> | ng  | 12 | 1,2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | breite schirmförmige Krone, kein durchgehender Leittrieb, anspruchslos, stadtklimafest, breite, lange lederartige Hülsenfrüchte, Verkehrsfahr durch Dornen am Stamm und Abwurf im Alter; Insektenmagnet, sehr nektarreiche Blüten                 |  |   |
| <b><i>Gleditsia triacanthos</i></b><br><b>'Shademaster'</b>  | Dornenlose Gleditschie       | <u>2</u> | g   | 12 | –   | 3 | – | – | – | – | wie die Art, jedoch dornlose Sorte, bei der in Einzelfällen nachträglich Dornen gebildet werden können, später Laubfall   |  |   |
| <b><i>Gleditsia triacanthos</i></b><br><b>'Sunburst'</b>     | Gold - Gleditschie           | <u>3</u> | gmE | 12 | –   | 3 | – | – | – | – | wie die Art, jedoch dornelos, hellgelber Austrieb, später gelbgrün, auf Lichtraumprofil achten  |  |   |
| <b><i>Hippophae rhamnoides</i></b>                           | Sanddorn                     | <u>3</u> | –   | 21 | –   | – | – | 2 | 5 | – | Pioniergebüsche, alpine Flussschotterauen, trockene, lichte Kiefernwälder, sandige Küstenstreifen, zeitweise überschwemmte Kies- / Sandböden, Kiesgruben, Ödländereien; ausgezeichnetes Schutzgehölz, Früchte dienen als Futter für 42 Vogelarten |  | x |
| <b><i>Hyssopus officinalis</i></b>                           | Ysop                         | <u>3</u> | –   | –  | –   | 5 | – | – | – | – |   |  | x |
| <b><i>Ilex aquifolium</i></b>                                | Stechpalme                   | <u>2</u> | –   | –  | 1,4 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | –   |  |   |
| <b><i>Juglans regia</i></b>                                  | Walnuss                      | <u>1</u> | –   | 33 | 2,2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 | –   |  |   |
| <b><i>Lanvendula angustifolia</i></b>                        | Echter Lavendel              | <u>3</u> | –   | –  | –   | 5 | – | – | – | – | –   |  | x |
| <b><i>Larix decidua</i></b>                                  | Europäische Lärche           | <u>1</u> | –   | –  | 2   | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | –   |  |   |
| <b><i>Ligustrum vulgare</i></b>                              | Gewöhnlicher Liguster        | <u>3</u> | –   | 21 | –   | 3 | – | 5 | 2 | – | lichte, artenreiche Eichen- oder Kiefernwälder, Waldränder, Böschungen, Magerwiesen, Hecken, Niederwald, Trockengebüsche; Honigertrag: 20 kg/ha, Vogelschutz  |  | x |
| <b><i>Liquidambar styraciflua</i></b>                        | Amberbaum                    | <u>1</u> | gmE | 23 | 1,2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | stark variierende, im Alter offene Krone, kalkempfindlich, lang anhaltende Herbstfärbung, sofern sonniger Sandort und kalte Nächte  |  |   |
| <b><i>Liriodendron tulipifera</i></b>                        | Tulpenbaum                   | <u>1</u> | gmE | 32 | 1,6 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | breit kegelförmige Krone, gerader, durchgehender Leittrieb, wärmeliebend, aber frosthart, raschwüchsig, ältere Exemplare windbruchgefährdet, schöne Herbstfärbung   |  |   |
| <b><i>Liriodendron tulipifera</i></b><br><b>'Fastigiata'</b> | Säulenförmiger Tulpenbaum    | <u>2</u> | gmE | 32 | –   | 3 | – | – | – | – | wie die Art, jedoch schmalkronig, straff aufrecht wachsend, schöne Herbstfärbung  |  |   |

|  |                           |          |         |    |     |   |   |   |   |   |  |   |   |
|--|---------------------------|----------|---------|----|-----|---|---|---|---|---|--|---|---|
| <b><i>Lonicera alpigena</i></b>                                    | Alpen-Heckenkirsche       | <u>3</u> | –       | *  | –   | 5 | – | – | – | – | *KLAM-Landschaft: eher im Nachteil<br>Krautreiche, Laub- und Bergmischwälder, Schluchten   |   | x |
| <b><i>Lonicera nigra</i></b>                                       | Schwarze Heckenkirsche    | <u>3</u> | –       | *  | –   | 5 | – | 2 | – | – | kalkmeidend<br>*KLAM-Landschaft: eher im Nachteil  |   | x |
| <b><i>Lonicera tartarica</i></b>                                   | Tartarische Heckenkirsche | <u>3</u> | –       | 21 | –   | 3 | 2 | 3 | – | – | Honigertrag: 20kg/ha   |   | x |
| <b><i>Lonicera xylosteum</i></b>                                   | Rote Heckenkirsche        | <u>3</u> | –       | *  | –   | 5 | – | 4 | 4 | – | *KLAM-Landschaft: eher im Vorteil<br>krautreiche, Laub- und Nadelmischwälder, Hecken, Gebüsch, Buchenwälder; Früchte beliebte Vogelnahrung, Futterpflanze für den Kleinen Eisvogel ( <i>Limenitis camilla</i> ), eine Falterpflanze, die in Teilen Deutschlands ausgestorben ist, Raupe des Hummelschwärmers ( <i>Hemaris fuciformis</i> ) lebt auf Blättern<br>Honigertrag: 26kg/ha |   | x |
| <b><i>Magnolia kobus</i></b>                                       | Kobushi-Magnolie          | <u>2</u> | im Test | 32 | 1,5 | – | – | – | 4 | – | kleinkroniger Blütenbaum, breit kegelförmige Krone, Blüte vor dem Austrieb, auf Kalkböden Chlorosegefahr, im Straßenbaumtest 2 seit 2007/08<br>Sonne bis lichter Schatten, geschützte Lage zu bevorzugen (Spätfrostgefahr), sehr frosthart; Früchte in Oktober/November beliebte Nahrung bei Wacholderdrosseln, Amseln, Eichhähern u.a. Vogelarten                                   |   |   |
| <b><i>Magnolia spec.</i></b>                                       | Magnolie                  | =        | –       | 32 | 1,5 | – | 3 | 1 | 3 | 3 | Magnolienblüten von verschiedenen Käferarten besucht.<br>Früchte sind Winternahrung für Drosseln, Elstern, Eichelhähern und Eichhörnchen   |   |   |
| <b><i>Malus domestica</i></b>                                      | Kultur-Apfel              | <u>2</u> | –       | *  | –   | 5 | – | 4 | – | – | *KLAM-Landschaft: eher im Vorteil  |   |   |
| <b><i>Malus sp.</i></b>  | Zierapfelarten            | <u>2</u> | gmE     | –  | 4,2 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | Warda: stadtklimafest ; Winternahrung für Vögel  |   |   |
| <b><i>Malus sylvestris</i></b>                                     | Holzapfel                 | <u>3</u> | –       | 32 | –   | 5 | – | 1 | – | – | –  |   |   |
| <b><i>Malus toringo</i><br/><i>syn. M. sieboldii</i></b>           |                           | <u>3</u> | –       | –  | –   | 4 | – | – | 5 | – | Empfehlung LWG   |   |   |
| <b><i>Malus trilobata</i><br/><i>syn. Eriolobus trilobatus</i></b> | Dreilappiger Apfel        | <u>3</u> | –       | –  | –   | 4 | – | – | – | – | pyramidal aufrecht wachsender kleiner Baum, schorffrei, im Straßenbaumtest 2 seit 2007/08<br>Empfehlung LWG  |   |   |
| <b><i>Malus tschonoskii</i></b>                                    | Wollapfel                 | <u>2</u> | gg      | 21 | –   | 4 | – | – | – | – | schmal kegelförmige Krone, im Alter breiter werdend, gerader durchgehender Leittrieb; Früchte gelb bis rot, geringe Schorfanfälligkeit, im Straßenbaumtest 2 seit 2005   | x |   |

