

Zentrum Stadtnatur und Klimaanpassung (ZSK)

Aktualisierter Projektstand, November 2020



Grafik: ZSK, TP1



finanziert durch
Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz



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, das 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.

Prof. Dr. Thomas F. Hofmann

Grußwort des ZSK

Städte sind durch ihre hohen Bevölkerungs- und Bebauungsdichte 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 und Ökologie, um drängende Fragen rund um die Klimaanpassung der nachhaltigen Stadt von morgen zu beantworten (Abb. 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?

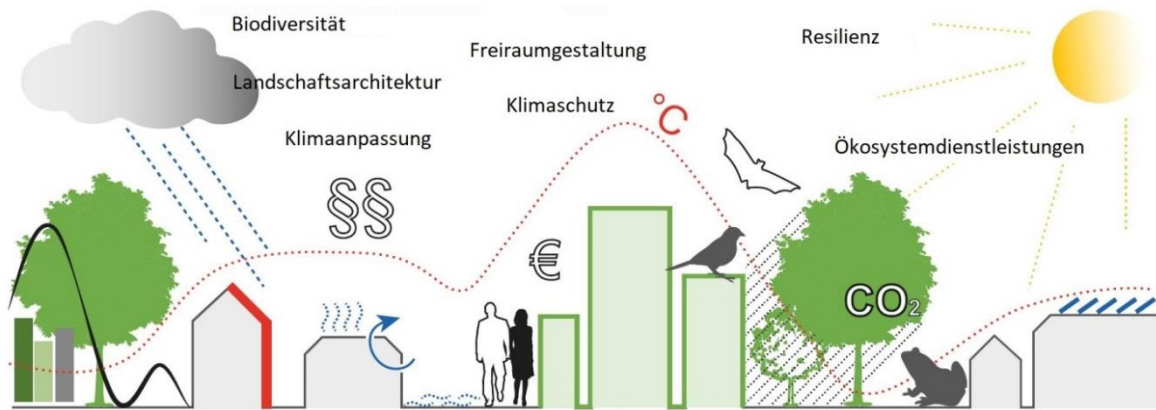


Abbildung 1: Forschungsthemen des ZSK (ZSK, TP1)

Das ZSK besteht derzeit aus elf Teilprojekten (TP), von denen sechs aktuell durchgeführt werden (Abb. 2) und fünf bereits erfolgreich abgeschlossen sind (Abb. 3). Die TPs werden von Wissenschaftler*innen der Technischen Universität

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

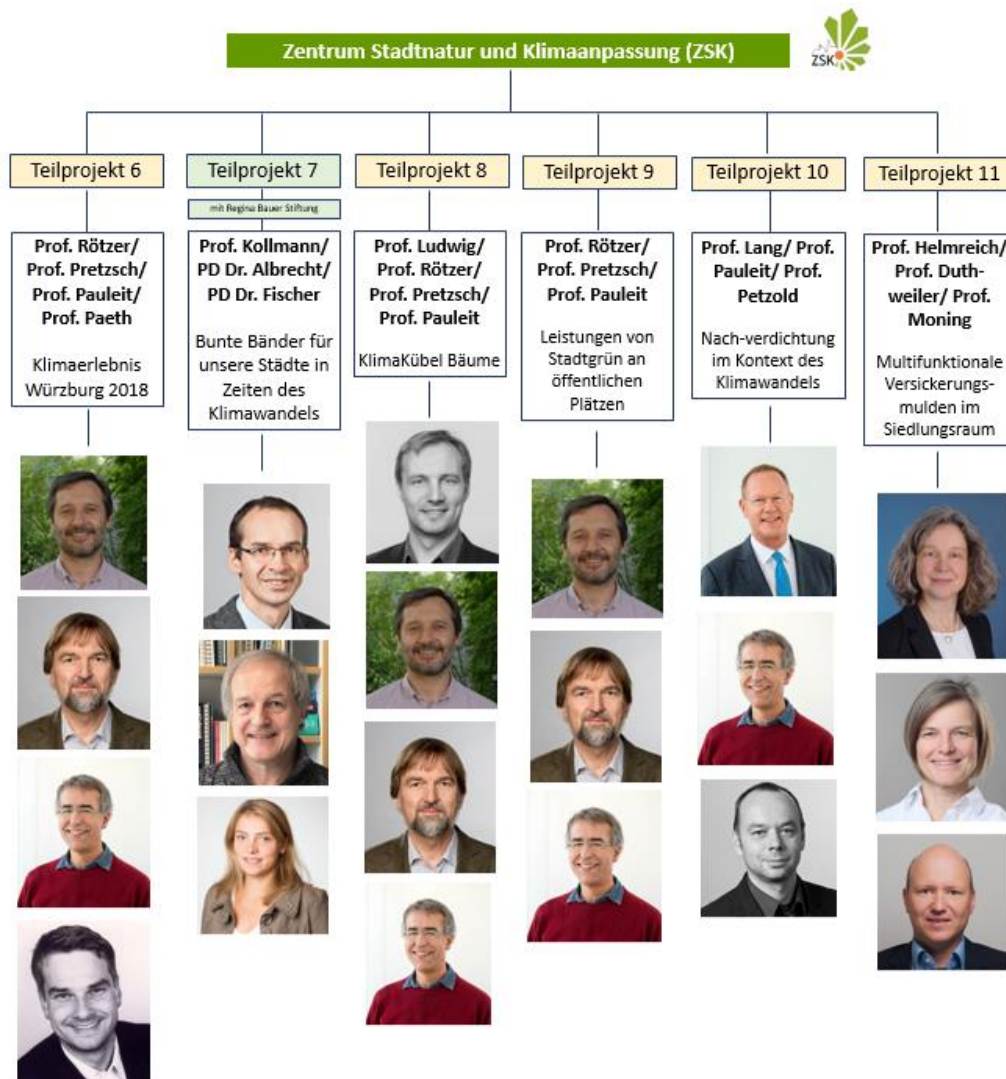


Abbildung 2: Die aktuell laufenden Teilprojekte des ZSK. Stand November 2020 (Grafik: ZSK)

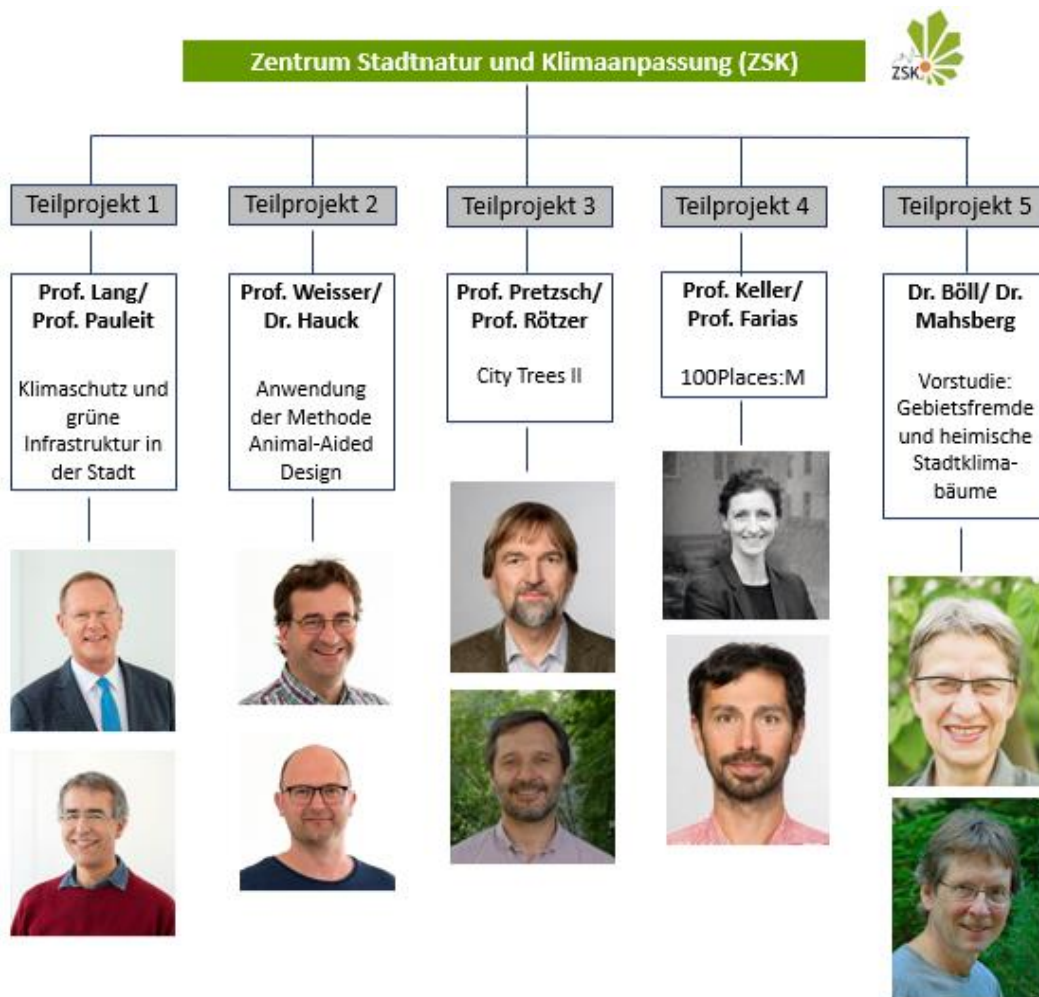


Abbildung 3: Die bereits abgeschlossenen Teilprojekte des ZSK. Stand November 2020 (Grafik: ZSK)

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 und dem Deutschen Wetterdienst (DWD).

