



Projektbroschüre

Zentrum Stadtnatur und Klimaanpassung (ZSK)

Aktualisierter Projektstand, Juli 2022



Grafik: ZSK, TP1



finanziert durch
Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Vorwort des Präsidenten der Technischen Universität München	3
Grußwort des ZSK	4
Aufbau des „Zentrum Stadtnatur und Klimaanpassung (ZSK)“	5
Teilprojekt 1 – Klimaschutz und grüne Infrastrukturen in der Stadt	9
Teilprojekt 2 – Anwendung der Methode Animal-Aided Design® (AAD) im Rahmen von Umsetzungsprojekten zur Mitigation von Effekten des Klimawandels auf die Tiere in der Stadt	13
Teilprojekt 3 – City Trees I + II: Stadtbäume im Klimawandel: Wuchsverhalten, Dienstleistungen und Perspektiven	16
Teilprojekt 4 – 100Places:M: Untersuchung der Auswirkungen des Wärmeinseleffekts auf den öffentlichen Raum am Beispiel Münchens	20
Teilprojekt 5 – Vorstudie: Klimaanpassung in den Städten Bayerns: Vergleichende Untersuchungen zum Einsatz gebietsfremder und heimischer Stadtklimabäume	23
Teilprojekt 6 – Klimaerlebnis Würzburg 2018 (KEW).....	27
Teilprojekt 8 - Bunte Bänder für unsere Städte in Zeiten des Klimawandels: Naturnahe städtische Blühflächen entlang von Verkehrsachsen zur Förderung der ökologischen Funktionalität.....	31
Teilprojekt 9 - KlimaKübelBäume - Bäume in Pflanzgefäßen als stadtklimatisch wirksame Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel.....	35
Teilprojekt 10 - Leistungen von Stadtgrün an öffentlichen Plätzen in München.....	38
Teilprojekt 11 - Nachverdichtung im Kontext des Klimawandels.....	42
Teilprojekt 12 – Animal-Aided Design III - Monitoring und Evaluation.....	45
Teilprojekt 13 - Begleitforschung zum Modellvorhaben des Experimentellen Wohnungsbaus „Klimaanpassung im Wohnungsbau“	46
Teilprojekt 14 - Multifunktionale Versickerungsmulden im Siedlungsraum	48
Teilprojekt 15 - Klimabiomonitoring mit Flechten in Bayern.....	51
Koordination (Teilprojekt 7): Schlussfolgerung und Ausblick zum ZSK	52
Veröffentlichungen der Teilprojekte (Stand Juli 2021)	61
Literaturempfehlungen zu den Themen des ZSK	65
Abbildungsverzeichnis	66
Tabellenverzeichnis	68

Vorwort des Präsidenten der Technischen Universität München

Wenn wir nicht mit wirksamen Maßnahmen voranschreiten, werden der Klimawandel und seine Folgen kaum aufhaltbar sein. Selbst wenn die 2015 in Paris vereinbarten Ziele eingehalten werden sollten, werden wir noch viele Jahrzehnte mit den erhöhten Globaltemperaturen konfrontiert sein. Die Herausforderungen sind insbesondere in den am dichtesten besiedelten Räumen der Erde sehr spürbar: den Städten. Es kommt hinzu, dass der Anteil der Stadtbewohner an der weltweiten Bevölkerung immer weiter ansteigt und somit immer mehr Menschen diesen Auswirkungen ausgesetzt sind.

Hier setzt das Zentrum Stadtnatur und Klimaanpassung an, welches die vielfältigen Kompetenzen der TUM sowie ihrer Partner koordiniert und diese Krise als Chance nutzt, um unsere Städte „klimafit“ zu machen. Mithilfe der Natur, also grüner Infrastruktur wie zum Beispiel Bäumen, Sträuchern, Gründächern und begrünten Fassaden, können signifikante Verbesserungen erreicht werden. Dies betrifft einerseits die Temperaturen, und damit das Wohlbefinden der Menschen, als auch Aspekte wie die Reduzierung von Überschwemmungsgefahren sowie schwindender Artenvielfalt.

Die vorliegende Broschüre greift diese Themen auf! Als ihr Präsident freue ich mich, dass die TUM dieses Forschungs- und Umsetzungsnetzwerk koordinieren darf. Wir sehen es als unsere gesellschaftliche Verpflichtung an, als eine der besten technischen Universitäten Europas mit unserer Forschung zur Gesunderhaltung unseres Planeten sowie des Zusammenlebens der Menschen beizutragen.



Herr Prof. Dr. Thomas F. Hofmann, Präsident der Technischen Universität München

Sowohl das Thema Nachhaltigkeitsaspekte wie auch die Inter- und Transdisziplinarität der Arbeit des Zentrums sind mir persönlich ein Anliegen.

Die Vielfalt an mitwirkenden Fachbereichen der TUM zeigen, wie wichtig die Verbindung der Arbeit unserer Forscherinnen und Forscher mit der Praxis ist und welche wichtige Rolle die Wissenschaft bei der Gestaltung einer nachhaltigen Zukunft spielt. Ich wünsche ihnen eine interessante Lektüre und vor allem neue Anregungen dazu, wie wir alle in unseren jeweiligen Wirkungsbereichen unseren eigenen Beitrag zu einer nachhaltigeren sowie klimawandelangepassten Stadtentwicklung leisten können.

A handwritten signature in blue ink, reading "Thomas F. Hofmann". The signature is written in a cursive style.

Prof. Dr. Thomas F. Hofmann

Grußwort des ZSK

Städte sind durch ihre hohen Bevölkerungs- und Bebauungsdichten sowie der Flächenversiegelung besonders von den Auswirkungen des globalen Klimawandels betroffen. Auch in Bayern birgt dies eine große Herausforderung für Mensch und Natur.

Deshalb sind zielgerichtete Strategien zur Minderung der Treibhausgasemissionen (Klimaschutz) als auch zur Anpassung an die klimatischen Veränderungen (Klimawandelanpassung) nötig.

Ziel des „Zentrum Stadtnatur und Klimaanpassung“ (ZSK) ist es, vielfältige Kompetenzen von natur-, sozial- und ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen an bayerischen Forschungseinrichtungen zu bündeln, um mit Kommunen das Thema „Klimawandel in der grünen Stadt der Zukunft“ fachübergreifend, ganzheitlich und praxisnah zu bearbeiten. In enger Abstimmung mit den Kommunalpartnern werden Strategien und Handlungsempfehlungen entwickelt.

Diese Broschüre soll Partnern und Kommunen einen kurzen Überblick über die Forschungstätigkeiten des ZSK verschaffen und über aktuelle Arbeiten informieren.

Die Leitung und Koordination des ZSK möchte die Gelegenheit nutzen, um sich bei allen beteiligten bayerischen Forschungseinrichtungen und den Kommunen für die konstruktive Zusammenarbeit und den fachlichen Austausch zu bedanken.

Besonderer Dank gilt dem Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz für die finanzielle Unterstützung und Förderung.



Herr Prof. Dr.-Ing. Stephan Pauleit, Leitung des ZSK



Herr Prof. Dr. Thomas Rötzer, stellvertretende Leitung des ZSK

Prof. Dr. Stephan Pauleit

Prof. Dr. Thomas Rötzer

Aufbau des „Zentrum Stadtnatur und Klimaanpassung (ZSK)“



Seit 2013 vereint das ZSK die Bereiche der Stadt- und Landschaftsplanung, Architektur, Ingenieurwissenschaften, Soziologie, Biologie und Ökologie, um drängende Fragen rund um die Klimaanpassung der nachhaltigen Stadt von morgen zu beantworten (Abbildung 1).

Ziel des interdisziplinären Teams ist es, praktische Handlungsempfehlungen für Städte und Kommunen in Bayern zu erarbeiten, die zeigen, wie mit Hilfe der Ökosystemdienstleistungen der grünen Stadtnatur, z. B. Beschattung, Wasserspeicherung, Befeuchtung die nachhaltige Stadt der Zukunft an die Folgen des Klimawandels angepasst werden kann. Dabei sollen Synergieeffekte genutzt werden, so dass Flora und Fauna gleichermaßen ein Refugium finden und langfristig geschützt werden können.

Das ZSK behandelt folgende Fragestellungen:

- Wie können Architekt*Innen, Landschaftsplaner*innen, Naturwissenschaftler*innen und Soziolog*innen im Sinne der Klimaanpassung von Städten zielführend für die Entwicklung von Klimaschutz und Anpassungsstrategien kooperieren?
- Was kann Stadtgrün hinsichtlich der Klimaanpassung leisten? Wie soll es geplant und gestaltet werden, um effektiv zu lebenswerten, klimaschützenden und klimaangepassten Städten beizutragen?
- Wie können vom Klimawandel bedrohte Tiere und Pflanzen in der Stadt geschützt und gefördert werden?
- Wie sollen große Stadtplätze während Klimawandel gestaltet werden?
- Welche Synergieeffekte können für Mensch, Flora und Fauna aus der Stadtplanung von morgen geschaffen werden?
- Welche Rolle spielen verschiedene Baumarten für das Klima in der Stadt der Zukunft? Können Baumarten aus anderen Klimabereichen der Erde in das Stadtbild integriert werden und erbringen diese Baumarten vergleichbare Umweltleistungen?
- Bieten Baumarten aus anderen Klimazonen vergleichbare Lebensräume für die baumbewohnende Fauna wie heimische Baumarten?
- Wie können Menschen für die Themengebiete der modernen Stadtplanung, Klimaanpassung und Ökosystemleistungen sensibilisiert werden?
- Wie können Nachverdichtungsprozesse sinnvoll und klimaschonend implementiert werden?

- Welche Wuchsleistung und klimatische Wirkung haben Bäume in Pflanzgefäßen? Wie können Bäume in Pflanzgefäßen fachgerecht gepflanzt werden, um sie als stadtklimatisch wirksame Maßnahme nachhaltig einsetzen zu können?
- Wie können bauliche Nachverdichtungsprozesse aus einer ganzheitlichen, klimaresilienten und ressourcenschonenden Perspektive geplant und durchgeführt werden, um dabei auch Grünflächengestaltung, Mikro- klima- und Lebenszyklusanalysen sowie Materialeinsatz früh in die Planungsprozesse zu integrieren?
- Wie muss ein siedlungswassertechnisch-, pflanzen- und tierökologisch-integriertes Versickerungssystem konzipiert sein, um sowohl in seiner stadtklimatischen Wirkung als auch in der Aufnahmeleistung, Speicherfähigkeit und Entwässerung von Niederschlagswasser und seiner Reinigungsleistung des Bodenkörpers optimiert zu sein?

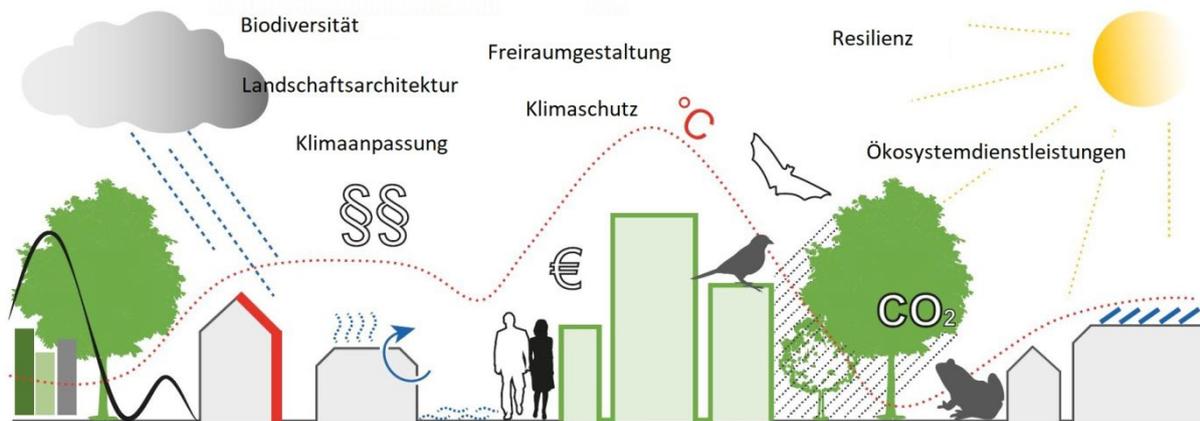


Abbildung 1: Forschungsthemen des ZSK (ZSK, TP1)

Das ZSK besteht derzeit aus 15 Teilprojekten (TP) inklusive der Koordination (TP 7), von denen neun aktuell durchgeführt werden (Abbildung 2) und sechs bereits erfolgreich abgeschlossen Teilprojekten (Abbildung 3). Ende 2019/Anfang 2020 sowie Ende 2020/Anfang 2021 wurde das ZSK um sechs neue Teilprojekte erweitert (TP 9 - 14). Anfang 2022 kam ein weiteres Teilprojekt hinzu (TP 15). Die Teilprojekte werden von

Wissenschaftler*innen der Technischen Universität München, der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, der Julius-Maximilians- Universität Würzburg, der Universität Regensburg, der Universität Kassel, der Technischen Universität Wien, der HU Berlin und der Landesanstalt für Wein- und Gartenbau Veitshöchheim (LWG) bearbeitet.

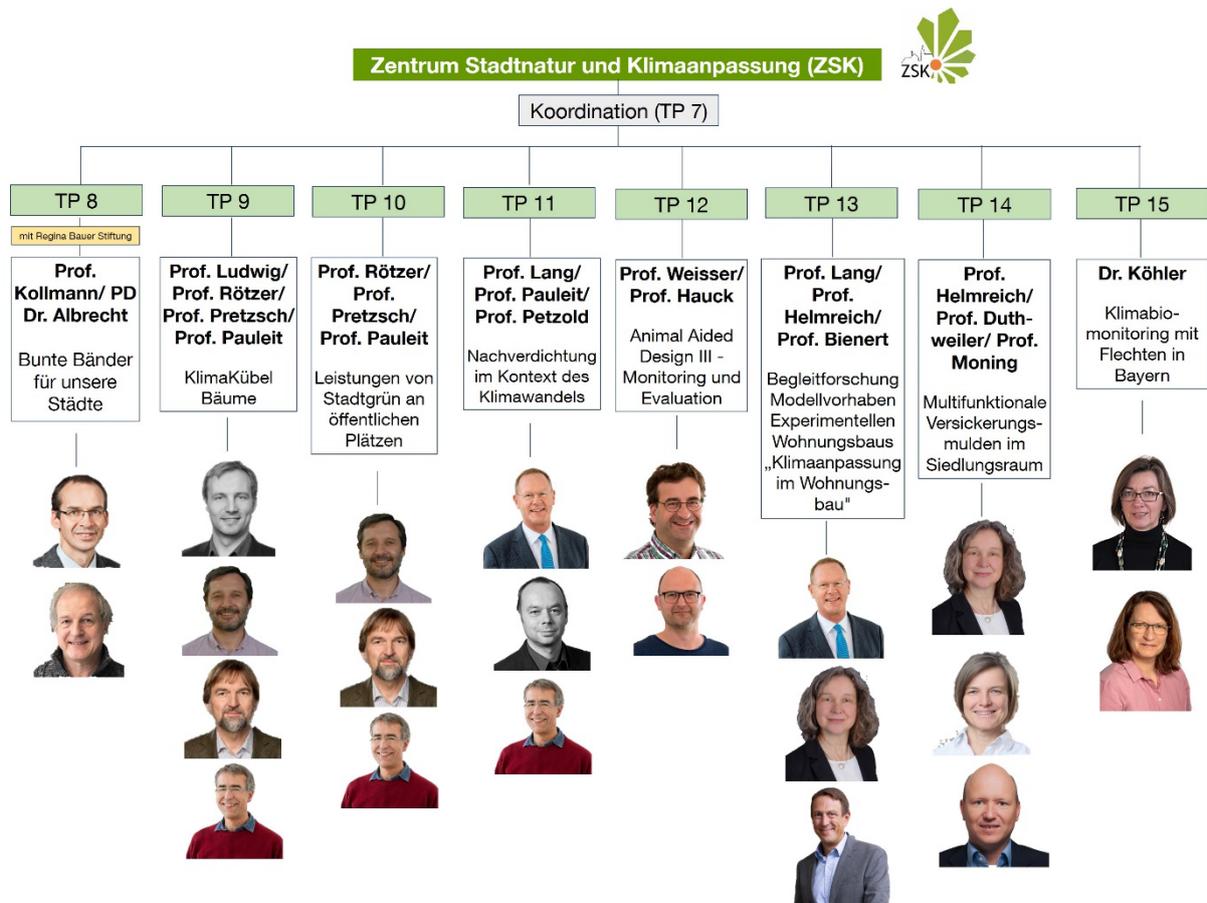


Abbildung 2: Die aktuell laufenden Teilprojekte des ZSK. Stand Juli 2022 (Grafik: ZSK)

In enger Zusammenarbeit mit kommunalen Partnern, wie der LH München, der Stadt Würzburg, der Stadt Nürnberg, der Stadt Ingolstadt, der Stadt Bayreuth, der Stadt Hof und der Stadt Kempten werden Problemstellungen der urbanen Klimaanpassung in der Praxis durchleuchtet und Lösungswege aufgezeigt. Hierbei spielt der Altbaubestand ebenso eine Rolle wie Neubaugebiete und Nachverdichtungsprozesse. Fachliche Unterstützung erhält das ZSK ferner von den Partnern GEWOFAG Wohnen GmbH, bogevischs buero, michelerundschalk, der Universität Bayreuth, dem LBV München, dem ZAE Bayern, der Zoologischen Staatssammlung München, GreenCity e.V. München, der

Gemeinde Gerbrunn, der Landesgartenschau Würzburg 2018, die Praxispartner der Städte Ingolstadt, Freising, Deggen-dorf, Regensburg, Selb, Nürnberg-Ge-rersdorf, Schwabach, Schweinfurt, Augsburg, Füssen-Ziegelwies und das Bayerische Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr. Die Projekte des ZSK werden vom Bayerischen Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) sowie der Regina-Bauer Stiftung finanziert und an der TU München koordiniert. Auf den nachfolgenden Seiten werden die Inhalte der einzelnen Teilprojekte vorgestellt und ausgewählte Literatur präsentiert. Besuchen Sie uns auch auf unserer Webseite www.zsk.tum.de.

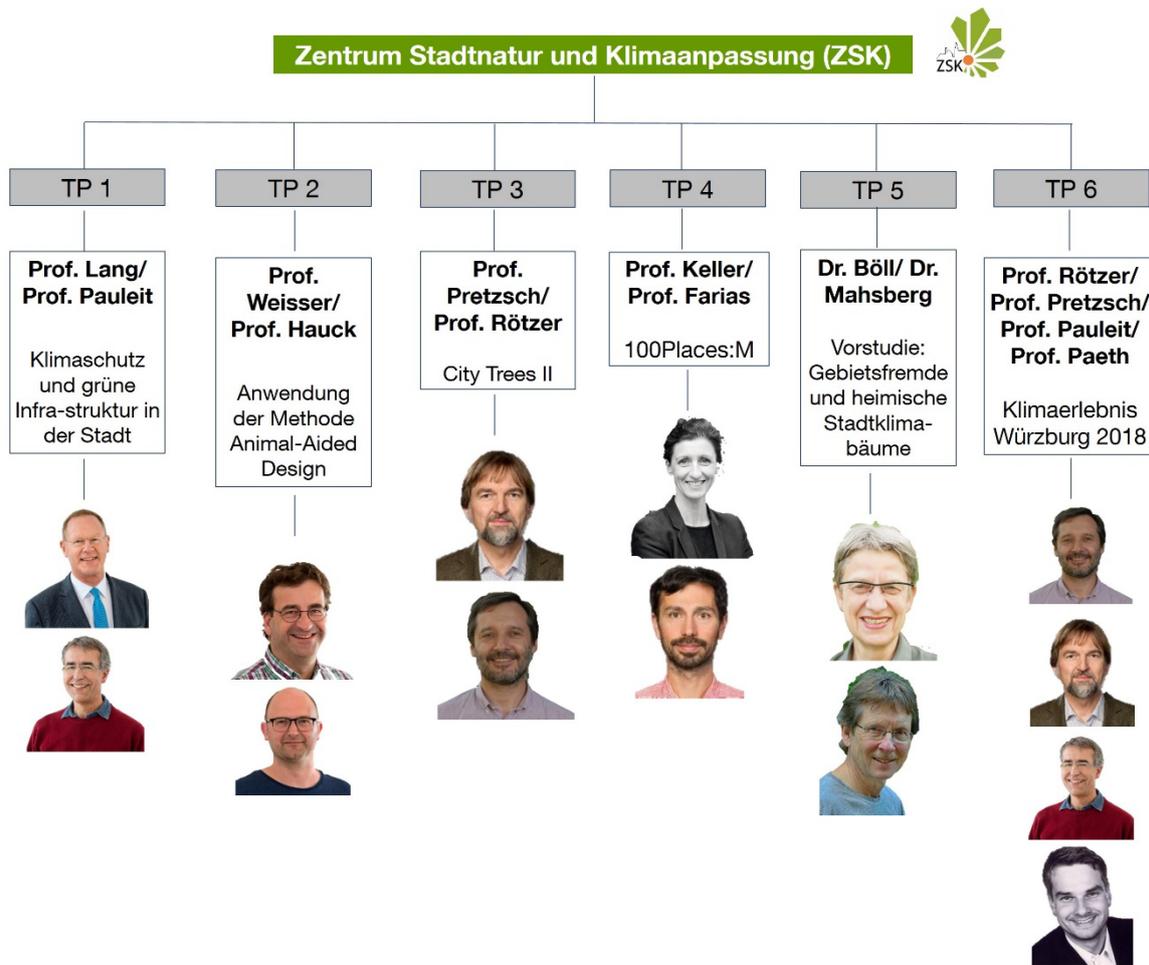


Abbildung 3: Die bereits abgeschlossenen Teilprojekte des ZSK. Stand Juli 2022 (Grafik: ZSK)

Teilprojekt 1 – Klimaschutz und grüne Infrastrukturen in der Stadt

Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen, TUM (Prof. Dr.-Ing. Werner Lang, Dr. Johannes Maderspacher, Dr. Julia Brasche, M.Sc. Georg Hausladen) und Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsentwicklung, TUM (Prof. Dr.-Ing. Stephan Pauleit, Dr. Teresa Zölch, Dipl.-Ing. Rupert Schelle)



Abbildung 4: Teilprojekt 1 – Klimaschutz und grüne Infrastruktur in der Stadt

Projektlaufzeit

Juni 2013 bis Juli 2017 (abgeschlossen)

Ausgangspunkt und Fragestellung

Das Forschungsprojekt thematisiert die Frage, wie sich Klimaschutz und -anpassung in der Stadt verzahnen lassen, um Synergieeffekte nutzen zu können. Dabei stand die Rolle der grünen Infrastruktur (Dach- und Fassadenbegrünung, mit Bäumen begrünte Hinterhöfe, Straßenräume) im Vordergrund.

Ziele

Im Fokus stand die Entwicklung von integrierten Strategien für Klimaschutz und -anpassung. Für drei Siedlungstypologien bayerischer Städte (Block-, Zeilenbebauung und mittelalterlicher Stadtkern) wurde mit Modellierungen die Regulationsleistung grüner Infrastrukturen sowie der Einfluss des Klimawandels auf den Energiebedarf und den thermischen Komfort von Wohngebäuden untersucht. Die Synergien zu Biodiversität und Freiraumqualität wurden ebenfalls dargestellt.

Methodik

Das TP war in fünf Arbeitspaketen gegliedert:

- Klimawandelauswirkungen und städtische Vulnerabilität
- Energieeffizienz unter Einfluss von Klimawandel
- Urbane Klimaregulation durch grüne Infrastruktur
- Biodiversität und Freiraumqualität
- Integrierte stadtplanerische Strategien

Die Auswahl von drei Modellquartieren in München und Würzburg umfasste einen Querschnitt typischer Siedlungs- und Freiraumstrukturen in bayerischen Städten. Hierdurch wurde die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere bayerische Städte sichergestellt.

Ergebnisse

Durch die enge Zusammenarbeit in den Fallstudiengebieten mit bayerischen Partnerstädten etablierte das TP einen wichtigen Erfahrungsaustausch zwischen Wissenschaft und Praxis. Vertreter*innen aus München und Würzburg sowie Interessierte wurden im Rahmen regelmäßiger Workshops und Veranstaltungen über den Fortschritt informiert und konnten sich in den Prozess einbringen. Aus den wissenschaftlichen Erkenntnissen des Projektes wurde ein Leitfaden erarbeitet, der konkrete Maßnahmen für die Integration von Klimaschutz und -anpassung für die drei verschiedenen Siedlungstypen empfiehlt und das gewonnene Wissen zu den nachfolgenden Themen an kommunale Vertreter bayerischer Städte heranträgt (Abbildung 5). Der Leitfaden wird auf der Homepage des ZSK (www.zsk.tum.de) zum Download zur Verfügung gestellt.

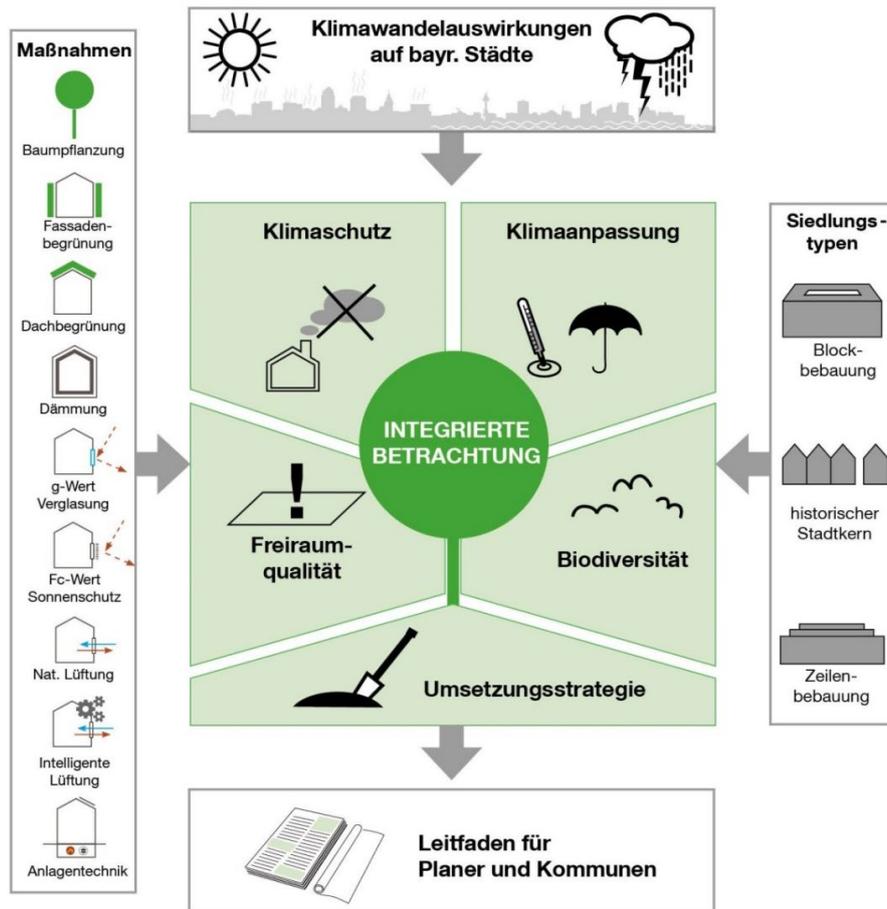


Abbildung 5: Projektaufbau und methodisches Vorgehen (Grafik: TP 1)

Bayer. Städte im Klimawandel

Projektionen des zukünftigen Klimas zeigen: die Anzahl der „heißen Tage“ nimmt zu und nachts kühlen die Städte viel weniger aus (Abbildung 6). Sie sind dicht bebaut, hoch versiegelt und durch Motorverkehr besonders belastet. Extremereignisse wie Hitze, Trockenheit oder Starkregen werden häufiger. Klimaschutz- und auch Anpassungsmaßnahmen sind schon heute nötig, um für die Zukunft gut gerüstet zu sein.

Klimaschutz und Energiebedarf

Der Klimawandel beeinflusst unseren zukünftigen Energiebedarf, weshalb sich die Anforderungen an ein energieeffizientes Gebäude verändern. Während der Heizbedarf durch die klimatische Erwärmung geringer wird, steigt der Kühlbedarf an. Je nach energetischem Standard des Gebäudes (Be-

stand, EnEV oder „Zukunft“) kann der Kühlbedarf die Reduktion des Heizwärmebedarfs deutlich übersteigen. Deshalb ist es wichtig, vorausschauend zu planen und die Gebäude den zukünftigen Bedingungen anzupassen (Abbildung 7).

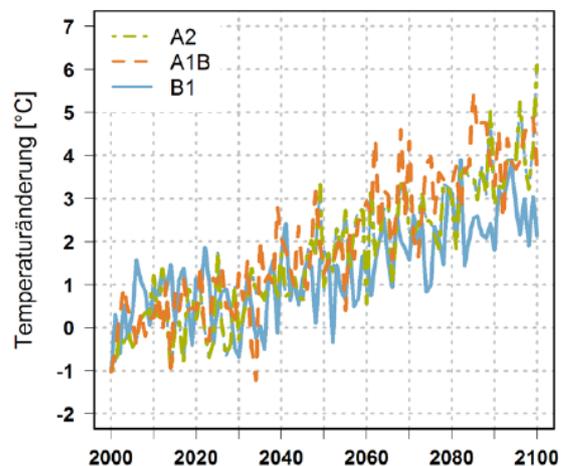


Abbildung 6: Regionales Klimamodell REMO: Änderung der Jahresmitteltemperatur für die Region München von 1990 bis 2100 nach unterschiedlichen Klimawandelszenarien (IPCC) (Grafik: TP 1)

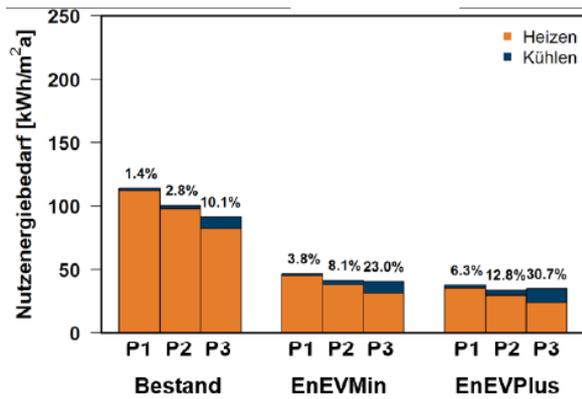


Abbildung 7: Energiebedarf nach unterschiedlichen Sanierungsstandards in Abhängigkeit der klimatischen Veränderungen (Grafik: TP 1)

Grüne Infrastruktur

Um die Auswirkungen des Klimawandels wie zunehmende Hitze und Starkregen zu regulieren, kann „Grüne Infrastruktur“ einen wichtigen Beitrag leisten. Kühleffekte treten durch Verdunstung und Schattenwurf auf, außerdem werden Schadstoffe gefiltert. In unversiegelten Böden versickert Regenwasser, wodurch die Kanalisation entlastet wird.