|  |                     |          |     |    |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|--|---------------------|----------|-----|----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|
| <b>Malus-Hybride<br/>'Evereste'</b>                    | Zierapfel           | <u>3</u> | gmE | –  | –   | 4 | – | – | – | – | breit-aufrechte Krone, im Alter überhängende Seitenäste, Lichtraumprofil beachten, kleine orangerote Früchte, geringe Schorfanfälligkeit, für Kübel und Container geeignet                              |   |   |
| <b>Malus-Hybride<br/>'Red Sentinel'</b>                | Zierapfel           | <u>3</u> | gmE | –  | –   | 4 | – | – | – | – | schlanke Krone, tief überhängende Seitenäste, Lichtraumprofil beachten, dunkelrote Früchte, geringe Schorfanfälligkeit, für Kübel und Container geeignet  | x |   |
| <b>Malus-Hybride<br/>'Rudolph'</b>                     | Zierapfel           | <u>3</u> | gmE | –  | –   | 4 | – | – | – | – | aufrechte Krone, später breit-eiförmig bis rundlich, Lichtraumprofil beachten, orangegelbe Früchte; geringe Schorfanfälligkeit, neigt zu oberflächlichen Rindenrissen, für Kübel und Container geeignet |   |   |
| <b>Malus-Hybride<br/>'Street Parade'</b>               | Sibirischer Apfel   | <u>3</u> | gmE | –  | –   | 4 | – | – | – | – | schmal-eiförmige Krone, Lichtraumprofil beachten, geringe Mehltau- und Schorfanfälligkeit, kleine blaurote Früchte; für Kübel und Container geeignet  | x |   |
| <b>Mespilus germanica</b>                              | Mispel              | <u>3</u> | –   | 22 | –   | 3 | – | 1 | – | – |   |   | x |
| <b>Metasequoia glyptostroboides</b>                    | Urwelt-mammutbaum   | <u>1</u> | gmE | 31 | 1,5 | – | 1 | 1 | 2 | 2 | spitz kegelförmig, mit dicht verzweigter Krone, gerader, durchgehender Stamm, breit werdende Wurzelanläufe, weit reichendes Wurzelsystem, auf ausreichende Entfernung zu Straßenkanten u. ä. achten     |   |   |
| <b>Morus alba</b>                                      | Weißer Maulbeerbaum | <u>2</u> | –   | 12 | –   | 3 | – | – | 2 | – | Früchte dienen als Vogelnahrung   |   |   |
| <b>Nyssa sylvatica</b>                                 | Tupelobaum          | <u>1</u> | –   | 22 | –   | 4 | – | – | 3 | – | Zukunftsbaumliste Düsseldorf: für Testpflanzung geeignet; kalkmeidend; Früchte dienen als Vogelnahrung  |   |   |
| <b>Ostrya carpinifolia</b>                             | Hopfenbuche         | <u>2</u> | g   | 11 | –   | – | – | 3 | 3 | – | kegelförmige, später rundliche Krone, Erscheinungsbild ähnlich Hainbuche; Früchte hopfenähnlich, dekorativ, im Straßenbaumtest 2 seit 2005  |   |   |
| <b>Parrotia persica</b>                                | Eisenholzbaum       | <u>2</u> | –   | 22 | 1,3 | – | 1 | 1 | 2 | 1 | Niederungswälder  |   |   |
| <b>Paulownia tomentosa</b>                             | Blauglockenbaum     | <u>2</u> | –   | 24 | 1,5 | – | 1 | 1 | 2 | 2 | –   |   |   |
| <b>Phellodendron sachalinense<br/>syn. P. amurense</b> | Sachalin-Korkbaum   | <u>2</u> | –   | 11 | –   | 3 | 3 | 3 | 3 | – | Insektenfutterpflanze; Früchte dienen als Vogelnahrung  |   |   |
| <b>Picea abies</b>                                     | Rot-Fichte          | <u>1</u> | –   | *  | 3   | 1 | 4 | 4 | 3 | 4 | Samen sind Nahrung für verschiedene, heimische Säugetierarten, beliebtes Vogelfutter, Nistgehölz, wichtige Bienenweide,   |   |   |

|                                    |                 |          |     |    |     |   |   |   |   |   |  |  |   |
|------------------------------------|-----------------|----------|-----|----|-----|---|---|---|---|---|--|--|---|
| <b><i>Pinus nigra</i></b>          | Schwarz-Kiefer  | <u>1</u> | –   | 11 | 2,4 | 1 | 4 | 1 | 3 | 3 | –  |  |   |
| <b><i>Pinus sylvestris</i></b>     | Föhre           | <u>1</u> | –   | 11 | 3,2 | 1 | 4 | 4 | 4 | 4 | –  |  |   |
| <b><i>Platanus x hispanica</i></b> | P. hispanica    | <u>1</u> | gmE | 12 | 1,6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | weit ausladende Krone, auffällige Stämme durch abblätternde Borke, anspruchslos, nicht frostempfindlich, stadtklimafest, häufig Wurzelhebungen verursachend, Laub schlecht verrotend, Befall durch Schadorganismen hat in den letzten Jahren zugenommen  |  |   |
| <b><i>Populus alba</i></b>         | Silber-Pappel   | <u>1</u> | –   | 12 | –   | 3 | – | 4 | – | – | Auwälder, Auwaldlichtungen, in nicht regelmäßig überschwemmten Bereichen der Hartholzaue; Zukunftsbaumliste Düsseldorf: für Testpflanzung geeignet; wichtige Futterpflanze für eine Vielzahl heimischer Schmetterlingsarten  |  |   |
| <b><i>Populus nigra</i></b>        | Schwarz-Pappel  | <u>1</u> | –   | *  | 3,6 | 3 | 4 | 5 | 3 | 5 | Zukunftsbaumliste Düsseldorf: Anlagenbaum<br>*KLAM-Landschaft: eher im Nachteil; wichtige Schmetterlingsfutterpflanze, z. B. für Großen Eisvogel ( <i>Limenitis populi</i> )   |  |   |
| <b><i>Populus tremula</i></b>      | Zitter-Pappel   | <u>1</u> | ng  | 21 | 4,3 | 3 | 5 | 5 | 3 | 5 | lichte Mischwälder, Waldränder, Hecken, Knicks, Ödländereien, Felshänge, Feldraine, Steinschutthalden; Zukunftsbaumliste Düsseldorf: Anlagenbaum; wichtige Schmetterlingsfutterpflanze für den Großen Fuchs ( <i>Nymphalis polychloros</i> ) den Großen Eisvogel ( <i>Limenitis populi</i> ), den Kleinen Schillerfalter ( <i>Apatura ilia</i> ), den Kleinen Gabelschwanz ( <i>Furcula bifida</i> ) |  |   |
| <b><i>Prunus armeniaca</i></b>     | Aprikose        | <u>3</u> | –   | 12 | –   | 5 | – | 1 | – | – | –  |  |   |
| <b><i>Prunus avium</i></b>         | Vogel-Kirsche   | <u>1</u> | ng  | 11 | 4,4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | Zukunftsbaumliste Düsseldorf: Anlagenbaum; gutes Vogelnähr- und -nistgehölz, wertvolle Bienenfutterpflanze, honigähnlicher Saft aus am Blattstiel sitzenden, rötlichen Nektarien für Ameisen bedeutend, gute Futterpflanze für die Raupe des Großen Fuchses ( <i>Nymphalis polychloros</i> )   |  |   |
| <b><i>Prunus cerasifera</i></b>    | Kirsch-Pflaume  | <u>3</u> | –   | 12 | 4,3 | 5 | 4 | 2 | 4 | 4 | Zukunftsbaumliste Düsseldorf: Anlagenbaum; frühe Bienenweide   |  |   |
| <b><i>Prunus cerasus</i></b>       | Sauer-Kirsche   | <u>3</u> | –   | –  | –   | 5 | – | – | – | – | –  |  |   |
| <b><i>Prunus domestica</i></b>     | Kultur-Pflaume  | <u>3</u> | –   | –  | –   | 5 | 4 | 4 | 3 | 4 | –  |  |   |
| <b><i>Prunus fruticosa</i></b>     | Steppen-Kirsche | <u>3</u> | –   | 12 | –   | 5 | 3 | – | 2 | 2 | –  |  | x |