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 TPs vorgestellt. Besuchen Sie uns auch auf unserer Webseite www.zsk.tum.de.

Teilprojekt 1 – Klimaschutz und grüne Infrastrukturen in der Stadt

Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen, TUM (Prof. Dr.-Ing. Werner Lang) und Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsentwicklung, TUM (Prof. Dr.-Ing. Stephan Pauleit)

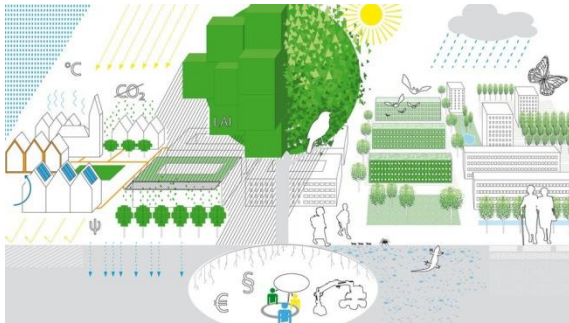


Abbildung 4: Teilprojekt 1 – Klimaschutz und grüne Infrastruktur in der Stadt

Projektlaufzeit

Juni 2013 bis Juli 2017 (abgeschlossen)

Ausgangspunkt und Fragestellung

Das Forschungsprojekt thematisiert die Frage, wie sich die beiden Säulen Klimaschutz und Klimaanpassung in der Stadt verzahnen lassen, um die entstehenden Synergieeffekte nutzen zu können. Dabei stand die Rolle der grünen Infrastruktur wie Dach- und Fassadenbegrünung bzw. mit Bäumen begrünete Hinterhöfe oder Straßenräume im Vordergrund.

Ziele

Zu den Zielen des TPs gehörte die Entwicklung von integrierten Strategien für Klimaschutz und Klimaanpassung. Für drei Siedlungstypologien bayerischer Städte (Blockbebauung, Zeilenbebauung und mittelalterlicher Stadtkern) wurde mit Modellierungen die Regulationsleistung grüner Infrastrukturen sowie der Einfluss des Klimawandels auf den zukünftigen 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 des Klimawandels
- 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 aus München und Würzburg sowie Interessierte wurden im Rahmen regelmäßiger Workshops und Veranstaltungen über die laufende Arbeit 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. Der Leitfaden wird auf der Homepage des ZSK (www.zsk.tum.de) zum Download zur Verfügung gestellt.

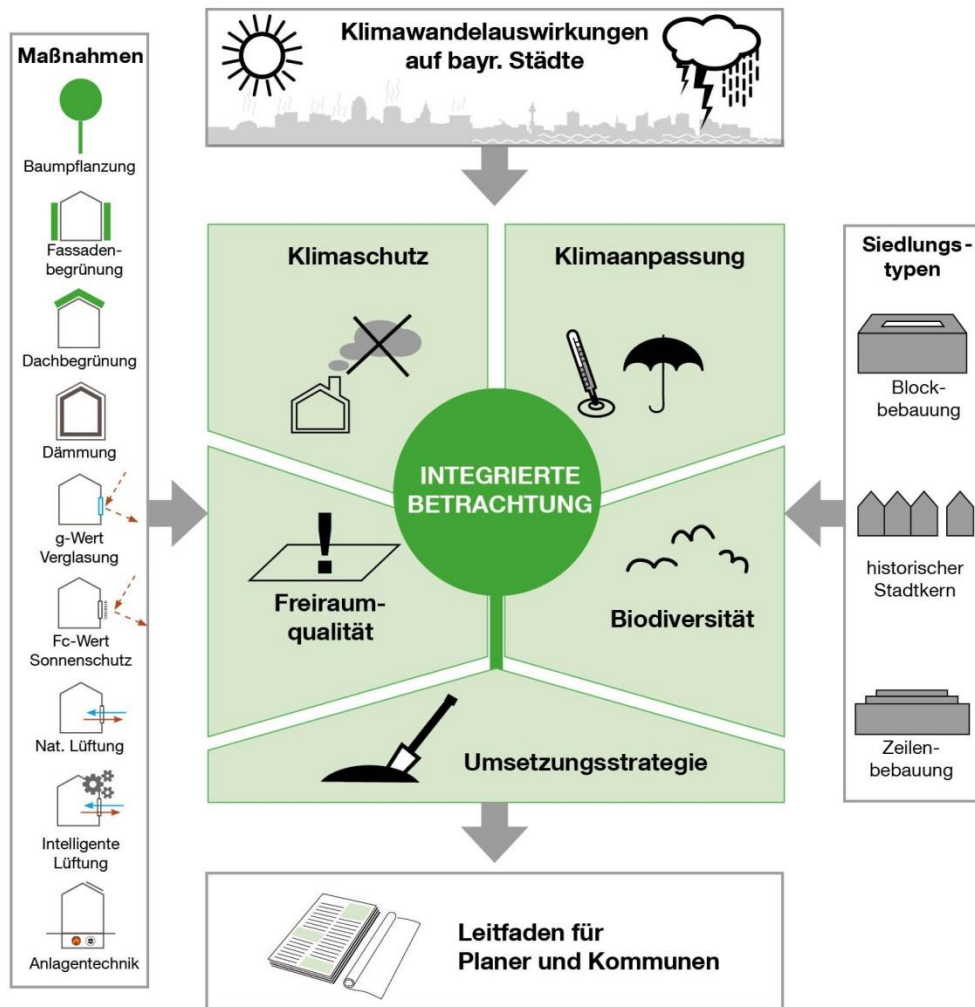


Abbildung 5: Projektaufbau und methodisches Vorgehen (Grafik: TP1)

Bayer. Städte im Klimawandel

Projektionen des zukünftigen Klimas zeigen deutlich: die Anzahl der „heißen Tage“ nimmt zu und vor allem nachts kühlen die Städte viel weniger aus. Sie sind dicht bebaut, hoch versiegelt und durch den 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.

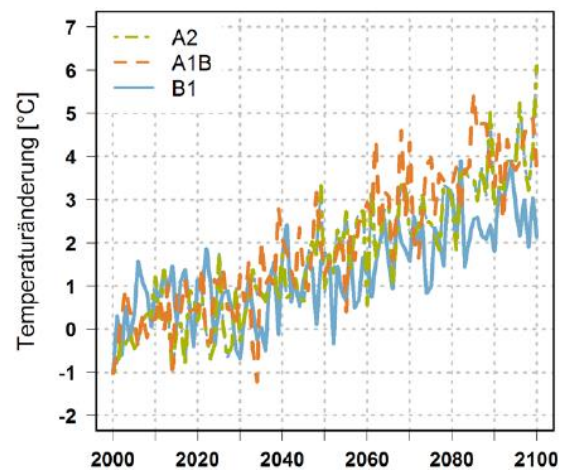


Abbildung 6: Regionales Klimamodell REMO: Änderung der Jahresmitteltemperatur für die Region München von 1990 bis 2100 nach unterschiedlichen Klimawandelszenarien (IPCC) (Grafik: TP1)

Während der Heizbedarf durch die klimatische Erwärmung geringer wird, steigt dafür der Kühlbedarf an. Je nach energetischem Stan-

dard des Gebäudes (Bestand, 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.

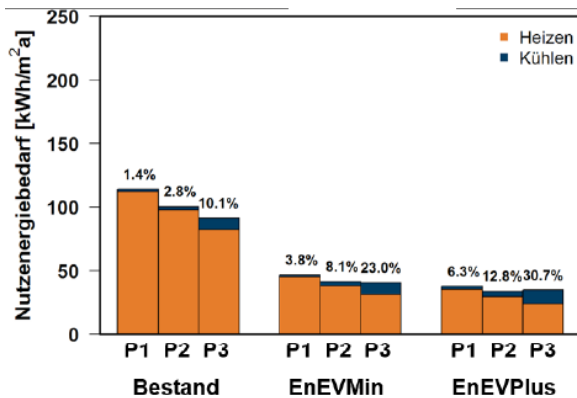


Abbildung 7: Energiebedarf nach unterschiedlichen Sanierungsstandards in Abhängigkeit der klimatischen Veränderungen (Grafik: TP1)

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.

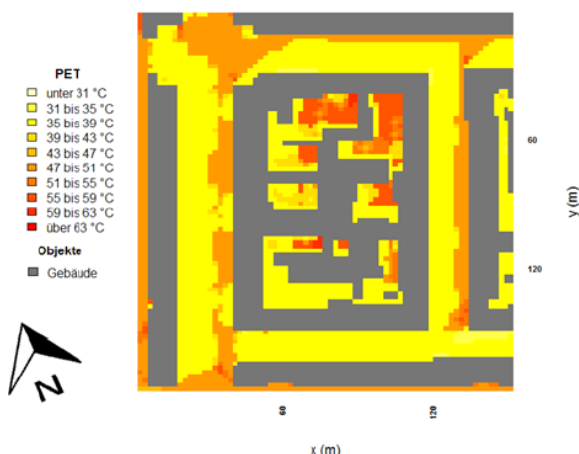


Abbildung 8: Mikroklimasimulation eines Modellblocks in der Münchner Maxvorstadt mit ENVI-met (Grafik: TP1)

Die Stadt als Lebensraum

Begrünungsmaßnahmen von Städten sind angesichts zunehmender Hitze- und Starkregenereignisse notwendig. 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 klimangepassten 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: TP1)

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.