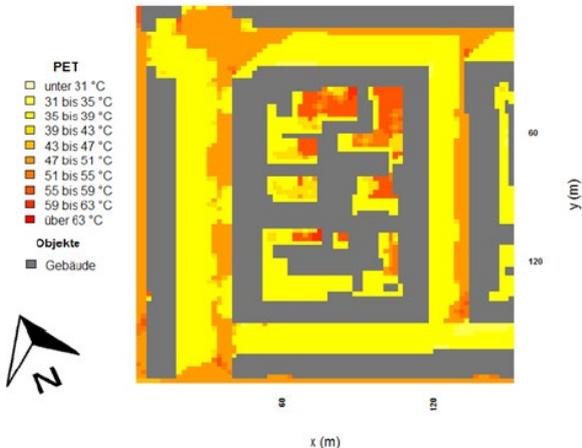


Abbildung 8: Mikroklimasimulation eines Modellblocks in der Münchner Maxvorstadt mit ENVI-met (Grafik: TP 1)

Die Stadt als Lebensraum

Begrünungsmaßnahmen von Städten sind angesichts zunehmender Hitze- und Starkregenereignisse notwendig (Abbildung 8). Sie eröffnen auch die Möglichkeit, zusätzliche soziale, ökologische und ästhetische Qualitäten zu erzeugen: Grüne Oasen im Hinterhof, Gärten auf Gebäuden und entsiegelte öffentliche Plätze bieten nicht nur

Schatten und Kühlung, sie sind zudem öffentlicher Treffpunkt, privater Rückzugsraum oder Habitat für spezielle Tierarten. Erst durch eine entsprechende Ausdifferenzierung der Raumqualitäten wird aus der klimaangepassten Stadt auch ein Ort mit hoher Lebensqualität für Menschen und Tiere.



Abbildung 9: Neue Lebensqualität: Blick auf einen begrünten Innenhof in der Maxvorstadt (Szenario) (Grafik: TP 1)

Die Stadt von Morgen planen

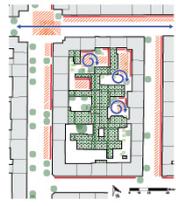
Gesetze von Bund und Land sowie Satzungen der Kommune regeln die Gestaltung des Raumes. Somit treffen verschiedene Steuerungsebenen aufeinander. Zudem müssen in der Stadt öffentliche und private Interessen verhandelt werden. Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen müssen in bestehende Planungsmuster einfließen. Sie konkurrieren mit anderen Flächenansprüchen und Herausforderungen wie z.B. steigendem Wohnungsdruck.

Daher gilt es, integrative Strategien anzuwenden. Dichte, Nutzungsmischung und Mobilität müssen mit der Grün- und Freiraumplanung verzahnt werden. Denn urbane Grünstrukturen können einen Beitrag zum Klimaschutz und zur Anpassung leisten, gleichzeitig die Aufenthaltsqualität erhöhen und der Biodiversität dienen (Abbildung 9).

Gestaltungsvorschläge für Blockbebauung (München Maxvorstadt)



Begrünungsszenario



Verortung von Maßnahmen

Zeilenbebauung (München Neuaubing)



Begrünungsszenario



Verortung von Maßnahmen

Historischer Stadtkern (Würzburg Heidingsfeld)



Begrünungsszenario



Abbildung 10: Auszug aus der Stadtklimaanalyse der Landeshauptstadt München (Grafik: Referat für Gesundheit und Umwelt, Landeshauptstadt München, 2014)

Aus den wissenschaftlichen Ergebnissen lassen sich folgende Handlungsempfehlungen ableiten (Auszug aus dem Leitfaden, Abbildung 10):

1. Klimaprognosen zeigen, dass Hitzeperioden und Extremwetterereignisse gerade in Städten weiter zunehmen werden. Diese zukünftigen Klimabedingungen müssen wir bei den Planungen von heute berücksichtigen
2. Energetische Sanierungen bleiben auch in Zukunft notwendig. Obwohl der Klimawandel tendenziell den Heizenergiebedarf reduziert, wird er auch in Zukunft den größten Anteil am Energiebedarf ausmachen.

3. Um CO₂-Emissionen durch Klimaanlagen einzuschränken, sollten Maßnahmen wie Sonnenschutz und Lüftung für sommerlichen Wärmeschutz eingeplant werden.
4. Bäume haben den größten Einfluss auf das Kleinklima einer Stadt. Der Baumbestand sollte deshalb geschützt und erweitert werden. Bei Neupflanzungen sollte auf klimatolerante Baumarten geachtet und ausreichend Wurzelraum eingeplant werden.
5. Begrünte Dächer und Fassaden wirken sich auf die nähere Umgebung aus. Auch sie regulieren die Temperatur und stellen neue Lebensräume für Menschen und Tiere dar. Städte und Gemeinden sollten private Begrünungsmaßnahmen fördern.
6. Unbebaute und begrünte Freiflächen dienen der Versickerung. Um Überschwemmungen zu vermeiden, sollten in Hinblick auf zukünftige Starkregenereignisse versiegelte Flächen reduziert werden. Dachbegrünungen können zusätzlich Niederschläge speichern und die Regenwasserkonzepte entlasten.
7. Bei der Gestaltung von Grün- und Freiflächen sind neben ihrer Wirksamkeit für das Kleinklima auch die unterschiedlichen Ansprüche von Nutzern und Tierarten zu beachten.
8. Grün- und Freiflächen sollten vorausschauend als grünes Netzwerk gesichert und entwickelt werden. Gutachten über die klimatische Bedeutung der jeweiligen Flächen sollten früh in die Planung mit einbezogen werden.
9. Planungsinstrumente wie städtebauliche Verträge bieten zur Festlegung von Grünflächenanteilen durch die Stadt großes Potenzial.

Teilprojekt 2 – Anwendung der Methode Animal-Aided Design® (AAD) im Rahmen von Umsetzungsprojekten zur Mitigation von Effekten des Klimawandels auf die Tiere in der Stadt

Lehrstuhl für Terrestrische Ökologie, TUM (Prof. Dr. Wolfgang W. Weisser, Dipl.-Ing. Maximilian Mühlbauer, M.Sc. Jan Piecha, Dipl.-Ing. Sylvia Weber) und Fachgebiet Freiraumplanung, Universität Kassel (Univ.-Prof. Thomas E. Hauck, Dipl.-Ing. Robert Bischer)

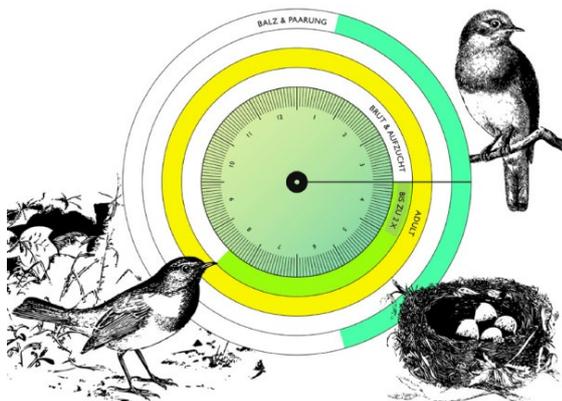


Abbildung 11: Lebenszyklus des Rotkehlchens (Grafik: S. Jahnke)

Projektlaufzeit

Oktober 2015 bis Februar 2019 (abgeschlossen)

Ausgangspunkt und Fragestellung

Städte haben vor dem Hintergrund des Klimawandels auch eine zunehmende Bedeutung für den Tierartenschutz. In Zürich wurden etwa 40 der 90 insgesamt in der Schweiz lebenden Säugetierarten nachgewiesen, also fast die Hälfte aller Arten.

Sowohl Säugetiere als auch viele andere Tierarten finden in der Stadt geeignete Lebensbedingungen und die Artenvielfalt kann sogar diese der umgebenden Landschaft übertreffen, wenn sie landwirtschaftlich genutzt ist. Das Tiervorkommen trägt dabei zur besonderen Qualität der Grünräume bei, so z.B. der Vogelgesang.

Da der Klimawandel viele Tierarten bedroht, wird diese Funktion der Städte als Rückzugsraum in der Zukunft noch bedeutender werden. Dabei führen Nachverdichtung und klassische, nur auf Gebäudetechnik ausgerichtete Sanierungen zu einem weiteren

Rückgang der Tierarten in den Städten. Um Tieren in der Stadt ein Überleben zu gewährleisten und die Artenvielfalt von Flora und Fauna auch erleben zu können, wird es zukünftig nicht mehr ausreichen, darauf zu hoffen, dass Tiere in Stadtquartieren und Freiräumen vorkommen, die ohne Berücksichtigung der Tiere geplant wurden. Die jetzige Freiraumplanung ist bisher nicht darauf ausgerichtet, systematisch das Vorkommen von Tieren in den Städten zu ermöglichen. Die Planungsmethode „Animal-Aided Design“, kurz AAD, erlaubt die Erfüllung von Ansprüchen verschiedener Tierarten im Rahmen einer auf den Klimawandel ausgerichteten Planung.

Ziele

Das Ziel von Animal-Aided Design war es, eine stabile Population im jeweiligen Planungsraum anzusiedeln oder zu erhalten bzw. bei Tieren mit größerem Aktionsradius zum Vorkommen einer städtischen Population beizutragen. Dabei sollen gegenläufige Prozesse von Stadtplanung und Naturschutz vermieden werden, in dem das Vorkommen der Tiere von Anfang an in die Planung integriert wird.

Methodik

Anhand von zwei Umsetzungsbeispielen wurde erforscht, wie sich die Methode in der Planungspraxis bewähren kann und ob bei den Maßnahmenumsetzungen der gewünschte Erfolg erreicht werden kann. Es wurden mit der GEWOFAG Holding GmbH und der Stadt Ingolstadt zwei Umsetzungspartner gefunden, wobei sich die Projekte in

unterschiedlichen Realisierungsstadien befinden. Dies erlaubte es, im Rahmen eines 3-Jahres Projektes die AAD-Anwendung in verschiedenen Realisierungsphasen zu testen. Beim Nachverdichtungsprojekt der GEWOFA in München werden auf einer vormaligen Grünanlage zwischen dem Baubestand Wohnungen und ein Kindergarten errichtet. Der Grünflächenverlust bedeutet normalerweise einen Verlust an Habitat für die dort lebenden Tiere der Ökosystemleistungen. Durch die Anwendung der AAD-Methode sollen Grünanlagen und Architektur so angepasst werden, dass sie weiterhin Lebensräume für die betroffenen Arten liefern (Abbildung 12).

FASSADENBRUTHÖHLEN



FACADE QUARTERS

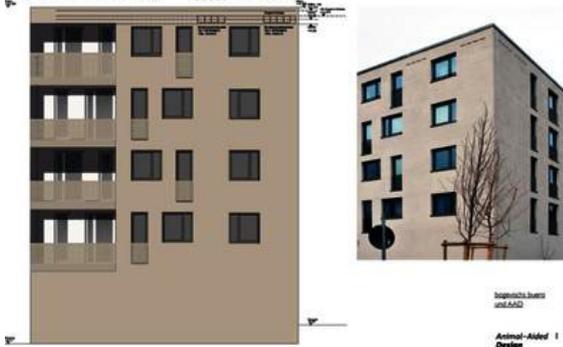


Abbildung 12: Kommerziell erhältliche Fassadenquartiere für Spatzen und Fledermäuse wurden so in die Fassade integriert, dass sie zur Gesamtgestaltung des Gebäudes passen und gleichzeitig den Ansprüchen der Arten genügen. Mögliche Typische Konflikte wurden vermieden, indem z. B. die Quartiere nicht oberhalb von Fenstern angebracht wurden (Quelle: AAD).

Die Stadt Ingolstadt plant im Rahmen einer klimagerechten Stadtentwicklung die stär-

kere Einbindung der Donau, um das Kulturangebot und die Erholung, aber auch Frischluftschneisen und die grüne Infrastruktur (GI) insgesamt zu verbessern. Im Rahmen von AAD wurde hier eine Methode dafür entwickelt, wie mit der Optimierung der Funktionen für Menschen eine Verbesserung der Habitat-Funktionen und der Durchgängigkeit für Tierarten verbunden werden kann (Abbildung 13).

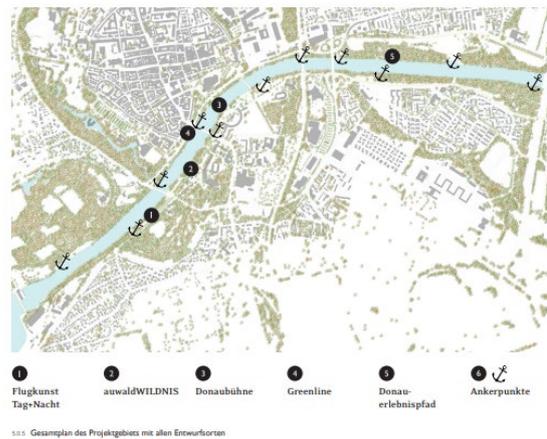


Abbildung 13: Gesamtplan des Projektgebiets mit allen Entwurfsorten (aus Broschüre „INGOLSTADT-NATUR: Animal-Aided Design für den Stadtpark Donau in Ingolstadt – Entwürfe von Studentinnen und Studenten der Universität Kassel und der Technischen Universität München“)

Im den angrenzenden Flora-Fauna-Habitat-Gebieten wurden über 3.000 Tierarten festgestellt. Da die Datenlage im Kernbereich im Vergleich zu den FFH-Gebieten jedoch dürftig und unvollständig ist, wurde das Citizen-Science-Projekt „IngoStadtNatur“ entwickelt, um Bürgern in die Erfassung der Stadtnatur mit einzubeziehen. Aus diesen Arten werden dann Arten für AAD-Maßnahmen ausgesucht. Im Rahmen des Projekts wurde 2017 auch ein Studentenprojekt erfolgreich durchgeführt (Abbildung 14). Die Ergebnisse dieses Studentenprojekts wurden in einer Broschüre veröffentlicht (siehe Broschüre „INGOLSTADTNATUR: Animal-Aided Design für den Stadtpark Donau in Ingolstadt – Entwürfe von Studentinnen und Studenten der Universität Kassel und der Technischen Universität München“).



Abbildung 14: Ansicht „Totholzpfad“ (aus Broschüre „INGOLSTADTNATUR: Animal-Aided Design für den Stadtpark Donau in Ingolstadt – Entwürfe von Studentinnen und Studenten der Universität Kassel und der Technischen Universität München“)

Beim Nachverdichtungsprojekt wurden beispielsweise Artenportraits für die Zielarten Igel, Grünspecht, Haussperling und Zwergfledermaus entwickelt (Beispiel Abbildung 15) und die Grünplanung sowie der Hochbau und die Dachbegrünung sollen auf diese Arten abgestimmt werden. Das Forschungsteam begleitet den Planungs- und Bauprozess und stimmt AAD-Maßnahmen fortwährend mit den Architekten und Landschaftsarchitekten ab. Durch regelmäßige Artenkartierungen wird der Status der Arten geprüft. Nach der Fertigstellung wird das Vorkommen der Arten evaluiert, um zu prüfen, ob die Maßnahmen den gewünschten Erfolg hatten.

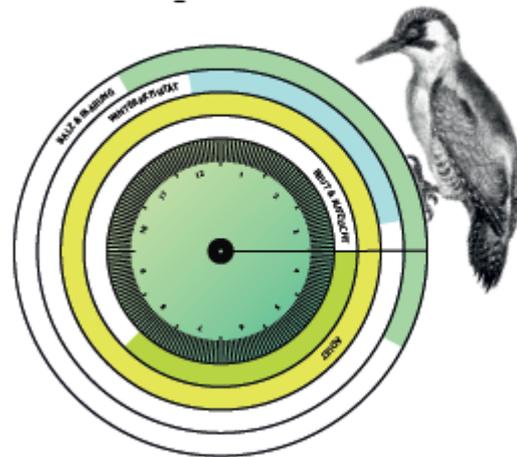


Abbildung 15: Lebenszyklus des Grünspechts (*Picus viridis*). Quelle: AAD

Fazit und Ausblick

Die Voruntersuchung hat gezeigt, dass es möglich ist, Bauen in der Stadt mit der Förderung von biologischer Vielfalt zu verbinden. Bei Neubauten sind die Möglichkeiten am größten, aber auch die Sanierung von Gebäuden oder eine Überarbeitung der Pflegeroutinen bieten große Chancen, Tiere in der Stadt zu fördern. Schwierigkeiten, die durch die Ansprüche der Tiere an ihr Habitat auftreten, wie etwa die Notwendigkeit einer Wasserstelle, oder auch die Probleme einer potenziellen Fassadenverschmutzung können durch innovative Lösungen überwunden werden. Bauliche und gestalterische Lösungen, die die Vorteile des Zusammenlebens von Menschen mit Tieren aufzeigen, haben eine große Chance, von den Wohnungsunternehmen aufgenommen und umgesetzt zu werden.

Teilprojekt 3 – City Trees I + II: Stadtbäume im Klimawandel: Wuchsverhalten, Dienstleistungen und Perspektiven

Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, TUM (Prof. Dr. Dr. h. c. Hans Pretzsch, Prof. Dr. Thomas Rötzer, Dr. Astrid Reischl), Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsentwicklung, TUM (Prof. Dr. Stephan Pauleit, Dr. Mohammad Rahman)

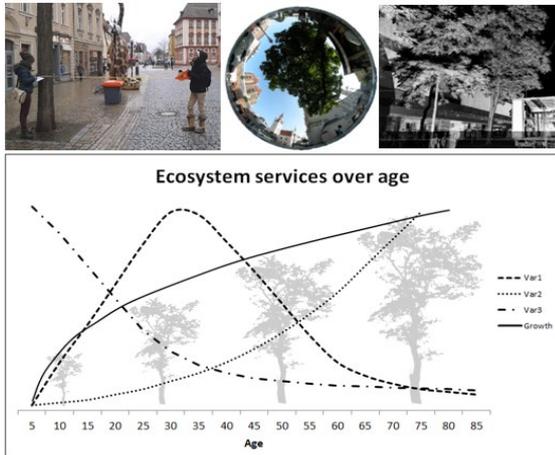


Abbildung 16: Umwelleistungen von Stadtbäumen in Abhängigkeit der Baumart, der Vitalität und des Alters (Grafik: TP 3)

Projektlaufzeit

März 2016 bis Mai 2018 (abgeschlossen)

Ausgangspunkt und Fragestellung

Vor dem Hintergrund eines sich rasant ändernden Klimas ist die Frage nach der Reaktion von Pflanzen, insbesondere von langlebigen Bäumen, und deren Ökosystemleistungen von hoher Relevanz. Stadtbäume sind ein wesentlicher Bestandteil städtischer Freiräume, ihr Wuchsverhalten und ihre Ökosystemleistungen sind jedoch – vor allem für europäische Städte – nur wenig erforscht. Angaben zum Wachstum verschiedener Arten und Altersklassen an unterschiedlichen Wuchsräumen und unter verschiedenen Klimabedingungen sind kaum vorhanden. Auch die Leistungen von Stadtbäumen wurden bisher nur im geringen Maß quantifiziert. Im Rahmen dieses Projekts wurden wichtige Stadtbaumarten im Hinblick auf ihr Wuchsverhalten, ihre Ökosystemleistungen und Perspektiven in einem sich wandelnden Klima untersucht.

Ziele

Das Ziel war, das Wuchsverhalten von Stadtbäumen in Abhängigkeit der Ressourcenversorgung wie z. B. Wasser und Licht mit einem umwelt- und klimasensitiven Wachstumsmodell von der Jugend bis zur Altersphase abzubilden. Ökosystemleistungen wie Kohlenstoffbindung, Beschattung, Abkühlungswirkung und Abfluss der wichtigsten Stadtbaumarten sollten für gegebene Klimaverhältnisse als auch unter Klimaveränderungen dargestellt werden.

Methodik

Das Vorhaben ist eine Fortsetzung des Projekts City Tree I, in dessen Rahmen das Wachstum, die Raumbesetzung und die Leistungen von Winterlinde (*Tilia cordata*) und Robinie (*Robinia pseudoacacia*) in den Städten München und Würzburg im Mittelpunkt standen. Im Folgeprojekt City Tree II wurde das Spektrum um die Arten Platane (*Platanus x acerifolia*) und Kastanie (*Aesculus hippocastanum*) erweitert. Mittels des neu entwickelten Modells CityTree (Abbildung 17) können das Wachstum und die Ökosystemleistungen von vier Baumarten in Abhängigkeit der Umweltbedingungen simuliert werden.

Zudem wurden Untersuchungen in weiteren Städten (Nürnberg, Bayreuth, Hof und Kempten) durchgeführt, um die Aussagen zum Wuchsverhalten und zu Umwelleistungen von Stadtbäumen in Mitteleuropa generalisieren zu können. Auf diese Weise können praxisnahe Hinweise für ein nachhaltiges Management von Stadtbäumen gegeben werden.

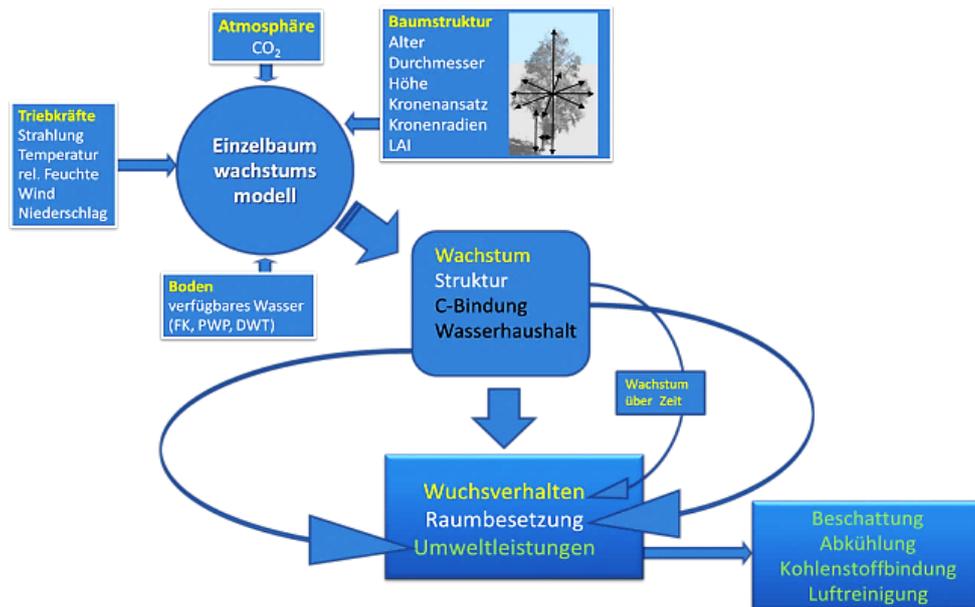


Abbildung 17: Das Wachstumsmodell CityTree (Grafik: TP 3)

Ergebnisse

Die Baumhöhe, der Stammdurchmesser und weitere Kronenparameter sind vornehmlich von der Art und dem Alter abhängig. Je nach verfügbaren Ressourcen (Wasser, Licht) erbringen die untersuchten Baumarten zum Teil erhebliche Leistungen für ein angenehmes Stadtklima (Abbildung

18). So kann eine 60-jährige Winterlinde ca. 30 m³ pro Jahr verdunsten (Robinie: ca. 28 m³, Rosskastanie: ca. 20 m³, Platane: ca. 58 m³), 100 kg CO₂ fixieren (Robinie: ca. 40 kg, Rosskastanie: ca. 45 kg, Platane: ca. 95 kg) und 160 m² beschatten (Robinie: ca. 200 m², Rosskastanie: ca. 110 m², Platane: ca. 310 m²).

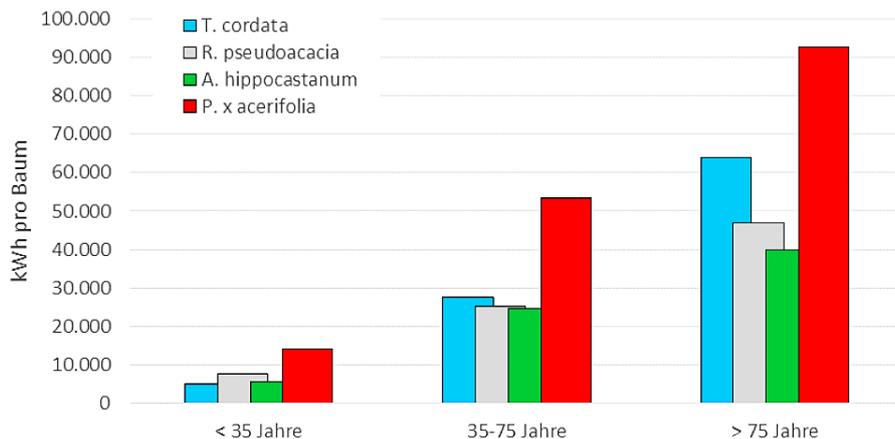


Abbildung 18: Mittlere jährliche Kühlleistung in Abhängigkeit von der Baumart und dem Baumalter im Mittel der sechs bayerischen Städte.

Je nach Stadt, Lage und klimatischen Gegebenheiten sowie nach kleinräumigen Bedingungen können sich das Wachstum und die Ökosystemleistungen einer Baumart in der nahen Zukunft (2026-2050) verschieben (Tabelle 1). So kommt es je nach Art und Umweltleistung zum Teil zu starken Zunahmen

von bis zu 20% (Abfluss von *A. hippocastanum*), jedoch auch Abnahmen von bis zu 6% (Transpiration von *A. hippocastanum*). Insgesamt zeigt sich, dass insbesondere *R. pseudoacacia* und *P. x acerifolia* stabile Leistungen auch unter Klimawandel erbringen. Weitere, detaillierte Ergebnisse zu den

Wuchs- und Ökosystemleistungen inklusive des Einflusses kleinräumiger Veränderungen auf Wuchs- und Ökosystemleistungen aller untersuchten Baumarten in Bayern

können dem Schlussbericht und dem Leitfaden des Projekts entnommen werden (ein Beispiel der Ergebnisse im Leitfaden zeigt Abbildung 19).

Tabelle 1: Prozentuale Veränderung der Ökosystemleistungen der vier Baumarten im Mittel der sechs bayerischen Städte für die nahe Zukunft (2026-2050) unter den Bedingungen des Szenari-ums A1B gegenüber dem aktuellen Klima (1965-2015)

Ökosystemleistung	Altersklasse	T. cordata	R. pseudoacacia	A. hippocastanum	P. x acerifolia
C-Fixierung	< 35 Jahre	16	17	16	16
	35-75 Jahre	16	17	14	16
	> 75 Jahre	16	17	13	16
Transpiration	< 35 Jahre	3	6	2	6
	35-75 Jahre	-1	6	-6	6
	> 75 Jahre	-2	6	-4	6
Abfluss	< 35 Jahre	6	3	9	3
	35-75 Jahre	12	3	20	3
	> 75 Jahre	13	3	18	3
Kühlleistung	< 35 Jahre	2	5	1	5
	35-75 Jahre	-2	5	-5	5
	> 75 Jahre	-2	5	-4	5

Schlussfolgerungen und Ausblick

Das Projekt konnte zeigen, dass das Wachstum von Stadtbaumarten nach intensiver Messung mittels eines klimasensitiven Wachstumsmodells nachvollzogen werden kann. Auch deren Ökosystemleistungen wie Beschattung, Transpiration, Kohlenstofffixierung, Kühlung durch Verdunstung und Abflussreduktion können standortsabhängig bestimmt werden. Bis jetzt wurden vier häufig in Städten anzutreffende Baumarten aufgenommen und im Modell CityTree 2.0 parametrisiert. Jedoch sollten weitere Baumarten wie z.B. *Acer ssp.* und *Fraxinus excelsior* vermessen und parametrisiert werden, da - wie gezeigt - die Baumart und ihr Alter einen sehr großen Einfluss auf die Leistungen besitzt. Wünschenswert wäre es, wenn das Modell auf die häufigsten Baumarten erweitert werden könnte, sodass ein Großteil des Baumartenspektrums bayerischer Städte abdeckt ist.

Wachstumsmodelle stellen jedoch immer eine Annäherung an das reale Wachstum und an die realen Ökosystemleistungen dar. Daher müssen diese Modelle immer wieder,

vor allem aber nach Erweiterungen und Veränderungen im Modellaufbau validiert werden. Zusätzliche Validierungen mit Messwerten von weiteren Standorten, für weitere Arten und für kleinräumige Einflüsse erhöhen die Aussagekraft des Modells. Auch das Modell CityTree 2.0 sollte weiterentwickelt werden. Wichtige Schritte wären eine detaillierte Betrachtung des Einflusses des Bodens, d. h. inwieweit nimmt der verfügbare Wurzelraum, die Bodenzusammensetzung oder das Nährstoffangebot Einfluss auf das Baumwachstum. Ferner sollte die Allokation des Kohlenstoffs in die Wurzeln näher betrachtet und dann baumartenspezifisch in das Modell eingebaut werden.