|                                |   |          |     |    |     |   |   |   |   |   |   |  |   |
|--------------------------------|---|----------|-----|----|-----|---|---|---|---|---|---|--|---|
| <b><i>Prunus mahaleb</i></b>   | Weichsel-Kirsche  | <u>3</u> | –   | 11 | –   | 5 | 3 | 1 | 2 | 2 | Zukunftsbaumliste Düsseldorf: Anlagenbaum<br>Warda: innerstädtische Extremstandorte, auf leichten, extrem trockenen, nährstoffarmen, kalkhaltigen Sandstandorten; gute Pollenquelle   |  |   |
| <b><i>Prunus padus</i></b>     | Gewöhnliche Trauben-Kirsche                                 | <u>2</u> | ng  | 41 | –   | 5 | – | 5 | 3 | – | breit kegelige Krone, breit aufstrebende Hauptäste, frosthart, windempfindlich, auffallende, stark duftende Blüte, Ausläufer bildend, empfindlich gegen Bodenverdichtung und Überpflasterung, neigt aufgrund starker Stock- und Stammaustriebe zur Mehrstämmigkeit<br>Zukunftsbaumliste Düsseldorf: Anlagenbaum; eines der besten Insektennährgehölze, Früchte werden gern von heimischen Vögeln angenommen,<br>Futterpflanze für den Birkenzipfelfalter ( <i>Thecla betulae</i> ), den Höhlenspanner ( <i>Triphosa dubitata</i> ) und für Schattenbinden-Weißspanner ( <i>Lomographa temerata</i> )                              |  |   |
| <b><i>Prunus persica</i></b>   | Pfirsich  | <u>3</u> | –   | –  | –   | 5 | – | 1 | – | – |   |  |   |
| <b><i>Prunus serrulata</i></b> | Japanische Nelkenkirsche                                    | <u>3</u> | gmE | –  | 3,5 | 5 | 3 | – | 4 | 2 |   |  |   |
| <b><i>Prunus sp.</i></b>       | Kirschen exotisch<br>Japanische Kirsche in Arten und Sorten | <u>2</u> | gmE | –  | 3   | 5 | 3 | – | 2 | 2 | unterschiedliche Kronenformen, hoher Zierwert durch Blüte, je nach Veredelungsform Stamm- oder Wurzelaustriebe, für Kübel und Container geeignet  |  |   |
| <b><i>Prunus sp.</i></b>       | Pflaumen  | <u>3</u> | –   | –  | 3,8 | 5 | 4 | 4 | 2 | 4 |   |  |   |
| <b><i>Prunus spinosa</i></b>   | Schlehe   | <u>3</u> | –   | 11 | –   | 4 | – | 5 | 5 | 4 | Zukunftsbaumliste Düsseldorf: Anlagenbaum<br>Warda: wichtiges, vielseitiges Landschaftsgehölz, Windschutzhecken, Knickbepflanzung, Grünflächen, Gärten, Straßenränder; herausragende faunistische Bedeutung: wichtig für viele kurzrüsslige Insekten, Futterpflanze für Raupen vieler Falterarten, z.B. Segelfalter ( <i>Iphiclides podalirius</i> ), Pflaumenzipfelfalter ( <i>Strymonidia pruni</i> ), Baumweißling ( <i>Aporia crataegi</i> ), Nierenfleck ( <i>Thecla betulae</i> ), Dunkelgrauer Eckflügelspanner ( <i>Macaria alternata</i> ); Früchte Nahrung für Vogel- und Säugetierarten, bestes Nist- und Schutzgehölz |  | x |

|   |                        |          |     |    |     |   |   |   |   |   |  |   |  |
|---|------------------------|----------|-----|----|-----|---|---|---|---|---|--|---|--|
| <b><i>Prunus subhirtella</i><br/>'Autumnalis'</b> | Winter-Kirsche         | <u>3</u> | gmE | –  | –   | 5 | 3 | – | 2 | 2 | Kleiner Baum mit auffallender Blüte und Herbstfärbung, auf Lichtraumprofil achten, für Kübel und Container geeignet; Knospen als Winternahrung für Vögel   |   |  |
| <b><i>Prunus x schmittii</i></b>                  | Zierkirsche            | <u>3</u> | g   | 31 | –   | 4 | – | – | – | – | geschlossene, schmal kegelförmige Krone, Äste aufrecht wachsend, gerader durchgehender Stamm, nur kurze Zeit blühend   | x |  |
| <b><i>Pterocarya fraxinifolia</i></b>             | Kaukasische Flügelnuss | <u>1</u> | ng  | 33 | 1,5 | – | – | – | – | – | breit ausladende Krone, durch starke Wurzelasläuferbildung teilweise dichte Bestände bildend, schnell wachsend, in der Nähe fließender Gewässer  |   |  |
| <b><i>Pyrus calleryana</i><br/>'Chanticleer'</b>  | Stadt-Birne            | <u>2</u> | gmE | 12 | 4,2 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | schmal kegelförmige Krone, später locker, breit pyramidal, Laubfall erst nach starkem Frost (Schneebruchgefahr), vereinzelt Fruchtbildung, frühe Vergreisung   | x |  |
| <b><i>Pyrus communis</i></b>                      | Kultur-Birne           | <u>2</u> | –   | 22 | 4,2 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | –  |   |  |
| <b><i>Pyrus communis</i> 'Be-ech Hill'</b>        | Kultur-Birne           | <u>2</u> | gmE | 22 | 4,2 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | anfänglich straff aufrecht wachsend, später auseinanderfallend, feuerbrandgefährdet, gebietsweise Birnengitterrost, Fruchtbildung, Ergebnisse aus Straßenbaumtest 1 beachten   |   |  |
| <b><i>Pyrus pyraster</i></b>                      | Wild-Birne             | <u>2</u> | –   | 22 | 4,2 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | Auwälder außerhalb des Überschwemmungsbereichs, lichte Eichen-Trockenwälder, vereinzelt an sonnigen, verbuschten Felshängen, Hecken, Knicks, Feldgebüsche; reichlich Nektar, von Bienen und Fliegen bestäubt, Nahrung für Kleinsäuger, gutes Vogelschutzgehölz |   |  |
| <b><i>Pyrus salicifolia</i></b>                   | Weidenblättrige Birne  | <u>3</u> | –   | 12 | 4,2 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | –  |   |  |
| <b><i>Pyrus sp.</i></b>                           | Birne (div.)           | –        | –   | –  | 4,2 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | –  |   |  |
| <b><i>Quercus cerris</i></b>                      | Zerr-Eiche             | <u>1</u> | g   | 12 | 3,2 | 4 | 4 | 2 | 3 | 3 | stumpf kegelig, breit, durchgehender Stamm, im Alter ausladend, lang haftendes, langsam verrottendes Laub, auch auf trockenen Böden gedeihend, stadtklimafest  |   |  |
| <b><i>Quercus petraea</i></b>                     | Trauben-Eiche          | <u>1</u> | g   | 22 | –   | 2 | 3 | 4 | 2 | 2 | regelmäßige, eiförmige Krone, tiefgrün glänzende Blätter, stadtklimafester als <i>Quercus robur</i> ; wichtig für ca. 200 Insekten (Larven: Futter und Habitat, Pollen, Blatthonig), Früchte als Nahrung für Vögel und Säugetiere                              |   |  |
| <b><i>Quercus pubescens</i></b>                   | Flaum-Eiche            | <u>1</u> | –   | 12 | –   | – | – | 2 | – | – | –  |   |  |