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

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 jedoch auch in Zukunft den größten Anteil am Energiebedarf ausmachen.
3. Um CO₂-Emissionen durch Klimaanlage etc. einzuschränken, sollten Maßnahmen wie Sonnenschutz und Lüftung zum sommerlichen Wärmeschutz eingeplant werden.
4. Bäume haben den größten Einfluss auf das Kleinklima einer Stadt. Der Baumbestand in der Stadt 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 in der Stadt 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 Regenwasserkanäle 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 miteinbezogen werden.
9. Planungsinstrumente wie städtebauliche Verträge bieten zur Festlegung von Grünflächenanteilen durch die Stadt großes Potenzial.

Gestaltungsvorschläge für Blockbebauung (München Maxvorstadt)



Begrünungsszenario



Verortung von Maßnahmen

Zeilenbebauung (München Neuaubing)



Begrünungsszenario



Verortung von Maßnahmen

Historischer Stadtkern (Würzburg Heidingsfeld)



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

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) und Fachgebiet Freiraumplanung, Universität Kassel (Dr.-Ing. Thomas E. Hauck)

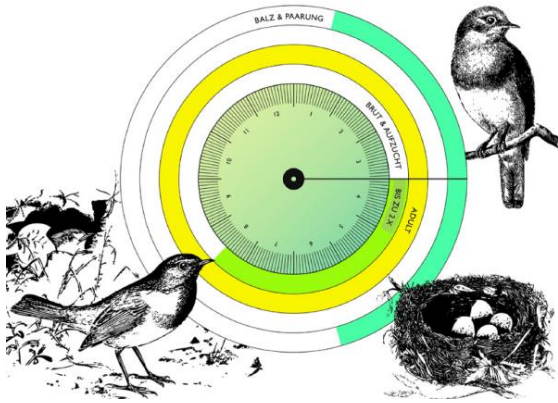


Abbildung 11: Lebenszyklus des Rotkehlchens (Grafik: S. Jahnke)

Projektlaufzeit

Oktober 2015 bis Februar 2019

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 gewähren und die Artenvielfalt von Flora und Fauna auch erleben zu können, wird es zukünftig nicht mehr ausrei-

chen, 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 (Abb. 12).

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.

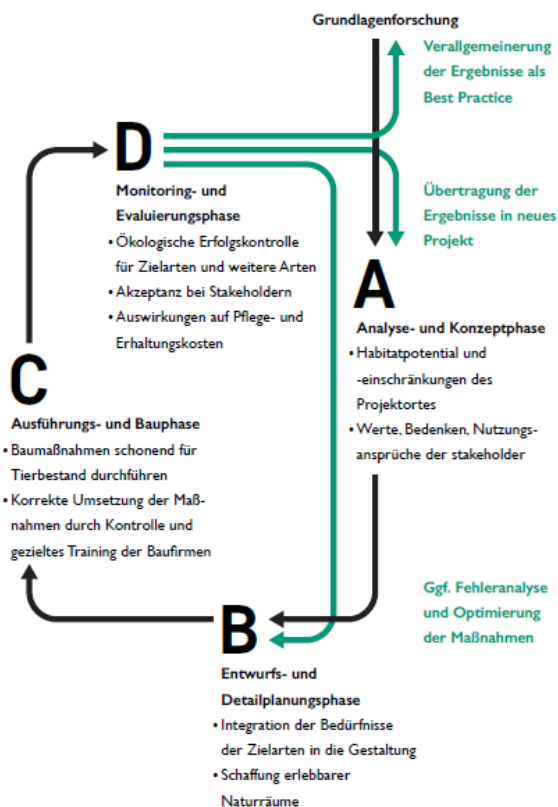


Abbildung 12: Schema zum Planungsablauf mit Animal-Aided Design (aus Broschüre „Animal-Aided Design im Wohnumfeld“)

Beim Nachverdichtungsprojekt der GEWOFAG 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 (Abb. 13).

FASSADENBRUTHÖHLEN

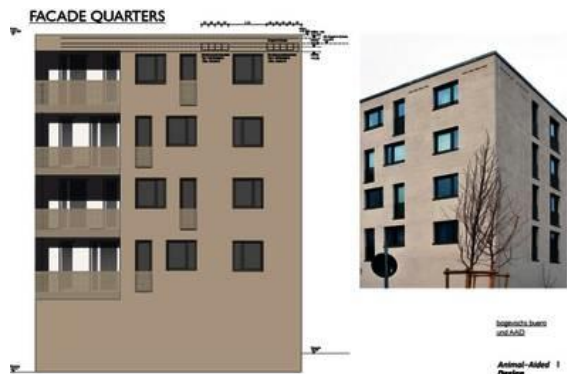


Abbildung 13: Kommerziell erhältliche Fassadenquartiere für Spatzen (oben) und Fledermäuse (unten) wurden so in die Fassade integriert, dass sie zur Gesamtgestaltung des Gebäudes passen und gleichzeitig den Ansprüchen der Arten genügen. Mögliche Typische Konflikte wurden vermieden, indem z. B. die Quartiere nicht oberhalb von Fenstern angebracht wurden (Quelle: AAD).

Die Stadt Ingolstadt plant im Rahmen einer klimagerechten Stadtentwicklung die stärkere 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 (Abb. 14).

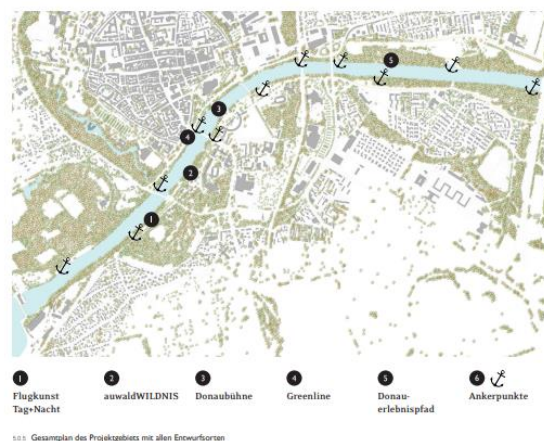


Abbildung 14: Gesamtplan des Projektgebiets mit allen Entwurfsorten (aus Broschüre „INGOLSTADTNA-TUR: Animal-Aided Design für den Stadtpark Donau in Ingolstadt – Entwürfe von Studentinnen und Studenten der Universität Kassel und der Technischen Universität München“)

Im den angrenzenden Flora-Fauna-Habitat-Gebieten wurden über 3000 Tierarten festgestellt. Da die Datenlage im Kernbereich im Vergleich zu den FFH-Gebieten jedoch dürrftig und unvollständig ist, wurde das Citizen-Science-Projekt „IngolStadt Natur“ entwickelt, um Bürgern in die Erfassung der Stadtnatur mit einzu-beziehen. Aus diesen Arten werden dann Arten für AAD-Maßnahmen ausgesucht. Im Rahmen des Projekts wurde 2017 auch ein Studentenprojekt erfolgreich durchgeführt (Abb. 15). 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 15: 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 Abb. 16) 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.

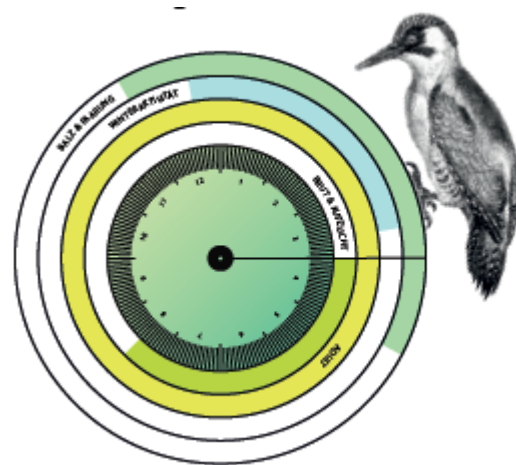


Abbildung 16: Lebenszyklus des Grünspechts (*Picus viridis*). Quelle: AAD

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 II: Stadtbäume im Klimawandel: Wuchsverhalten, Dienstleistungen und Perspektiven

Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, TUM (Prof. Dr. Dr. h.c. Hans Pretzsch, Prof. Dr. Thomas Rötzer)

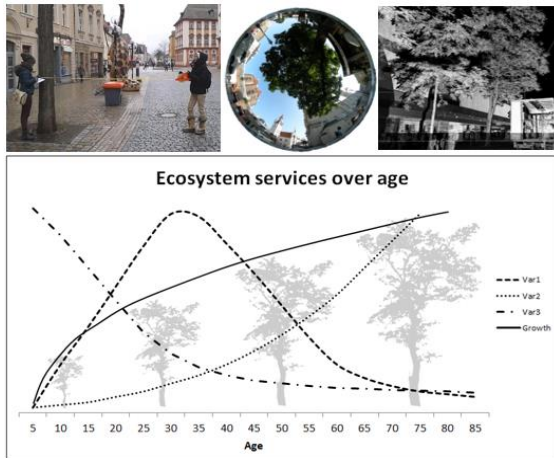


Abbildung 17: Umweltleistungen von Stadtbäumen in Abhängigkeit der Baumart, der Vitalität und des Alters (Grafik: TP 3)

Projektlaufzeit

März 2016 bis Mai 2018

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 Forschungsprojekts 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 CityTree 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 × acerifolia*) und Kastanie (*Aesculus hippocastanum*) erweitert. Mittels des neu entwickelten Modells CityTree (Abb. 18) 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 Umweltleistungen von Stadtbäumen in Mitteleuropa generalisieren zu können. Auf diese Weise können praxisnahe Hinweise für ein nachhaltiges Management von Stadtbäumen gegeben werden.