Für ein nachhaltiges Grünraummanagement ist die Betrachtung auf Einzelbaumbene jedoch nicht ausreichend. Eine exakte und umfangreiche Darstellung des Wachstums und der Leistungen des Baumbestandes ist für ganze Straßenzüge bzw. Stadtteile und letztendlich für die gesamte Stadt erforderlich Die gezeigten Ergebnisse können aber bereits jetzt für ein nachhaltiges Baummanagement in der Stadt eingesetzt und so der Baumbestand einer Stadt optimiert werden

Kühlung durch Transpiration (kWh/Jahr)

Stadt: Mittel aller Städte

Bodenart: sandiger Lehm

Klima: gegebenes Klima (1965–2015)

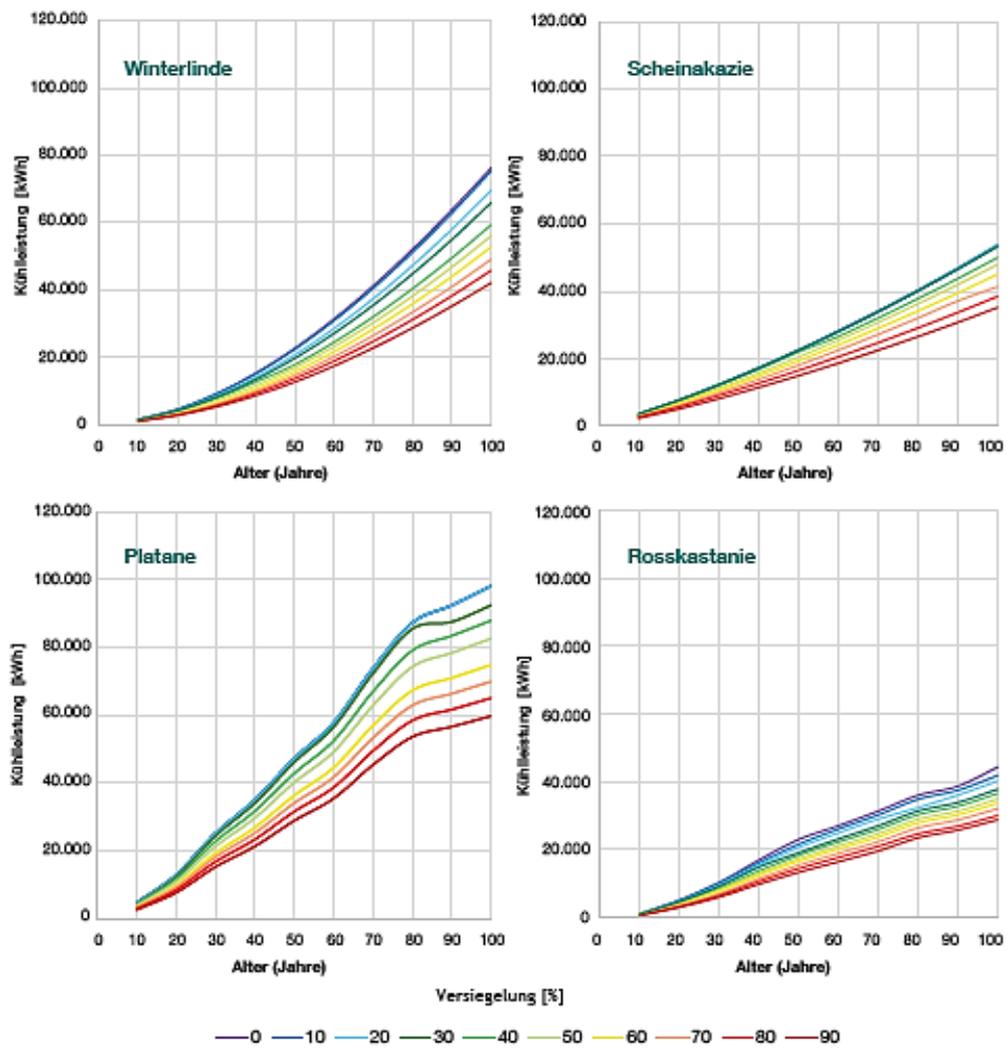


Abbildung 19: Kühlung durch Transpiration von Winterlinden, Platanen, Robinien und Rosskastanien in bayrischen Städten (Grafik: TP 3)

Teilprojekt 4 – 100Places:M: Untersuchung der Auswirkungen des Wärmeinseleffekts auf den öffentlichen Raum am Beispiel Münchens

Lehrstuhl für Landschaftsarchitektur und öffentlichen Raum, TUM (Prof. Dipl.-Ing. Regine Keller, Dipl.-Ing. Elisabeth Rathjen, M.Sc. Markus Riese) und HU Berlin (Prof. Dr. phil. Ignacio Fariás Hurtado, M.A. Felix Remter)



Abbildung 20: Marienhof, München (Foto: R. Keller)

Projektlaufzeit

Oktober 2016 bis April 2020 (abgeschlossen)

Ausgangspunkt und Fragestellung

Der Begriff ‚Anthropozän‘ bezeichnet ein neues geologisches Zeitalter, in dem das moderne Weltgesellschaftssystem eine irreversible Veränderung der geophysikalischen Prozesse der Erde verursacht. Dazu gehören nicht nur der globale Klimawandel, sondern auch anderen Prozesse, wie das Artensterben, die Übersäuerung der Meere oder der kontinuierliche Wandel von Landnutzungsformen durch die Ausweitung von landwirtschaftlichen Monokulturen oder die fortschreitende Verstädterung der Welt. Die Ausweitung städtischer Regionen hat u.a. aufgrund flächendeckender Bodenversiegelung verheerende Auswirkungen für ganze Ökosysteme und führt zu einer deutlichen Steigerung der Lufttemperaturen in städtischen Räumen – ein Phänomen, das als Wärmeinseleffekt lange bekannt ist, aber erst in den letzten Jahren als städtebauliches Problem zunehmend verstanden wird. Im Projekt 100 Places:M beschäftigten wir uns mit den Implikationen des Wärmeinseleffektes im Kontext des Anthropozäns in Urbanistik und Stadtpolitik und insbesondere für die Zukunft und Anpassung von Stadtplätzen. Diese Fokussierung auf den öffentlichen

Raum ging, erstens, auf die wichtige politische Vorzeigefunktion von Stadtplätzen zurück, als Orte wo neue Normen und Formen von Sozialität und Vergemeinschaftung entstehen und wo neue Normen und Formen der Begegnung mit und Beziehung zu Bäumen, Tieren und Böden ausprobiert werden können. Zweitens sahen wir in der Übermacht von konventionellen Leitbildern des öffentlichen Raums in der Urbanistik und Stadtpolitik ein bedeutendes Hindernis für eine zukunftsorientierte Anpassung, die eine Vielzahl von Potentialen auf Stadtplätzen im Umgang mit Klimawandel und städtischen Wärmeinseln entfalten kann.

Ziele

Projektziel war es, basierend auf landschaftsarchitektonischen und stadthanthropologischen Erkenntnissen, aktuelle Herausforderungen für und Transformationen von städtischen Plätzen zu erkennen und Ansätze, Ressourcen und Empfehlungen für eine zeitgemäße Umgestaltung städtischer Freiräume zu entwickeln. Das multidimensionale, interdisziplinäre Projekt wurde in drei Forschungsbereichen durchgeführt:

Forschungsbereich 1: 100 Münchener Plätze städtebaulich und sozio-ökologisch zu erfassen und Daten so aufzubereiten, dass Analysen quer zu diesen Dimensionen möglich werden.

Forschungsbereich 2: Identifizierung und Charakterisierung von emergenten Nutzungs-, Aneignungs- und Deutungspraktiken des öffentlichen Freiraums, die alternative Visionen für Klimaschutz und Anpassungsmaßnahmen auf Stadtplätzen inspirieren.

Forschungsbereich 3: Erstellung und Empfehlung von Konzepten für städtebauliche Ansätze und für politische Instrumente, die

eine experimentelle Umgestaltung von Stadtplätzen inspirieren und ermöglichen.

Methodik

In 100Places:M wurden Münchner Plätze systematisch evaluiert. München ist aufgrund der Vielzahl vorhandener Plätze ideal für die Fragestellung geeignet und erlaubt es, die Bauvielfalt der Plätze herauszuarbeiten. Ziel dieser Bestandaufnahme war die Erstellung einer Datenbank, die einen Überblick über Münchens öffentliche Plätze und deren Klimapotential ermöglichen soll. Darüber hinaus wurden Fallstudien zu gegenwärtigen Entwicklungen und Herausforderungen der nachhaltigen Gestaltung von Stadtplätzen geführt. Hier wurde insbesondere auf die durch Klimawandel entstehenden Mensch-Insekt-Baum-Gefüge, die affektive Wirkung neuer Baumaterialien und Potentiale der Lebensmittelproduktion im öffentlichen Raum eingegangen.

Dabei wurden folgende Fragestellungen untersucht:

- Welche sozio-materiellen Beziehungen spielen in multifunktionalen Freiräumen eine wesentliche Rolle für die Nutzung, Aneignung und Sinngebung seitens verschiedener Akteur*innen?
- Welche Ziele sind für die Klimawandelanpassung auf kleinen Stadtplätzen relevant?
- Wie lassen sich die aus diesen Fragestellungen gewonnenen Erkenntnisse bei der zukünftigen Gestaltung und dem Management von Freiräumen umsetzen?
- Wie lassen sich dabei räumlich-integrative Freiraumkonzepte entwickeln und umsetzen?
- Wie kann dieser integrative Prozess in der Praxis durch die Entwicklung von Planungs- und Entwurfsempfehlungen sowie methodischen Werkzeugen effektiv unterstützt werden?

Ergebnisse

Im Laufe des Projekts wurden 100 Plätze im Münchner Stadtgebiet detailliert aufgenommen (Beispiel Abbildung 21).



Abbildung 21: GIS Kartierung – Beispiel Alpenplatz (Quelle: 100Places:M)

Die Informationen zu jedem Platz wurden in eine digitale Datenbank eingepflegt (Abbildung 22).

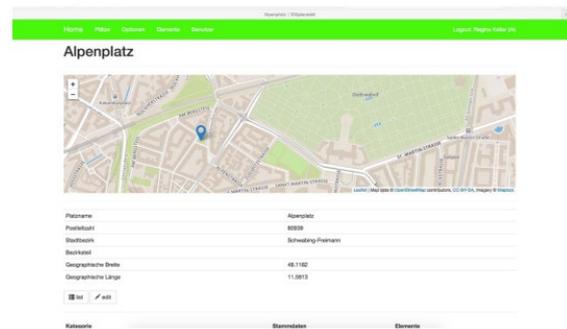


Abbildung 22: Datenbank – Beispiel Alpenplatz (Quelle: 100Places:M)

Die Kartierung architektonischer und ökosystemischer Elemente in 100 Stadtplätzen in München haben ergeben, dass diese nur geringfügig auf die Folgen des Klimawandels vorbereitet sind. Neben einem hohen Versiegelungsgrad der Plätze ist z.B. der Anteil von großen Stadtbäumen, die wesentlich zum ökosystemaren Ausgleich beitragen, stark rückläufig.

Die Kartierung der medial-öffentlichen Präsenz und Profile von Münchener Plätze hat gezeigt, dass umweltbezogene Themen nicht zu den großen Schwerpunkten der Be-

richterstattung (Gestaltung, Stadtgesellschaft, Kultur und Mobilität) gehören. Anders als bei den Kartierungen physischer Elemente ist aber eine sehr große Vielfalt der thematischen Profile der Plätze erkennbar.

Der Mehrwert dieser Kartierungen liegt nicht nur in der Belegung bekannter Trends, sondern vor allem in der Möglichkeit, ein facettenreiches Bild einzelner Plätze zu bekommen, das als Grundlage für eine differenzierte Anpassungsstrategie fungieren kann und soll (Abbildung 23).



Abbildung 23: Testentwurf Baldeplatz Dittich/Krimmer (Quelle: 100Places:M)

Im Projekt wurden drei zukunftssträngige Themen für ein Umdenken und Umgestalten von Stadtplätzen in Zeiten des Anthropozäns identifiziert und erforscht. Mittels einer Analyse über öffentliche Kontroversen zu Bäumen wurde gezeigt, dass in zivilgesellschaftlichen Wissensformen, emotionalen Bezugsweisen und praktischen Problematisierungen die Stadtbäume kaum als grüne Infrastrukturen wahrgenommen werden. Stadtbäume treten vielmehr als Akteure auf, die dazu fähig sind, Menschen zu mobilisieren. Diese Erkenntnisse erlauben eine Erweiterung der üblichen Vision von Stadtplätzen als gesellschaftliche Bühne, in der eine politische Inszenierung von nichtmenschlichen Akteuren, wie etwa Bäumen, gewünscht ist.

Drei Studien zu Münchener urbanen Gärten haben ergeben, dass der mangelnde Platz in öffentlichen Räumen für klimaanpassungsfördernde Praktiken, wie Gärtnern, nicht nur auf ein rechtliches Problem bezüglich etwa der Flächenzuweisung zurückgeht. Vielmehr zeigen die Studien die Grenzen einer Konzeption von Aufenthaltsqualität, die einen konsumorientierten und sorglosen Umgang mit dem öffentlichen Raum betont. Die Studien zeigen ein anderes Verständnis von Aufenthaltsqualität – eine, die sich erst aus dem Engagement von Akteur*innen für das Aufrechterhalten des öffentlichen Raums ergibt. Die Zusammenarbeit mit zivilgesellschaftlichen Akteuren, die Wissen über freilebende Bienen in der Stadt generieren und vermitteln, zeigte das Potenzial für eine Sensibilisierung der Stadtgesellschaft fürs Wohlergehen nichtmenschlicher Lebensformen in der Stadt, sowie neue Erkenntnisse über die Aneignung des öffentlichen Raums durch Bienen. Die Studie stellt wichtige Herausforderungen an den noch anthropozentrischen Leitsatz der Multicodierbarkeit des öffentlichen Raums. Der Mehrwert dieser Studien liegt nicht nur in ihren spezifischen Ergebnissen, sondern in ihrer gesamten Problematisierung von städtebaulichen Leitsätzen.

Schlussfolgerung und Ausblick

Viele Städte sehen in ihren Konzepten gegen die Folgen des Klimawandels Stadtplätze nicht als Potenzialräume. Da Stadtplätze Orte mehr-als-menschlicher Sozialität sind, eignen sie sich als primäre Handlungsräume, in welchen neues Wissen generiert und neue Handlungsstränge experimentell erfahrbar gemacht werden können. Empfohlen wird eine ‚Umkreisung des Platzes‘, eine tiefgründige Ökologisierung städtebaulicher Leitsätze, wie etwa: Aufenthaltsqualität oder Multicodierbarkeit.

Empfohlen wird die Erforschung und Entwicklung neuer stadtpolitischer Instrumente, die unserem kurz skizzierten Konzept der „experimentellen Handlungskonzepte“ folgt.

Teilprojekt 5 – Vorstudie: Klimaanpassung in den Städten Bayerns: Vergleichende Untersuchungen zum Einsatz gebietsfremder und heimischer Stadtklimabäume

Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Veitshöchheim (LWG) (Dr. Susanne Böll) und Biozentrum, Lehrstuhl für Tierökologie und Tropenbiologie (Zoologie III), Universität Würzburg (Dr. Dieter Mahsberg, M.Sc. Rosa Albrecht)



Abbildung 24: Blattfraß an der Hopfenbuche (Foto: S. Böll)

Projektlaufzeit

September 2016 bis Januar 2019 (abgeschlossen)

Ausgangspunkt und Fragestellung

Die ohnehin schon extremen Bedingungen für Straßenbäume an innerstädtischen Standorten werden durch den Klimawandel noch verstärkt. Typisch heimische Stadtbaumarten wie Linde und Ahorn geraten zunehmend an die Grenzen ihrer lokalen Anpassungsfähigkeit, sie leiden verstärkt unter Trockenstress und zeigen sich immer anfälliger für Schädlinge und Krankheiten.

Dennoch wird seit der Novellierung des Bundesnaturschutzgesetzes immer wieder, vor allem von Naturschutzverbänden, gefordert, dass auch in Zeiten des Klimawandels im städtischen Bereich nur heimische Baumarten zur Gestaltung der Stadtnatur verwendet werden sollten. Gebietsfremde Arten, so wird argumentiert, seien „ökologische Wüsten“ und beherbergten demgemäß eine wesentlich geringere faunistische Artenvielfalt als heimische Baumarten.

Entsprechende vergleichende Untersuchungen zur Artenvielfalt auf heimischen und gebietsfremden Baumarten an städtischen Straßenstandorten liegen unseres Wissens bisher jedoch nicht vor, um diese Einschätzung mit Fakten belegen zu können.

Im Mittelpunkt dieser Vorstudie steht ein Vergleich der Vielfalt an Insekten und Spinnentieren (Arthropoden) dreier heimischer bzw. nahverwandter gebietsfremder Baumarten an einem urbanen Standort.

Gebietsfremde Arten zeichnen sich in Zeiten des Klimawandels häufig durch höhere Stresstoleranz und damit auch höhere Vitalität aus, weshalb sie auch als Stadtklimabäume bezeichnet werden. Dabei ist unbekannt, wie sich die Stresstoleranz dieser Arten auf die Lebensgemeinschaft der in den Baumkronen lebenden wirbellosen Tiere auswirkt, zu denen u. a. auch pflanzenfressende bzw. an Pflanzen saugende Insekten gehören.

Die Lebensgemeinschaften heimischer und gebietsfremder Baumarten könnten mehr oder weniger gleich zusammengesetzt und in ihrer Biodiversität vergleichbar sein. Bestimmte Arten könnten aber auch dominant werden, sich massiv vermehren und den Baum schädigen bzw. in seiner Funktion als Stadtbaum beeinträchtigen.

Ziele

Im Projekt sollen folgende Fragestellungen geklärt werden:

- Sind angesichts des Klimawandels ausgewählte gebietsfremde Stadtbaumarten auf Grund ihrer höheren Vitalität für die

Klimaanpassung in Städten und den Erhalt einer vielfältigen Baumkronenlebensgemeinschaft besser geeignet als heimische Stadtbaumarten?

- Unterscheiden sich die Artengemeinschaften von Insekten und Spinnentieren, wenn man heimische Stadtbaumarten mit gattungsgleichen gebietsfremden Baumarten vergleicht?
- Wie sind heimische im Vergleich zu gebietsfremden Baumarten zu bewerten, wenn ein Ziel sein soll, eine artenreiche urbane Fauna zu erhalten und zu fördern?
- Gibt es Unterschiede in der Anfälligkeit für Schädlinge zwischen heimischen und gebietsfremden Baumarten?

Methodik

Diese Vorstudie basiert auf einem Screening der Artenvielfalt von Insekten und Spinnentieren auf gebietsfremden und heimischen Baumarten. Die wissenschaftlichen Untersuchungen wurden im Rahmen einer Masterarbeit in Biologie am Lehrstuhl für Tierökologie und Tropenbiologie der Universität Würzburg über eine gesamte Vegetationsperiode an den Straßenbäumen des Klimawandelprojekts „Stadtgrün 2021“ (Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten gefördert) in Würzburg durchgeführt.

Folgende Baumartenpaare gleicher Größe wurden vergleichend auf ihre Arthropoden- vielfalt untersucht (Tabelle 2):

Tabelle 2: Versuchsbaumarten

Heimische Baumarten
Hainbuche (<i>Carpinus betulus</i> ‚Frans Fontaine‘)
Gemeine Esche (<i>Fraxinus excelsior</i> ‚Westhofs Glorie‘)
Winterlinde (<i>Tilia cordata</i> ‚Greenspire‘)
Gebietsfremde Baumarten
Hopfenbuche (<i>Ostrya carpinifolia</i>)
Blumenesche (<i>Fraxinus ornus</i>)
Silberlinde (<i>Tilia tomentosa</i> ‚Brabant‘)

Alle Baumarten stehen in unmittelbarer Nachbarschaft im gleichen Quartier „Gewerbegebiet Ost“ in Würzburg. Dadurch ist eine Vergleichbarkeit der Biodiversität zwischen den Baumarten gewährleistet.

Um eine statistische Auswertung zu ermöglichen, wurden pro Baumart je 5 Bäume beprobt. Die Untersuchungen wurden von April bis Oktober 2017 in zweiwöchigen Abständen durchgeführt. Um die gesamte Artenvielfalt abbilden zu können, wurden verschiedene Fangmethoden verwendet:

- Fensterfallen (Eklektoren, Abbildung 25) zum Fang von Fluginsekten,
- Gelbtafeln (Abbildung 25) zum Fang von kleinen Fluginsekten, insbesondere Parasitoiden (Nützlingen),
- Klopfschirm zum Fang von Insektenlarven und räuberischen Spinnen.



Abbildung 25: Eklektoren und Gelbtafel in *Fraxinus ornus*, kurz vor dem Blattaustrieb

Pro Baum wurden zwei Eklektoren und eine Gelbtafel im mittleren Kronenbereich aufgehängt und jeweils drei Äste beklopft. Um in die Kronen der Bäume zu gelangen, wurde ein Hubsteiger eingesetzt (Abbildung 26).



Abbildung 26: Fallenwechsel im Hubsteiger

Anschließend wurden die Fänge im Labor nach Tiergruppen sortiert. Ausgewählte Taxa wurden zur weiteren Bestimmung an Taxonomen verschickt. Die Gelbtafeln wurden standardisiert abfotografiert, die so erhaltenen Digitalaufnahmen werden mit einer Bildanalysesoftware quantitativ ausgewertet.

Ergebnisse

Insgesamt wurden im Verlauf der 14 Fangperioden in den 60 untersuchten Bäumen etwa 94.000 Insekten- und Spinnentiere gefangen (Tabelle 3):

Tabelle 3: Gesamtzahl der 2017 gefangenen Arthropoden pro Fallentyp

Fallentyp	Gesamtanzahl
Fensterfallen	20.686
Klopfproben	3.197
Gelbtafeln	70.150

Diese hohen Individuenzahlen (die nur einen Bruchteil aller Arthropoden der Versuchsbäume darstellen) belegen, welche wichtige Lebensräume Stadtbäume für Insekten und Spinnentiere darstellen.

Detaillierte Auswertungen der Fensterfallen- und Klopfprobenfänge bis auf Familien- und Artniveau ergaben, dass auf den heimischen Baumarten eine höhere Anzahl von Insekten gefangen wurde als auf den gebietsfremden Schwesternarten. Das gilt allerdings nur für bestimmte Tiergruppen und nicht für alle Baumarten (Abbildung 27).

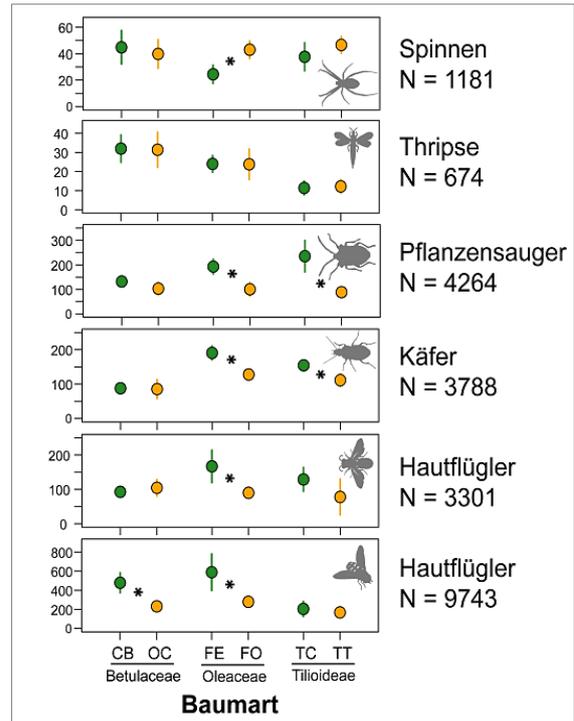


Abbildung 27: Mittlere Individuenzahlen einzelner Arthropodengruppen auf heimischen (grün) und südosteuropäischen (gelb) Baumarten (* $p < 0,01$).

Mit z. B. 41 Käfer- und 42 Hautflüglerfamilien (Bienen, Hummeln, Wespen, Ameisen; Abbildung 28), davon 57(!) Wildbienenarten, war die Biodiversität hoch.

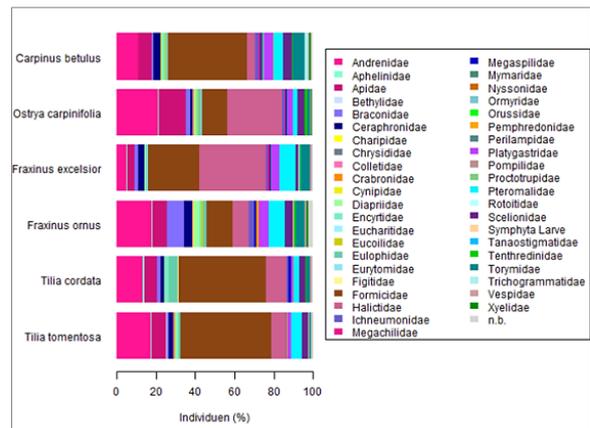


Abbildung 28: Prozentuale Anteile der Hautflüglerfamilien an der Gesamtartabundanz (3301 Individuen) auf den Versuchsbaumarten

Beim Vergleich der Artenvielfalt an Wildbienen auf heimischen und südosteuropäischen Bäumen ergaben sich wie auch bei anderen Tiergruppen keine signifikanten Unterschiede in der Artenvielfalt (Abbildung 29).

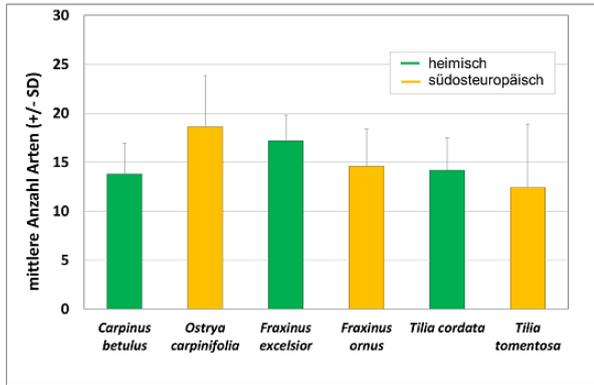


Abbildung 29: Artenvielfalt der Wildbienen auf den einzelnen Baumarten. Kruskal Wallis-ANOVA $p=0,29$



Abbildung 31: Skabiosenfurchenbiene (*Halictus scabiosae*) und eine kleine Furchenbienenart der Gattung *Lasioglossum*

Da 91% der gefangenen Bienenarten Bodenester für ihre Brut anlegen, die sie mit Pollen vielfältiger Pollenressourcen versorgen, sind sie wie auch verschiedene andere Insektenarten auf durchgehende Grünstreifen unter den Bäumen als Teillebensraum angewiesen. Ordnet man die Insekten aller bis zur Art untersuchten Tiergruppen entsprechend ihres Auftretens nur den heimischen, nur den südosteuropäischen oder beiden Baumartengruppen zu, so zeigt sich, dass die überwiegende Anzahl zur Kronenfauna beider Baumartengruppen gehört (43%), ein Drittel nur auf heimischen Bäumen vorkam und ein Viertel ausschließlich auf den südosteuropäischen Stadtklimabaumarten zu finden war (Abbildung 30).

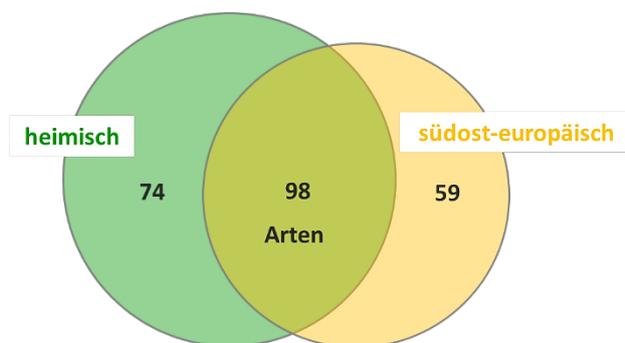


Abbildung 30: Artenzahl dominanter Taxa* auf heimischen, südosteuropäischen oder beiden Baumartengruppen (* Auchenorrhyncha, Heteroptera, Chrysomelidae, Curculionidae, Apidae)

Schlussfolgerung und Ausblick
 Schon junge Straßenbäume weisen einen hohen Individuenreichtum und eine erstaunliche Insektenvielfalt in ihren Kronen auf. Südosteuropäische Baumarten tragen ebenso wie ihre nah verwandten heimischen Schwesternarten zu dieser Artenvielfalt im Kronenbereich bei. Im Gegensatz zu Mono-Alleen sollten Alleen mit gemischtem Baumbestand daher die Arthropodenvielfalt fördern und zudem der Ausbreitung von immer häufiger auftretenden neuen Pflanzenkrankheiten und Schädlingen entgegenwirken. Verbindende Grünstreifen (statt einzelner Baumgruben) dienen als wichtiger Teillebensraum für viele der kronenbewohnenden Insekten. Um für Kommunen, Ämter und Naturschutzverbände Empfehlungen hinsichtlich des Biodiversitätspotentials verschiedener Baumarten geben zu können, sollten weitere gebietsfremde Baumarten auf ihre ökologische Wertigkeit untersucht werden.