|   |                         |          |     |    |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|-------------------------|----------|-----|----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|
| <b><i>Quercus robur</i></b><br><b><i>syn. Quercus pedunculata</i></b> | Stiel-Eiche             | <u>1</u> | g   | 31 | 5   | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | breit kegelige Krone, weit ausladend, lang haftendes, langsam verrottendes Laub, Pflanzung nicht vor Dezember, verträgt Überschwemmungen, reagiert auf Grundwasserabsenkung mit Wipfeldürre, frosthart; wichtig für ca. 200 Insekten (Larven: Futter und Habitat, Pollen, Blatthonig), Früchte als Nahrung für Vögel und Säugetiere |   |   |
| <b><i>Quercus rubra</i></b><br><b><i>syn. Quercus borealis</i></b>    | Amerikanische Rot-Eiche | <u>1</u> | gmE | 22 | 3,4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 3 | rundliche Krone, durchgehender Leittrieb, anspruchsloser als <i>Quercus robur</i> , auf Kalkböden Chlorosegefahr, stadtklimafest, lang haftendes Laub, auffallende Herbstfärbung, gebietsweise Verwilderung   |   |   |
| <b><i>Quercus sp. (exotisch)</i></b>                                  | Eichen (nicht heimisch) | =        | -   | -  | 3,6 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | -   |   |   |
| <b><i>Rhamnus cathartica</i></b>                                      | Purgier-Kreuzdorn       | <u>3</u> | -   | 11 | -   | 3 | - | 3 | 3 | - | -   |   | x |
| <b><i>Ribes spec.</i></b>   | Johannisbeeren (div.)   | <u>3</u> | -   | -  | -   | 3 | - | - | - | - | Warda: ausreichend frosthart, verträgt sommerliche Hitzeperioden sehr gut, wärmeliebend, stadtklimafest   |   | x |
| <b><i>Ribes uva-crispa</i></b>  | Stachelbeere            | <u>3</u> | -   | *  | -   | 4 | - | 3 | - | - | *KLAM-Landschaft: eher im Vorteil   |   | x |
| <b><i>Robinia pseudoacacia</i></b>                                    | Robinie                 | <u>1</u> | g   | 11 | 1,8 | 4 | 1 | 1 | 2 | 4 | lockere unregelmäßige Krone, in der Jugend raschwüchsig, im Alter schirmförmig; anspruchslos, windbruchgefährdet auf nährstoffreichen Böden, im Alter Totholzbildung; Blüten stark duftend, gebietsweise Verwilderung; untern den nektar- und zuckerreichsten Insektenfutterpflanzen, Bienenweide im Juni, 150-1000 kg/ha Honig     |   |   |
| <b><i>Robinia pseudoacacia 'Monophylla'</i></b>                       | Einblättrige Robinie    | <u>1</u> | g   | 11 | -   | 3 | - | - | - | - | unregelmäßig kegelförmige Krone, aufrechter Wuchs, Hauptäste schlank aufrecht, gerader, durchgehender Leittrieb, nur wenige kleine Dornen   | x |   |
| <b><i>Robinia pseudoacacia 'Nyrsegi'</i></b>                          | Robinie                 | <u>1</u> | g   | 11 | -   | 3 | - | - | - | - | aufrechte, rundlich eiförmige, dicht verzweigte Krone, gerader, durchgehender Stamm bis in die Krone, wenige Dornen, geringere Bruchgefahr als die Art  |   |   |
| <b><i>Robinia pseudoacacia 'Sandraudiga'</i></b>                      | Robinie                 | <u>1</u> | g   | 11 | -   | 3 | - | - | - | - | breit pyramidal, auffallend lockere Krone, gerader, durchgehender Stamm, rosa blühend, Ergebnisse aus Straßenbaumtest 1 beachten  |   |   |

|   |                |          |    |    |     |   |   |   |   |   |   |  |   |
|---|----------------|----------|----|----|-----|---|---|---|---|---|---|--|---|
| <i>Robinia pseudoacacia</i><br>'Semperflorens'        | Robinie        | <u>2</u> | g  | 11 | -   | 3 | - | - | - | - | aufrechte, lockere, im Alter breit ovale Krone, geringe Bedornung, durch Nachblüte oft durchgehend von Juni bis September blühend   |  |   |
| <i>Rosa arvensis</i>                                  | Feld-Rose      | <u>3</u> | -  | *  | -   | 4 | - | - | 3 | - | *KLAM-Landschaft: eher im Vorteil<br>sonnig-halbschatten, kühl-ausgeglichen<br>Spreitzklimmer<br>in den Alpen bis 1000 m, Wald-, Wegränder, krautreiche Eichen- und Hainbuchenwälder, selten auch Buchenwälder oder Nadelmischwälder, Lichtungen, Hecken; gutes Vogelschutzgehölz   |  | x |
| <i>Rosa canina</i>                                    | Hunds-Rose     | <u>3</u> | -  | 11 | -   | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | Hecken, Knicks, Feldgehölze, lichte Laub- und Nadelmischwälder, Wald-, Wegränder, Lesesteinhaufen, auf nicht mehr bewirtschafteten Wiesen, Weiden, Weinbergen; Vogelschutzgehölz  |  | x |
| <i>Rosa rubiginosa</i>                                | Wein-Rose      | <u>3</u> | -  | 11 | -   | - | - | - | 2 | - | Pionier auf Kalkmagerweiden, in trockenen Gebüsch, an felsigen Hängen, Weg- und sonnigen Waldrändern, Böschungen und Brachen; Vogelschutzgehölz, Früchte als Nahrung für Vögel  |  | x |
| <i>Rosa rugosa</i>                                    | Kartoffel-Rose | <u>3</u> | -  | -  | -   | 5 | 5 | 5 | 3 | - | Warda: sehr frosthart, hitzefest, stadtklimafest, trockenheitsverträglich, höchste Salzresistenz von allen Rosen, verträgt permanente Windeinwirkung; Früchte als Nahrung für Vögel   |  | x |
| <i>Rubus idaeus</i>                                   | Himbeere       | <u>3</u> | -  | -  | -   | 5 | - | 5 | 3 | 3 | Hecken, Knicks, Waldlichtungen, Kahlschläge, Gehölzränder, Wege, Steinschutthalden; wichtige Futterpflanze für viele Falterraupen: Kaisermantel ( <i>Argynnis paphia</i> ), Faulbaumbläuling ( <i>Celastrina argiolus</i> ), Kleines Nachtpfauenauge, Bombeerzipfelfalter ( <i>Callorus rubi</i> ), wichtige Bienenweide (Pollen und Nektar), Früchte Nahrung für verschiedene Vogel- und Säugetierarten z.B. Haselmaus |  | x |
| <i>Salix alba</i>                                     | Silber-Weide   | <u>1</u> | ng | 31 | 4,2 | 5 | 3 | 4 | 3 | 3 | lockere, breite, ausladende Krone, bevorzugt feuchte Böden; Bruchgefahr, Ufer, Bäche, Flüsse, Seen, Auwälder; wichtig für Höhlen- und Halbhöhlenbrüter (z.B. Meisen, Feldsperling, Bachstelze, Rotschwanz, Steinkauz, Sperlingskauz   |  |   |
| <i>Salix aurita</i>                                   | Ohr-Weide      | <u>3</u> | -  | -  | -   | 5 | - | - | - | - |   |  |   |
| <i>Salix babylonica</i><br>syn. <i>S. sepulcralis</i> | Trauer-Weide   | <u>2</u> | -  | -  | -   | 5 | 3 | 1 | 2 | 3 |   |  |   |

|  |                        |          |     |    |     |   |   |   |   |   |   |  |   |
|--|------------------------|----------|-----|----|-----|---|---|---|---|---|---|--|---|
| <b><i>Salix caprea</i></b>                         | Sal-Weide              | <u>3</u> | –   | 21 | 4,2 | 5 | 4 | 5 | 3 | 4 | Waldränder, Wege, Knicks, Kiesgruben, Ödland, Steinbrüche, lichte Wälder, Gewässerränder, Pionier; erster, großer Pollenlieferant im Vorfrühling, eine der wichtigsten Bienen- und Hummelnährpflanzen, wichtige Raupenfutterpflanze z.B. Zickzackspinner ( <i>Elignodonta ziczac</i> ) Rotes Ordensband ( <i>Catocala nupta</i> ), Großer Gabelschwanz ( <i>Cerura vinula</i> ) |  | x |
| <b><i>Salix cinerea</i></b>                        | Grau-Weide             | <u>3</u> | –   | *  | –   | 5 | – | – | – | – | *KLAM-Landschaft: eher im Nachteil  |  |   |
| <b><i>Salvia officinalis</i></b>                   | Echter Salbei          | <u>3</u> | –   | –  | –   | 4 | – | – | – | – |   |  | x |
| <b><i>Sambucus nigra</i></b>                       | Schwarzer Holunder     | <u>3</u> | –   | *  | –   | 4 | 4 | 3 | 4 | – | *KLAM-Landschaft: eher im Vorteil; Blüten gern von Rosenkäfern, Blumenfliegen, und Bienen besucht, Früchte u.a. von Amseln, Staren, Mönchsgrasmücken, und versch. Säugetieren angenommen, gute Nistmöglichkeiten  |  | x |
| <b><i>Sequoiadendron giganteum</i></b>             | Riesenmammutbaum       | <u>1</u> | –   | –  | 1,5 | – | 1 | 1 | 2 | 2 | dicht verzweigte, geschlossene Kugelkrone, auf Lichtraumprofil achten, frosthart, hitze- und trockenheitsverträglich, windfest und schattenverträglich, Honigtaubabsonderung, für Kübel und Container geeignet  |  |   |
| <b><i>Sophora japonica</i></b>                     | Japanischer Schnurbaum | <u>1</u> | gmE | 12 | 1,6 | 5 | 3 | 4 | 3 | 1 | breite rundliche, sehr lockere und lichte Krone, im Alter ausladend, auf geraden, durchgehenden Stamm achten, Sommerschnitt, Jungbäume gebietsweise frostgefährdet, auffällige Blüte; späte Blüte von großer Bedeutung für heimische Insektenarten, eine der besten Bienenweiden, Honigertrag 110-130 kg/ha!  |  |   |
| <b><i>Sophora japonica 'Princeton Upright'</i></b> | Japanischer Schnurbaum | <u>2</u> | –   | 12 | –   | 3 | – | – | – | – | schmäler und aufrechter wachsend als die Art, deshalb besser geeignet für kleinere Straßen und Innenstadtbereiche, auch für versiegelte Bereiche wie Plätze und Fußgängerzonen, im Straßenbaumtest 2 seit 2007/08   |  | x |
| <b><i>Sorbus aria</i></b>                          | Mehlbeere              | <u>2</u> | gmE | 11 | 3,2 | 5 | 3 | 2 | 3 | 3 | gleichmäßig aufgebaute kegelförmige Krone, im Alter breiter und lockerer, langsamwüchsig, Lichtraumprofil beachten  |  |   |
| <b><i>Sorbus aria 'Magnifica'</i></b>              | Mehlbeere              | <u>2</u> | g   | 11 | –   | 3 | – | – | – | – | wie die Art, jedoch kleiner und schmäler, mit regelmäßig aufgebauter Krone, im Alter breiter  |  |   |