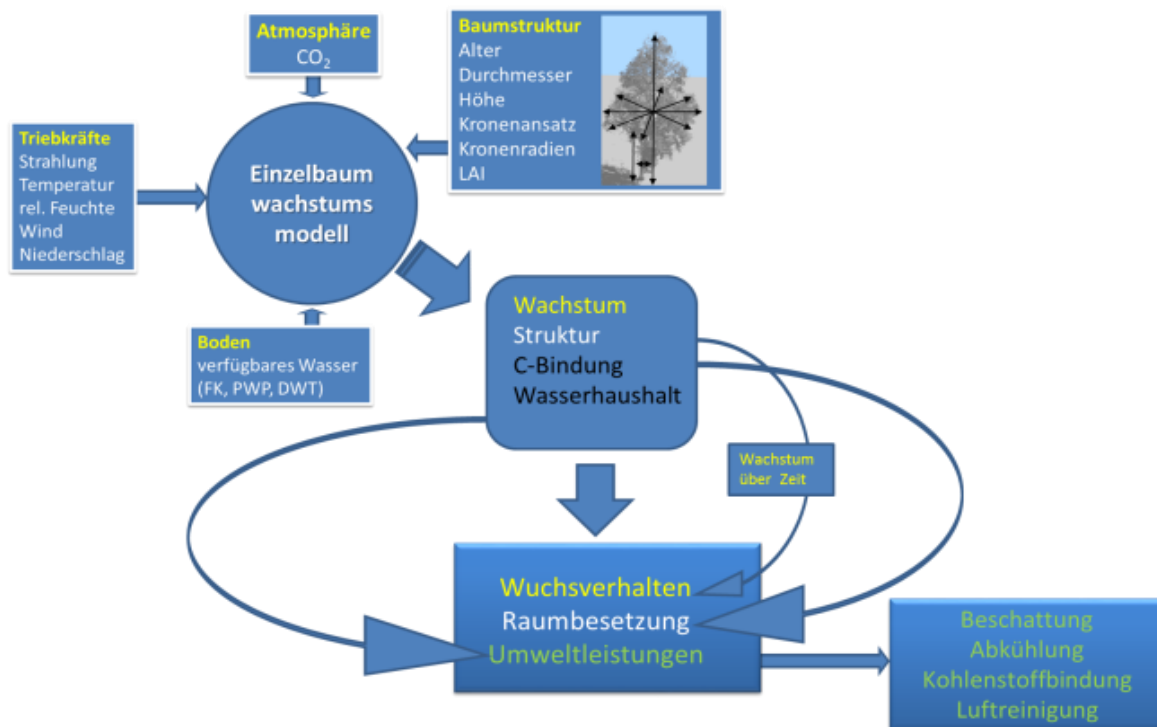


Abbildung 18: Das Wachstumsmodell CityTree (Grafik: TP 3)

Ergebnisse

Die Baumhöhe, der Stammdurchmesser und weitere Kronenparameter sind vornehmlich

von der Art und dem Alter abhängig (Abb. 19).

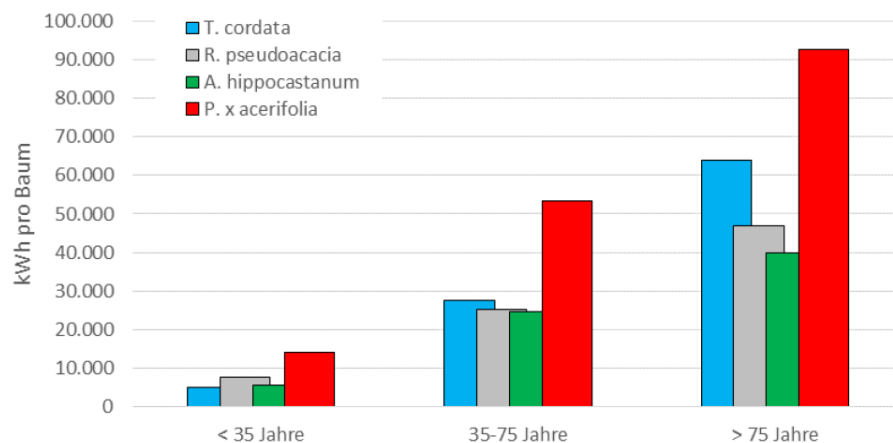


Abbildung 19: Mittlere jährliche Kühlleistung in Abhängigkeit von der Baumart und dem Baumalter im Mittel der sechs bayerischen Städte.

Je nach verfügbaren Ressourcen wie Wasser- und Lichtangebot und in Abhängigkeit von der Baumart erbringen die untersuchten Baumarten zum Teil erhebliche Leistungen für ein angenehmes Stadtklima. 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

(R: ca. 40 kg, Rk: ca. 45 kg, P: ca. 95 kg) und 160 m² beschatten (R: ca. 200 m², Rk: ca. 110 m², P: ca. 310 m²).

Je nach der Stadt, ihrer Lage und der klimatischen Gegebenheiten sowie je nach kleinräumigen Bedingungen können sich das Wachstum und die Ökosystemleistungen einer

Baumart in der nahen Zukunft (2026-2050) unter den Bedingungen eines Klimaszenarios 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*

rifolia stabile Leistungen auch unter Klimawandel erbringen.

Weitere, detaillierte Ergebnisse zu den Wuchs- und Ökosystemleistungen inklusive dem Einfluss kleinräumiger Veränderungen auf Wuchs- und Ökosystemleistungen aller untersuchten Baumarten in Bayern können dem Schlussbericht und dem Leitfaden des Projekts entnommen werden (Beispiel zu Ergebnissen siehe Abb. 20).

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 kann standortsabhängig bestimmt werden. Bis jetzt wurden vier häufig in Städten anzutreffende Baumarten aufgenommen und im Modell City-Tree 2.0 parametrisiert. Jedoch sollten weitere Baumarten wie u.a. *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 Baumarten und für kleinräumige Einflüsse erhöhen die Aussagekraft des Modells. Auch das Modell CityTree 2.0 sollte noch 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 Einzelbaumebene jedoch nicht ausreichend. Eine exakte und umfangreiche Darstellung des Wachstums und der Leis-

tungen des Baumbestandes ist für ganze Straßenzüge bzw. Stadtteile und letztendlich für die gesamte Stadt erforderlich. Die Ergebnisse können für ein nachhaltiges Baummanagement in der Stadt eingesetzt und der Stadtbaumbestand für die Zukunft optimiert werden.

Biomassezuwachs (kg/Jahr)

Stadt: Mittel aller Städte

Bodenart: sandiger Lehm

Klima: gegebenes Klima (1965-2015)