Teilprojekt 6 – Klimaerlebnis Würzburg 2018 (KEW)

Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, TUM (Prof. Dr. Thomas Rötzer, Prof. Dr. Dr. h.c. Hans Pretzsch, Dr. Astrid Reischl, M. Sc. Miriam Strachwitz, M. Sc. Elenora Franceschi), Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsentwicklung, TUM (Prof. Dr.-Ing. Stephan Pauleit, Dr. Mohammad Rahman, Dipl.-Ing. Rupert Schelle), Professur für Klimatologie, Institut für Geographie und Geologie, Universität Würzburg (Prof. Dr. Heiko Paeth, M.Sc. Christian Hartmann) in Zusammenarbeit mit der Stadt Würzburg

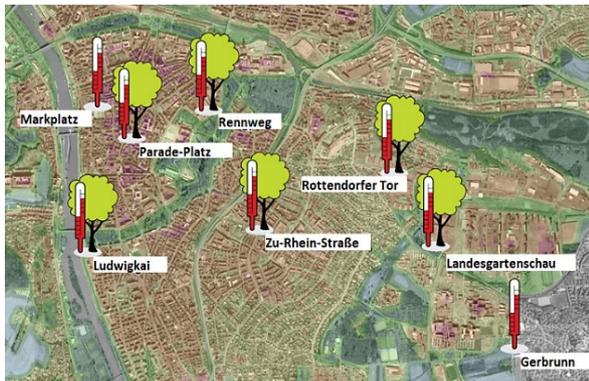


Abbildung 32: Messstandorte in Würzburg (Baum = Baumstandort, Thermometer = Klimastandort)

Projektlaufzeit

Mai 2017 bis Dezember 2020

Hintergrund

Stadtbäume sind zentrale Elemente für das Stadtbild. Sie erbringen wichtige Ökosystemleistungen wie Kühlung, Beschattung, Luftreinigung und sorgen so für ein angenehmes Stadtklima. Dies ist vor allem in Städten wie Würzburg wichtig, die eine dichte Bebauung, hohe Oberflächenversiegelung, geringe Vegetationsbedeckung und wenig Frischluftschneisen aufweisen und daher hohen Hitzebelastungen in den Sommermonaten ausgesetzt sind. Daher wird Würzburg als ein *Klimahotspot Bayerns* bezeichnet. Das Projekt Klimaerlebnis Würzburg 2018 (KEW) beschäftigte sich mit der Frage: *Können Stadtbäume das Klima an einem Standort positiv beeinflussen und von welchen Faktoren ist dies abhängig?* Dazu wurden an verschiedenen Standorten im Stadtgebiet Wetterstationen und Baumlabore aufgestellt (Abbildung 32). Das Projekt wurde im Rahmen der Landeshortenschau 2018 in Würzburg durchgeführt. Ein weiteres Projektziel war daher, die Bevölkerung für die Themen

der Klimaanpassung durch grüne Infrastrukturen zu sensibilisieren.

Ziele

Das Projekt beschäftigte sich insbesondere mit den lokalen Klimawandelauswirkungen, dem städtischen Mikroklima und den Effekten von Stadtgrün auf das Mikroklima, somit also mit den Leistungen von Stadtbäumen wie Kühlung durch Beschattung und Verdunstung sowie Kohlenstofffixierung. Im Fokus standen die Bedeutung des Mikroklimas und Einfluss von Stadtbäumen für die Stadtplanung darzustellen ebenso wie eine Sensibilisierung der Öffentlichkeit auf diese Themen (Wie erlebt die Würzburger Bevölkerung ihre Stadtbäume?). Dazu wurden im gesamten Stadtgebiet Winterlinden und Robinien mit Sensoren zum Wachstum und zum Wasserverbrauch ausgestattet sowie Wetterstationen zur Messung der Witterung der Umgebung installiert (Abbildung 33).

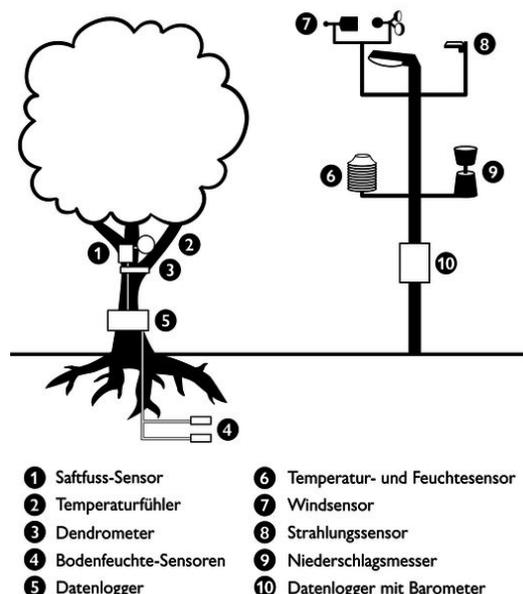


Abbildung 33: Sensoren am Standort

Methodik

Im Rahmen der Landesgartenschau 2018 wurden Klima/Baum-Forschungsstationen eingerichtet. Über einen Zeitraum von drei Jahren wurden aktuelle Werte zum Standortsklima, zum Baumwachstum und zu den Umweltleistungen der Bäume gemessen, aufbereitet und grafisch dargestellt.

Ergebnisse

Klima

Die drei Messjahre (2018, 2019, 2020) waren alle sehr warm und trocken. Besonders das Jahr 2018 fiel durch eine sehr hohe Zahl an Hitze- und Sommertagen sowie Tropennächten auf (Abbildung 34). Die Innenstadt-

bereiche heizten sich dabei deutlich stärker auf als die Außenbezirke, sodass in der Spitze Wärmeineffekte von über 8 K gemessen wurden.

Die Niederschläge waren ebenfalls stark reduziert und fielen oft als schwache, wenig ergebnisreiche Regenschauer. Deutlich messbar war an heißen Tagen der Kühlungseinfluss der Bäume auf die Umgebungstemperatur mit über 3 K niedrigeren Lufttemperaturen. Insgesamt zeigt sich, dass besonders an windschwachen Tagen sich das Stadtzentrum tagsüber stark aufheizen kann und somit insbesondere in den Abendstunden ein ausgeprägter Stadtklimaeffekt vorhanden ist.

Klimatologische Kenntage in Würzburg

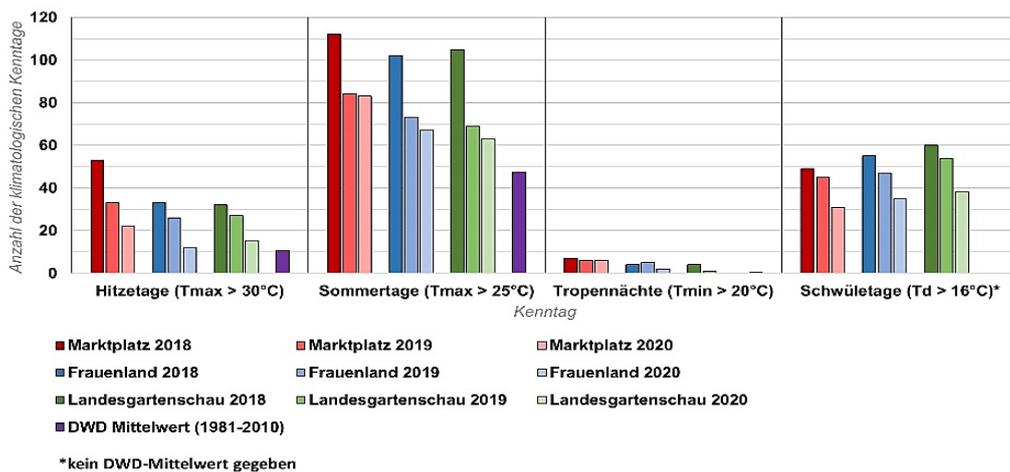


Abbildung 34: Wärmebezogene klimatologische Kenntage in den Jahren 2018, 2019 und 2020 sowie im langjährigen Mittel an drei Standorten im Würzburger Stadtgebiet

Stadtgrün

Der Jahreszuwachs war bei Robinien drei Mal so hoch als bei Winterlinden. Großen Einfluss auf den Zuwachs hat der Standort, insbesondere die Bodenversiegelung und die Wasserverfügbarkeit, aber auch das Baumalter. Für beide Baumarten wurden unterschiedliche Wachstumsverläufe gefunden. So begann das Stammwachstum der Robinien früher als das der Winterlinden, ebenso ist dessen Dauer bei Robinien mehr als doppelt so lang wie bei den Winterlinden. Dies ist bemerkenswert, da Winterlinden frühere Blattaustriebe zeigen als Robinien.

Während also bei der Robinie zunächst die Leitungsbahnen gebildet werden (Stammwachstum), bildet die Winterlinde erst die Blätter aus (Blattaustrieb). Für die erbrachten Ökosystemleistungen spielen besonders die Größe der umliegenden versiegelten Flächen, das Bodenwasser, das Pflanzschema aber auch Art und Dimension des Baumes eine große Rolle. So zeigen die mittleren jährlichen Leistungen CO₂-Fixierung, Wasserverbrauch, Sauerstofffreisetzung und Kühlleistung deutliche Standortsunterschiede. An Standorten mit guter Wasserversorgung (ge-

ringe Bodenversiegelung, viel durchwurzelbares Bodenvolumen) ist sowohl die Transpiration als auch das Wachstum am höchsten. Dadurch ergeben sich höhere Leistungen wie CO₂-Fixierung, Sauerstofffreisetzung und Kühlleistung. Einen großen Einfluss hat weiterhin die Baumart. Während das Wachstum, die CO₂-Fixierung und die Sauerstofffreisetzung bei Robinien höher ist als bei Winterlinden, ist der Wasserverbrauch und die Kühlleistung bei Winterlinden höher (Abbildung 35). In einem ersten Ansatz wurde aufgezeigt, dass mit dem Modell CityTree das Wachstum und die Ökosystemleistungen auf einem gesamten Platz hochskaliert werden kann. Hierbei wurde errechnet, dass z. B. die Bäume am Paradeplatz 11,2 Tonnen Biomasse speichern, maximal 2.574 m² beschatten und im Durchschnitt 13,7 W m⁻² kühlen.

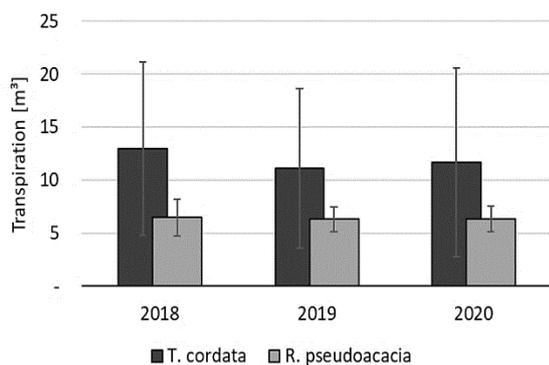


Abbildung 35: Transpiration von Winterlinden und Robinien im Vergleich

Mikroklima

Die Wasserverfügbarkeit der Bäume ist elementar für deren Wachstum, insbesondere bei Trockenheiten. Winterlinden zeigten einen Biomassezuwachs von 0,5 kg Trockenmasse TM pro m³ Wasserverbrauch, während Robinien pro m³ Wasser um 3,6 kg TM wuchsen. Winterlinden sind auf hochversiegelten Flächen um bis zu 65 % weniger effizient bei geringeren Bodenversiegelungen. Für Robinien wurden dagegen nur geringe Standortunterschiede in der Wassernutzungseffizienz beobachtet.

Während die Höhe des Zuwachses eng mit der Wasserversorgung des Baumes verknüpft ist, wird die Phänologie wie die Blattentfaltung oder der Beginn des Stammwachstums klar von der Temperatur beeinflusst. 1 °C Temperaturerhöhung führte bei Winterlinden zu einem früheren Beginn des Stammwachstums von 8 Tagen. Das Ende der Hauptwachstumsphase verfrüht sich pro 1 °C Temperaturerhöhung um 12 Tage, so dass sich insgesamt die Dauer der Hauptwachstumsphase pro 1 °C Temperaturerhöhung um 4 Tage verkürzt.

Mit einem um 35 % höheren Blattflächenindex verhinderten die Baumkronen der Winterlinde im Vergleich zu Robinien eine höhere einfallende Strahlung und ermöglichten eine bessere Abkühlung unter der Krone. Auch transpirierten die Winterlinden deutlich mehr Wasser als die Robinien, was zu einer Reduktion der Lufttemperatur innerhalb des Kronendaches von bis zu 2,8 °C führte (Robinie: 1,9 °C). Die physiologisch äquivalente Temperatursenkung war daher im Kronenraum von Winterlinden bis zu 11 °C niedriger, während der maximale Unterschied nur 4 °C bei den Robinien betrug (Abbildung 36).

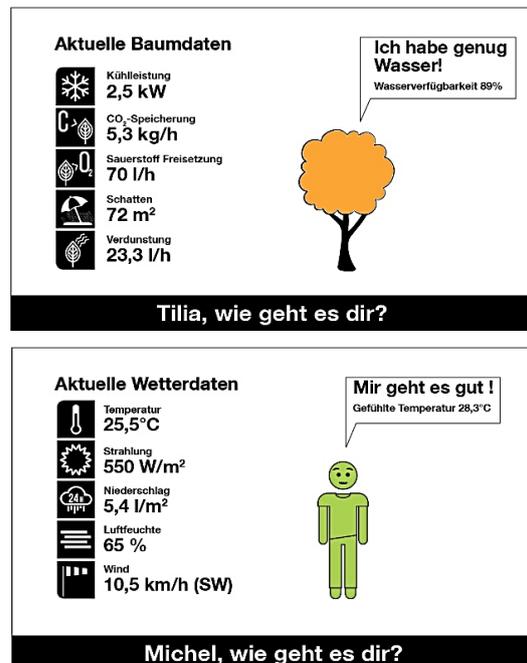


Abbildung 36: Bedingungen am Standort Baum und der Komfort des Menschen unter Stadtbäumen

Schließlich zeigten die Untersuchungen die Bedeutung der städtischen Topographie, wie z. B. die Orientierung der Straßen, der Gestaltung der Freiflächen und der umgebenden Bebauung. Sie beeinflussen die Windgeschwindigkeit und den menschlichen thermischen Komfort im Freien. Vom dicht bebau-

ten Zentrum bis hin zu vorstädtischen Gebieten mit geringerer Bebauungsdichte sinkt die Lufttemperatur, während die Windgeschwindigkeit zunimmt. Die erhöhte Bodenverdichtung führt zusammen mit der verringerten Bodenfeuchtigkeit zu geringeren Transpirationswerten der Bäume.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Das vorgestellte Projekt vereint in einer bisher einzigartigen Weise die kleinräumige Messung von Stadtklima mit zeitgleichen physiologischen Messungen an Stadtbäumen, die die stadtklimatologischen Erhebungen ergänzen und hinsichtlich der von Stadtbäumen offerierten Ökosystemleistungen wie CO₂-Bindung und Kühlleistung auf einen zentralen Aspekt des innerstädtischen Klimamanagements abzielen.

Durch grüne Infrastruktur, insbesondere durch Bäume können die thermischen Bedingungen in Städten deutlich verbessert werden. Eine große Rolle für das thermische Komfortempfinden des Menschen spielt - wie gezeigt - die Verschattung und die Verdunstung, die entscheidend von der Baumart als auch von der Baumdimension und dem Pflanzschema abhängt.

Folgende Empfehlungen für die Verwendung von Bäumen zur Klimawandelanpassung lassen sich ableiten:

1. Über befestigten Oberflächen wie Asphalt sollten an stark hitzebelasteten Standorten möglichst dichtlaubige Baumarten (wie z. B. Winterlinden) verwendet werden, um die Sonneneinstrahlung zu minimieren. Baumarten mit dichter Belaubung vermögen durch eine Reduzierung der Strahlung sowie durch hohe Verdunstungsraten die Umgebung deutlich abzukühlen und so den thermischen Komfort des Menschen positiv zu beeinflussen. Voraussetzung ist eine hinreichend gute Wasserversorgung der Bäume.

2. Über Grasflächen wie z. B. in Parks bieten Baumarten mit lichten Kronen wie z. B. Robinien durch hohe Verdunstungsleistungen nicht nur der Bäume, sondern auch der Grasflächen gute Voraussetzungen, das thermische Komfortempfinden des Menschen zu vergrößern. Zudem wird dabei die Durchlüftung weniger stark behindert. Auch Gruppenpflanzungen erhöhen den thermischen Komfort für den Menschen deutlich gegenüber Einzelbaumpflanzungen.
3. Bäume mit hoher Transpirationsleistung sind zu bevorzugen, wenn die Wasserversorgung gewährleistet werden kann. Bei eingeschränkter Wasserverfügbarkeit sind trockenheitsangepasste Baumarten zu verwenden, die ihren Wasserverbrauch besser regulieren können.
4. Die Durchlüftung ist ein entscheidender Faktor für das thermische Komfortempfinden und ist in der Gestaltung von Freiflächen zu fördern bzw. sollten Strömungshindernisse vermieden werden.
5. Weiterhin sollte die Oberflächenversiegelung und die Bodenverdichtung möglichst gering und das Wasserspeichervermögen des Bodens möglichst groß gehalten werden, um die Verdunstung und das Wachstumspotenzial der Bäume zu erhöhen, wodurch die Ökosystemleistungen der Bäume wie z. B. CO₂-Fixierung, Sauerstofffreisetzung oder Kühlleistung maximiert werden können.

Teilprojekt 8 - Bunte Bänder für unsere Städte in Zeiten des Klimawandels: Naturnahe städtische Blühflächen entlang von Verkehrsachsen zur Förderung der ökologischen Funktionalität

Lehrstuhl für Renaturierungsökologie, TUM (M.Sc. Simon Dietzel, M.Sc. Sandra Rojas-Botero, Prof. Dr. Johannes Kollmann, PD Dr. Harald Albrecht)



Abbildung 37: Bild „Bunte Bänder für unsere Städte“ – Teilprojekt 8 (S. Dietzel)

Projektlaufzeit

2018 bis 2022

Ausgangspunkt und Fragestellung

Durch den Klimawandel ändern sich die Lebensbedingungen in städtischen Räumen. Häufige Extremereignisse wie Hitze- und Trockenperioden oder Starkregen verändern die stadtplanerischen Rahmenbedingungen, auch bei einer voranschreitenden Urbanisierung. Städtisches Grün hat so eine besondere Bedeutung im Hinblick auf Anpassungs- und Minderungsstrategien. Die Auswahl einer geeigneten Stadtvegetation muss dringend an die sich ändernden Umweltbedingungen angepasst werden.

Flächenversiegelung ist grundsätzlich negativ für die Biodiversität und die damit verbundenen Ökosystemleistungen zu bewerten. Das Projekt „Bunte Bänder“ befasst sich mit der Entwicklung von ökologisch aufgewerteten Straßenrändern als Element einer urbanen grünen Infrastruktur. Die zentrale Herausforderung in Forschung und Praxis ist die Kombination von Zielen der Klimaanpassung und der Insektenförderung mithilfe multifunktionaler städtischer Grünflächen. Mit steigendem Grad der Urbanisierung sinkt die Vielfalt und Abundanz von Pflanzen und Bestäubern, was durch die Fragmentierung städtischer Habitate verstärkt wird. Der genetische

Austausch von Tier- und Pflanzenpopulationen kann gerade in der Stadt stark eingeschränkt sein. Gezielte Maßnahmen zur Förderung von Wildpflanzen und Bestäubern sowie deren Ökosystemleistungen sind daher dringend geboten. Dazu wird im TP8 die Pflanzenvielfalt des Straßenbegleitgrüns entlang großer Verkehrsachsen in München mittels Einsaat heimischer Wildpflanzen erhöht (Abbildung 37).

Ziele des Vorhabens

- Entwicklung und Erprobung der Anlage eines Blühflächenverbundes entlang mehrerer städtischer Verkehrsachsen zur Förderung von Bestäubern und zur urbanen Klimaanpassung;
- Konzipierung einer heimischen Wildpflanzenmischung für den städtischen Einsatz und Bewertung ihrer Tauglichkeit als Anpassung an den Klimawandel;
- Verbesserung der Lebensqualität der Stadtbewohner*innen durch die mikroklimatischen und ästhetischen Wirkungen der Blühflächen;
- Empfehlung praktikabler Kompromisse zwischen den Anforderungen des Naturschutzes und der Stadtgrünpflege zur Steigerung der urbanen Klimaresilienz und Bestäuberdiversität.

Methodik

Anlage der Blühflächen

Die Konzipierung der Saatmischung erfolgte anhand mehrerer Auswahlkriterien. Zur Auswahl standen autochthone Wildpflanzen, die sich für Insekten eignen und mit den Boden- und Klimabedingungen in der Stadt zurechtkommen. Die Pflanzenarten wurden nach

funktionalen Eigenschaften (Tabelle 4) gruppiert und unter Berücksichtigung einer möglichst hohen phylogenetischen Vielfalt ausgewählt.

Tabelle 4: Funktionale Pflanzenmerkmale, die bei der Auswahl der optimalen Blütmischung in der Clusteranalyse berücksichtigt wurden.

Wuchsform	Fortpflanzungsalter
Maximale Höhe	Blattfläche
Triebwuchsform	Spezifische Blattfläche
Lebensdauer	Blatttrockengewicht

Abschließend wurden 26 Pflanzenarten verwendet, vor allem Arten der anthropo-zoogenen Heiden und Rasen sowie der krautigen Vegetation gestörter Plätze. Der Bestand der experimentellen Blühflächen wurde jährlich mit ca. 25 Flächen erweitert. Die Anlage erfolgte nach Abtrag der Grasnarbe und Auftrag eines Ansaatsubstrates im April–Mai. Die Einsaat erfolgte per Hand.

Insgesamt wurden seit Beginn des Vorhabens 75 Blühflächen entlang großer Straßen in München angelegt. Variierende Abstände der Versuchsflächen erforschen die maximalen Sammeldistanzen solitärer Wildbienen als wichtigster Bestäubergruppe und dienen als Indikatoren zur Analyse der Entfernungen, die einzelne Blühflächen zueinander haben sollten, um Austausch zwischen Bestäuberpopulationen zu fördern und die Neubesiedelung geeigneter Habitats zu erleichtern (Abbildung 38). Durch die Erweiterung des Blühflächenbestandes über drei Jahre werden die Straßenzüge in einem räumlich-zeitlichen Kontext betrachtet und untersucht, inwiefern sie als potenzielle Bewegungskorridore genutzt werden.

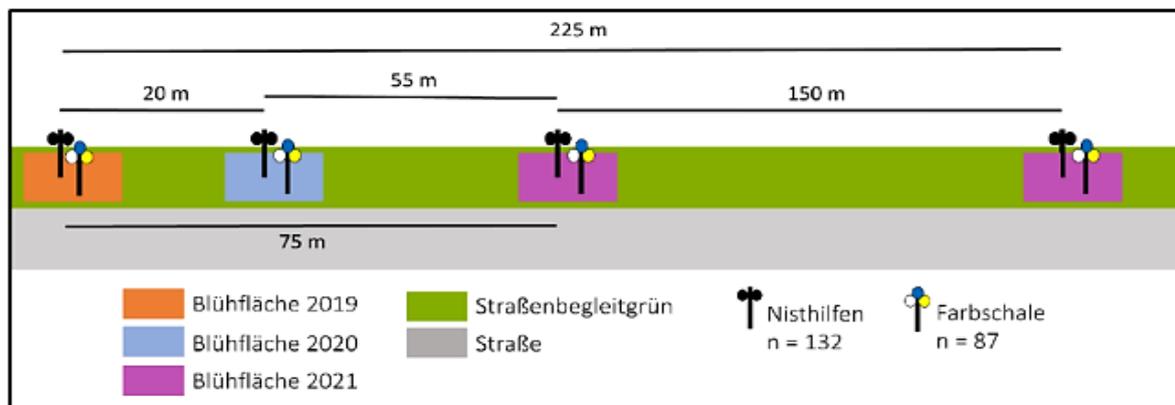


Abbildung 38: Schematischer Versuchsaufbau der "Bunten Bänder" entlang von Hauptverkehrsachsen in München.

Landschaftsanalyse

Die umgebende Stadtlandschaft einer Untersuchungsfläche bestimmt maßgeblich, welche Bestäuberarten dort gefunden werden. Um ein Bild über die landschaftlichen Einflussfaktoren der Stadt München zu erhalten, wurden in Umkreisen von 200, 500 und 1000 m um jede Versuchsfläche alle Landschaftselemente kartiert. Anschließend wurde anhand dieser Daten eine Kategorisierung der Flächen in ‚urban‘, ‚peri-urban‘ und ‚rural‘

vorgenommen; wichtig war hier der Versiegelungsgrad und der Anteil an Grünflächen und Privatgärten.

Vegetationsentwicklung

Die Zusammensetzung und Artenvielfalt der Blühflächen wurde mittels Zählquadraten erhoben. Die Vegetation von Vergleichsflächen, d.h. das benachbarte Verkehrsbegleitgrün wurde ebenfalls aufgenommen. Die Höhe, Schichtung und Deckung der Vegeta-

tion wurde mit den Klimavariablen verglichen, und das Blütenangebot und die Samenproduktion aufgenommen.

Klimaregulationsparameter

Um die Ökosystemleistungen der Blühflächen als Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel zu erfassen, wurden Daten erhoben, die in Zusammenhang mit urbanen Wasserregulation und Mikroklimaregulation stehen und zu einer erhöhten Resilienz der städtischen grünen Infrastruktur beitragen. Untersucht wurde beispielsweise, ob auf den Blühflächen Wasser effizienter in den Boden infiltrieren kann als bei üblichem Straßenbegleitgrün. Auf Blühflächen, Kontrollplots und Betonflächen der seitlich angrenzenden Gehwege wurden zusätzlich Thermobilder aufgenommen, um die Oberflächentemperatur zu erfassen (Abbildung 39). Damit konnten Mikroklimaregulationsfunktionen der Blühflächen mit Rasen und Beton verglichen werden. Vor allem stellt sich die Frage, wie die Blühflächen im Vergleich zur Standardbegrünung abschneiden.

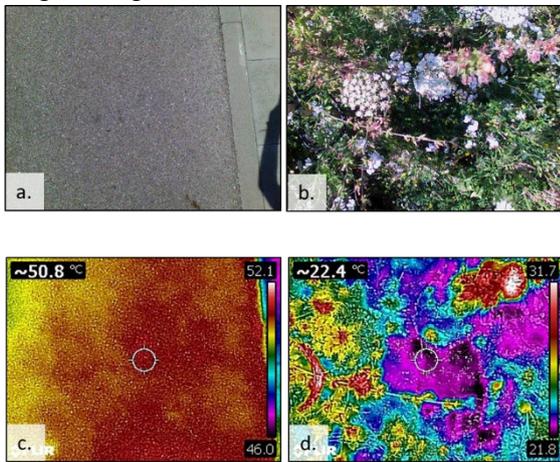


Abbildung 39: Thermobilder von Beton (a, c) und Blühflächen (b, d). Die Temperaturspanne der Fläche steht auf der rechten Seite. Temperatur des Mittelpunkts ist in der oberen linken Bildecke aufgezeigt (S. Rojas-Botero)

Klimakammerexperiment

Um die Resilienz und Leistung ökologischer Funktionen der Blühflächen im Hinblick auf den Klimawandel zu evaluieren, wurde ein zehnwöchiger Versuch in den Klimakammern der Forschungseinrichtung TUMmesa (TUM

Model **EcoSystem Analyser**) durchgeführt (Abbildung 40)), in dem die Pflanzenmischung des Freilandversuchs unter variierenden Anteilen von Gräsern unter zwei möglichen Klimawandelszenarien untersucht wurden. Dafür wurden in zwei Kammern die Klimaszenarien RCP 2.6 und RCP 8.5 (IPCC 2014) simuliert. RCP 2.6 entspricht dem Szenario des Pariser Klimaabkommens, während RCP 8.5 das Worst-Case-Szenario abbildet.



Abbildung 40: Klimakammer während des Experiments im Klimaszenario RCP 2.6 (S. Rojas-Botero).

Insektenerefassung

An allen Versuchs- und Kontrollflächen wurden Nisthilfen zur Untersuchung oberirdisch nistender solitärer Wildbienen und Wespen aufgestellt. Nach Besiedelung können diese Nester geöffnet und die nistenden Tiere sowie deren Antagonisten (z. B. Prädatoren oder Parasitoide) auf Gattungs- oder Artebene bestimmt werden. Zudem wurden Farbschalen zur Aufnahme des Insektenvorkommens auf den Versuchsflächen als Fallen eingesetzt. Die Schalen dienten als Blütenattrappen und eigneten sich besonders gut für die Erfassung eines möglichst breiten Spektrums an Blütenbesuchern.

Ergebnisse

Die Einsaat der Blühmischung zeigte bereits nach einem Jahr deutliche Unterschiede in der Artenzahl im Vergleich zu den Kontrollflächen. Positiv war dabei, dass die Blühflächen

entlang des urbanen Gradienten (urban-rural) keine Unterschiede aufwiesen (Abbildung 41). Zu erkennen waren ein Jahr nach der Einsaat bereits die Effekte der Anzahl der blühenden Pflanzen auf die Anzahl der angelegten Brutzellen in den Nisthilfen (Abbildung 42).

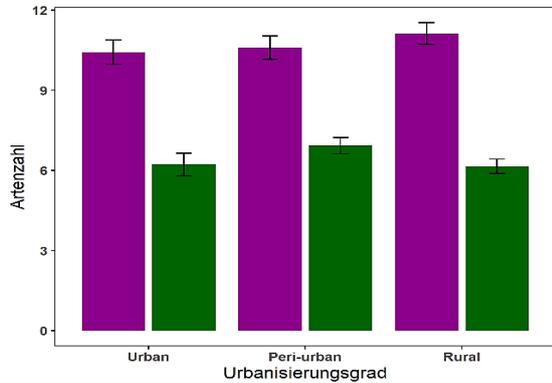


Abbildung 41: Artenzahlen der Blühflächen (lila) und Kontrollflächen (grün) entlang des urbanen Gradienten unterscheiden sich deutlich (S. Rojas-Botero)

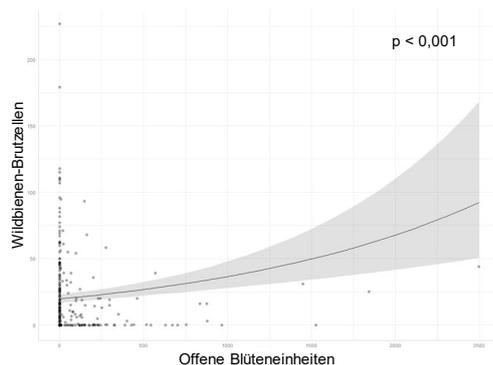


Abbildung 42: Die Anzahl der angelegten Brutzellen von Wildbienen stieg auf den Versuchsflächen mit dem Blütenangebot (S. Dietzel).