|  |                                     |          |     |    |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|--|-------------------------------------|----------|-----|----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|
| <i>Sorbus aria</i><br>'Majestica'<br>syn. <i>S. aria decaisneana</i> | Mehlbeere                           | <u>2</u> | gmE | 11 | –   | 3 | – | – | – | – | wie die Art, jedoch schmal kegelförmige Krone, im Alter schirmförmig, Früchte und Blätter größer  | x |   |
| <i>Sorbus aucuparia</i>  | Eberesche                           | <u>1</u> | ng  | 31 | 3,6 | 5 | 3 | 4 | 3 | 3 | kegelförmige Krone, im Alter rundlich; Fruchtfall beachten, nicht stadtklimafest, Pioniergehölz   |   |   |
| <i>Sorbus domestica</i>  | Speierling                          | <u>1</u> | –   | 12 | –   | 5 | – | 3 | – | 3 | Warda: wertvolles Gehölz für Gärten und Siedlungsgrün, Straßen- und Alleebaum im ländlichen Bereich, Waldrandgestaltung, trockenheiße Böschungen und Hänge  |   |   |
| <i>Sorbus intermedia</i><br>syn. <i>Sorbus suecica</i>               | Schwedische<br>Mehlbeere, Oxelbeere | <u>2</u> | gmE | 21 | 3,8 | 5 | 2 | 5 | 4 | 3 | –   |   |   |
| <i>Sorbus torminalis</i>   | Elsbeere                            | <u>1</u> | –   | 12 | –   | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | Warda: einzeln oder in Gruppen, bedingt auch als Straßenbaum auf trockenwarmen oder heißen Standorten; Futterpflanze für Insekten, Vögel und Kleinsäugerm   |   |   |
| <i>Sorbus x thuringiaca</i><br>„Fastigiata“                          | Thüringische Säulen-Mehlbeere       | <u>3</u> | g   | 11 | –   | 3 | – | – | – | – | schmale, kegelförmige und kompakte Krone; stadtklimafest, windverträglich, frosthart, trockenheitsverträglich, langsam wachsend   | x |   |
| <i>Taxus baccata</i>   | Eibe                                | <u>3</u> | –   | –  | 1,8 | 1 | 1 | 1 | 4 | 3 | sehr beliebtes Vogel Nähr- und Nistgehölz   |   |   |
| <i>Teucrium chamaedrys</i>   | Edel-Gamander                       | <u>3</u> | –   | –  | –   | 4 | – | – | – | – | kalhaltige, trockene Felshänge  |   | x |
| <i>Thymus pulegioides</i>  | Feld-Thymian                        | <u>3</u> | –   | –  | –   | 4 | – | – | – | – | –   |   | x |
| <i>Thymus vulgaris</i>   | Echter Thymian                      | <u>3</u> | –   | –  | –   | 5 | – | – | – | – | –   |   | x |
| <i>Tilia cordata</i>   | Winter-Linde                        | <u>1</u> | gmE | 21 | 4,6 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | sehr stark duftend, hervorragender Pollenspender, Habitus kann sehr variabel sein, daraus resultiert ein schwieriger Kronenaufbau, schwer aufzuasten, Honigttauabsonderung; beste Honiglinde: 1000 kg/ha + 25 kg/ha Blatthonig, aber nicht so stark von Blattläusen befallen wie <i>T. platyphyllos</i> |   |   |
| <i>Tilia cordata</i><br>'Greenspire'                                 | Amerikanische<br>Stadt-Linde        | <u>2</u> | gg  | 21 | –   | 3 | – | – | – | – | schmale, regelmäßige und dichte Krone, im Alter breiter, Äste aufsteigend, stadtklimafest, Honigttauabsonderung   |   |   |

|                                      |                                |          |     |    |     |   |   |   |   |   |   |   |  |
|--------------------------------------|--------------------------------|----------|-----|----|-----|---|---|---|---|---|---|---|--|
| <i>Tilia cordata</i><br>'Rancho'     | Amerikanische<br>Stadt-linde   | <u>2</u> | g   | 21 | -   | 3 | - | - | - | - | wie die Art, jedoch mit schmal eiförmiger, im Alter breit rundlicher, regelmäßiger Krone, langsam und kompakt wachsend; geringere Honigttauabsonderung, Ergebnisse aus Straßenbaumtest 1 beachten   | x |  |
| <i>Tilia mandshurica</i>             | Mandschurische<br>Linde        | <u>2</u> | -   | 11 | -   | 3 | - | - | - | - | Zukunftsbaumliste Düsseldorf: Anlagenbaum   |   |  |
| <i>Tilia platyphyllos</i>            | Sommer-Linde                   | <u>1</u> | ng  | 32 | -   | 5 | - | 3 | - | - | breit eiförmige Krone, ausladende Seitenäste; verlangt tiefgründige, frische, humose Böden, empfindlich gegen Bodenverdichtung, nicht für das innerstädtische Klima geeignet, Honigttauabsonderung; sehr gute Bienenweide (800kg/ha)  |   |  |
| <i>Tilia platyphyllos</i><br>'Rubra' | Korallenrote Som-<br>mer-Linde | <u>1</u> | ng  | 32 | -   | 3 | - | - | - | - | wie die Art, jedoch regelmäßiger breit kegelförmige Krone, Triebspitzen auffallend orange- bis korallenrot gefärbt im Winter, einjährige Triebe intensiv rot, Honigttauabsonderung  |   |  |
| <i>Tilia tomentosa</i>               | Silber-Linde                   | <u>1</u> | gmE | 12 | -   | 3 | - | - | - | - | regelmäßige, breit kegelförmige, geschlossene Krone, Neigung zu Gabelwuchs; späte Blütentracht, weder bienen- noch hummelgefährlich, kein Honigttau, die Verwendung von Sorten wird empfohlen   |   |  |
| <i>Tilia tomentosa</i><br>'Brabant'  | Brabanter Silber-<br>Linde     | <u>1</u> | gg  | 12 | -   | 3 | - | 3 | - | - | breite kegelförmige dichte und regelmäßig aufgebaute Krone, Selektion mit geradem durchgehendem Stamm, bessere Leittrieb- bildung als die Art, kein Honigttau; Honigertrag: 1200kg/ha, Nektar von <i>T. tomentosa</i> enthält keine Mannose oder andere toxisch wirkende Zucker, auch beim Verdauungsvorgang entstehen keine Giftstoffe |   |  |
| <i>Tilia x euchlora</i>              | Krim-Linde                     | <u>1</u> | g   | 21 | 3,8 | 5 | 4 | 5 | 2 | 3 | stumpf kegelförmige Krone, gerader, durchgehender Stamm, stark hängende Äste, auf Lichtraumprofil achten, schnellwachsend, windfest, frosthart, Honigttauabsonderung  |   |  |
| <i>Tilia x europaea</i><br>'Pallida' | Holländische<br>Linde          | <u>1</u> | gg  | 31 | -   | 3 | - | - | - | - | wie die Art, jedoch gleichmäßig kegelförmige Krone, im Alter breit ausladend; Blätter haften im Herbst länger als bei der Art, verschiedene Selektionen im Handel; Honigttauabsonderung   |   |  |
| <i>Tilia x europaea</i>              | Holländische<br>Linde          | <u>1</u> | g   | 31 | 4,4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | gleichmäßig aufgebaute kegelförmige Krone, stadtklimafest, trockenheitsverträglich und wärmeliebend, Bienenweide, Honigttauabsonderung  |   |  |