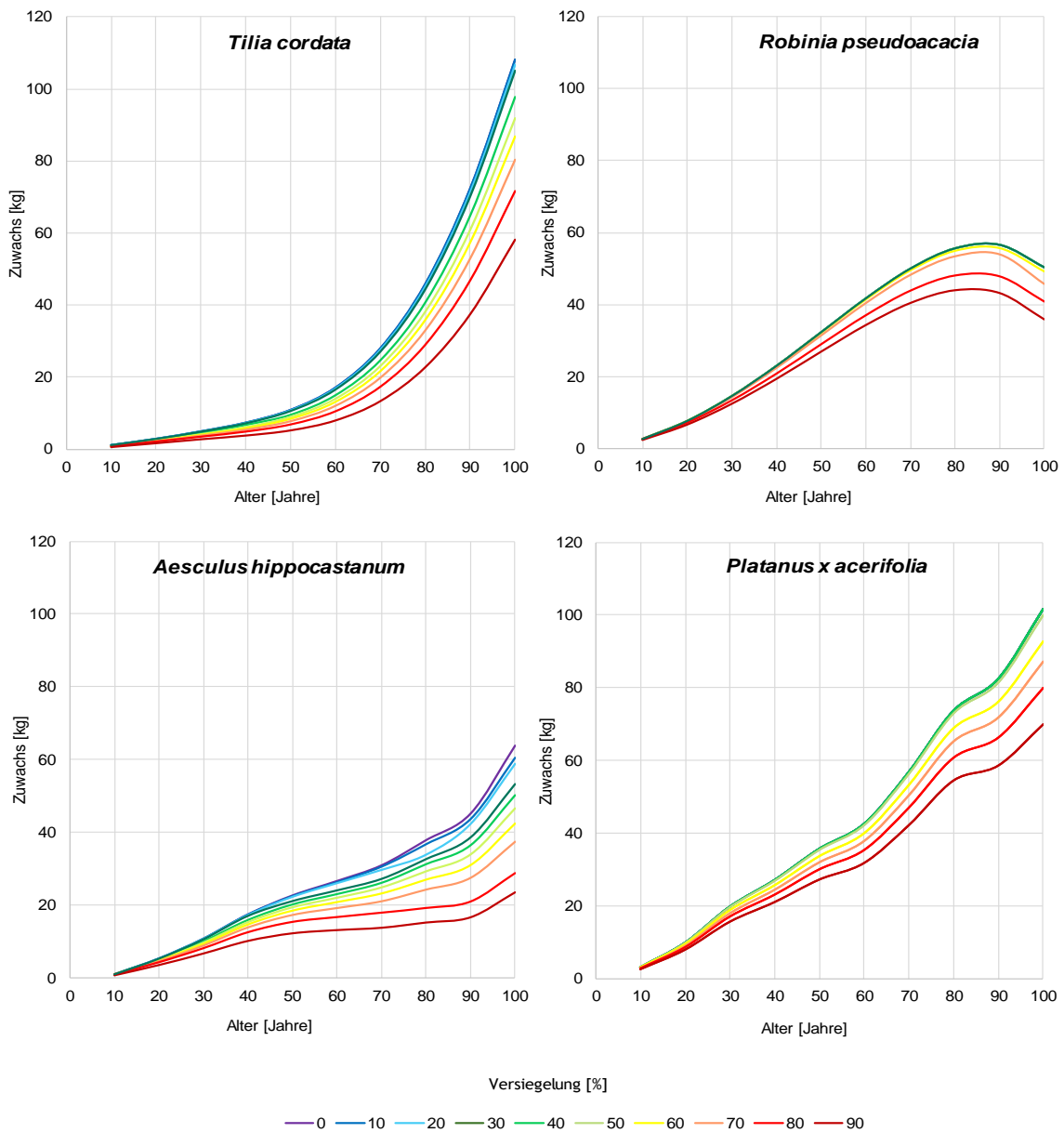


Abbildung 20: Biomassezuwachs von Winterlinden, Platanen, Robinien und Rosskastanien in bayerischen Städten (Grafik: TP 3)

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) und HU Berlin (Prof. Dr. phil. Ignacio Fariás Hurtado)



Abbildung 21: Marienhof, München (Foto: R. Keller)

Projektlaufzeit

Oktober 2016 bis April 2020

Ausgangspunkt und Fragestellung

Die weltweit zunehmende Urbanisierung stellt Stadtregionen vor neue Herausforderungen. Die zukunftsorientierte Stadt muss neben einem wirtschaftlichen, soziokulturellen und demographischen Strukturwandel auch den Auswirkungen des Klimawandels zeitgemäße und nachhaltige Entwicklungsstrategien entgegensetzen.

Anpassungsfähige Freiräume werden mit ihren vielfältigen Anforderungen künftig in ihrer ökologischen, sozialen, ökonomischen und städtebaulichen Bedeutung gestärkt.

Bislang fehlen noch wissenschaftliche Untersuchungen über das Wirkungsgefüge zwischen klimarelevanter Aneignung und Gestaltung dieser multifunktionalen Freiräume, um effektive Beiträge zur Förderung der Lebensqualität und Artenvielfalt in der Stadt in Zeiten des Klimawandels leisten zu können.

Ziele

In diesem Forschungsvorhaben wird daher der Fokus auf das Zusammenwirken von Naturelementen und Gestaltung von städtischen Frei-

räumen sowie ihrer Wirkung auf die Nutzer*innen und das Klima gelegt.

Das raumzeitliche und soziale Zusammenwirken von Baumaterialien, Pflanzen und Menschen auf urbane, multifunktionale Freiräume spielt dabei eine wichtige Rolle. Ziel der Arbeit ist es, konkrete Handlungs- und Planungsempfehlungen – abgeleitet aus den angestrebten Untersuchungen – zu formulieren. Diese sollen Landschaftsarchitekt*innen bei der Konzeption von multifunktionalen und klimarelevanten Freiräumen dienen.

Bei der Planung dieser zunehmend multifunktionalen Freiräume gilt es nicht nur eine gestalterische Lösung zu finden.

Methodik

In der Forschungsarbeit 100Places:M sollen 100 Plätze systematisch evaluiert werden. München ist aufgrund der Vielzahl vorhandener Plätze ideal für die Fragestellung geeignet und erlaubt es, die Bauvielfalt der Plätze herauszuarbeiten.

Ziel dieser Bestandaufnahme ist die Erstellung einer Datenbank, die einen Überblick über Münchens öffentliche Plätze und deren Klimapotentiale ermöglichen soll.

Darüber hinaus werden Fallstudien zu gegenwärtigen Entwicklungen und Herausforderungen der nachhaltigen Gestaltung von Stadtplätzen geführt. Hier soll insbesondere auf die durch Klimawandel entstehenden Mensch-Insekt-Baum-Gefüge, die affektive Wirkung neuer Baumaterialien und Potentiale der Lebensmittelproduktion im öffentlichen Raum eingegangen werden.

Dabei sollen folgende Fragestellungen beantwortet werden:

- 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 Anpassung an den Klimawandel 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 Abb. 22).



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

Die Informationen zu jedem Platz wurden in eine digitale Datenbank eingepflegt (Abb. 23)

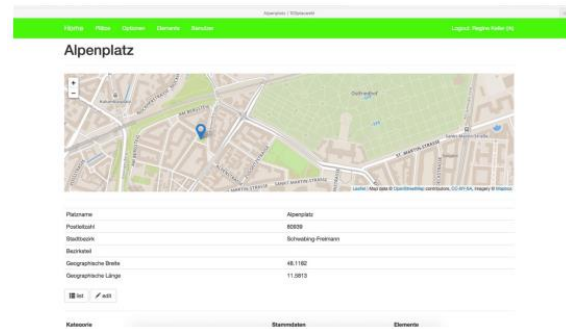


Abbildung 23: Datenbank– Beispiel Alpenplatz (Quelle: 100Places:M)

Schlussfolgerung und Ausblick

Abschließendes Ziel des TP ist die Erstellung eines Leitfadens bzw. Kompendiums, der die Ergebnisse der Untersuchungen in Form von Fact-Sheets und Info-Grafiken aufbereitet und zusammenfasst.

Mit dieser Publikation wird die Schaffung eines erhöhten Bewusstseins für die Zusammenhänge von Klimawandel, Gestaltung und Aneignung im öffentlichen Raum unter Stadtplaner*innen, Landschaftsarchitekt*innen, Wissenschaftler*innen, Kommunen und Bürger*innen angestrebt (Abb. 24).



Abbildung 24: Testentwurf Baldeplatz Dittrich/Krimmer (Quelle: 100Places:M)

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)



Abbildung 25: Blattfraß an der Hopfenbuche (Foto: S. Böll)

Projektlaufzeit

September 2016 bis Januar 2019

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 gebiets-

fremden 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 Baumkronenlebensgemein-

schaft 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

Tabelle 2: Versuchsbaumarten

Heimische Baumarten	Gebietsfremde Baumarten
Hainbuche (<i>Carpinus betulus</i> , 'Frans Fontaine')	Hopfenbuche (<i>Ostrya carpinifolia</i>)
Gemeine Esche (<i>Fraxinus excelsior</i> , 'Westhofs Glorie')	Blumenesche (<i>Fraxinus ornus</i>)
Winterlinde (<i>Tilia cordata</i> , 'Greenspire')	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, Abb. 26) zum Fang von Fluginsekten,
- Gelbtafeln (Abb. 17) zum Fang von kleinen Fluginsekten, insbesondere Parasitoiden (Nützlingen),
- Klopfschirm zum Fang von Insektenlarven und räuberischen Spinnen.

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 Arthropodenvielfalt untersucht (Tabelle 2):



Abbildung 26: 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 (Abb. 27).



Abbildung 27: 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
Klopproben	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 Klopprobenfänge 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 (Abb. 28).

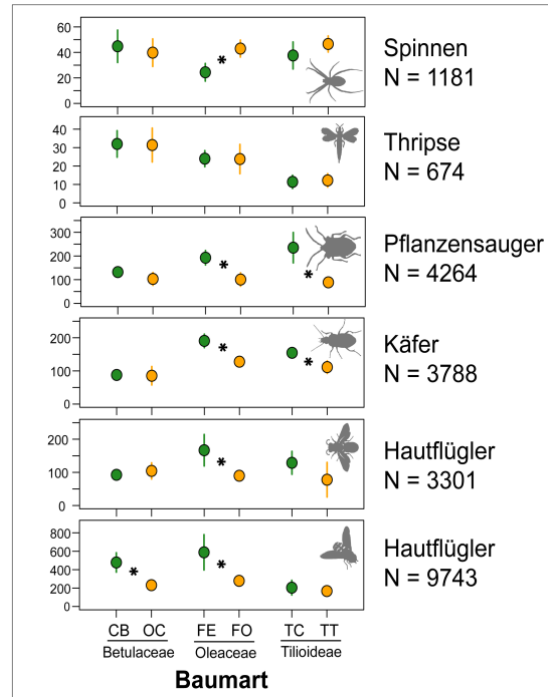


Abbildung 28: Mittlere Individuenzahlen einzelner Arthropodengruppen auf heimischen (grün) und südosteuropäischen (gelb) Baumarten (* $p < 0,01$).