Erste Analysen der Thermobilder zeigten deutliche Unterschiede bepflanztter Flächen im Vergleich zu Betonflächen (Abbildung 43). Es wird erwartet, dass sich Standardbegrünung und Blühflächen sich mit der Zeit angleichen. Daten dazu werden in der Saison 2021 erhoben. Deutliche Unterschiede zeigten sich in den ersten Ergebnissen der Klimakammerexperimente in der Forschungseinrichtung TUMesa: Sowohl oberirdische Biomasse als auch die Blütenproduktion waren durch den simulierten Trockenstress deutlich reduziert (Abbildung 44).

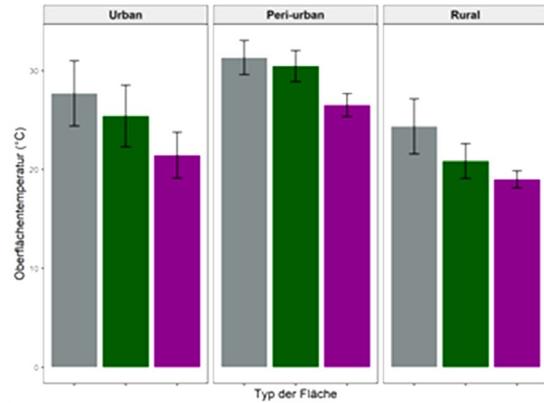


Abbildung 43: Oberflächentemperaturen von Beton (grau), Standardbegrünung (Kontrolle, grün) und angesäten Flächen (lila) in den drei Urbanisierungskategorien (S. Rojas-Botero)

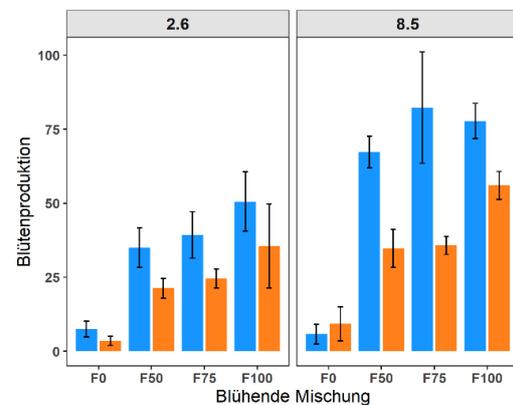


Abbildung 44: Unter Trockenstress (blau = 0, orange = 1) verringern sich Biomasse- und Blütenproduktion in der Klimawandelsimulation (S. Rojas-Botero).

Zusammenfassung

Eine vielfältige urbane grüne Infrastruktur besitzt hinsichtlich des Klimawandels und des Rückgangs der Biodiversität ein großes Entwicklungspotential. Sie kann, richtig geplant und gepflegt, vielerlei Funktionen innerhalb von Städten in Zeiten des globalen Wandels einnehmen.

Erste Auswertungen der „Bunten Bänder“ lassen erkennen, dass sich durch gezielte Aufwertungsmaßnahmen selbst das momentan ökologisch unbedeutende Straßengeleitgrün als Ort für Anpassungs- und Minderungsmaßnahmen eignet und zur Förderung und Erhaltung der Insektenvielfalt beitragen kann.

Teilprojekt 9 - KlimaKübelBäume - Bäume in Pflanzgefäßen als stadtklimatisch wirksame Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel

Professur für Green Technologies in Landscape Architecture, TUM (Prof. Dr. Ferdinand Ludwig, M.Sc. Christoph Fleckenstein), Lehrstuhl für Waldwachstumskunde (Prof. Dr. Thomas Rötzer, Prof. Dr. Hans Pretzsch, M.Sc. Vjosa Dervishi), Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsentwicklung, TUM (Prof. Dr.-Ing. Stephan Pauleit, Dr. Mohammad Rahman)



Abbildung 45: Aufbau Pflanzversuch 1, Stand 06.05.2020, Foto: C. Fleckenstein

Projektlaufzeit

Projektstart: 01.11.2019 – 31.10.2022

Ausgangslage

Strategien zur Klimawandelanpassung im urbanen Raum erfordern die vermehrte Verwendung von Vegetation zur Verminderung von Hitzebelastungen und für den Regenwasserrückhalt nach Starkregenereignissen. In den bayerischen Ballungsräumen steht das Grün aber aufgrund des Bevölkerungswachstums durch bauliche Nachverdichtung bzw. hochverdichtete Bauweisen unter zunehmendem Druck. Darüber hinaus ist es aufgrund der unterirdischen technischen Infrastruktur wie Leitungen, U-Bahnen, Tiefgaragen u.a. in vielen städtischen Situationen oft kaum mehr möglich, Bäume zu pflanzen bzw. adäquate Wurzelräume zur Verfügung zu stellen, damit sich diese langfristig gut entwickeln können.

Eine mögliche Lösung ist die Verwendung von Bäumen in Pflanzgefäßen. Diese findet im öffentlichen Raum mehr und mehr Verwendung und wird auch in der Architektur als

eine Option der intensiven Bauwerksbegrünung diskutiert. Bäume in Pflanzgefäßen verfügen jedoch über einen sehr stark eingeschränkten Wurzelraum, wodurch auch die Entwicklung der Baumkrone begrenzt ist. Zudem sind die Bäume und insbesondere die Wurzeln extremen, oft kritischen Wachstumsbedingungen wie großen Temperaturschwankungen, starkem Frost oder Wassermangel ausgesetzt, was sich auf das Wachstum und die Ökosystemleistung auswirkt. Die stadtklimatische Wirkung durch Verschattung und Verdunstung ist daher anders zu bewerten als bei im Boden wachsenden Bäumen.

Forschungsziel

Das Forschungsprojekt verfolgt das Ziel, bestehende Wissenslücken in Bezug auf die klimatische Wirkung und die Wachstumsbedingungen von Bäumen in Pflanzgefäßen zu schließen, um zukünftig Bäume in Pflanzgefäßen fachgerecht zu pflanzen und als stadtklimatisch wirksame Maßnahme nachhaltig einsetzen zu können.

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts werden in einem Leitfaden zusammengefasst, der es bayerischen Städten und Kommunen erlaubt, Bäume in Pflanzgefäßen zielgerichtet und nachhaltig als Maßnahme zur Anpassung an den Klimawandel und zur Steigerung der Biodiversität in dichten urbanen Situationen einzusetzen, an denen konventionelle Baumpflanzungen nicht möglich sind.

Vorgehen und Methodik

Mithilfe von eigenen Versuchsreihen, theoretischen Vorüberlegungen, Literaturrecherchen und Experteninterviews werden vegetationstechnische Erkenntnisse gewonnen, die konkrete Aussagen für die Planung und die Praxis zulassen. Mit den Erkenntnissen können Mindestanforderungen definiert werden, die ein Pflanzgefäß erfüllen muss, um ein langfristiges Überleben und eine gute Entwicklung des Baumes sicherzustellen.

Die Ergebnisse der Versuchsreihen dienen als Grundlage, um Wissen über die Unterschiede zwischen Bäumen in Pflanzgefäßen und Bäumen im Freiland zu eruieren. Damit können Wachstumsmodelle für Bäume in Pflanzgefäßen entwickelt und Anpassungsstrategien differenzierter betrachtet werden. Die entwickelten Wachstumsmodelle können zudem der Bewertung der Ökosystemleistungen von Bäumen in Pflanzgefäßen dienen.

Durch weitere Recherchen und Experteninterviews werden die Ergebnisse ergänzt, um auch den Einfluss des standörtlichen Klimas auf die Verwendbarkeit von Bäumen in Pflanzgefäßen bewerten zu können. Daraus wird anschließend ein Methodenkatalog entwickelt, der es Planern, Anwendern und etablierten Instituten erlaubt, die Erkenntnisse weiterzuentwickeln, um sie dann in einem „Bayerischen Verwendungsatlas für Bäume in Pflanzgefäßen“ zusammenzutragen.

Abgerundet wird das Forschungsprojekt mit der Entwicklung von zeitbasierten Entwurfskonzepten zur ästhetischen, standortgerechten und mikroklimatisch wirksamen Verwendung von Bäumen in Pflanzgefäßen. Die Konzepte werden in Beispiel- und Modellentwürfen überprüft und fließen anschließend in einen Planungsleitfaden ein. Mit dessen Hilfe

können Planer, Städte und Gemeinden Planungs-, Umsetzungs- und Pflegeprozesse erarbeiten und umsetzen.

Aktueller Stand

Um sowohl vegetationstechnische als auch klimatische Faktoren über mindestens drei Vegetationsperioden messen zu können, wurde unmittelbar nach Projektbeginn eine erste Versuchsreihe begonnen. Für den Versuch werden die weit verbreiteten Stadtbaumarten Winterlinde (*Tilia cordata*) und Platane (*Platanus x acerifolia*) verwendet, bei denen die Projektpartner bereits auf umfangreiche praktische Erfahrungen und intensive Forschungstätigkeiten zurückgreifen können.

Für die erste Versuchsreihe werden jeweils 64 *T. cordata* und *P. x acerifolia* gepflanzt (Abbildung 45, Abbildung 46). Die Pflanzqualität ist 10/12 2xv, wurzelnackt, um mit identischen Substraten arbeiten zu können. Pro Baumart werden 4 Pflanzvarianten und 2 Bewässerungsvarianten untersucht. Jede Variante verfügt über 8 Wiederholungen.



Abbildung 46: Detailsicht Pflanzversuch 1, Stand 06.05.2020, Foto: C. Fleckenstein

Die Bäume stehen auf einer Versuchsfläche des TUM Gewächshauslaborzentrums Dürnast und sind 8 Reihen à 16 Bäume zufällig angeordnet. Die Pflanzvarianten sind: Baum in den Boden gepflanzt, Baum in Pflanzgefäß gepflanzt und im Boden eingelassen, Baum in nicht isoliertes Pflanzgefäß oberirdisch gepflanzt und Baum in isoliertes Pflanzgefäß

oberirdisch gepflanzt. Die Bewässerungsvarianten teilen sich in optimale Bewässerung und Trockenstress auf.

Als vegetationstechnisch relevanteste Faktoren werden kontinuierlich an 32 Bäumen Bodenfeuchte und Bodentemperatur, sowie an 16 Bäumen zusätzlich noch der Saftfluss gemessen.

Im März 2021 konnte die erste Versuchsreihe durch eine zweite Versuchsreihe mit 18 Platanen und zwei neuen Pflanzgefäßvarianten ergänzt werden. Bei den neuen Pflanzgefäßen handelt es sich um Unterflurbewässerungspflanzgefäße, die über ein integriertes Wasserreservoir haben und somit voraussichtlich besser Trockenperioden puffern können als die bisher verwendeten Pflanzgefäße (Abbildung 47).



Abbildung 47: Auswahl an Versuchsbäumen, Stand 07.07.2020, Foto: C. Fleckenstein

Fazit und Ausblick

Die ersten Ergebnisse der bisherigen Untersuchung zeigen etwas überraschend auf, dass *T. cordata* in Pflanzgefäßen eine größere Zuwachsrates aufweisen als in der Erde, und zwar sowohl beim Stammdurchmesser als auch bei der Blattzahl. Diese Messdaten waren so nicht zu erwarten und sind komplett konträr zu denen von *P. x hispanica*. Unserer Annahme vor Versuchsbeginn, dass *T. cordata* deutlich mehr Wasser benötigt und damit sensibler auf Trockenstress reagiert, konnte durch die bisherigen Messdaten und das ungeplante Trockenereignis vom 19.06 – 25.06.2020 bislang nicht belegt werden.

Vielmehr führte der allgemein deutlich stärkere Zuwachs und die damit einhergehende höhere Transpiration von *P. x hispanica* gegenüber *T. cordata* zu genau gegensätzlichen Ergebnissen gegenüber unserer Annahme. Dies sind wichtige vorläufige Erkenntnisse, die die Notwendigkeit des Forschungsvorhabens unterstreichen. Im Hinblick auf die Fortführung der Versuche in der Vegetationsperiode 2021 und der Einführung von zwei Bewässerungsvarianten (optimal vs. Trockenstress) sind weitere interessante neue Erkenntnisse zu erwarten.

Teilprojekt 10 - Leistungen von Stadtgrün an öffentlichen Plätzen in München

Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, TUM (Prof. Dr. Thomas Rötzer, Prof. Dr. Dr. h.c. Hans Pretzsch, Dr. Astrid Reischl, M.Sc. Vjosa Dervishi), Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsentwicklung, TUM (Prof. Dr.-Ing. Stephan Pauleit, M.Sc. Priscila Stark)



Abbildung 48: Verschiedene Stadtplätze in München

Projektlaufzeit

Dezember 2019 bis November 2022

Hintergrund

Öffentliche Plätze sind von großer Bedeutung für die Lebensqualität in der Stadt. Sie sollten für den Menschen attraktiv gestaltet sein und das thermische Wohlbefinden in der Stadt fördern. Neben ihrer Ästhetik und der Förderung von Artenvielfalt, leistet Stadtgrün wichtige lokale klimatische Funktionen, auch Ökosystemleistungen genannt. Diese sind u.a. Beschattung, Abkühlung, Luftbefeuchtung, Kohlenstoffspeicherung und Schadstofffilterung. Die Gestaltung der thermischen Verhältnisse von Stadtplätzen wird durch den Klimawandel zu einer zentralen Aufgabe für die Landschaftsarchitektur, denn Klimaszenarien prognostizieren eine starke Zunahme von Hitzetagen und Wärmeperioden. Hinzu kommen Starkregenereignisse, die zu lokalen Überschwemmungen führen können.

Vor allem an versiegelten, dicht bebauten und stark frequentierten Plätzen ist der thermische Komfort der Stadtbewohner bereits heute stark vermindert, mit erheblichen gesundheitlichen Beeinträchtigungen als Folge. Für die klimasensible (Um-)Gestaltung von Plätzen ist jedoch detailliertes Wissen zu den

klimatischen Leistungen unterschiedlicher Formen der Begrünung erforderlich.

Fragestellung und Ziele

In dem interdisziplinären Projekt sollen die Ökosystemleistungen von Bäumen, Sträuchern und Rasenflächen an ausgewählten Plätzen in München quantifiziert und deren Wirkung auf das thermische Wohlbefinden des Menschen zu untersucht werden. Durch Simulationsmodelle werden Gestaltungsmöglichkeiten im Hinblick auf Klimaanpassung von öffentlichen Plätzen anhand Szenarien aufgezeigt und bewertet. Ziel des Vorhabens ist es, Empfehlungen für eine nachhaltige und klimasensible Gestaltung von öffentlichen Plätzen zu geben.

Das Projekt beschäftigt sich mit folgenden Fragestellungen:

- Welchen Beitrag leistet das Grün (Bäume, Sträucher, Grasflächen) eines öffentlichen Platzes in München für die Abkühlung der Lufttemperatur, die Verringerung des Regenwasserabflusses und die Kohlenstoffspeicherung in Abhängigkeit von den Pflanzgruppen (Bäume – Sträucher, dicht belaubt – lückig belaubt, junge Bäume – alte Bäume)?
- Wie verändern sich die Umweltleistungen des Grüns (Bäume, Sträucher, Grasflächen) eines öffentlichen Platzes in München unter veränderten Klimabedingungen (Erwärmung, veränderte Niederschlagsmuster)?
- Wie können die ausgewählten Plätze an den Klimawandel angepasst werden (Abkühlung durch Transpiration, Minimierung

Abflussmenge, Maximierung Kohlenstoffspeicherung), z. B. durch Veränderung der Baumarten, Pflanzdichten, etc.?

- Wie sind die klimatischen Bedingungen an ausgewählten Plätzen an einzelnen Tagen? Können Optimierungen des Standortklimas durch die Vegetation (Bäume, Sträucher, Grasflächen) erfolgen?

Methodik

Alle Untersuchungen werden an ausgewählten Plätzen des TP 4 „100Places:M“ in München durchgeführt. Die Platzauswahl erfolgt anhand der in 100Places:M erstellten Datenbank zu den Münchner Stadtplätzen. Aus der Gesamtzahl der Plätze wurden 25 Plätze ausgewählt, die sich in Bezug auf Lage im Stadtgebiet, Platzgeometrie und -nutzung sowie Bepflanzung unterscheiden. Zeitintensive Untersuchungen wie die Modellierung der Plätze mit ENVI-met werden an einem Teilkollektiv der Plätze durchgeführt, die repräsentativ bezüglich ihrer Ausstattung, Form und Lage sind.

Zur Beantwortung der Fragen werden zwei Modellansätze verwendet. Zum einen werden regulative Leistungen wie Kohlenstoffbindung, Abkühlungswirkung und Beschattung mittels eines prozessorientierten Wachstumsmodell (CityTree, siehe TP3 „City Trees I+II“) berechnet, zum anderen wird der Einfluss der Vegetation auf das thermische Wohlbefinden des Menschen in hoher zeitlicher Auflösung untersucht (hochaufgelöstes Klimamodel ENVI-met, siehe TP1 „Klimaschutz und grüne Infrastrukturen in der Stadt“). Daneben werden an ausgewählten Tagen (Hitzetage, kühle Tage) die Leistungen der Vegetation exemplarisch erhoben, ebenso wie verschiedene Gestaltungsszenarien für die Stadtplatzgestaltung im Klimawandel getestet werden.

Auswahl der Standorte

Abbildung 49 zeigt die ausgewählten Plätze für die Kartierungen und Simulationen.



Abbildung 49: Karte der im Rahmen des Projekts untersuchten Plätze

Ergebnisse

Die ausgewählten Plätze weisen eine mittlere Platzgröße von 7.000 m² auf und sind durchschnittlich zu 86% versiegelt. An den Plätzen finden sich typische Baumarten mitteleuropäischer Städte (Abbildung 50 oben). Am

häufigsten ist die Winterlinde *T. cordata*, gefolgt vom Spitzahorn *A. platanooides*, der Rosskastanie *A. hippocastanum* und der Platane *P. x acerifolia*. Auch trifft man zumeist junge bis mittelalte Bäume an, d. h. Bäume

mit einem Stammdurchmesser von 20 bis 50 cm (Abbildung 50 unten).

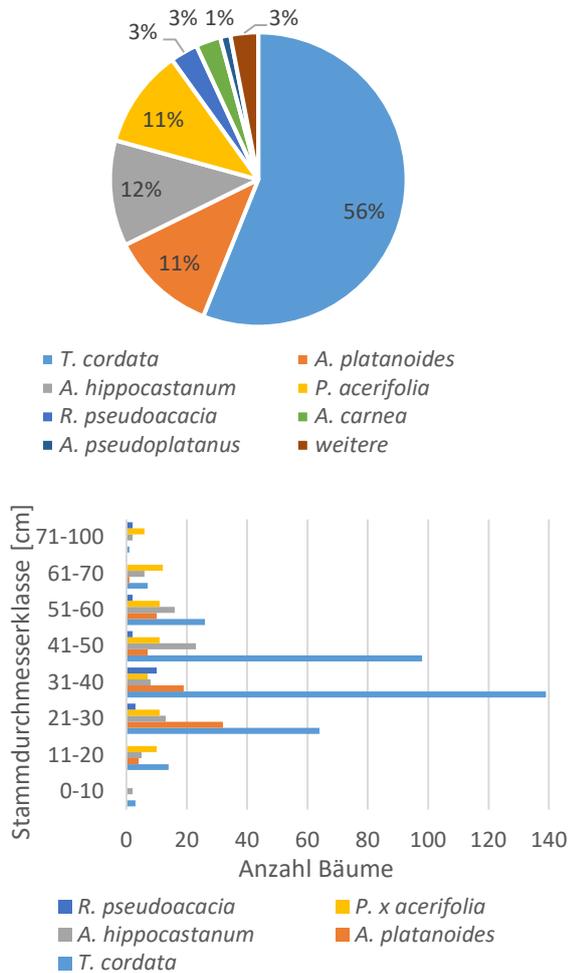


Abbildung 50: Artenverteilung der Stadtbäume (oben) und Stammdurchmesserklassen der fünf häufigsten Baumarten (unten) an den 25 Plätzen in München

Die analysierten Plätze sind reich an Straucharten. Man findet u.a. Berberitze, Forsythie, Roter Hartriegel, Wolliger Schneeball, Weißdorn, Kornelkirsche oder Flieder. Erste Ergebnisse zeigen, dass die Straucharten sehr unterschiedliche Leistungen hinsichtlich Kühlung (=Transpiration) erbringen. So ist die Transpiration der Sonnenblätter des wolligen Schneeballs (*Viburnum lantana*) an sonnigen Tagen mit $7 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ mehr als 2,5-mal so hoch wie die der Forsythie (*Forsythia intermedia*) mit $2,5 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Auch die für Wachstum und CO_2 -Speicherung wichtige Photosyntheseleistung ist beim Schneeball mit $12,5 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ deutlich

höher als die der Forsythie ($6,5 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Somit zeigt sich, dass die Wahl von Straucharten bei der Planung und Gestaltung öffentlicher Plätze für eine klimaangepasste Zukunft wichtig ist.

Zur Bestimmung von Wachstum und Ökosystemleistungen von Gras- und Rasenflächen der einzelnen Plätze wurde eine Vorstudie am Campus Weihenstephan durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Verdunstung der Rasenflächen sehr stark von der Beschattung beeinflusst wird. Die Transpiration von Gräsern fiel an besonnten Standorten deutlich höher als an schattigen Standorten aus (Rahman et al. 2021). Mit ihrer Verdunstungsleistung können aber auch Grasflächen einen Beitrag zur Reduzierung der Temperaturen an einem Standort beitragen. Grundsätzlich wirkt ein höherer Grasanteil der Aufheizung entgegen. Die höchste Kühlwirkung wird aber durch eine Kombination von Grasflächen und Bäumen erzielt.

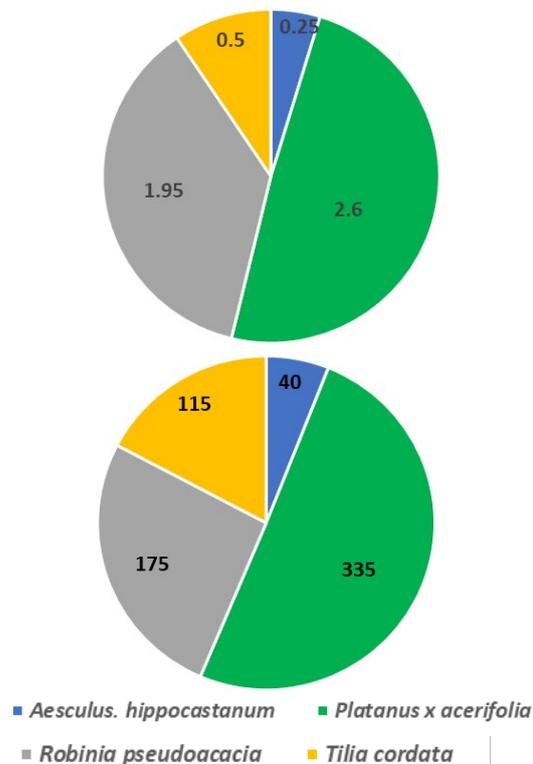


Abbildung 51: Mittlere jährliche CO_2 -Bindung (oben) und Transpiration (unten) der einzelnen Baumarten am Rotkreuzplatz in München (Simulationsergebnisse des CityTree-Modells nach Rötzer et al. 2019)

In einer ersten Hochrechnung wurden die Ökosystemleistungen eines gesamten Platzes bestimmt. Die Biomasse aller 31 Bäume am Rotkreuzplatz (Größe 6.500 m²) beträgt 37,2 t und speichert derzeit 5,3 t CO₂ pro Jahr. Die Bäume produzieren 2.934 m³ Sauerstoff pro Jahr und verdunsten zusammen 665 m³ Wasser (Abbildung 51), wodurch sich ein Kühleffekt von 14,9 W m⁻² ergibt.

Erste Analysen von ENVI-met-Simulationen zeigen, wie die Gestaltung eines Platzes den menschlichen Komfort beeinflussen kann. Beim Vergleich von vier verschiedenen Plätzen unter extremen Bedingungen im Sommer und Winter wurde die Bedeutung der Oberflächenart und der Vegetation analysiert. Während der Boden die langwellige Strahlungsbilanz beeinflusst, bedingt die Grünausstattung eines Platzes die Kühlleistung durch Beschattung und Verdunstung. Diese Variablen wirken sich direkt auf die menschliche thermische Wahrnehmung aus, die durch den PET-Index (Physiological Equivalent Temperature) gemessen werden kann.

Die Simulationen zeigten, dass die analysierten Variablen die PET je nach Jahreszeit positiv oder negativ beeinflussen können. Alle bisherigen Ergebnisse verdeutlichen die Bedeutung des Platzdesigns für den menschlichen thermischen Komfort. Die Platzgestaltung und -größe sowie der Standort von Bäumen tragen dazu bei, den Windfluss zu verbessern oder zu blockieren. Kleine Plätze können aufgrund des Windschutzes höhere PET-Werte liefern und im Winter den thermischen Komfort fördern. Andererseits können große, begrünte Plätze den PET-Wert im Sommer deutlich reduzieren.

Ausblick

In einem nächsten Schritt werden die klimatischen Bedingungen an ausgewählten Plätzen mit mobilen Wetterstationen und dauerhaften Sensoren detailliert erfasst.

Im weiteren Projektverlauf werden weitere Modellierungsansätze mit CityTree und ENVI-met für mehr Plätze, Sträucher und Grasflächen durchgeführt, um den Einfluss der Vegetation und der Bebauung auf das Wohlbefinden des Menschen unter derzeitigem und zukünftigem Klima zu erfassen.

Die Ergebnisse werden mit den Forschungsergebnissen des ZSK-Teilprojekts 4 „100 Places:M“ verschnitten, um ebenso das Verhalten und das Empfinden des Menschen zu berücksichtigen.

Teilprojekt 11 - Nachverdichtung im Kontext des Klimawandels

Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Bauen und Planen, TUM (Prof. Dr.-Ing. Werner Lang, Dipl.-Ing. Carsten Schade, M. Eng. Roland Reitberger), Lehrstuhl für Architekturinformatik, TUM (Prof. Dr. Frank Petzold, M. Sc. Jakob Fellner), Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsentwicklung, TUM (Prof. Dr.-Ing. Stephan Pauleit, M. Sc. Sabrina Erlwein, M. A. Juliane Meister)



Abbildung 52: CDP, eine interaktive Entwurfsplattform im städtischen Kontext

Projektlaufzeit

Januar 2020 bis Dezember 2022

Ausgangspunkt und Fragestellung

Städte sind gegenüber den Folgen des Klimawandels besonders verletzlich. Um die Klimaresilienz der Städte zu stärken, muss ein besseres und systematischeres Verständnis der Auswirkungen von Planungs- und Bauprozessen auf das Klima in der Stadt entwickelt werden. Bauliche Nachverdichtungsprozesse sind aus einer ganzheitlichen, klimaresilienten und ressourcenschonenden Perspektive zu planen und durchzuführen – deshalb sind Grünflächengestaltung, Mikroklima- und Lebenszyklusanalysen sowie Materialeinsatz früh in die Planungsprozesse zu integrieren. Auf Grundlage digitaler 3D-Stadtmodelle werden Simulations- und Visualisierungsmethoden entwickelt, die diese Aspekte integrieren. So soll in kommunalen Abwägungsprozessen die Bewertung von Planungsalternativen erleichtert werden. Auch für die Öffentlichkeitsbeteiligung können potentielle Planungsoptionen mit Hilfe

der prototypisch implementierten 3D-Werkzeuge besser veranschaulicht werden (Abbildung 52). Das Vorhaben wird mit den Daten ausgewählter Kommunen Bayerns getestet. Es schließt eine wichtige Lücke für die Planung, der es bisher an solchen einfach zu handhabenden Werkzeugen fehlt.

Ziele

Ziel ist die praxisrelevante Abschätzung der Auswirkungen von Nachverdichtungsvorhaben auf den Innen- und Außenraumkomfort sowie den Ressourcenbedarf. Hierbei werden die Wirksamkeit grüner Infrastruktur und der ressourceneffiziente Materialeinsatz an Gebäuden über den gesamten Lebenszyklus hinweg berücksichtigt. Weiterhin sollen digitale Werkzeuge zur Entscheidungsunterstützung bei Nachverdichtungsvorhaben konzipiert und erprobt werden. Diese bauen auf der Collaborative Design Plattform (CDP) auf, welche an der TU München entwickelt wurde.

Methodik

Im Fokus des Projekts steht die Simulation und Visualisierung in einem Decision-Support-Tool, der CDP, für den Einsatz in Planungsverfahren (Abbildung 52). Dazu werden zunächst Rahmenbedingungen für Nachverdichtung, Anwendungsmöglichkeiten und Funktionen eines Entscheidungsunterstützungstools ermittelt (AP 1). Anschließend erfolgt die Quantifizierung von Auswirkungen unterschiedlicher Nachverdichtungsszenarien in ausgewählten Fallstudien. Dabei werden Auswirkungen auf Klimaschutz (Energiebedarf, Treibhausgas-Emissionen) und Klimaanpassung (Mikroklima, Außenraum)

(AP 2 und 3) bewertet, bevor das 3D-Tool (CDP) spezifiziert wird (AP 4). Zudem wird die Übertragbarkeit in die Praxis behandelt, u.a. in Workshops mit potenziellen Nutzer*innen (AP 5) (Abbildung 53).

CDP // Collaborative Design Platform AP4			
AP1	AP2	AP3	AP5
Nachverdichtung	Energie/ Komfort	LCA	Grüne Infrastruktur
Abstandflächen	Heizbedarf	Primärenergie_ne	Fläche horizontal
Geschossflächenzahl	Strombedarf	Erneuerbare Energien	Grünvolumen
Brutto-Grundfläche	Innenraum Komfort Außenraum Komfort	THG-Potenzial	Verschattung

Abbildung 53: Analyse Kriterien in der CDP

Potenziale für Nachverdichtung

Nachverdichtung findet kleinräumig durch Aufstockung, Anbauten oder großflächig durch Konversion und Nutzung von Brachen statt. Neben Bebauungsplänen ermöglichen Satzungen und Beschlüsse, Nachverdichtung zu regulieren und zu steuern. Zur Widerspiegelung der Vielfalt im Umgang mit Nachverdichtung wurde eine Datenbank der Stadtentwicklungs-, Klimaanpassungs-, und Klimaschutzstrategien und zugehörigen Projekten mittelgroßer bis großer bayerischer Kommunen angelegt. Aus ihr werden unter anderem Gute-Praxis-Beispiele gewonnen.