|  |                         |          |     |    |     |   |   |   |   |   |  |  |   |
|--|-------------------------|----------|-----|----|-----|---|---|---|---|---|--|--|---|
| <b><i>Ulmus glabra</i></b>               | Berg-Ulme               | <u>1</u> | ng  | 41 | 3,8 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | rundliche, breit ausladende und dichte Krone, anspruchsvoll bezüglich Wasser- und Nährstoffversorgung, anfällig für die Ulmenkrankheit; Ulmen-Pollen im März die erste Bienennahrung, Futterpflanze für die Raupen sehr vieler, heimischer Falterarten |  |   |
| <b><i>Ulmus laevis</i></b>               | Flatter-Ulme            | <u>1</u> | -   | *  | -   | 3 | - | 2 | - | - | *KLAM-Landschaft: eher im Vorteil; wegen früher Blüte wertvolle Insektenfutterpflanze  |  |   |
| <b><i>Ulmus minor</i></b>                |                         | <u>1</u> | -   | *  | -   | 3 | - | - | - | - | *KLAM-Landschaft: eher im Vorteil; guter Pollenspender   |  |   |
| <b><i>Ulmus-Hybride 'Columnella'</i></b> | Säulen - Ulme           | <u>2</u> | -   | 41 | -   | 3 | - | - | - | - | aufrechte bis säulenförmiger Krone, auffallend schlank, bisher keine genauen Angaben von ausgewachsenen Bäumen vorhanden, vermutlich resistent gegen die Ulmenkrankheit, Käferbefall jedoch möglich, im Straßenbaumtest 2 seit 2007/08                 |  |   |
| <b><i>Vaccinium myrtillus</i></b>        | Heidelbeere             | <u>3</u> | -   | -  | -   | 4 | - | 3 | 3 | 3 | lichte Laub- und Nadelwälder, Heidemoore, Zwergstrauchheiden; Blätter Raupennahrung: Kleines Nachtpfauenauge, Braunfleckiger Perlmutterfalter, Violetter Silberfleckbläuling   |  | x |
| <b><i>Viburnum lantana</i></b>           | Wolliger Schneeball     | <u>3</u> | -   | 11 | -   | 4 | 4 | 2 | 3 | - | streng duftende Blüten von zahlreichen Insektenarten wie Bienen, Honigkäfern und Fliegen besucht, Schneeballblattkäfer lebt von Blättern, Früchte sind Vogelnahrung  |  | x |
| <b><i>Viburnum opulus</i></b>            | Gewöhnlicher Schneeball | <u>3</u> | -   | *  | -   | 4 | 3 | 3 | 1 | - | Warda: Straßenränder, Ausläufer bildend<br>*KLAM-Landschaft: indifferent   |  | x |
| <b><i>Zelkova serrata</i></b>            | Japanische Zelkove      | <u>2</u> | gmE | 22 | 1,5 | - | 1 | 1 | 2 | 2 | breit, runde Krone mit weit ausladendem Wuchs, auf geraden durchgehenden Leittrieb achten, stadtklimafest, im Straßenbaumtest 2 seit 2005  |  |   |

Tabelle 46: Straßenbaumtauglichkeit, Klimaangepasstheit und faunistischer Wert von Gehölzen

| <b>Standortansprüche und faunistischer Wert von gängigen Kletterpflanzen</b> |                                  |                    |             |  |   |   |
|--|----------------------------------|--------------------|-------------|--|---|---|
| (Quellen: siehe Haupttext)   |                                  |                    |             |  |   |   |
| <b>Pflanzenart</b>   | <b>Deutscher Name</b>            | <b>Kletter-Typ</b> | <b>Höhe</b> | <b>Klima</b>                                     | <b>Bemerkung</b>  | <b>Faunistischer Wert</b>   |
| <b>Gehölze</b>   |                                  |                    |             |  |   |   |
| <i>Actinidia arguta</i>  | Scharfzähni-ger Strahlen-griffel | Schlin-ger         | 8-10m       | sonnig-halb-schattig, wärme-verträglich,         | frosthart; ausgesprochen stadtklimafest; schnell-wüchsig                          | Insektenfutterpflanze; Früchte als Nahrung für Vögel, Insek-ten, Säuger |
| <i>Actinidia delici-osa (chinensis)</i>                                      | Kiwipflanze                      | Schlin-ger         | 8-10m       | sonnig-heiß                                      | frostempfindlich; stark-wüchsig; hoher Wasserverbrauch; Kletterhilfe erforderlich | Insektenfutterpflanze; Früchte als Nahrung für Vögel, Insek-ten, Säuger |
| <i>Actinidia kolo-mikta</i>  | Kolomikta-Strahlengrif-fel       | Schlin-ger         | 2-3m        | sonnig-licht-schattig, som-merkühl, winter-kalt, | frosthart; klettert nur schwach   | Insektenfutterpflanze; Früchte als Nahrung für Vögel, Insek-ten, Säuger |
| <i>Akebia quinata</i>  | Fingerblätt-rige Akebie          | Schlin-ger         | bis 10m     | sonnig-halb-schattig                             | (in der Jugend) frostemp-findlich; Kletterhilfe erforderlich                      | Früchte als Nahrung für Vögel, Insekten, Säuger                         |
| <i>Aristolochia macrophylla</i>  | Pfeifenwinde                     | Schlin-ger         | bis 10m     | sonnig-halb-schattig, kühl, frosthart            | stadtklimafest  | Nahrungspflanze von <i>Zerynthia polyxena</i> (Osterluzeifalter)        |
| <i>Campsis grandiflora</i>   | Chinesische Klettertrom-pete     | Wurzel-klette-rer  | 3-6m        | sonnig, hitzever-träglich; windge-schützt;       | nicht ganz winterhart; stadtklimafest   | Insektenfutterpflanze   |
| <i>Campsis radicans</i>  | Amerikani-sche Kletter-trompete  | Wurzel-klette-rer  | bis 10m     | sonnig, wärme-liebend;                           | stadtklimafest; stark giftig  | Insektenfutterpflanze   |
| <i>Campsis x taglia-bunda</i>  | Hybrid-Klet-tertrompete          | Wurzel-klette-rer  | bis 8m      | sonnig, hitzever-träglich; windge-schützt        | stadtklimafest; Kletterhilfe erforderlich   | Insektenfutterpflanze   |