Mit z. B. 41 Käfer- und 42 Hautflüglerfamilien (Bienen, Hummeln, Wespen, Ameisen; Abb. 29), davon 57(!) Wildbienenarten, war die Biodiversität hoch.

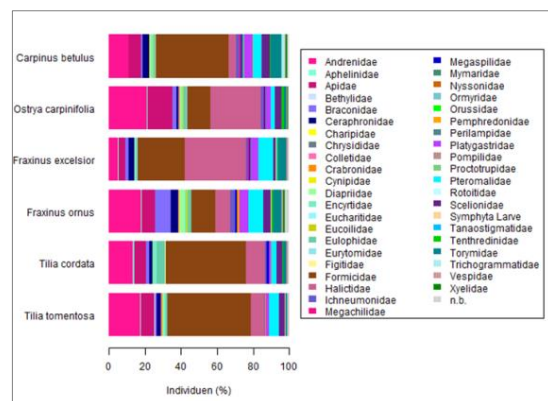


Abbildung 29: Prozentuale Anteile der Hautflüglerfamilien an der Gesamtbandanz (3301 Individuen) auf den Versuchsbaumarten

Beim Vergleich der Artenvielfalt an Wildbienen auf heimischen und südosteuropäischen Bäumen ergaben sich wie auch bei anderen Tiergruppen keine signifikanten Unterschiede in der Artenvielfalt (Abb. 30).

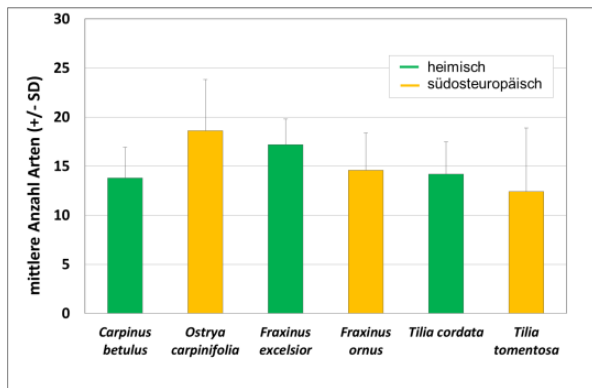


Abbildung 30: Artenvielfalt der Wildbienen auf den einzelnen Baumarten. Kruskal Wallis-ANOVA $p=0,29$



Abbildung 32: 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 (Abb. 31).

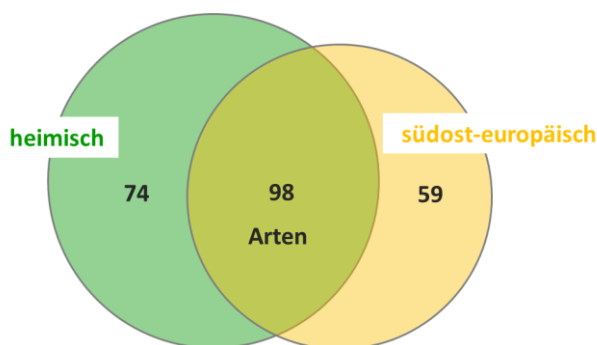


Abbildung 31: Artenzahl dominanter Taxa* auf heimischen, südosteuropäischen oder beiden Baumartengruppen (* Auchenorrhyncha, Heteroptera, Chrysomelidae, Curculionidae, Apidae)

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 Baumgruppen) dienen als wichtiger Teillebensraum für viele der krongebewohnenden 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), Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsentwicklung, TUM (Prof. Dr.-Ing. Stephan Pauleit), Professur für Klimatologie, Institut für Geographie und Geologie, Universität Würzburg (Prof. Dr. Heiko Paeth) in Zusammenarbeit mit der Stadt Würzburg

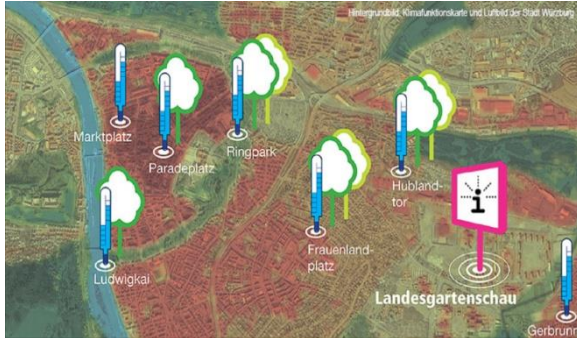


Abbildung 33: Bild TP 6 (Karte: geoportal.bayern.de)

Projektlaufzeit

Mai 2017 bis Dezember 2020

Ausgangspunkt und Fragestellung

Städte zeichnen sich gegenüber ihrem Umland durch ein eigenes Klima aus. Insbesondere an Hitzetagen steigt die Temperatur gegenüber dem Umland stark an. Dieser sogenannte urbane Wärmeinseleffekt hängt von der Lage im Stadtraum, der baulichen Struktur und vom Versiegelungs- bzw. Begrünungsgrad ab. Städte wie Würzburg, die eine Kessellage mit einer dichten Bebauung und relativ wenig Stadtgrün aufweisen, sind davon besonders stark betroffen.

Der Untersuchungsstandort Würzburg liegt in Unterfranken, einer Region die besonders vom Klimawandel mit vermehrten Hitzewellen und häufiger Trockenheit betroffen ist. Vor allem in der Innenstadt wird es zu erheblichen Steigerungen der Hitzetage und Tropennächte kommen, wodurch die Lebensqualität der Menschen drastisch reduziert wird.

Stadtgrün, insbesondere Bäume können das Klima eines Standorts positiv beeinflussen. Ihre Kronen spenden Schatten, die Blätter verdunsten Wasser und kühlen die Lufttemperatur.

Ziele

Anhand von sieben Wetterstationen und neun Baumlaboren im Würzburger Stadtgebiet wird untersucht, wie sich das Kleinklima eines Standorts in Abhängigkeit von Baumbestand und der Art der umgebenden Bebauung unterscheidet und sich auf das Wachstum der Bäume auswirkt. Damit kann die Bedeutung von Bäumen für die Stadtplanung aufgezeigt werden. Zudem soll die Öffentlichkeit für das Thema Stadtklima und Stadtgrün sensibilisiert werden. Angewandte Forschung kann man so live miterleben (Abb. 34).



Abbildung 34: Infotafel auf der Fläche der Landesgartenschau (LGS)

Methodik

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

- *Lokale Klimawandelauswirkungen*

Wie verändert sich das Klima im Würzburger Großraum und wie unterscheiden sich heutige Extremwetterereignisse gegenüber denen früherer Jahrzehnte? Welche Stadtquartiere sind am stärksten betroffen?

- *Mikroklima und Stadtgrün*

Welche klimatischen Charakteristika weist das Stadtgebiet kleinräumig auf und welchen Einfluss hat die Art der Bebauung in den unterschiedlichen Stadtquartieren? Welchen Einfluss hat der Baumbestand auf das Standortsklima?

- *Leistung von Stadtbäumen*

Welchen Einfluss hat das Standortsklima auf Wachstum und Transpiration von Stadtbäumen? Treten baumartenspezifische Unterschiede auf? Welche standortklimatischen Parameter beeinflussen Baumwachstum und Transpiration am stärksten und welche Konsequenzen ergeben sich für künftige Klimabedingungen? Wie viel können Stadtbäume zum Klimaschutz (CO₂-Speicherung, Kühlung) und zur Klimaanpassung (Thermischer Komfort Außenraum, Regenwassermanagement) beitragen?

- *Bedeutung für die Stadtplanung*

Wie können Bäume in den verschiedenen Stadtquartieren zur Klimaanpassung beitragen? Welchen Einfluss haben das Standortsklima und Stadtbäume auf die Lebensqualität? Welche der untersuchten Baumarten eignen sich besser für die Klimaregulation in Städten?

- *Sensibilisierung der Öffentlichkeit*

Wie können die Leistungsfähigkeit von Bäumen und die kleinräumigen Charakteristika des Stadtklimas einer breiten Öffentlichkeit vermittelt werden? Wie kann die Bedeutung von Stadtbäumen möglichst großen Stellenwert in

der öffentlichen Diskussion um zukünftige Stadtentwicklung erlangen? Wie können die Chancen und Probleme des Klimawandels einer breiten Öffentlichkeit anschaulich vermittelt werden?

Ergebnisse

Neben wissenschaftlichen Untersuchungen werden die Messwerte und Analysen über eine Webseite (www.klimaerlebnis.de) sowie über Infotafeln leichtverständlich der Öffentlichkeit präsentiert. Erste Auswertungen der Klima- und Baumdaten ergaben, dass das Jahr 2019 im Vergleich zum langjährigen Mittel überdurchschnittlich warm war, jedoch nicht so heiß wie das Vorjahr 2018 (Tabelle 4).