Quantifizierung – Energie und Behaglichkeit

Auf Basis des identifizierten Nachverdichtungspotenzials wird eine Fallstudie ausgewählt und daraus entwickelte Nachverdichtungsszenarien hinsichtlich Energiebedarfes und thermischem Komfort bewertet. Durch die Modellkopplung einer thermischen Gebäudesimulation mit einer Mikroklimasimulation erfolgt die Betrachtung des thermischen Komforts sowohl für den Innen- als auch den Außenraum. Dies erlaubt die Bewertung von baulichen (z.B. Dämmung) und grünen Maßnahmen (z.B. Bäume). Um den Entscheidungsprozess interaktiv zu unterstützen, werden Ergebnisse in Echtzeit ausgegeben.

Hierzu wird eine Aufteilung in Vorberechnungs- und Interaktionsphase angestrebt, wodurch Rechenzeiten minimiert werden. Datenbanken und Standardwerte für beispielsweise die Baukonstruktion bilden die Grundlage zur Sicherstellung einer hohen Interaktivität bei der Analyse von Szenarien.

Quantifizierung – Lebenszyklusanalyse

Neben der klimaresilienten Umsetzung von Nachverdichtungsvorhaben müssen auch Auswirkungen auf Umwelt und Ressourcenverbrauch in die Bewertung mit einbezogen werden. Durch eine ökologische Lebenszyklusanalyse, auch Ökobilanzierung, werden die Energie- und Stoffströme der Herstellungs- und Entsorgungsphase erfasst. Zusätzlich soll eine Möglichkeit zur Bewertung von städtischem Grün im Kontext der CO₂- sowie der Primärenergieeinsparung entwickelt und implementiert werden. Durch die Kombination der Ergebnisse aus ökologischer Bewertung und Betriebssimulation können Handlungsempfehlungen in Bezug auf verschiedene Nachverdichtungsszenarien abgeleitet werden. Grundlage hierfür bildet eine Sammlung von Kennwerten zu Umweltwirkungen. Diese wird sowohl im Bestand als auch im Neubau mit speziellem Bezug zur Nachverdichtung aufgebaut. Zudem werden Methoden zur Ökobilanzierung von Nachverdichtungsmaßnahmen (z.B. Aufstockungen) aufgegriffen und weiterentwickelt, um Treiber und Optimierungspotenziale hinsichtlich der Umweltwirkungen sichtbar zu machen.

Collaborative Design Platform (CDP)

Das interdisziplinäre Forschungsprojekt will die gegenwärtige Diskrepanz zwischen den bekannten analogen Arbeitsweisen in den frühen Phasen des Architektorentwurfs und dem immer stärkeren Einsatz digitaler Werkzeuge in der Büropraxis verringern. Durch die direkte Verknüpfung bekannter analoger Arbeitsweisen mit digitalen computergestützten Designwerkzeugen stellt die CDP eine

Entwurfsplattform im städtischen Kontext dar, die Designer*innen gewohnte Arbeitsweisen bei gleichzeitiger Computerunterstützung ermöglicht (Abbildung 54).



Abbildung 54: Prototyp für das CDP Plugin

Übertragbarkeit in die Praxis

Zu den Zielgruppen, welche in Zukunft das Visualisierungswerkzeug in ihrem beruflichen Alltag nutzen können bzw. davon profitieren werden, zählen Stadtverwaltungen und Planungsbüros, Forschungseinrichtungen, politische Entscheidungsträger*innen, Träger öffentlicher Belange, private Eigentümer*innen, Wohnungsbaugenossenschaften und die Zivilgesellschaft. Aus einer Online-Umfrage mit bayerischen Kommunen, die ein prognostiziertes Bevölkerungswachstum von mind. 2,5% aufweisen, geht ein besonderer Informationsbedarf hinsichtlich der Handlungsmöglichkeiten des Planungs- und Baurechts in Nachverdichtungsprozessen hervor. Experteninterviews mit Vertreter*innen aller Zielgruppen bestätigten die Nützlichkeit eines Tools in frühen Planungsphasen und lieferten zudem Erkenntnisse über gewünschte und benötigte Funktionen für die CDP. Im Rahmen eines Workshops konnten Teilnehmer*innen das Visualisierungswerkzeug testen. Dabei wurden weitere Potenziale und Anwendungsfelder identifiziert, welche im abschließendem Projektjahr untersucht und eingearbeitet werden. Das integrative Zusammenwirken der Teilaspekte des Projekts ist in Abbildung 55 zusammengefasst.

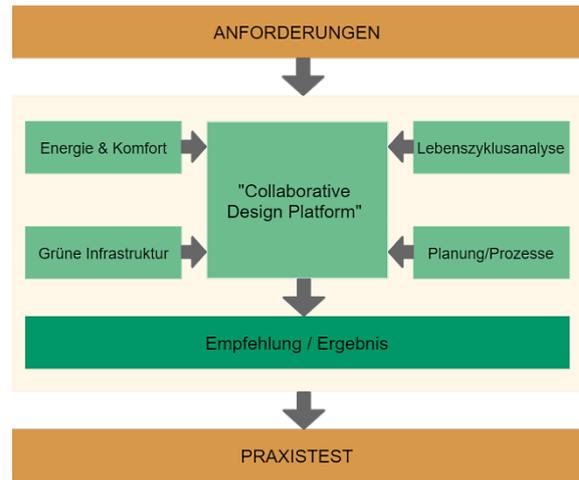


Abbildung 55: Projekttablauf

Erwartete Ergebnisse und Ausblick

Das Projekt entwickelt den Prototypen eines Modellierungs- und Visualisierungswerkzeug (CDP) für die Quantifizierung von Auswirkungen der baulichen Nachverdichtung. Durch die Erfassung von Szenarien und deren Echtzeitsimulation über die CDP wird die Entscheidungsfindung bei Nachverdichtungsprojekten unterstützt. Dies fördert die Integration von Klimaschutz (Energiebedarf, THG-Emissionen) und Klimaanpassung (Mikroklima, thermischer Komfort im Außenraum) u.a. in der Bebauungsplanung und Freiraumgestaltung.

Teilprojekt 12 – Animal-Aided Design III - Monitoring und Evaluation

Lehrstuhl für Terrestrische Ökologie, TUM (Prof. Dr. Wolfgang W. Weisser, Dipl.-Ing. Claudia Seilwinder, Dipl.-Ing. Claudia Jakoby) und Fachbereich Landschaftsplanung und Gartenkunst, TU Wien (Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas E. Hauck, M.Sc. Andrew Fairbairn)



Abbildung 56: Anlage einer Dachbegrünung als Experiment zur Erhöhung des Wertes für Insekten

Projektlaufzeit

Dezember 2020 - Dezember 2022

Ausgangspunkt und Fragestellung

Im Rahmen eines bis Ende Februar 2019 laufenden Forschungsprojekts wurde eine innovative Strategie zur Klimaanpassung und zum Erhalt der Biodiversität – Animal-Aided Design – in München getestet (siehe u.a. TP 2 „Animal-Aided Design (AAD)“). Das Beispielprojekt, eine bauliche Nachverdichtung einer innerstädtischen Wohnanlage, wurde in Zusammenarbeit mit der GEWOFAG Holding GmbH. in München durchgeführt. In dem aktuellen Projekt soll nun über eine Erfolgskontrolle erforscht werden, ob sich Tiere durch die Methode Animal-Aided Design in Planungen bis hin zur Realisierung einbeziehen lassen und somit ein Beitrag zur bestmöglichen Anpassung von klimasensitiven Bereichen an die Folgen des Klimawandels geleistet werden kann. Das Projekt trägt daher zur Entwicklung nachhaltiger, klimaschonender und damit zukunftsorientierter Siedlungskonzepte bei.

Ziele und Methodik

Es soll eine Erfolgskontrolle der umgesetzten Maßnahmen durchgeführt werden und eine Sicherung und Optimierung der einzelnen AAD-Bausteine u.a. durch Aufnahme in die

Pflegeroutinen der Wohnanlage ermöglicht werden. Dabei liegt der Fokus auf dem biologischen Monitoring. Es soll vor allem untersucht werden, ob sich die in der Planung berücksichtigten Zielarten angesiedelt haben. Zudem sollen Ergebnisse aus dem auf den Gründächern der Wohngebäude angelegten Experiment zur Ansiedlung von wirbellosen Tierarten (Invertebraten) ausgewertet werden (Abbildung 56). Gleichzeitig sollen Bewohnerinnen und Bewohner über die Maßnahmen informiert werden.

Für das biologische Monitoring der Zielarten Haussperling, Braunbrustigel, Grünspecht und Fledermaus, sowie der Invertebratenfauna auf den Gründächern erfolgen mehrere Ortsbegehungen für eine umfangreiche Bestandsaufnahme. Die Ergebnisse werden analysiert und ausgewertet. Parallel dazu wird das Vorgehen für das weitere Monitoring erarbeitet.

Erwartete Ergebnisse und Ausblick

Das Projekt prüft anhand von konkreten Beispielen aus der Praxis, ob sich Tiere durch die Methode Animal-Aided Design in Planungen einbeziehen lassen. Die Ergebnisse werden einen „best practice“ Charakter für Vorhaben in Bayern haben. Das Projekt trägt daher zur Entwicklung nachhaltiger und zukunftsorientierter Siedlungskonzepte bei, die schonend in Bezug auf von Klimaschutzmaßnahmen bedrohten Tierarten in der Stadt sind. In Form einer wissenschaftlichen Evaluation der von Bauträger umgesetzten Maßnahmen und der Publikationen der Ergebnisse in Form einer Broschüre, die Handlungsempfehlungen enthält, insbesondere für Kommunen und kommunale Bauträger, Planer und Klima-Allianz Partner.

Teilprojekt 13 - Begleitforschung zum Modellvorhaben des Experimentellen Wohnungsbaus „Klimaanpassung im Wohnungsbau“

Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Bauen und Planen, TUM (Prof. Dr.-Ing. Werner Lang, M.Sc. Doris Eckert, M.Sc. Markus Kleeberger, Dipl.-Ing. Rupert Schelle), Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft, TUM (Prof. Dr. Brigitte Helmreich, M.Sc. Lea Rosenberger), Kompetenzzentrum für Nachhaltigkeit in der Immobilienwirtschaft, Universität Regensburg (Prof. Dr. Sven Bienert, MScRE Hunter Kuhlwein)

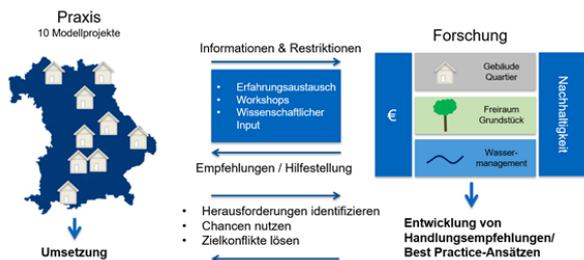


Abbildung 57: Wechselwirkungen zwischen Praxis und Forschung

Projektlaufzeit

Januar 2021 bis Dezember 2023

Ausgangspunkt und Fragestellung

Klimaschutz spielt in der heutigen Baupraxis eine wichtige Rolle. Richtlinien wie die EnEV (heute: GEG) tragen seit Jahren zur Senkung des Energieverbrauchs, und damit der CO₂-Emissionen von Gebäuden bei. Maßnahmen zur Anpassung von Gebäuden an die Auswirkungen des Klimawandels (Klimaanpassungen) hingegen fließen kaum in Gestaltungs- und Planungsprozesse ein.

Dieses Projekt befasst sich mit der Erforschung der Wechselwirkungen und der Identifizierung von Synergieeffekten zwischen planerischen Maßnahmen zur Verbesserung des Mikro- und Makroklimas in Städten unter Einbeziehung von Gebäuden, von grüner Infrastruktur (Freiflächen- und Gebäudegestaltung) und von Strategien zur Speicherung und Nutzung von Regen- und Grauwasser. Bestehende Forschung zu diesem Thema bezieht sich entweder auf die Gebäude- oder auf die gesamtstädtische Ebene. Auf der hier fokussierten Quartiersebene herrscht noch

Forschungsbedarf, vor allem zur ganzheitlichen Bilanzierung von der Herstellung bis zum Rückbau einer Wohnungsanlage. Durch die Entwicklung von umsetzbaren Planungskonzepten in Zusammenarbeit mit Praxispartnern und kommunalen Wohnungsbauunternehmen wird ermittelt, wie Maßnahmen zum nachhaltigen Bauen und zur Klimaanpassung im Bereich des bezahlbaren bzw. geförderten Wohnungsbaus von Planungsbeginn an umgesetzt werden können (Abbildung 57).

Ziele und Methodik

Das Vorhaben dient der wissenschaftlich-fachlichen Begleitung zur Umsetzung von Modellvorhaben hinsichtlich der urbanen Klimaanpassung (Adaption) und dem Klimaschutz (Mitigation) im Wohnungsbau. Folglich soll dargestellt werden, ob und wenn ja welche Investitionen sich in Maßnahmen des klimagerechten Bauens amortisieren.

Hier ist die Berücksichtigung der (langfristigen) Wirtschaftlichkeit wesentlich. Ergebnis des Forschungsprojektes sollen Handlungsempfehlungen sein.

Zu Beginn befinden sich die Modellvorhaben in der Auslobungsphase für Architektur- und städtebauliche Wettbewerbe. Die Begleitforschenden identifizieren wesentliche Kriterien und Indikatoren des klimagerechten Bauens, die als Textbausteine den Auslobenden zur Verfügung gestellt werden. Folglich werden von Planungsbeginn an wesentliche Parameter des klimagerechten Bauens im geförderten Wohnungsbau definiert und in der Vorprüfungsphase berücksichtigt.

Auf der Basis der Siegerentwürfe werden bis zu fünf Projekte (Modellprojekte) ausgewählt, die über die Projektlaufzeit hinweg untersucht werden. Dabei findet eine enge Abstimmung mit den Praxispartnern statt, um Möglichkeitsfenster in der Planung identifizieren und nutzen zu können. Aufgrund unterschiedlich schnell voranschreitender Planungsphasen können Erfahrung aus schneller voranschreitenden Projekten auf andere Projekte übertragen und sofort weiterentwickelt werden. Dabei soll eine Übertragbarkeit von Lösungsansätzen auf unterschiedliche Rahmenbedingungen und Kontexte in den Modellprojekten untersucht werden. Die Ergebnisse werden mit den Praxispartnern auf Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit überprüft und in den Planungsprozess integriert.

Durch Auswertung der Maßnahmen sollen Handlungsempfehlungen entwickelt werden. Insbesondere die Vereinbarkeit von kostengünstigem Wohnungsbau in Gebieten, die eine hohe Verdichtung vorweisen oder verlangen in Verbindung mit notwendigen Klimaresilienz und -schutzmaßnahmen (Adaptation & Mitigation) soll erforscht werden.

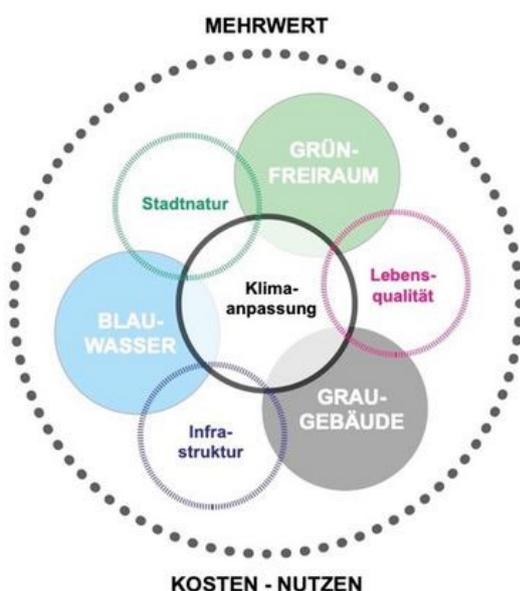


Abbildung 58: Kosten-Nutzen- und Mehrwertanalyse

Die Abbildung 58 stellt das allgemeine Vorgehen im Projekt dar. Die kommunalen Wohnungsbauprojekte werden von den Praxispartnern geplant und umgesetzt. Durch eine wissenschaftliche Begleitung der Planung und die Abstimmung von Maßnahmen werden Handlungsempfehlungen entwickelt, die in die Planung miteinfließen sollen.

Durch Handlungsempfehlungen werden Herausforderungen sowie Chancen der Realisierung der Modellvorhaben analysiert, entwickelt und den kommunalen Wohnungsbaunternehmen, der Öffentlichkeit und der Politik als Wissen zur Verfügung gestellt. Die Handlungsempfehlungen sollen als Entwurf für eine gemeinsame Broschüre des StMUV und des StMB erarbeitet werden.

Erwartete Ergebnisse und Ausblick
 Durch die Entwicklung von umsetzbaren Planungskonzepten in Zusammenarbeit mit Praxispartnern und kommunalen Wohnungsbaunternehmen wird ermittelt, wie Maßnahmen zum nachhaltigen Bauen und zur Klimaanpassung im Bereich des bezahlbaren bzw. geförderten Wohnungsbaus umgesetzt werden können. Das wird erreicht, indem nachgewiesen wird, dass sich aufgewandte Mittel für Maßnahmen der grau-grün-blauen Klimaanpassung im kommunalen Wohnungsbau sich in Zeiten des Klimawandels amortisieren.

Teilprojekt 14 - Multifunktionale Versickerungsmulden im Siedlungsraum

Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft, TUM (Prof. Dr. Brigitte Helmreich, M. Sc. Philipp Stinshoff), Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (Prof. Dr. Swantje Duthweiler, Prof. Dr. Christoph Moning, M. Eng. Patrizia Eben)



Abbildung 59: Pilotprojekt in Pfaffenhofen a. d. Ilm

Projektlaufzeit

November 2020 - September 2023

Ausgangspunkt und Fragestellung

Durch die zunehmenden Nachverdichtungen und neuen Bauvorhaben werden immer mehr Flächen versiegelt. Hierdurch entstehen negative Effekte für den lokalen Wasserhaushalt, die Biodiversität, das Mikroklima sowie höhere Schadstoffbelastung im Niederschlagsabfluss. Durch die Klimaveränderungen werden diese Negativwirkungen besonders in urbanen Räumen als zunehmendes Problem empfunden.

Als besonders vielversprechende Möglichkeiten, diesen Herausforderungen entgegenzuwirken, werden begrünte oberirdische Versickerungsmulden erachtet. Diese übernehmen die Funktion einer regulierten Entwässerung der Abflüsse versiegelter Flächen wie Straßen und Dächer, aber auch den Rückhalt ihrer Schadstoffe zum Schutz des Grundwassers. Bisher lag der Schwerpunkt von Versickerungsmulden auf der Entwässerung, nicht speziell auf dem Schadstoffrückhalt. Versickerungsmulden an sich sind nicht neu, nach DWA Regelwerk DWA-A 138 (2005)

darf die bewachsene Bodenzone zur Beibehaltung der Versickerungsleistung jedoch nur einen geringen Humus- und Tongehalt aufweisen und wird häufig nur mit einer einfachen Rasensaat begrünt, so dass die Akzeptanz zur Integration in den Siedlungsraum bei der Planung niedrig liegt. Der Bedarf nach einer Multifunktionalität – Entwässerungssicherheit, optimierter Schadstoffrückhalt sowie verbesserte Pflanzen- und Insektenvielfalt durch an das Klima angepasste heimische Pflanzen – ist daher hoch.

Ziele

Ziel des Forschungsprojektes ist die Entwicklung eines verbesserten und multifunktional nutzbaren Versickerungssystems (Abbildung 60) mit folgenden Teilzielen:

- Optimierung der Entwässerungsleistung und Wasserspeicherfähigkeit
- Optimierung der Reinigungsleistung (erweitertes Stoffspektrum beim Schadstoffrückhalt, u.a. Biozide)
- Optimierung als Pflanzen- und Tierhabitat
 - Artenreiche, stresstolerante und standortgerechte Bepflanzung, die Hitze und Dürreperioden sowie temporäre Überstauungen nach Starkregenereignissen und Streusalz toleriert
 - Schaffung eines Nahrungs- und Fortpflanzungshabitats für eine Vielfalt an Insekten

Weitere positive Auswirkungen von Versickerungsflächen in der Stadt:

- ortsnahe Niederschlagswasserbewirtschaftung zur Unterstützung des lokalen Wasserhaushalts
- attraktive Standortgestaltung
- Hitze- und Starkregenregulation

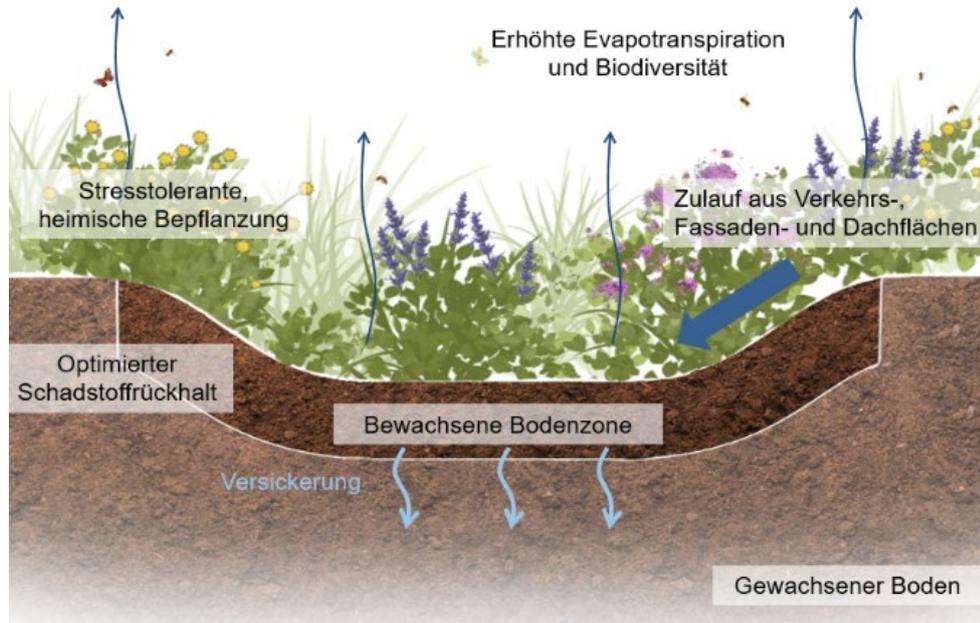


Abbildung 60: Schema einer multifunktionalen Versickerungsmulde

Methodik

Abbildung 61 zeigt einen Überblick über die Vorgehensweise des Projekts, welches sich in vier wesentliche Phasen gliedert.

In der ersten Phase wird an der TUM die Entwicklung von geeignetem und an die Zusammensetzung des Niederschlagswassers angepasstem Boden mittels Substratbeimengung erforscht. An der HSWT wird eine vielfältige Bepflanzung aus heimischen Arten zusammengestellt, die den extremen Bedingungen einer urbanen Versickerungsmulde standhält und sich zudem positiv auf das Stadtbild und die Insektenvielfalt auswirkt. Nach Untersuchungen im Labormaßstab zur Optimierung von bewachsenen Boden zonen sowie einer Recherche zu schadstofffilternder, heimischer Vegetation, die den Stressbedingungen Trockenzeit und Staunässe standhält, eine winterliche Salzresistenz aufweist und ein jahreszeitlich attraktives Bild für die Einbindung in den urbanen Raum bietet, werden seit Juli 2021 Versuche im halbertechnischen Maßstab durchgeführt (Phase 2).

Der Fokus an der TUM liegt dabei auf der Reduzierung der stofflichen Belastung und Betriebsstabilität für die Entwässerung von Straßen-, Dach- und biozidhaltigen Fassadenabflüssen.

An der HSWT werden Probebepflanzungen von Insektennährpflanzen auf den Versickerungskörpern getestet.

Zur Evaluierung der Ergebnisse aus den labor- und halbtechnischen Versuchen unter realen Bedingungen erfolgt in einer dritten Phase die Pilotierung in einem ausgewählten Siedlungsraum. Dafür wurden im April 2022 in München Versuchsflächen mit aus den halbtechnischen Versuchen ausgewählten Boden-Substratgemischen und einer angepassten, artenreichen Bepflanzung in einer realen Versickerungsmulde angelegt. An einem weiteren Standort in Pfaffenhofen an der Ilm wurde das Substrat in sogenannten Baumrigolen eingesetzt, um die Eignung der Bodenmischungen auch als wasserspeicherndes Substrat für Bäume in der Stadt zu testen. Die Baumrigolen sind ebenfalls mit den heimischen Arten aus den halbtechnischen Versuchen unterpflanzt (Abbildung

59). An beiden Standorten der Pilotprojekte ist ein Insektenmonitoring geplant. In der vierten Phase soll auf Grundlage der Ergebnisse ein Leitfaden mit Handlungsempfehlungen für Betreiber und Planer erstellt werden. Neben geeigneten Substraten für

die bewachsene Bodenzone und der Staudenbepflanzung sollen auch die ökologischen und ökonomischen Vorteile aufgezeigt und unter anderem der Aufwand für den Unterhalt dargelegt werden.

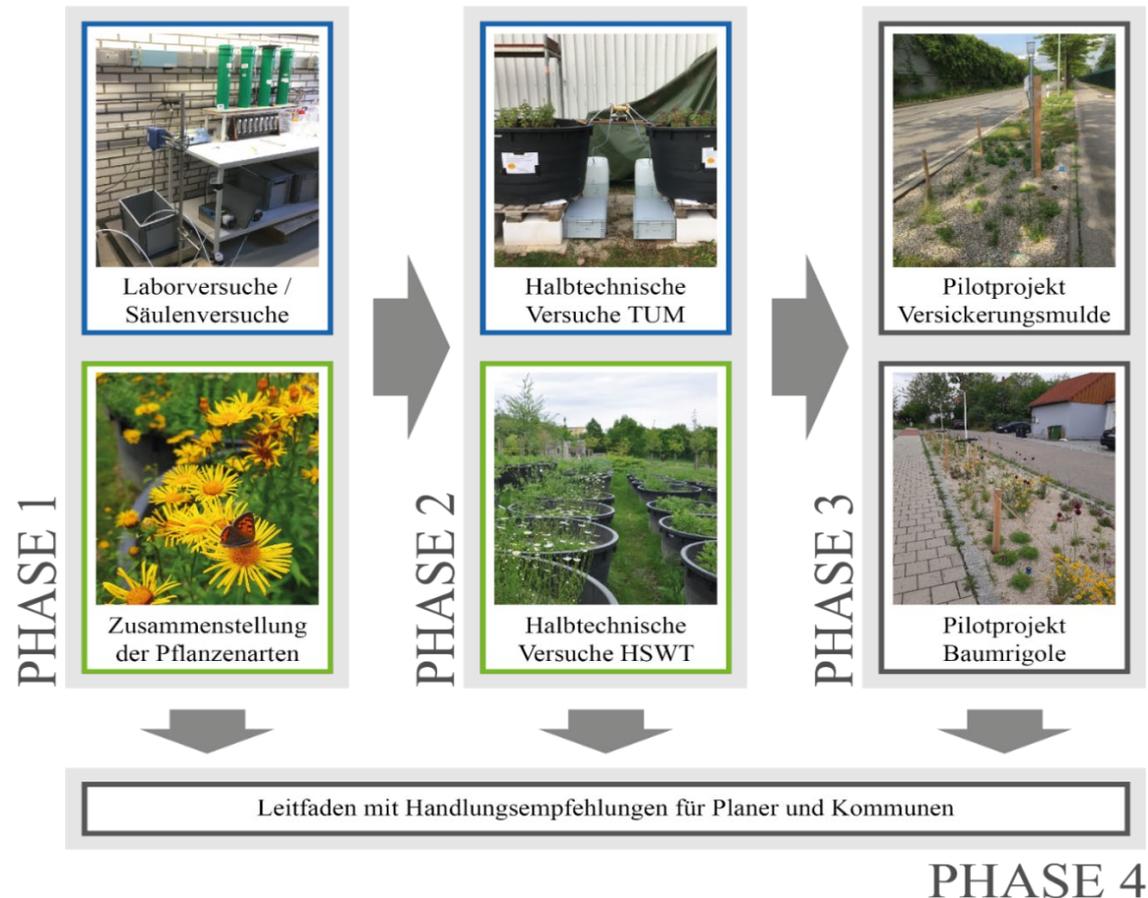


Abbildung 61: Projektaufbau und Vorgehensweise

Ausblick

Mit den optimierten Böden und einer heimischen Bepflanzung, die lange, klimabedingte Hitze, Dürreperioden sowie Starkregenereignisse überdauern kann sollen Versickerungsmulden im Siedlungsraum zu einer besseren Akzeptanz und zur Erhöhung der Artenvielfalt beitragen. Dabei sollen dennoch die Entwässerungssicherheit und der Schadstoffrückhalt gewährleistet sein. Die bewachsene Bodenzone sowie die angepasste Vegetation müssen mit möglichen starken Belastungen durch Streusalz von Verkehrsflächenabflüssen als auch mit

Schadstoffeinträgen von Fassaden- und Dachabflüssen (insbesondere mit hohen Metallanteilen und Bioziden/Pestiziden) zu recht kommen. Zudem werden umsetzbare Pflegekonzepte entwickelt, damit Versickerungsmulden und Baumrigolen vom Betreiber möglichst kostengünstig und einfach gewartet und unterhalten werden können. Die Untersuchungen sollen Basis für einen späteren Leitfaden mit Handlungsempfehlungen sein, aus dem auch der ökologische und ökonomische Vorteil sowie der Aufwand für den Unterhalt hervorgeht.