|   |                             |                 |         |  |   |  |
|---|-----------------------------|-----------------|---------|--|---|--|
| <b><i>Celastrus scandens</i></b>                | Amerikanischer Baumwürger   | Schlinger       | bis 7m  | sonnig-halbschatten, sommerkühl und winterkal  | frosthart, stadtklimfest; starkwüchsig  | Früchte sind Nahrung für Vögel (Winternahrung); Insektenfutterpflanze  |
| <b><i>Celastrus orbiculatus</i></b>             | Rundblättriger Baumwürger   | Schlinger       | 10-13m  | sonnig-halbschatten, sommerkühl und winterkalt | frosthart, stadtklimafest; starkwüchsig   | Früchte sind (Winter-)Nahrung für Vögel; Insektenfutterpflanze   |
| <b><i>Clematis vitalba</i></b>                  | Gemeine Waldrebe            | Ranker          | 10-15m  | sonnig, wärmeliebend; Wurzelbereich kühl       | Vorsicht bei Nadelbäumen (Überwucherungsgefahr); giftig   | gute Nektar- und Pollenquelle; Nahrungspflanze von min. 38 Schmetterlingsarten (v.a. Nachfalterraupen!), davon 5 Arten monophag: <i>Horisme corticata</i> (Dunkelbrauner Waldrebenspanner); <i>Horisme tersata</i> (Graubrauner Waldrebenspanner); <i>Horisme vitalbata</i> (Hellbraungebänderter Waldrebenspanner); <i>Melanthia alaudaria</i> (Waldreben-Alpenspanner); <i>Melanthia procellata</i> (Waldreben-Blattspanner); <i>Thyris fenestrella</i> (Waldreben-Fensterfleckchen) |
| <b><i>Euonymus fortunei</i></b>                 | Kletternder Spindelstrauch  | Wurzelkletterer | bis 6m  | licht-halbschatten                             | schattenverträglich; immergrün; Vorsicht bei Kleingehölzen (Überwucherungsgefahr); allgemein gut frosthart, spätfrostempfindlich; stadtklimfest; giftig | Insektenfutterpflanze; Früchte als Vogel-Nahrung; Winterquartier für Igel  |
| <b><i>Fallopia baldschuanica (aubertii)</i></b> | Chinesischer Flügelknötchen | Schlinger       | bis 10m | sonnig-lichtschattig                           | schattenverträglich   | sehr gute Nektar und gute Pollenquelle   |
| <b><i>Hedera helix</i></b>                      | Gewöhnlicher Efeu           | Wurzelkletterer | bis 30m | sonnig-halbschatten, wärmeliebend              | stadtklimaverträglich; immergrün; Vorsicht bei beschädigtem Mauerwerk (lichtfliehende Triebe); verträgt Wurzeldruck großer Bäume; giftig                | Winterschutz für Vögel; Früchte als Winternahrung für Vögel, sehr gute Nektar- und gute Pollenquelle (späte Blüte!); Nahrung für Schmetterlinge (v.a. Tagfalterraupen!); beliebt bei laubabsuchenden Fledermäusen  |

|                                       |                               |                 |          |   |   |  |
|---------------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------|---|---|--|
| <b><i>Hydrangea petiolaris</i></b>    | Kletter-Hortensie             | Wurzelkletterer | 10-20m   | lichtschattig, kühl-kalt  | Vorsicht bei jüngeren Gehölzen; spätfrostempfindlich; stadtklimafest; verträgt Wurzeldruck großer Bäume | wertvolle Insektenfutterpflanze  |
| <b><i>Jasminum nudiflorum</i></b>     | Winter-Jasmin                 | Spreizklimmer   | 2-3m     | sonnig-heiß   | Winterblüher mit langer Blütezeit (sukzessives Aufblühen); frosthart; stadtklimafest; rauchhart         | k.A.   |
| <b><i>Lonicera caprifolium</i></b>    | Wohlriechendes Geißblatt      | Schlinger       | bis 5m   | sonnig-lichtschattig, wärmeliebig; Wurzelbereich schattig und feucht-kühl | Kletterhilfe erforderlich; frosthart; giftig  | sehr gute Nektarquelle; Nahrungspflanze für Schmetterlinge (v.a. Nachtfalter!), u. a. Raupenfutterpflanze für <i>Limenitis reducta</i> – Blauschwarzer Eisvogel (RL-D 2)   |
| <b><i>Lonicera henryi</i></b>         | Henrys Geißblatt              | Schlinger       | 4-6m     | licht-halbschatten  | immergrün; starkwüchsig; giftig   | k.A.   |
| <b><i>Lonicera japonica</i></b>       | Japanisches Geißblatt         | Schlinger       | 4-6(10)m | licht-halbschatten, wärmeverträglich                                      | frostempfindlich; giftig  | k.A.   |
| <b><i>Lonicera periclymenum</i></b>   | Wald-Geißblatt                | Schlinger       | 3-6m     | licht-halbschatten  | Kletterhilfe erforderlich; giftig   | sehr gute Nektarquelle; Nahrungspflanze für Schmetterlinge (v.a. Nachtfalter!); u.a. Raupenfutterpflanze von: <i>Euphydryas maturna</i> (Eschen-Scheckenfalter), RL-D 1; <i>Limenitis camilla</i> (Kleiner Eisvogel), RL-D 3 |
| <b><i>Lonicera x brownii</i></b>      | Browns Trompeten-Geißblatt    | Schlinger       | bis 3m   | licht-halbschatten, wärmeliebig   | Kletterhilfe erforderlich; giftig; sehr frosthart   | k.A.   |
| <b><i>Lonicera x heckrottii</i></b>   | Heckrotts Trompeten-Geißblatt | Schlinger       | 2-4m     | licht-halbschatten, wärmeliebig; Wurzelbereich schattig                   | schwach kletternd; gut frosthart; giftig  | k.A.   |
| <b><i>Lonicera x tellmanniana</i></b> | Tellmanns Trompeten-Geißblatt | Schlinger       | 6-7m     | sonnig-lichtschattig, wärmeliebig   | frosthart, stadtklimafest; giftig   | k.A.   |

|   |                                       |                         |            |   |   |   |
|---|---------------------------------------|-------------------------|------------|---|---|---|
| <b><i>Parthenocissus quinquefolia</i></b> | Wilder Wein<br>fünflättrig            | Ranker                  | bis<br>15m | sonnig, wärme-<br>liebend                       | starkwüchsig; frosthart,<br>stadtklimafest; rauchhart   | Sehr gute Nektar- und gute Pollenquelle; Nahrungspflanze für<br>Schmetterlinge (Nachfalter); Früchte sind Vogelnahrung  |
| <b><i>Parthenocissus tricuspidata</i></b> | Wilder Wein<br>dreilappig             | Ranker                  | bis<br>20m | sonnig-licht-<br>schattig                       | schnellwüchsig  | Sehr gute Nektar und gute Pollenquelle; Nahrungspflanze für<br>Schmetterlinge (Nachfalter); Früchte sind Vogelnahrung   |
| <b><i>Rosa arvensis</i></b>               | Kriechende<br>Rose                    | Spreiz-<br>klim-<br>mer | bis 4m     | sonnig-halb-<br>schatten, kühl-<br>ausgeglichen | –   | wichtige Nahrungspflanze für Wildbienen; Früchte sind Nah-<br>rung für Vögel; Vogelschutzgehölz; Vorsicht bei Fledermäu-<br>sen (Stacheln!);                            |
| <b><i>Rosa chinensis</i></b>              | Chinesische<br>Rose                   | Spreiz-<br>klim-<br>mer | bis 6m     | sonnig-lichtschat-<br>tig, wärmelie-<br>bend    | –   | k.A.  |
| <b><i>Rubus fruticosus</i></b>            | Echte Brom-<br>beere                  | Spreiz-<br>klim-<br>mer | bis 3m     | licht-halbschat-<br>ten                         | –   | Sehr gute Nektar- und Pollenquelle; hervorragende Nah-<br>rungspflanze für Schmetterlinge (77 Arten)  |
| <b><i>Solanum dulcamara</i></b>           | Bittersüßer<br>Nachtschat-<br>ten     | Schlin-<br>ger          | bis 3m     | lichtschattig,<br>wärmeliebend                  | giftig  | Insektenfutterpflanze; Früchte als Nahrung für Vögel  |
| <b><i>Vitis amurensis</i></b>             | Amur-Rebe                             | Ranker                  | bis<br>15m | sonnig-licht-<br>schattig, wärme-<br>liebend    | –   | Früchte als Nahrung für Vögel   |
| <b><i>Vitis vinifera</i></b>              | Kultur-Wein-<br>rebe                  | Ranker                  | bis<br>10m | sonnig, wärme-<br>liebend                       | –   | Gute Nektar- und Pollenquelle; sehr wertvolle Nahrungs-<br>pflanze für Schmetterlinge (Tagfalterraupen, Nachtfalter)<br>Früchte als Nahrung für Vögel, Insekten, Säuger |
| <b><i>Wisteria floribunda</i></b>         | Japanische<br>Wisterie<br>(Blauregen) | Schlin-<br>ger          | 8-12m      | sonnig, wärme-<br>liebend                       | frosthart, aber spätfrost-<br>empfindlich; stadtklima-<br>fest; im Sommer hoher<br>Wasserbedarf; giftig | Gute Nektarquelle   |