Tabelle 4: Monatliche Temperaturanomalien in den Jahren 2018 und 2019 an drei Standorten in Würzburg vom langjährigen DWD-Mittelwert

Jahr	Marktplatz	Frauenland	LGS	Gesamt
2018	2,40	2,04	1,67	2,04
2019	1,81	1,50	1,14	1,48

Dies lässt sich auch an den monatlichen Abweichungen und den klimatologischen Kenntagen erkennen (Abb. 35). Dennoch kam es im Jahr 2019 zu mehrfachen Hitzewellen, welche zu Temperaturen über 40 °C führten. Zudem konnten im Vergleich zu 2018 teils deutlich höhere Temperaturunterschiede zwischen Stadtzentrum und Umland gemessen werden, die in den Abendstunden besonders ausgeprägt sind.

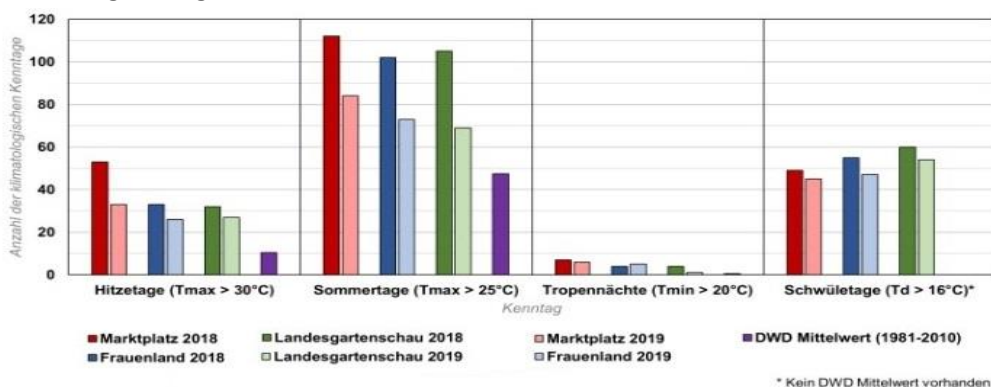


Abbildung 35: Wärmebezogene klimatologische Kenntage in den Jahren 2018 und 2019 sowie im langjährigen Mittel an drei Standorten im Würzburger Stadtgebiet

Generell ist festzustellen, dass die höher versiegelten innenstädtischen Standorte anfälliger gegenüber Hitzeereignissen (insb. Hitzetage und Tropennächte) sind als das grüne Umland. Bäume haben hier einen messbaren Kühleffekt, der sich sowohl bei den Mittelwerten (Abb. 36) als auch bei dem Mittel der täglichen Maximalunterschiede feststellen lässt.

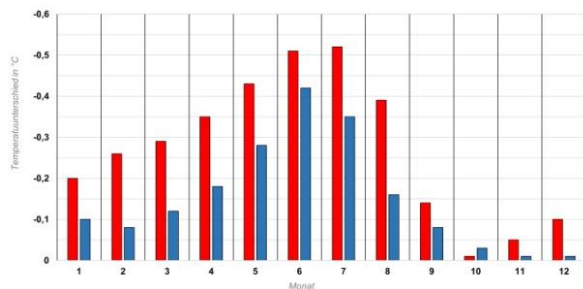


Abbildung 36: Mittlere monatliche Temperaturunterschiede unter Stadtbäumen im Würzburger Ringpark (rot = 2018, blau = 2019)

Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse, dass das Wachstum der Robinen in den Jahren 2018 und 2019 deutlich ausgeprägter als das der Winterlinden war. Bei Robinen war der Zuwachs in 2019 gegenüber 2018 etwas höher (Abb. 37).

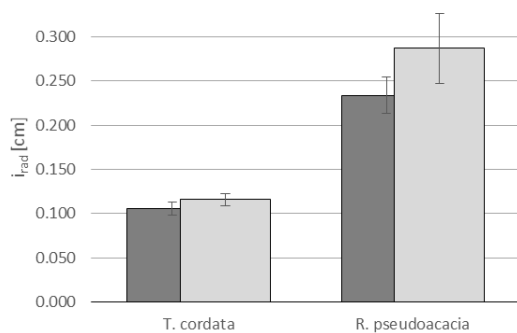


Abbildung 37: Mittlerer Radialzuwachs von *T. cordata* (links) und *R. pseudoacacia* (rechts) in den Jahren 2018 (dunkelgrau) und 2019 (hellgrau) im Mittel über alle Standorte

Die Transpiration der Winterlinden ist in beiden Jahren deutlich größer als die der Robinen (Abb. 38). Damit ergibt sich für Robinen

eine höhere Wassernutzungseffizienz von $4,5 \text{ kg (kg H}_2\text{O)}^{-1}$ im Mittel der zwei Jahre im Vergleich zu Winterlinden mit $0,86 \text{ kg (kg H}_2\text{O)}^{-1}$.

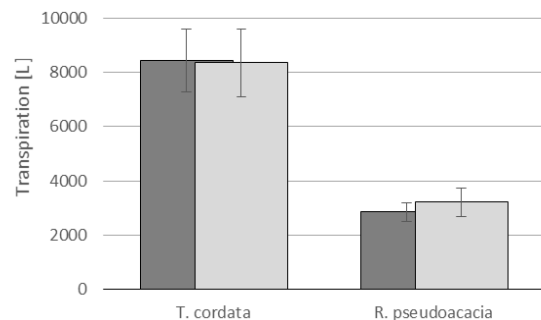


Abbildung 38: Mittlere Transpirationssumme in der Vegetationszeit (Mai-Oktober) von *T. cordata* (links) und *R. pseudoacacia* (rechts) in den Jahren 2018 (dunkelgrau) und 2019 (hellgrau) im Mittel über alle Standorte

Das unterschiedliche Wachstumsverhalten aufgrund der Witterung und des Alters bzw. der Dimension der Bäume spiegelt sich in ihren ÖSD wider.

Im Vergleich der Winterlindenstandorte zeigen die Bäume am Ludwigkai die höchsten ÖSD mit $35,4 \text{ kg CO}_2$ Fixierung pro Jahr, ca. 19 m^3 Wasserverbrauch, ca. 20.000 L Sauerstofffreisetzung und eine von Kühlleistung von $14,3 \text{ W m}^{-2}$. Niedrige Leistungen findet man am hochversiegelten Paradeplatz mit 15 kg CO_2 Fixierung pro Jahr, $6,6 \text{ m}^3$ Wasserverbrauch, 8.336 L Sauerstofffreisetzung und $6,7 \text{ W m}^{-2}$ Kühlleistung. Die Robinen der drei Standorte in Würzburg besitzen zwar eine deutlich höhere jährliche Rate der Kohlendioxidfixierung bzw. der Sauerstofffreisetzung, der Wasserverbrauch und damit die Kühlleistung durch Transpiration ist aber deutlich niedriger als die der Winterlinden (Abb. 39).

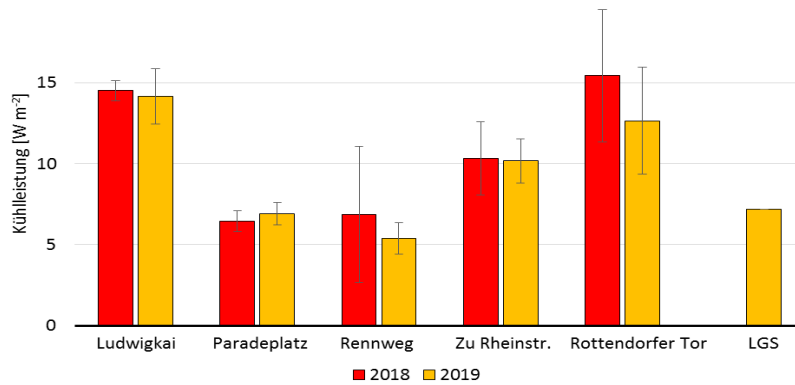


Abbildung 39: Kühlleistung durch Transpiration von *T. cordata* (links) und *R. pseudoacacia* (rechts) an den einzelnen Standorten für die Jahre 2018 (rot) und 2019 (orange)

Schlussfolgerung und Ausblick

Im TP wurde festgestellt, dass die höher versiegelten innenstädtischen Standorte anfälliger gegenüber Hitzeereignissen (insb. Hitzetage und Tropennächte) sind als das grüne Umland. Bäume haben einen messbaren Kühleffekt. Das Wachstum der Bäume ist artspezifisch geprägt, in 2018 und auch in 2019 wuchsen Robinien deutlich stärker als Winterlinden. Jedoch ist die Transpiration (=Kühlungsleistung) der Winterlinden in beiden Jahren deutlicher größer als die der Robinien. Insgesamt sind die Robinien allerdings deutlich effektiver in ihrem Wachstum bezogen auf den Wasserverbrauch.

Das unterschiedliche Wachstumsverhalten aufgrund der Witterung, aber auch aufgrund des Alters bzw. der Baumdimensionen spiegelt sich in ihren Leistungen wider. Damit ergeben sich auch deutliche differenzierte Leistungen

an den einzelnen Standorten. An hochversiegelten Standorten wurden die niedrigsten Leistungen gemessen, während Bäume an offeneren Plätzen mit besseren Wuchsbedingungen auch bessere Leistungen erbrachten.