Teilprojekt 15 - Klimabiomonitoring mit Flechten in Bayern

Bayerisches Landesamt für Umwelt (Dr. Jutta Köhler, Dr. Michael Joneck)



Abbildung 62: Hohe städtische Versiegelung und Spitzahorne. Foto: Ute Windisch.

Projektlaufzeit

Januar 2022 - Juni 2024

Ausgangspunkt und Fragestellung

Flechten sind Lebensgemeinschaften aus Pilzen und Algen oder Cyanobakterien, die an Baumrinden, Gestein oder auf dem Erdboden siedeln. Durch ihren direkten Kontakt mit der Atmosphäre, ohne schützende Wachsschicht wie bei Höheren Pflanzen, reagieren sie äußerst empfindlich und relativ früh auf Änderungen von Temperatur und Luftfeuchte. Mit dem Klimawandel ändert sich daher auch die Diversität der Flechtenpopulation, mehrere Arten sind als Klimawandelzeiger eingestuft. Diese Veränderung in der Flechtengemeinschaft hat sich bereits in vergangenen Flechtenuntersuchungen abgezeichnet und es ist anzunehmen, dass die Anzahl der wärmeliebenden Flechtenarten in Bayern von Westen her weiter zunimmt. Die Korrelation mit langfristigen Klimadaten lieferte dabei gute Ergebnisse, so dass ein Klimagradien sichtbar wird. Flechten sind auch ideale Bioindikatoren des Stadtklimas. In Stadtzentren mit einer hohen Flächenversiegelung ist es meist trockener und wärmer als im Umland. Hier herrschen mikroklimatische Verhältnisse, die es nur bestimmten, wenigen Flechtenarten erlauben, in diese Gebiete vorzudringen. In städtischen Kaltluftschnei-

sen dagegen finden feuchtebedürftige Flechten günstige Lebensbedingungen. Die Auswirkungen dieser lokalen Mikroklima-Unterschiede sollen mithilfe bestimmter Flechtenpopulationen untersucht werden.

Ziele und Methodik

In drei bayerischen Städten sollen die Auswirkungen der lokalen mikroklimatischen Verhältnisse erarbeitet werden. Dabei sollen zur Darstellung von Stadtklimaeffekten sowohl die Kaltluftschneisen als auch die versiegelten Stadtzentren betrachtet werden. Es werden Klimadaten und Informationen von DWD-Stationen herangezogen. Im regionalen Bereich soll das Vordringen wärmeliebender Flechtenarten den Einfluss klimatischer Veränderungen auf die Biodiversität aufzeigen. Mit den Ergebnissen können Aussagen zum Stadtklima leicht nachvollziehbar dargestellt und die Öffentlichkeitsarbeit dazu wirksam unterstützt werden. Den ausgewählten Städten können Handlungsempfehlungen vorgeschlagen werden. Das Klimamonitoring mit Flechten soll in das Klimaindikatorensystem des Landesamtes für Umwelt aufgenommen werden.

Mit der Richtlinienreihe 3957 des VDI (Verein Deutscher Ingenieure e.V.) werden standardisierte Verfahren zu aktivem und passivem Biomonitoring mit Höheren Pflanzen, Flechten und Moosen als Bioindikatoren zusammengefasst. In VDI 3957 Blatt 20 ist die Kartierung von Flechten zur Ermittlung der Wirkung von lokalen Klimaveränderungen beschrieben. Die Untersuchung von Stadtklimaeffekten berücksichtigt die Erstauflage von VDI 3957 Blatt 22.

Koordination (Teilprojekt 7): Schlussfolgerung und Ausblick zum ZSK

Zusammenfassung und Kooperationen

Mit dem ZSK wurde vor neun Jahren ein interdisziplinäres Forschungszentrum eingerichtet, um die drängenden Herausforderungen des Klimawandels und der Erhaltung von Biodiversität in den Städten aufzugreifen. Fragen nach einer zukunftsorientierten Stadt- und Freiraumplanung werden von Seiten der Stadtplanung und Landschaftsarchitektur ebenso wie von der Seite der Biologie und Ökologie der grünen Infrastrukturen und begleitenden Faktoren wie Biodiversität von Fauna und Flora betrachtet. Auch die Sozialwissenschaften sind in das ZSK integriert. Im Zentrum der Untersuchungen stehen bei allen Teilprojekten das Klima und der zu erwartende Klimawandel. Die bestehenden Teilprojekte können derzeit bereits auf über 130 Beiträge in nationalen und internationalen Zeitschriften, Konferenz- und Tagungsbeiträge, Pressemitteilungen und Onlinepublikationen und auf weitere öffentlichkeitswirksame Aktivitäten wie Workshops, Tagungen und das ZSK-Symposium „Grüne Klimaarchitektur: Bayerische Städte klimaresilient gestalten“ zurückblicken. Dies zeigt eindrucksvoll, dass das Thema „Zukunftsorientierte, nachhaltige Grünraumplanung“ bayern-, deutschland- und weltweit auf großes Interesse stößt.

Für die zukünftige Entwicklung des ZSK ist es wichtig, weitere nationale und internationale Forschungsprojekte und -schwerpunkte in das Zentrum einzubinden. Auch die Vernetzung der Teilprojekte untereinander stellt eine wichtige Aufgabe für einen funktionierenden Forschungsverbund dar. So wurden weitere assoziierte Projekte an das ZSK gebunden, um einen Austausch des ZSK und eine Zusammenarbeit der Teilprojekte mit weiteren Forschungspartnern zu ermöglichen.

Diese assoziierten Projekte sind:

- Graduiertenkolleg 2679 – Urbane Grüne Infrastruktur (GRK – UGI)

Das Ziel des Graduiertenkollegs GRK-UGI ist es, junge Nachwuchsforscher*innen zu inspirieren und auszubilden, um neuartige Lösungen für Urbane Grüne Infrastrukturen (UGI) zu entwickeln. Durch die Entwicklung von Netzwerken aus grünen und blauen Freiräumen mit vielfältigen Ökosystemleistungen sollen die Nachhaltigkeit, Resilienz und Lebensqualität von Städten verbessert werden. Die Promovierenden durchlaufen ein spezifisches und innovatives Qualifizierungsprogramm, das sie befähigt, UGI-bezogene Forschung in ihren jeweiligen Disziplinen auf höchstem akademische Niveau zu betreiben, während sie in inter- und transdisziplinärer Forschung im Rahmen eines systemischen Denkansatzes ausgebildet werden. Sie arbeiten mit führenden Forscher*innen aus den Bereichen Stadtplanung, Ökologie, Ingenieurwesen und Umweltmedizin zusammen und werden von diesen gefördert und angeleitet. Das Graduiertenkolleg stellt daher einen Eckpfeiler in der Karriere junger Wissenschaftler*innen der integrierten Stadtforschung dar.

Das Graduiertenkolleg entwickelt sich innerhalb eines sozial-ökologisch-technologischen Systemrahmens mit drei interagierenden UGI-Forschungsclustern zu Transformation städtischer Räume, Klimaresilienz und Energieeffizienz sowie nachhaltigem Regenwassermanagement. Es fokussiert insbesondere auf das Potenzial von drei Strategien: (i) Operationalisierung zur Transformation komplexer urbaner Umgebungen durch die Entwicklung und Umsetzung prototypischer UGI, (ii) Substitution urban-technischer Strukturen und Prozesse, und (iii) Integration von natürlichen Elementen in gebaute Strukturen, um die Abhängigkeit von fossiler Energie und nicht erneuerbaren Ressourcen zu reduzieren.

Das Graduiertenkolleg wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG gefördert. Die Laufzeit ist zunächst von April 2022 - September 2026. In dieser ersten Projektphase werden 26 Promovierende ausgebildet, welche von 14 Professor*innen der TU München, der Universität Augsburg und des Helmholtz Zentrum München betreut werden. Darüber hinaus werden zahlreiche Mercator Fellows, Gastwissenschaftler und assoziierte Kontakte sowie verschiedene Referate der Landeshauptstadt München eingebunden.

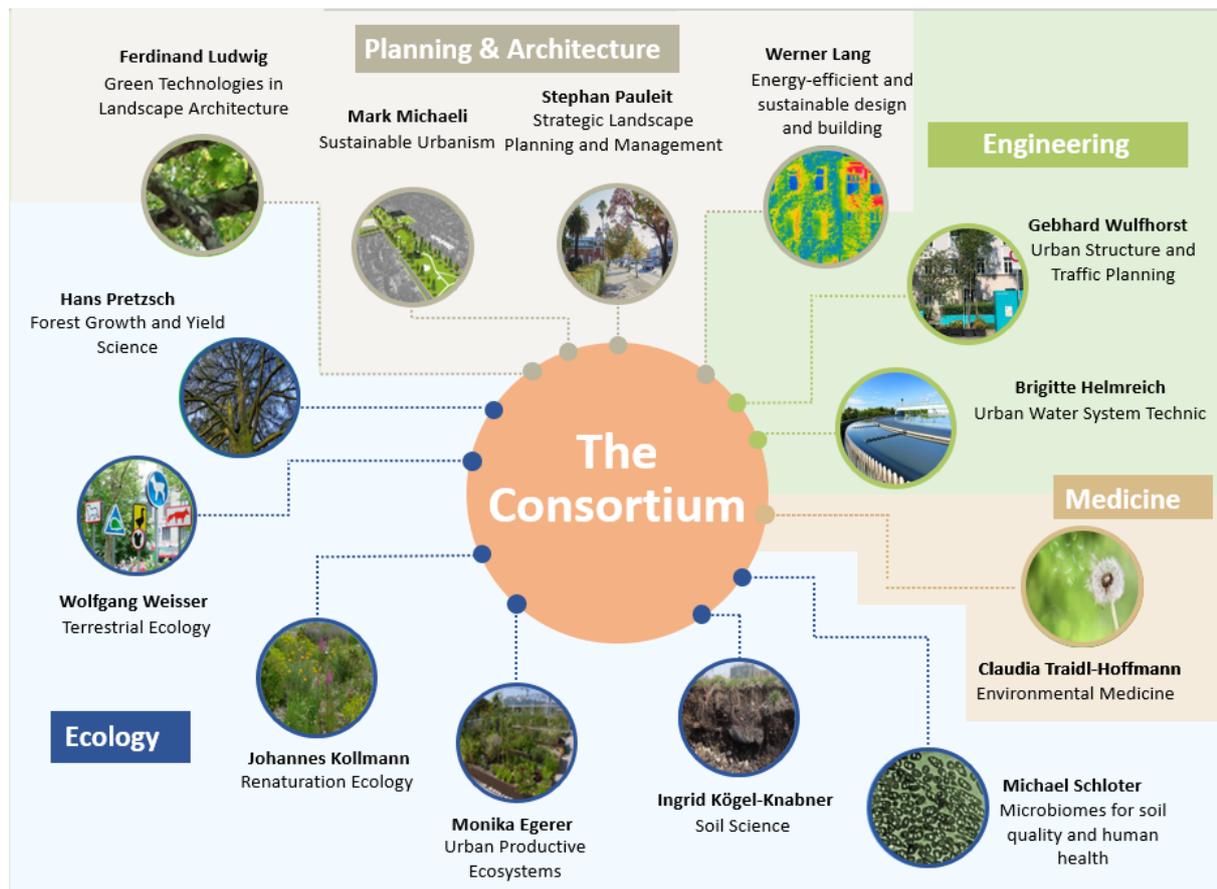


Abbildung 63: Die am GRK beteiligten Professuren und Fachbereiche der TUM.

Das Graduiertenkolleg UGI überbrückt soziale, ökologische und technologische Bereiche städtischer Systeme, um diese Bedürfnisse durch innovative Forschung zu die sowohl prozess- als auch ergebnisorientiert ist. Die spezifischen Ziele sind:

- Umfassende wissenschaftliche Ausbildung in urbanen SET's und praktische praktische Erfahrung mit UGI durch die Teilnahme an Praktika bei Stadtverwaltungen;

- Einbindung der Doktorand*innen in die interdisziplinäre Forschung im Bereich UGI durch interagierende Forschungscluster, die soziale, ökologische und technologische Bereiche umfassen;
- Durchführung von Forschungsarbeiten, um auf aktuelle gesellschaftliche Bedürfnisse zu reagieren;
- Förderung wissenschaftlicher Laufbahnen durch ein hochwertiges Ausbildungsangebot für (inter-)nationale Doktorand*innen, Forscher*innen und Anwender*innen?

Diese Ziele werden zu einer herausragenden gemeinschaftlichen Forschungsarbeit führen, die eine Schnittstelle zwischen Umwelt, technologischen und sozialen Wandel in städtischen Umgebungen darstellen wird. Während solche Themen oft isoliert behandelt werden, wird das Graduiertenkolleg motivierte Wissenschaftler*innen hervorbringen, die in der Lage sind, an den Überschneidungen von SET's zu arbeiten.

- **Projekt "Grüne Stadt der Zukunft – klimaresiliente Quartiere in einer wachsenden Stadt"**

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanziert und an der TU München (Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsentwicklung) koordiniert.

Im Rahmen des Verbundprojektes wird angestrebt, Städte bei der Erreichung ihrer langfristigen klimapolitischen Ziele zu unterstützen und die Entwicklung klimaresilienter Quartiere zu fördern. Neben der Weiterentwicklung vorhandener Klimaschutz- und Klimaanpassungsstrategien liegt vor dem Hintergrund des Klimawandels der Fokus vor allem auch auf der Berücksichtigung von Grün- und Freiflächen, die aufgrund der steigenden Bevölkerungszahlen unter Druck stehen. Dazu soll die Wirkung grüner Anpassungsmaßnahmen modellbasiert untersucht werden – sowohl für Stadtklima und Wasserbilanz als auch für Energieeffizienz und Nachhaltigkeit im Gebäudebestand. Die Integration von qualitativen Forschungsansätzen aus sozialer und ökonomischer Perspektive sowie von partizipativen Ansätzen ermöglicht es, die Lebensqualität für die Bewohner sowie die ökonomische Machbarkeit zu verbessern. Die Erkenntnisse sollen in Form von Handlungsempfehlungen gebündelt werden, die Städten und Regionen mit vergleichbaren Herausforderungen zur Verfügung gestellt werden.

Folgende Forschungsfragen werden im Projekt beantwortet:

- Welche Faktoren und Instrumente greifen in Planungsprozessen für die Umsetzung grüner Infrastrukturen?
- Welche Regulationsleistungen erbringt grüne Infrastruktur für Klimaanpassung und Klimaschutz?
- Wie können der Flächenbedarf für grüne Infrastruktur und der Wohnraumbedarf aus Sicht verschiedener Zielgruppen miteinander vereinbart werden?
- Welche Hemmnisse können eine Umsetzung grüner Infrastrukturmaßnahmen beeinträchtigen und wie lassen sich diese reduzieren?

Forschungs- und Entwicklungsphase vom 01.10.2018 – 30.09.2021

Umsetzungs- und Verstetigungsphase vom 01.12.2021 – 30.11.2023

- Projekt CUT – Einfluss von Bäumen auf das Stadtklima im Klimawandel

Das internationale Forschungsprojekt – gefördert von der DFG Nahostkooperation – beschäftigt sich mit dem Wachstum und den Ökosystemdienstleistungen von Bäumen in Städten entlang eines klimatischen Gradienten und wird an der TU München koordiniert (Lehrstuhl für Waldwachstumskunde). Dabei werden die Auswirkungen des städtischen Mikroklimas auf das Baumwachstum und die damit verbundenen Leistungen (Beschattung, Abkühlung, Kohlenstoffspeicherung) unter dem gegenwärtigen Klima und zukünftigen Klimawandelszenarien quantifiziert. Neben Städten mit temperattem Klima in Deutschland werden Städte in Israel, Palästina und Jordanien mit mediterranem und aridem Klima untersucht.

Im Rahmen des Projekts werden die Auswirkungen des städtischen Mikroklimas auf das Baumwachstum in Bezug auf Stress (Hitzestress, Wasserbegrenzung und Dürre) analysiert, die Auswirkungen der Umwelt auf die Ökosystemleistungen von Stadtbäumen entlang des gewählten Klimagradienten werden mit verschiedenen Modellen simuliert. Morphologische und ökophysiologische Baummessungen werden mit Modellansätzen zur Quantifizierung von Wachstum und Ökosystemdienstleistungen (Modell CityTree) verknüpft. Aus den Messergebnissen und der mikroklimatischen Modellierung (Modell Green CTTC) können Aussagen für ein nachhaltiges Management des urbanen Grüns getroffen werden.

Folgende Untersuchungen werden im Rahmen des Projekts durchgeführt:

- Untersuchung der Wirkung von Stadtbäumen auf urbane Ökosysteme in Bezug auf die Verbesserung des Mikroklimas und des menschlichen Wohlbefindens abhängig von (i) Baumwachstum und Vitalität (ii) Baumart (iii) Baumkroneneigenschaften (iv) Klimaregion der untersuchten Stadt und (v) standortspezifische Bedingungen wie Morphologie des Standorts, Versiegelung und anthropogene Einflüsse
- Untersuchung der Wirkung von sowohl mikroklimatischen (Park, Straße, Platz) und makroklimatischen (Klimaregion) Einflüssen auf Wachstumsprozesse von Stadtbäumen hinsichtlich Trockenstress, Arteigenschaften und Bewässerungsstrategien
- Untersuchung der mikro- und makroklimatischen Einflüsse auf die bereitgestellten Ökosystemdienstleistungen
- Simulationsstudien zum Wachstum und den Ökosystemdienstleistungen von Stadtbäumen unter verschiedenen Klimaszenarien im Mikro- und Makromaßstab
- Hochskalierung von Wachstum und Ökosystemdienstleistungen von Einzelbäumen auf Baumgruppen, Plätze und Parks durch Kombination der Modellansätze und Ableitung von Schlussfolgerungen für zukünftige Planungen von grünen Infrastrukturen

- Renaturierung von Artenvielfalt und Ökosystemleistungen urbaner Landschaften zur Verbesserung der Klimaresilienz und Invasionsresistenz

Das Projekt ist ein Teilprojekt im Rahmen des Verbundprojekts „Auswirkungen des Klimawandels auf Artenvielfalt und Ökosystemleistungen in naturnahen, agrarischen und urbanen Landschaften und Strategien zum Management des Klimawandels“ (LandKlif) und wird an der TU München (Lehrstuhl für Renaturierungsökologie) koordiniert. Das Verbundprojekt gehört zu dem Bayerischen Forschungsnetzwerk für Klimaforschung Bayklif, gefördert durch das Bayerische Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst.

Grüne Infrastruktur in Städten hat eine große Bedeutung bei der Abschwächung negativer Folgen des Klimawandels, da sie die Durchschnittstemperaturen senkt und die Luftfeuchtigkeit erhöht. Weitere Ökosystemleistungen sind Wasserretention bei Starkregen, Verminderung von Erosion, Bindung von Kohlenstoff und Nährstoffen sowie eine Förderung der Biologischen Vielfalt. Zudem begünstigt grüne Infrastruktur die Erholung der Stadtbewohner. Wichtige Herausforderungen bei der Gestaltung solcher Grünflächen sind Resilienz gegenüber extremer Witterung, Resistenz gegen invasive Fremdarten und ein günstiges Kosten-Nutzen-Verhältnis. Da bei der Gestaltung der Siedlungsvegetation diese ökologischen Aspekte bisher nicht ausreichend berücksichtigt sind, ist es Ziel des Projekts, die Auswirkungen natürlicher und neu zusammengestellter Pflanzengemeinschaften auf die Ökosystemleistungen unter verschiedenen Klimabedingungen und in Interaktion mit invasiven Fremdarten auf urbanen Grünflächen zu untersuchen. Die Ökosystemleistungen werden entlang eines Klimagradienten in 20 urbanen Landschaften Bayerns sowie in Versuchsgärten und Klimakammern nach Einbringen invasiver Arten, die üblicherweise in die Region vorkommen, bei variierender Temperatur und Trockenheit erfasst. Die Ergebnisse des Projekts tragen zu einem besseren Verständnis und einem angepassten Management urbaner Landschaften im Klimawandel bei, das auf ökologische Theorien der Grünlandresilienz und Invasionsresistenz zu stützen ist. Ökonomische Vorteile der Ergebnisse des Teilprojekts sind reduzierte Kosten öffentlicher Siedlungsvegetation sowie eine bessere Anpassung bayerischer Gemeinden an den Klimawandel.

- Juniorforschungsgruppe Cleanvelope – Energieaktive Gebäudehüllen als Baustein klimaorientierter Stadtentwicklung

Das Forschungsprojekt wird an der Technischen Universität München (Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Bauen) koordiniert. Das Projekt wird durch das Bayerisches Klimaforschungsnetzwerk (Bayklif) des Bayerischen Staatsministeriums für Wissenschaft und Kunst gefördert. Beteiligte Projektpartner sind die Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Fakultät Architektur, Lehrgebiet Konstruktion und Technik), der Solarenergieförderverein Bayern e. V., die Landeshauptstadt München (Referat für Stadtplanung und Bauordnung, Stadtentwicklungsplanung) und ezro Energiezukunft Rosenheim (Koordination: Technische Hochschule Rosenheim).

Gebäudehüllen bergen innerstädtisch das wichtigste, aber weitgehend brachliegende Potenzial zur Erzeugung erneuerbarer Energien mit Solarsystemen. Gleichzeitig kann ihre Begrünung zur Klimaanpassung beitragen. Angesichts weiterer sozialräumlicher Nutzungsansprüche bestehen jedoch Interessenskonflikte um begrenzte städtische Flächen. Die Transformation zum klimaneutralen, stadtklimaaktiven Gebäudebestand ist eine Gestaltungsaufgabe, die baukulturell, technisch, wirtschaftlich und hinsichtlich der Einbindung relevanter Akteure am besten im Quartiersmaßstab gelingt. Das gilt auch für die neue aktive Rolle von energieerzeugenden und -speichernden Gebäuden im zukünftigen dezentralisierten Energiesystem. Der städtebauliche, wohnungswirtschaftliche und energetische Erneuerungsbedarf von Wohnquartieren der Nachkriegszeit eröffnet die Chance, den Transformationsprozess konkret in Gang zu setzen.

Cleanvelope untersucht für typische Siedlungsstrukturen Entwurfs- und Abwägungsstrategien für effektive Solar- und Begrünungsmaßnahmen in der Gebäudehülle und die optimierte Nutzung von Solarenergie, Lastmanagement- und Speicherpotenzialen im Rahmen von Quartiersenergiekonzepten. Ein dazu entwickeltes CAD-gekoppeltes Quartiersmodell verknüpft die Sektoren Strom, Wärme und Verkehr und integriert die Simulation des Mikroklimas. Gemeinsam mit Kom-

munen sollen Umsetzungsstrategien entwickelt und die erarbeiteten Erkenntnisse in realen Fallbeispielen erprobt werden. Die Ergebnisse tragen zu einem besseren Verständnis der Klimaschutz-, Klimaanpassungs- und Netzdienstleistungsbeiträge bei. Akteure erhalten mit Best-Practice Beispielen und ganzheitlichen Bewertungstools Planungs-, Entscheidungs- und Kommunikationsunterstützung. Handlungsempfehlungen für Kommunen helfen dabei, die Klimapotenziele von Gebäudehüllen im Rahmen einer Quartiers-Governance flächendeckend zu heben.

Folgende Forschungsfragen werden im Projekt beantwortet:

- Welche Beiträge können solare und begrünte Gebäudehüllen zu Klimaneutralität, Klimaanpassung und Lebensqualität in Quartieren unterschiedlicher Siedlungsstrukturen leisten?
- Welche Flächen empfehlen sich dabei für eine solare oder grüne Aktivierung und wie können Flächenkonkurrenzen in synergetische Kombinationen oder in eine effektive Koexistenz aufgelöst werden?
- Welche Wechselwirkungen bestehen zwischen Photovoltaik und Begrünung in der Gebäudehülle und dem innerstädtischen Mikroklima?
- Welche Flexibilitätsoptionen und -potenziale kann quartiersweites Energiemanagement dem lokalen Verbund und dem Verteilnetz anbieten?
- In welchem Ausmaß können ein quartiersweiter Ausgleich, die Gebäudemasse als thermischer Speicher und die elektrischen Speicherkapazitäten von Elektrofahrzeugen die lokale Nutzung erneuerbarer Energien und die Netzdienstlichkeit des Quartiers erhöhen?
- Welche Partizipations- und Finanzierungschancen können Quartiersenergiegemeinschaften und das zukünftige Strommarktdesign eröffnen, um die Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit von Sanierungskonzepten zu verbessern?
- Wie lassen sich die Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen im Gesamtkontext der Quartierserneuerung in frühen Planungsphasen bewerten und abwägen unter Berücksichtigung konfliktärer, multidimensionaler Ziele und Perspektiven unterschiedlicher EntscheidungsträgerInnen, Betroffener und des Gemeinwohls?
- Welche Handlungsoptionen haben Kommunen zur Initiierung und Steuerung von Quartierserneuerungsprozessen im Allgemeinen und klimaorientierten Maßnahmen im Speziellen, und wie lassen sich verwaltungsinterne Hemmnisse überwinden?

Abgeschlossene assoziierte Projekte:

- **Entwicklung von Technologien zur Wiederverwendung von Ziegelbruch als funktionales Pflanzsubstrat mit Speicherfunktion (bspw. Feuchtigkeit, Nährstoffe) zum Beispiel von Deponieabdeckungen und Baumpflanzsubstraten**

Das Projekt wurde von 2018-2020 an der TU München (Lehrstuhl für Renaturierungsökologie) bearbeitet. Das Projekt wurde durch das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) gefördert. Dieses Förderprogramm des Bundeswirtschaftsministeriums (BMWi) unterstützt Kooperationen mittelständischer Unternehmen mit Forschungseinrichtungen, um marktwirksame Innovationen für die mittelständische Industrie zu entwickeln. Das Projekt wurde in Kooperation mit der

Ziegelei Leipfinger-Bader und der Firma Wurzer Umwelt, die auf Landschaftspflege und Recycling spezialisiert ist, durchgeführt.

Ziegelgranulat ist wachstumsfördernd durch hohes Wasserspeichervermögen und verzögerter Abgabe. Darüber hinaus kann Ziegelbruch die Stabilität und Tragfähigkeit des Bodens erhöhen. Diese positiven Eigenschaften von Ziegel werden nach Abbruch nicht genutzt, wenn er wie üblich als Schüttgut verwendet wird. Im Jahr 2014 fielen in Deutschland rund 55 Millionen Bauschutt inklusive Ziegel an. Für die Rekultivierungsschicht von Deponien werden große Mengen Substrat benötigt. Dieses Substrat unterliegt hohen Anforderungen, weil die Rekultivierungsschicht mit der Vegetation auf lange Sicht die Oberflächensicherung der darunterliegenden technischen Abdichtungsschicht übernimmt.

Das Ziel des Forschungsprojektes ist es, Ziegelbruch wiederzuverwenden, indem man ein neuartiges Pflanzsubstrat daraus entwickelt. Dieses Substrat soll durch die Ziegelzugabe Feuchtigkeit und Nährstoffe besser speichern. Durch Gewächshausversuche mit Wildpflanzensaatgut und Kulturpflanzensaatgut sowie jungen Bäumen soll die Wirkung von Ziegelbeimengungen untersucht werden. Pflanzenarten für das Experiment sind Arten der Glatthaferwiesen und die Stadtbaumarten *Acer platanooides* und *Tilia cordata*. Aus den Versuchen wird abgeleitet, welche physikalisch-chemischen Vorbehandlungen von Ziegeln geeignet sind und wie hoch der Anteil der Beimengung sein kann. Außerdem werden Zusatzstoffe wie Mykorrhiza und unterschiedliche Feuchtigkeitsregime getestet. Das Projekt beantwortet folgende Fragestellungen:

- Welche Pflanzenmischung ist geeignet, um auf einem Pflanzsubstrat mit Ziegeln zu wachsen?
- Erfüllen Wildpflanzenmischungen die Qualitätskriterien des Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards 7-1 besser als Kulturmischungen?
- Welche physikalischen und chemischen Vorbehandlungen und welche Zusatzstoffe verbessern die Wachstumsbedingungen für krautige Pflanzen und Bäume?
- Wie hoch darf der Ziegelanteil im Substrat sein?
- Welche Interaktion gibt es zwischen Substrat und Bewässerung?

- INTERESS-I - Integrierte Strategien zur Stärkung urbaner blau-grüner Infrastrukturen

Das Projekt wurde von 2018-2022 an der Technischen Universität München, Professur für Green Technologies in Landscape Architecture (gtla), bearbeitet. Das Projekt wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Leitinitiative Zukunftsstadt gefördert. Beteiligte Projektpartner waren die TU Kaiserslautern, die Universität Stuttgart, das Institut für sozial-ökologische Forschung, die Helix-Pflanzen GmbH und die Städte Stuttgart und Frankfurt.

Zur nachhaltigen Verbesserung des Stadtklimas bedarf es des Erhalts und des Ausbaus grüner, aber auch blauer Infrastrukturen. Daraus resultiert ein erheblicher Mehrbedarf an Wasser im Verlauf der Vegetationsperiode und insbesondere während hochsommerlicher Hitzewellen. Alternative Wasserressourcen müssen erschlossen, ihre Eignung für die Bewässerung ermittelt, Speichermethoden erprobt und neue Formen des öffentlichen Grüns entwickelt werden. Das Projekt „Integrierte Strategien zur Stärkung urbaner blau-grüner Infrastrukturen“ INTERESS-I stellte diese Herausforderung in den Mittelpunkt und untersuchte die Erfolgsbedingungen und Hemmnisse für eine integrierte urbane blau-grüne Infrastruktur am Beispiel Stuttgarts und Frankfurts.

Folgende Fragestellung und Untersuchungen wurden beleuchtet:

- Mehr Stadtgrün erfordert auch mehr Stadtblau. Doch woher kommt das Wasser für kühle Parks und schattenspendende Bäume?
- Wie wird es aufbereitet, wo gespeichert?
- Sind neue Formen des städtischen Grüns erforderlich?
-

Diesen Fragen ging das Forschungsprojekt INTERESS-I nach und entwickelte und testete zusammen mit Fachleuten aus Verwaltung, Wirtschaft und Forschung sowie der Stadtgesellschaft in Frankfurt und Stuttgart die erforderlichen integrierten Strategien. Dies erfolgt auf unterschiedlichen Maßstabsebenen, von stadtweiten Betrachtungen zu quartiersbezogenen Entwicklungen bis zu modellhaften Umsetzungen in den Impulsprojekten Stuttgart und Frankfurt.