|                                   |                                  |           |           |                                   |  |   |
|-----------------------------------|----------------------------------|-----------|-----------|-----------------------------------|--|---|
| <b><i>Wisteria sinensis</i></b>   | Chinesische Wisterie (Blauregen) | Schlinger | bis 10m   | sonnig, hitzeverträglich          | frosthart, aber spätfrostempfindlich; stadtklimafest; im Sommer hoher Wasserbedarf; giftig | Gute Nektarquelle   |
| <b>Kräuter</b>                    |                                  |           |           |                                   |  |   |
| <b><i>Bryonia alba</i></b>        | Weißer Zaunrübe                  | Ranker    | 3-4m      | sonnig-halbschattig, warm         | giftig   | Insektenfutterpflanze; mit <i>B. dioica</i> alleinige Nahrungspflanze von <i>Andrena florea</i>   |
| <b><i>Bryonia dioica</i></b>      | Rotfrüchtige Zaunrübe            | Ranker    | 3-4m      | sonnig-halbschattig               | giftig   | Insektenfutterpflanze; mit <i>B. dioica</i> alleinige Nahrungspflanze von <i>Andrena florea</i>   |
| <b><i>Calystegia sepium</i></b>   | Zaun-Winde                       | Schlinger | bis 3m    | sonnig-halbschattig               | –  | Gute Futterpflanze für Schmetterlinge; Bestäubung durch Nachtfalter (Schwärmer), Schwebfliegen; Nektarquelle für Nachtfalter (Schwärmer); Hauptbestäuber: <i>Herse convolvuli</i> (Windenschwärmer, 8cm langer Rüssel!) |
| <b><i>Humulus lupulus</i></b>     | Hopfen                           | Schlinger | bis 8m    | halbschattig                      | –  | Schmetterlingsfutterpflanze (min. 8 Arten: v.a. Tagfalterraupen)  |
| <b><i>Lathyrus latifolius</i></b> | Breitblättrige Platterbse        | Ranker    | bis 2(3)m | sonnig, wärmeliebend              | –  | Sehr gute Nektarquelle  |
| <b><i>Tamus communis</i></b>      | Gemeine Schmerzwurz              | Schlinger | 4-5m      | sonnig-halbschattig, wärmeliebend | giftig   | Insektenfutterpflanze; Früchte sind Nahrung für Vögel   |

Tabelle 47: Standortansprüche und faunistischer Wert von gängigen Kletterpflanzen

## G. Wissensverbreitung

| <b>Peer-reviewed Journal- und Konferenzbeiträge</b> |   |
|---|---|
| 2014  | P. Geyer, J. Tigges, T. Zölch, D. Gondhalekar, J. Maderspacher, J. Brasche, W. Lang, S. Pauleit (2014). Integrating urban built and green structures to improve climate change mitigation and adaptation. IC2UHI Konferenz, Venedig, Oktober 2014   |
| 2015  | J. Maderspacher, P. Geyer, T. Auer, W. Lang (2015). Comparison of different meta model approaches with a detailed building model for long-term simulations. Building Simulation 2015 - 14. Internationale Konferenz der IBPSA, Hyderabad, Indien, Dezember 2015   |
| 2016  | J. Maderspacher, P. Geyer, T. Auer, W. Lang (2016). Energy optimization of an existing building based on a neural network and a genetic algorithm, eSim 2016, Hamilton, Kanada, Mai 2016  |
|   | T. Zölch, J. Maderspacher, C. Wamsler, S. Pauleit (2016). Using green infrastructure for urban climate-proofing: An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale. Urban Forestry & Urban Greening, 20, 305-316. doi: <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2016.09.011">http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2016.09.011</a> |
| 2017  | S. Duthweiler, S. Pauleit, T. Rötzer, A. Moser, M. Rahman, L. Stratopoulos und T. Zölch (2017) Untersuchungen zur Trockenheitsverträglichkeit von Stadtbäumen. Jahrbuch der Baumpflege 2017, 21. Jg., S.137-154, ISBN: 978-3-87815-253-8  |
| <b>Konferenzbeiträge</b>                            |   |
| 2014  | T. Zölch, J. Maderspacher, S. Pauleit (2014). Identifying synergies for climate change mitigation and adaptation at district level. REKLIM Konferenz, Berlin, Oktober 2014  |
| 2015  | S. Pauleit, T. Zölch, J. Maderspacher, W. Lang (2015). Green infrastructure strategies for climate change in urban areas. ECCA Konferenz, Kopenhagen, Mai 2015  |
|   | T. Zölch, C. Wamsler (2015). Integrating the ecosystem-based approach in municipal adaptation strategies: the case of Germany. ECCA Konferenz, Kopenhagen, Mai 2015   |
|   | S. Pauleit, T. Zölch, J. Maderspacher, W. Lang (2015). Green infrastructure strategies for climate change and the promotion of biodiversity in urban areas. IALE Weltkongress, Portland, Juli 2015  |
|   | T. Zölch, J. Maderspacher, S. Pauleit, W. Lang (2015). A coupled modelling approach to quantify the microclimatic effects of green infrastructure on residential buildings. ICUC 9 Konferenz, Toulouse, Juli 2015   |
|   | T. Zölch, C. Wamsler, S. Pauleit (2015). Advances and gaps in the integration of ecosystem-based approaches in municipal adaptation strategies: the case of Germany. IALE-D Jahrestagung, Bonn, Oktober 2015  |
|   | T. Zölch, S. Pauleit (2015). Implementing urban green infrastructure for local climate regulation: What is actually needed?. EC-BCC Konferenz 2015 zu Nature-Based Solutions to Climate   |

|      |  |
|------|--|
|      | Change in Urban Areas and their Rural Surroundings - Linkages between Science, Policy and Practice, Bonn, November 2015  |
|      | T. Zölch, J. Brasche, J. Maderspacher, R. Schelle, G. Hausladen, S. Pauleit, W. Lang (2015). Green infrastructure strategies for climate change mitigation and adaptation. 1st European Urban Green Infrastructure Conference, Wien, November 2015   |
| 2016 | T. Zölch, S. Pauleit (2016). The role of green infrastructure measures in improving outdoor thermal comfort. Adaptation Futures 2016, Rotterdam, Niederlande, Mai 2016   |
|      | J. Brasche, T. Zölch, R. Schelle, G. Hausladen, J. Maderspacher, S. Pauleit, W. Lang (2016). Multiple benefits of climate change adaptation through urban green infrastructure, Internationale Konferenz zu Anpassung an den Klimawandel in der Praxis, Bern, Schweiz, Juni 2016   |
|      | A. Moser, T. Zölch (2016). Modelling growth and cooling effects of urban trees in Munich, Germany. IALE-D/ SURE Workshop "Urban biodiversity versus functional design in cities? - The case of urban trees", Salzburg, Österreich, Juni 2016   |
|      | T. Zölch, S. Pauleit (2016). A strategic approach for climate change adaptation via green infrastructure at neighbourhood scale. 2016 SURE Kongress, Shanghai, China, Juli 2016  |
|      | T. Zölch, S. Pauleit (2016). Mitigating heat and heavy rain events via urban green infrastructure: a comparative assessment at the micro-scale. Europäische Ökosystemleistungen Konferenz 2016 "Helping nature to help us", Antwerpen, Belgien, September 2016   |
| 2017 | T. Zölch, J. Maderspacher, S. Pauleit, W. Lang (2017) Quantifying the microclimatic effects of urban green infrastructure for climate change mitigation and adaptation. Green infrastructure: Nature-based solutions for sustainable and resilient cities: GreenInUrbs Cost FP1204 Konferenz, Orvieto, Italien, April 2017 |
|      | T. Zölch, S. Pauleit (2017) Mitigating heat and heavy rain events via urban green infrastructure: nature-based solutions for urban adaptation planning. European Climate Change Adaptation (ECCA) Konferenz, Glasgow, Schottland, Juni 2017  |
|      | F. Banihashemi, J. Maderspacher, W. Lang (2017) Effectiveness of passive climate adaptation measures in residential buildings in Germany. PLEA – Passive Low Energy Architecture Konferenz, Edinburgh, Schottland, Juli 2017   |

Tabelle 48: Übersicht über alle Veröffentlichungen des TP1 (Stand Juli 2017)