Die Ergebnisse wurden in einem Leitfaden „Integrierte Planung blau-grüner Infrastrukturen“ publiziert. Download unter: <https://mediatum.ub.tum.de/1638459>

Ausblick

Langfristig hat das ZSK das Ziel, sich als *bayerisches Zentrum für Stadt- und Klimafolgenforschung* zu etablieren. Hierfür ist eine enge *Vernetzung* mit Kommunen, anderen Forschungseinrichtungen und Verbänden, wie den Partnern der Bayerischen Klimaallianz notwendig (Abbildung 64). Um das ZSK und dessen Forschung darzustellen, sollte die *Öffentlichkeitsarbeit* ausgebaut werden, z.B. durch die Teilnahme an Workshops, Ausstellungen und Event wie der Bayerischen Klimawoche. Auch die Nutzung von sozialen Medien wie Twitter für die breite Öffentlichkeit oder Research Gate für die wissenschaftliche Gemeinschaft kann die Verbreitung von Forschungsergebnissen fördern. Um aktuelle Themen der zukünftigen Stadt- und Grünraumentwicklung vor allem unter dem Gesichtspunkt eines sich wandelnden Klimas intensiv und multidisziplinär zu untersuchen, ist die *Einbindung weiterer Themenkomplexe und weiterer Forschungseinrichtungen* notwendig. Dazu werden weiterhin Projektanträge entwickelt und neue Teilprojekte (Förderung durch das StMUV) sowie assoziierte Projekte (Förderung durch externe Mittelgeber wie DFG, BMBI) eingeworben.



Abbildung 64: Die Partner und Förderer des ZSK

Veröffentlichungen der Teilprojekte (Stand Juli 2021)

Nachfolgend finden Sie einen Auszug aus den wissenschaftlichen Veröffentlichungen des ZSK.

Weitere Veröffentlichungen und Presseberichte zu den einzelnen Themengebieten finden Sie unter www.zsk.tum.de.

Teilprojekt 1: Klimaschutz und Grüne Infrastruktur in der Stadt

- Pauleit S., Fryd O., Backhaus A., Jensen M.B. (2020). Green Infrastructures to Face Climate Change in an Urbanizing World. In: Meyers R. (eds) Encyclopedia of Sustainability Science and Technology, Springer, New York, NY, DOI: 10.1007/978-1-4939-2493-6_212-3+.
- Lang, W., Pauleit, S. (2020). Leitfaden Klimaschutz und grüne Infrastruktur in der Stadt. 2. Auflage.
- Pauleit, S., Zölch, T., Rahman, M.A., Moser, A., Rötzer, T. (2019). Cool durch grüne Infrastruktur - Die Potentiale des Stadtgrüns zur städtischen Klimawandelanpassung. Transforming Cities 3: 60-65.
- Zölch, T., Wamsler, C., Pauleit, S. (2018). Integrating the ecosystem-based approach into municipal climate adaptation strategies: The case of Germany. Journal of Cleaner Production, 170, 966-977. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.09.146.
- Zölch, T., Henze, L., Keilholz, P., Pauleit, S. (2017). Regulating urban surface runoff through nature-based solutions – An assessment at the micro-scale. Environmental Research, 157, 135-144.
- Zölch, T. (2017). Klimawandel. Was Grün in Städten leistet, Taspo GartenDesign 05/2017.
- Zölch, T. (2017). Grüne Schattenspenden: Ökosystemleistungen grüner Infrastruktur untersucht, BDLA Verbandszeitschrift 3/2017.
- Maderspacher, J., Geyer, P., Auer, T., Lang, W. (2016). Energy optimization of an existing building based on a neural network and a genetic algorithm. eSim 2016. Hamilton, Canada, May 2016.
- 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.
- Maderspacher, J., Geyer, P., Auer, T., Lang, W. (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.
- Geyer, P., Tigges, J., Zölch, T., Gondhalekar, D., Maderspacher, J., Brasche, J., Lang, W., Pauleit, S. (2014). Integrating urban built and green structures to improve climate change mitigation and adaptation. IC2UHI Konferenz. Venedig, Oktober 2014.

Teilprojekt 2: Anwendung der Methode Animal-Aided Design

- Weisser, W. W., Feller, S., Hauck, T. E. (2020). Wer wohnt hier? Garten + Landschaft .
- Bischer, R., Hauck, T. E., Mühlbauer, M., Piecha, J. Reischl, A., Scherling, A., Weisser, W. W. (2018). Ingol- StadtNatur. Animal-Aided Design für den Stadtpark Donau in Ingolstadt. Entwürfe von Studentinnen und Studenten der Universität Kassel und der Technischen Universität München, Technische Universität München und Universität Kassel. Freising, Deutschland.

- Weisser, W. W. & Hauck, T. E. (2017). Animal-aided design - using a species life cycle to improve open space planning and conservation in cities and elsewhere, *BioRxiv* 150359, DOI: 10.1101/150359.
- Weisser, W. W., Roscher, C., Meyer, S. T., Ebeling, A., Luo, G., Allan, E., Beßler, H., Barnard, R. L., Buchmann, N., Buscot, F., Engels, C., Fischer, C., Fischer, M., Gessler, A., Gleixner, G., Halle, S., Hildebrandt, A., Hillebrand, H., de Kroon, H., Lange, M., Leimer, S., Le Roux, X., Milcu, A., Mommer, L., Niklaus, P. A., Oelmann, Y., Proulx, R., Rox, J., Scherber, C., Scherer-Lorenzen, M., Scheu, S., Tschardtke, T., Wachendorf, M., Wagg, C., Weigelt, A., Wilcke, W., Wirth, C., Schulze, E.-D., Schmid, B., Eisenhauer, N. (2017). Biodiversity effects on ecosystem functioning in a 15-year grassland experiment: Patterns, mechanisms, and open questions, *Basic and Applied Ecology* 23, 1-73, DOI: 10.1016/j.baae.2017.06.002.
- Simons, N. K. & Weisser, W. W. (2017). Agricultural intensification without biodiversity loss is possible in grassland landscapes, *Nature Ecology & Evolution* 1 (8), 1136-1145, DOI: 10.1038/s41559-017-0227-2.
- Hauck, T. E., & Weisser, W. W. (2017). Animal-Aided Design – Zur Steuerung und Planung des Vorkommens von wilden Tieren in der Stadt. In Hauck, T. E., Hennecke, S., Kriebler, A., Reinert, W. M., & Roscher, M. (Hrsg.), *Urbane Tier-Räume* (S. 65-81). Berlin.
- Hauck, T. E., & Weisser, W. W. (2017). Taming the Shrew (Beitrag über Animal-Aided Design). *Topos* 101, Dezember 2017.
- Hauck, T. E., & Weisser, W. W. (2015). Animal-Aided Design – Integration von Tierbedürfnissen in die Planung urbaner Freiräume, *anthos* 4|2015, S. 20-23.
- Hauck, T. E., & Weisser, W. W. (2015). Animal-Aided Design – Integration von Tierbedürfnissen in die Planung urbaner Freiräume, *Stadt+Grün* 2|2015, Patzer Verlag, S. 49-54.
- Hauck, T. E., & Weisser, W. W. (2015). Animal-Aided Design – Integration von Tierbedürfnissen in die Planung urbaner Freiräume, *dergartenbau* 4|2015.
- Hauck, T. E., & Weisser, W. W. (2015). Animal-Aided Design – Integration von Tierbedürfnissen in die Planung urbaner Freiräume, *Nodium* #7, 4|2015.
- Schelle, R., Hauck, T. E., & Weisser, W. W. (2013). Animal-Aided Design – Integration von Tierbedürfnissen, *Garten+Landschaft, Gehölzverwendung* Heft 12, S. 32-35.

Teilprojekt 3: City Trees II – Stadtbäume im Klimawandel

- Moser-Reischl, A., Rötzer, T., Pauleit, S., Pretzsch, H. (2021). Urban Tree Growth Characteristics of Four Common Species in South Germany. *Arboriculture & Urban Forestry* 47 (4), 150-169.
- Pretzsch, H., Moser-Reischl, A., Rahman, M. A., Pauleit, S., Rötzer, T. (2021). Towards sustainable management of the stock and ecosystem services of urban trees. From theory to model and application. *Trees*. Doi 10.1007/s00468-021-02100-3.
- Moser-Reischl, A., Rahman, M. A., Pretzsch, H., Pauleit, S., Rötzer, T. (2019). Growth patterns and climate relationships of two contrasting urban tree species. *Landscape and Urban Planning*, 183: 88-99.
- Rahman, M. A., Moser, A., Anderson, M., Zhang, C., Rötzer, T. (2019). Comparing the infiltration potentials of soils beneath the canopies of two contrasting urban tree species. *Urban Forestry & Greening* 38:22-32. DOI: 10.1016/j.ufug.2018.11.002.
- Rötzer, T., Rahman, M. A., Moser-Reischl, A., Pauleit, S., Pretzsch, H. (2019). Process based simulation of tree growth and ecosystem services of urban trees under present and future climate conditions. *Science of the Total Environment* 676: 651--664. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.235.

- Stratópoulos, L. M. F., Zhang, C., Häberle, K.-H., Pauleit, S., Duthweiler, S., Pretzsch, H., Rötzer, T. (2019). Effects of drought on the phenology, growth and morphological development of three urban tree species and cultivars. *Sustainability* 11(18), 5117. DOI: 10.3390/su11185117.
- Zhang, C., Stratópoulos, L. M. F, Pretzsch, H., Rötzer, T. (2019). How do *Tilia cordata* Greenspire trees cope with drought stress regarding their biomass allocation and ecosystem services. 10(8), 676. DOI: 10.3390/f10080676.
- Moser, A., Rahman, M. A., Pauleit, S., Pretzsch, H., & Rötzer, T. (2017). Inter- and intraannual growth patterns of urban small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) at two public squares with contrasting micro-climatic conditions. *International Journal of Biometeorology*. DOI 10.1007/s00484-016-1290-0.
- Rahman, M. A., Moser, A., Rötzer, T., & Pauleit, S. (2017). Within canopy temperature differences and cooling ability of *Tilia cordata* trees grown in urban conditions. *Building and Environment* 114, 118–128.
- Rahman, M. A., Moser, A., Rötzer, T., & Pauleit, S. (2017). Microclimatic differences and their influence on evapotranspirational cooling of *Tilia cordata* in two contrasting street canyons in Munich, Germany. *Agricultural and Forest Meteorology* 232, 443–456.
- Moser, A., Rötzer, T., Pauleit, S., & Pretzsch, H. (2016). The urban environment can modify drought stress of small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) and black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). *Forests* 7, 71. DOI: 10.3390/f7030071.
- Rahman, M.A., Moser, A., Rötzer, T., Pauleit, S. (2016). 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: 10.1016/j.agrformet.2016.10.006.
- 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.). urban environments. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(4), 1110-1121.

Teilprojekt 4: 100Places:M

- Konferenz "100Places:M: Urbane Naturen-Kulturen entwerfen", Vorhoelzer Forum, Technische Universität München, München 11.-12.10.2018. Vorträge können auf YouTube abgerufen werden.
- Konferenz "CFP: Circling the Square: Re-designing nature-cultures in a changing urban climate", Technische Universität München, 23.-24.11.2017.

Teilprojekt 5: Vorstudie: Gebietsfremde und heimische Stadtklimabäume

- Böll, S., Albrecht, R., Mahsberg, D., Peters, M. (2021). Stadtklimabäume – geeignete Habitate für die urbane Insektenfauna? *Baumzeitung* 4-2021.
- Dietrich, M.; Böll, S., Schönfeld, P. (2020). Pfaffenhofen an der Ilm – klimagerechter Ausbau der Grünflächen, Stadt+Grün.
- Böll, S., Albrecht, R., Mahsberg, D. (2020). Geeignete Habitate für die urbane Insektenvielfalt? *Deutsche Baumschule* 5/2020: 25-31.
- Böll, S., Albrechts, R., Mahsberg, D. (2019). Stadtklimabäume – geeignete Habitate für die urbane Insektenvielfalt? *LWG Aktuell*.
- Böll, S., Albrechts, R., Mahsberg, D. (2019). Insektenvielfalt in den Kronen heimischer und nicht-heimischer Stadtbaumarten, *Forstwissenschaftlichen Beiträgen Tharandt, Beiheft 21 der Universität Dresden*.
- Böll, S., Mahsberg, D., Albrecht, R., Peters, M. (2019). Urbane Artenvielfalt fördern, *Naturschutz & Landschaftsplanung*, 51: 576-583.

Teilprojekt 6: Klimaerlebnis Würzburg

- Rötzer, T., Moser-Reischl, A., Rahman, M.A., Hartmann, C., Paeth, H., Pauleit, S., Pretzsch, H. (2021). Urban tree growth and ecosystem services under extreme drought. *Agricultural and Forest Meteorology*, 308, DOI: 10.1016/j.agrformet.2021.108532.
- Rahman, M. A., Hartmann, C., Moser-Reischl, A., Freifrau von Strachwitz, M., Paeth, H., Pretzsch, H., Pauleit, S., Rötzer, T. (2020). Tree cooling effects and human thermal comfort under contrasting species and sites. *Agricultural and Forest Meteorology* 287. DOI: 10.1016/j.agrformet.2020.107947.
- Rahman, M.A., Stratópoulos, L.M.F., Moser-Reischl, A., Zölch, T., Häberle, K.H., Rötzer, T., Pretzsch, H., Pauleit, S. (2020). Traits of trees for cooling urban heat islands: A meta-analysis. *Building and Environment*, Vol. 170, p.15. DOI: 10.1016/j.buildenv.2019.106606.
- Hartmann, C. (2018). Klimaerlebnis Würzburg. In *Anthos – Zeitschrift für Landschaftsarchitektur*. Veröffentlicht: September 2018.

Teilprojekt 8: Bunte Bänder für unsere Städte in Zeiten des Klimawandels

- Dietzel, S., Sauter, F., Moosner, M., Fischer, C. & Kollmann, J. (2019): Blühstreifen und Blühflächen in der landwirtschaftlichen Praxis – eine naturschutzfachliche Evaluation. – *ANLiegen Natur* 41(1): 73–86, Laufen. www.anl.bayern.de/publikationen.
- Dietzel, S., Kollmann, J., Albrecht, H., Fischer, C. (2019): Wildflower patches as urban green infrastructure and habitat for pollinators. *GfÖ-Tagung Münster*. Poster.
- Rojas, S. (2020). Restoration of biodiversity and ecosystem services. Improvement of climatic resilience and invasion resistance in urban landscapes, Nodium.
- Dietzel, S. & Fischer, C. (2020). Ausbreitungsbewegung von *Isodontia mexicana* (SAUSSURE 1867, Stahlblauer Grillenjäger) in Bayern: Erster Nachweis im Stadtgebiet von München, *Nachrichtenblatt der Bayerischen Entomologen* 69 (2/2).

Teilprojekt 9: KlimaKübelBäume

- Ludwig, F., Pauleit, S., Pretzsch, H., Rötzer, T., Fleckenstein, C., Rahman, M., Dervishi, V. (2021): KlimaKübelBäume, Bundeskongress Gebäudegrün.

Teilprojekt 10: Leistungen von Stadtgrün an öffentlichen Plätzen

- Rahman, M. A., Dervishi, V., Moser-Reischl, A., Ludwig, F., Pretzsch, H., Rötzer, T., Pauleit, S. (2021): Comparative analysis of shade and underlying surfaces on cooling effect. *Urban Forestry & Urban Greening* 63 (115):127223.
- Stark da Silva, P. W., Pauleit, S. (2022): Green infrastructure as a tool to achieve seasonal outdoor thermal comfort in Munich's urban squares. *EFUF 2022 Belgrade, Serbia*.

Teilprojekt 11: Nachverdichtung im Kontext des Klimawandels

- Gabriel, M., Fellner, J., Reitberger, R., Lang, W., Petzold, F. (2021): Voxel based method for real-time calculation of urban shading. *Proceedings of SimAUD Conference 2021*.
- Reitberger, R., Fellner, J., Lang, W., Petzold, F. (2021): Life Cycle Assessment of vertical building extensions in early design stages. *Energy Sciences for Europe's Green Deal - 11th Colloquium of the Munich School of Engineering 2021*, 60.
- Reitberger, R., Fellner, J., Gabriel, M., Lang, W., Petzold, F. (2021): Using voxel masks to assess evapotranspirative cooling from urban tree arrangements. *Energy Sciences for Europe's Green Deal - 11th Colloquium of the Munich School of Engineering 2021*, 65.

- Reitberger, R., Banihashemi, F., Lang, W. (2022): Sensitivity and Uncertainty Analysis of combined Building Energy Simulation and Life Cycle Assessment - Implications for the Early Urban Design Process. POST-CARBON, Proceedings of the 27th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA) 2022, Volume 2, 629-638.
- Banihashemi, F., Reitberger, R., Lang, W. (2022): Investigating Urban Heat Island and Vegetation Effects under the influence of Climate Change in Early Design Stages - For Performance-Based Early Urban Design Decisions. POST-CARBON, Proceedings of the 27th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA) 2022, Volume 2, 679-688.

Teilprojekt 13: Begleitforschung Modellvorhaben des Experimentellen Wohnungsbaus

- Bienert, S., Geiger, P., Spanner, M. (2020): Naturgefahren und Immobilienwerte in Deutschland. IREBS Beiträge zur Immobilienwirtschaft Band 25.
- Bienert, S. (2021): Carbon Metrics Can Help The Real Estate Sector. Buildings & Cities Special Issue.

Teilprojekt 14: Multifunktionale Versickerungsmulden im Siedlungsraum

- Duthweiler, S., Eben, P. (2021): Regenwasserversickerungskonzepte mit regionalen Pflanzen. Die Regionalisierung in der Staudenverwendung wird wiederentdeckt. Stadt+Grün, 70 (9), 17-22.

Literaturempfehlungen zu den Themen des ZSK

- Rötzer, T., Moser-Reischl, A., Rahman, M. A., Grote, R., Pauleit, S., Pretzsch, H. (2021). Modelling urban tree growth and ecosystem services - review and perspectives. Progress in Botany.
- Rahman, M.A., Stratópoulos, L.M.F., Moser-Reischl, A., Zölch, T., Häberle, K.-H., Rötzer, T., Pretzsch, H., Pauleit, S. (2020). Traits of trees for cooling urban heat islands: A meta-analysis. Building and Environment 170, 106606.
- Meyer, S. T., Ptacnik, R., Hillebrand, H., Bessler, H., Buchmann, N., Ebeling, A., Eisenhauer, N., Engels, C., Fischer, M., Halle, S., Klein, A.-M., Oelmann, Y., Roscher, C., Rottstock, T., Scherber, C., Scheu, S., Schmid, B., Schulze, E.-D., Temperton, V. M., Tschardt, T., Voigt, W., Weigelt, A., Wilcke, W., Weisser, W. W. (2018). Biodiversity-multifunctionality relationships depend on identity and number of measured functions, Nature Ecology & Evolution, 2, 44-49. DOI: 10.1038/s41559-017-0391-4.
- Pauleit, S., Hansen, R., Rall, E. L., Zölch, T., Andersson, E., Luz, A., Santos, A., Szaraz, L., Tosics, I., Vierikko, K. (2017). Urban Landscapes and Green Infrastructure, Oxford Encyclopedia of Environmental Science.
- Hauck, T., & Hennecke, S. (2017). Die Funktionalisierung der Landschaftsästhetik für die urbane Freiraumplanung – Beispiele aus der frühen industriellen Großstadt in Deutschland und den USA. In O. Kühne, H. Megerle, F. Weber (Hrsg.), *Landschaftsästhetik und Landschaftswandel* (S. 269-282). Wiesbaden.
- Czechowski, D., Hauck, T., & Hausladen, G. (Hrsg.). (2015). Revising Green Infrastructure – Concepts between Nature and Design, *Boca Raton* (FL).
- Böll, S., Schönfeld, P., Körber, K., & Herrmann J.V. (2014). Stadtgrün 2021: Stadtbäume der Zukunft. *Deutsche Baumschule* 02/2014, 21-26.
- Gloor, S. (2014). Der ökologische Wert von Stadtbäumen bezüglich ihrer Bedeutung für die Biodiversität. *Grün Stadt Zürich und SWILD*.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Forschungsthemen des ZSK (ZSK, TP1)	6
Abbildung 2: Die aktuell laufenden Teilprojekte des ZSK. Stand Juli 2022 (Grafik: ZSK)	7
Abbildung 3: Die bereits abgeschlossenen Teilprojekte des ZSK. Stand Juli 2022 (Grafik: ZSK)	8
Abbildung 4: Teilprojekt 1 – Klimaschutz und grüne Infrastruktur in der Stadt.....	9
Abbildung 5: Projektaufbau und methodisches Vorgehen (Grafik: TP 1)	10
Abbildung 6: Regionales Klimamodell REMO: Änderung der Jahresmitteltemperatur für die Region München von 1990 bis 2100 nach unterschiedlichen Klimawandelszenarien (IPCC) (Grafik: TP 1).....	10
Abbildung 7: Energiebedarf nach unterschiedlichen Sanierungsstandards in Abhängigkeit der klimatischen Veränderungen (Grafik: TP 1)	11
Abbildung 8: Mikroklimasimulation eines Modellblocks in der Münchner Maxvorstadt mit ENVI- met (Grafik: TP 1).....	11
Abbildung 9: Neue Lebensqualität: Blick auf einen begrünten Innenhof in der Maxvorstadt (Szenario) (Grafik: TP 1)	11
Abbildung 10: Auszug aus der Stadtklimaanalyse der Landeshauptstadt München (Grafik: Referat für Gesundheit und Umwelt, Landeshauptstadt München, 2014).....	12
Abbildung 11: Lebenszyklus des Rotkehlchens (Grafik: S. Jahnke)	13
Abbildung 12: Kommerziell erhältliche Fassaden-quartiere für Spatzen und Fledermäuse wurden so in die Fassade integriert, dass sie zur Gesamtgestaltung des Gebäudes passen und gleichzeitig den Ansprüchen der Arten genügen. Mögliche Typische Konflikte wurden vermieden, indem z. B. die Quartiere nicht oberhalb von Fenstern angebracht wurden (Quelle: AAD).....	14
Abbildung 13: Gesamtplan des Projektgebiets mit allen Entwurfsorten (aus Broschüre „INGOLSTADTNATUR: Animal-Aided Design für den Stadtpark Donau in Ingolstadt – Entwürfe von Studentinnen und Studenten der Universität Kassel und der Technischen Universität München“).....	14
Abbildung 14: Ansicht „Totholzpfad“ (aus Broschüre „INGOLSTADTNATUR: Animal-Aided Design für den Stadtpark Donau in Ingolstadt – Entwürfe von Studentinnen und Studenten der Universität Kassel und der Technischen Universität München“).....	15
Abbildung 15: Lebenszyklus des Grünspechts (<i>Picus viridis</i>). Quelle: AAD	15
Abbildung 16: Umweltleistungen von Stadtbäumen in Abhängigkeit der Baumart, der Vitalität und des Alters (Grafik: TP 3)	16
Abbildung 17: Das Wachstumsmodell CityTree (Grafik: TP 3).....	17
Abbildung 18: Mittlere jährliche Kühlleistung in Abhängigkeit von der Baumart und dem Baualter im Mittel der sechs bayerischen Städte.	17
Abbildung 19: Kühlung durch Transpiration von Winterlinden, Platanen, Robinien und Rosskastanien in bayerischen Städten (Grafik: TP 3).....	19
Abbildung 20: Marienhof, München (Foto: R. Keller).....	20
Abbildung 21: GIS Kartierung – Beispiel Alpenplatz (Quelle: 100Places:M).....	21
Abbildung 22: Datenbank– Beispiel Alpenplatz (Quelle: 100Places:M).....	21
Abbildung 23: Testentwurf Baldeplatz Dittrich/Krimmer (Quelle: 100Places:M).....	22
Abbildung 24: Blattfraß an der Hopfenbuche (Foto: S. Böll)	23
Abbildung 25: Eklektoren und Gelbtafel in <i>Fraxinus ornus</i> , kurz vor dem Blattaustrieb.....	24
Abbildung 26: Fallenwechsel im Hubsteiger	25

Abbildung 27: Mittlere Individuenzahlen einzelner Arthropodengruppen auf heimischen (grün) und südosteuropäischen (gelb) Baumarten (* $p < 0,01$).....	25
Abbildung 28: Prozentuale Anteile der Hautflügler-Familien an der Gesamtabundanz (3301 Individuen) auf den Versuchsbaumarten	25
Abbildung 29: Artenvielfalt der Wildbienen auf den einzelnen Baumarten. Kruskal Wallis-ANOVA $p = 0,29$	26
Abbildung 30: Artenzahl dominanter Taxa* auf heimischen, südosteuropäischen oder beiden Baumartengruppen (* Auchenorrhyncha, Heteroptera, Chrysomelidae, Curculionidae, Apidae)	26
Abbildung 31: Skabiosenfurchenbiene (<i>Halictus scabiosae</i>) und eine kleine Furchenbienenart der Gattung Lasioglossum	26
Abbildung 32: Messstandorte in Würzburg (Baum = Baumstandort, Thermometer = Klimastandort).....	27
Abbildung 33: Sensoren am Standort.....	27
Abbildung 34: Wärmebezogene klimatologische Kenntage in den Jahren 2018, 2019 und 2020 sowie im langjährigen Mittel an drei Standorten im Würzburger Stadtgebiet	28
Abbildung 35: Transpiration von Winterlinden und Robinien im Vergleich	29
Abbildung 36: Bedingungen am Standort Baum und der Komfort des Menschen unter Stadtbäumen.....	29
Abbildung 37: Bild „Bunte Bänder für unsere Städte“ – Teilprojekt 8 (S. Dietzel)	31
Abbildung 38: Schematischer Versuchsaufbau der "Bunten Bänder" entlang von Hauptverkehrsachsen in München.	32
Abbildung 39: Thermobilder von Beton (a, c) und Blühflächen (b, d). Die Temperaturspanne der Fläche steht auf der rechten Seite. Temperatur des Mittelpunkts ist in der oberen linken Bildecke aufgezeigt (S. Rojas-Botero)	33
Abbildung 40: Klimakammer während des Experiments im Klimaszenario RCP 2.6 (S. Rojas-Botero).....	33
Abbildung 41: Artenzahlen der Blühflächen (lila) und Kontrollflächen (grün) entlang des urbanen Gradienten unterscheiden sich deutlich (S. Rojas-Botero).....	34
Abbildung 42: Die Anzahl der angelegten Brutzellen von Wildbienen stieg auf den Versuchsflächen mit dem Blütenangebot (S. Dietzel).....	34
Abbildung 43: Oberflächentemperaturen von Beton (grau), Standardbegrünung (Kontrolle, grün) und angesäten Flächen (lila) in den drei Urbanisierungskategorien (S. Rojas-Botero).....	34
Abbildung 44: Unter Trockenstress (blau = 0, orange = 1) verringern sich Biomasse- und Blütenproduktion in der Klimawandelsimulation (S. Rojas-Botero).	34
Abbildung 45: Aufbau Pflanzversuch 1, Stand 06.05.2020, Foto: C. Fleckenstein	35
Abbildung 46: Detailansicht Pflanzversuch 1, Stand 06.05.2020, Foto: C. Fleckenstein.....	36
Abbildung 47: Auswahl an Versuchsbäumen, Stand 07.07.2020, Foto: C. Fleckenstein.....	37
Abbildung 48: Verschiedene Stadtplätze in München.....	38
Abbildung 49: Karte der im Rahmen des Projekts untersuchten Plätze	39
Abbildung 50: Artenverteilung der Stadtbäume (oben) und Stammdurchmesserklassen der fünf häufigsten Baumarten (unten) an den 25 Plätzen in München	40
Abbildung 51: Mittlere jährliche CO ₂ -Bindung (oben) und Transpiration (unten) der einzelnen Baumarten am Rotkreuzplatz in München (Simulationsergebnisse des CityTree-Modells nach Rötzer et al. 2019).....	40
Abbildung 52: CDP, eine interaktive Entwurfsplattform im städtischen Kontext.....	42
Abbildung 53: Analyse Kriterien in der CDP	43
Abbildung 54: Prototyp für das CDP Plugin.....	44

Abbildung 55: Projektablauf.....	44
Abbildung 56: Anlage einer Dachbegrünung als Experiment zur Erhöhung des Wertes für Insekten.....	45
Abbildung 57: Wechselwirkungen zwischen Praxis und Forschung.....	46
Abbildung 58: Kosten-Nutzen- und Mehrwertanalyse	47
Abbildung 59: Pilotprojekt in Pfaffenhofen a. d. Ilm	48
Abbildung 60: Schema einer multifunktionalen Versickerungsmulde.....	49
Abbildung 61: Projektaufbau und Vorgehensweise	50
Abbildung 62: Hohe städtische Versiegelung und Spitzahorne. Foto: Ute Windisch.	51
Abbildung 63: Die am GRK beteiligten Professuren und Fachbereiche der TUM.....	53
Abbildung 64: Die Partner und Förderer des ZSK	60

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Prozentuale Veränderung der Ökosystemleistungen der vier Baumarten im Mittel der sechs bayerischen Städte für die nahe Zukunft (2026-2050) unter den Bedingungen des Szenari-ums A1B gegenüber dem aktuellen Klima (1965-2015)	18
Tabelle 2: Versuchsbaumarten.....	24
Tabelle 3: Gesamtzahl der 2017 gefangenen Arthropoden pro Fallentyp.....	25
Tabelle 4: Funktionale Pflanzenmerkmale, die bei der Auswahl der optimalen Blütmischung in der Clusteranalyse berücksichtigt wurden.	32