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

Für die Zukunft werden die Untersuchung weiterer Themen wie das Klima und die Witterung der Jahre 2018 und 2019 und die Bedeutung von großskaligen Wetterlagen sowie die Analyse des Einflusses der spezifischen Standortsklimata auf das Wachstum und die Transpirationsleistung.



Abbildung 40: Versuchsbäume auf der LGS, am Ludwigkai und an der Rottendorfer Straße (Quelle: KEW)

Teilprojekt 7 - 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, Prof. Dr. Johannes Kollmann, PD Dr. Harald Albrecht, PD Dr. Christina Fischer)



Abbildung 41: Bild „Bunte Bänder für unsere Städte“ – Teilprojekt 7 (S. Dietzel)

Projektlaufzeit

2018 bis 2022

Ausgangspunkt und Fragestellung

Durch den Klimawandel ändern sich die Lebensbedingungen in städtischen Räumen. Häufige Extremereignissen wie längere Hitze- und Trockenperioden oder Starkregenereignisse verändern die stadtplanerischen Rahmenbedingungen vor dem Hintergrund einer voranschreitenden Urbanisierung. Städtisches Grün erlangt dadurch eine besondere Bedeutung im Hinblick auf Anpassungs- und Minderungsstrategien. Die Auswahl einer geeigneten Stadtvegetation muss daher an die sich ändernden Umweltbedingungen angepasst werden.

Urbane Flächenversiegelung ist grundsätzlich negativ für die Biodiversität und die damit verbundenen Ökosystemleistungen. Das Teilprojekt „Blühende Bänder“ befasst sich daher mit der Entwicklung von ökologisch aufgewerteten Straßenrändern als Element einer grünen Infrastruktur. Die zentrale Herausforderung in Forschung und Praxis ist die Kombination von Zielen der Insektenförderung und Klimaanpassung mithilfe multifunktionaler städtischer Grünflächen. Mit steigendem Grad der Urbanisierung

(Anteil versiegelter Flächen, Gebäude- und Verkehrsdichte etc.) sinkt die Vielfalt und Abundanz von Pflanzen und Bestäubern, was in urbanen Räumen u. a. durch die Fragmentierung von städtischen Kleinhabitaten verstärkt wird. Der genetische Austausch isolierter Tier- und Pflanzenpopulationen ist gerade in städtischen Gebieten nur eingeschränkt möglich. Gezielte Maßnahmen zur Förderung von Bestäubern und den Leistungen sind daher notwendig. Dazu wird im TP die Pflanzenvielfalt des Straßenbegleitgrüns entlang großer Verkehrsachsen (Innenstadt–Stadttrand) in München mittels der Einsaat heimischer Wildpflanzen erhöht.

Ziele des Vorhabens

- Entwicklung und Erprobung der Anlage eines Blühflächenverbundes entlang von mehreren städtischen Hauptverkehrsachsen zur Förderung von Bestäubern und zur urbanen Klimaanpassung;
- Bewertung der Klimaresilienz und Attraktivität für Bestäuber und andere Nützlinge im Vergleich mit existierenden Grünanlagen;
- Klimatische Optimierung der Größe und Abstände der Blühflächen als Korridore für Bestäuber und andere Nützlinge;
- Verbesserung der Lebensqualität der Stadtbewohner durch die mikroklimatischen und ästhetischen Wirkungen der Blühflächen;
- Empfehlung für praktikable Kompromisse zwischen den Anforderungen des Naturschutzes und der Stadtgrünpflege zur Steigerung der urbanen Klimaresilienz und Bestäuberbiodiversität.

Methodik

Anlage der Blühflächen

Die Konzipierung der Saadmischung erfolgte anhand mehrerer Auswahlkriterien. Zur Auswahl standen autochthone Wildpflanzen, die sich im Hinblick auf ihre Attraktivität für Insekten eignen und auch unter den besonderen Boden- und Klimabedingungen in der Stadt zurecht kommen. Die Pflanzenarten wurden nach ihren funktionalen Eigenschaften (Tabelle 5) gruppiert und unter Berücksichtigung einer möglichst hohen phylogenetischen Vielfalt ausgewählt.

Tabelle 5: Funktionale Pflanzenmerkmale, die bei der Auswahl der optimalen Blühmischung in der Clusteranalyse berücksichtigt wurden.

Alter bei erster Blüte	Wuchsform
Blattfläche	Lebensdauer
Triebwuchsform	Spezifische Blattfläche (SLA)
Maximale Höhe	Trockengewicht der Blätter (LDMC)

Abschließend wurden 26 Pflanzenarten, vor allem Arten der anthropo-zoogenen Heiden und Rasen sowie der krautigen Vegetation oft gestörter Plätze verwendet. Die Blühflächen wurden nach Abnahme der Grasnarbe und Auftrag eines Ansaatsubstrates im April bis Mai 2019 eingesät.

Im ersten Jahr des Vorhabens (2019) wurden 23 Blühflächen mit je 16 m² angelegt. Das Versuchsdesign sieht vor, in den kommenden drei Jahren weitere 75 Flächen in exponentiellen Abständen zueinander anzulegen (Abb. 42). Diese variierenden Abstände berücksichtigen die maximalen Sammeldistanzen solitärer Wildbienen als wichtigster Bestäubergruppe und dienen als Indikatoren zur Analyse der maximalen Entfernungen, die einzelne Blühflächen zueinander haben können, um als ‚Trittsteine‘ Austausch und Bewegungen zwischen städtischen Bestäuberpopulationen zu ermöglichen und die Neubesiedelung von geeigneten Habitaten zu erleichtern.

Durch die jährliche Erweiterung des Blühflächenbestandes werden die Straßenzüge in einem räumlich-zeitlichen Kontext betrachtet und zudem untersucht, inwiefern sie als potentielle Bewegungskorridore genutzt werden.

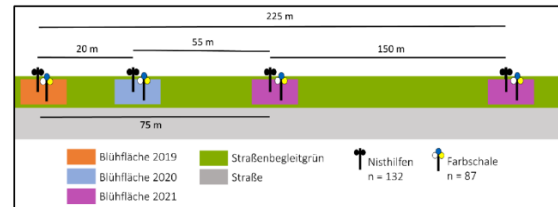


Abbildung 42: Schematische Darstellung des Versuchsdesigns auf Plot-Ebene

Landschaftsanalyse

Die umgebende Landschaft und Landnutzung einer Untersuchungsfläche bestimmt maßgeblich, ob und 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 jeden Plot Landschaftselemente und Landnutzungstypen kartiert (Abb.43).

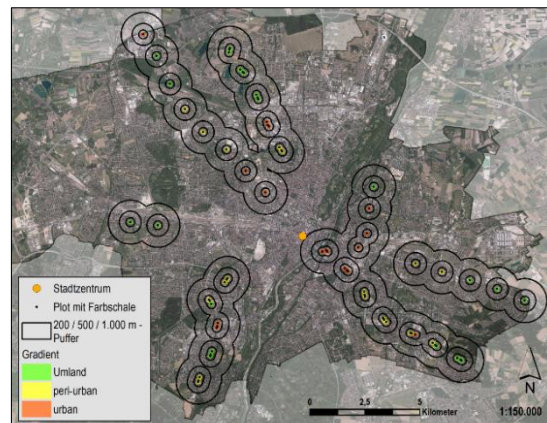


Abbildung 43: Lage der untersuchten Straßenzüge im Stadtgebiet von München, an denen im Jahr 2019 Blühflächen angelegt wurden, inkl. Kartierungsradien und drei Urbanisierungsgrade (A. Dichtl)

Diese Gliederung richtet sich nach den Flugdistanzen verschiedener Bestäuberarten, die je nach Lebensweise und Körpergröße deutlich variieren können.

Anschließend wurde anhand der Landschaftsdaten eine Kategorisierung der Plots in die

Urbanisierungsgrade ‚urban‘, ‚peri-urban‘ und ‚rural‘ unterteilt werden. Maßgeblich spielte hier der Versiegelungsgrad und der prozentuale Anteil von Grünflächen und Privatgärten eine Rolle.

Insektenerfassung

An allen Plots wurden 2019 insgesamt 132 Nisthilfen zur Untersuchung oberirdisch nistender solitärer Wildbienen und Wespen aufgestellt. Nach Besiedelung können diese Nester geöffnet und die nistenden Tiere sowie deren Antagonisten (Prädatoren und Parasitoide) auf Gattungs- oder Artebene bestimmt werden. Zudem wurden Farbschalen zur Aufnahme des Insektenvorkommens auf den Versuchsflächen in der Stadt eingesetzt. Die Schalen dienen als Blütenattrappen und eignen sich besonders gut für Einblicke in ein möglichst breites Artenspektrum blütenbesuchender Insekten.



Abbildung 44: Verschiedene Verschlüsse der Nisthilfen lassen bereits auf verschiedene Solitärbiene- und Wespenarten schließen (A. Dichtl)

Ergebnisse

Bei der Gesamtartenzahl wie auch beim Auflaufen der Zielarten zeigen sich deutliche Unterschiede hinsichtlich der Urbanisierungsgrade. Verglichen mit den peri-urbanen und ruralen Flächen etablierten sich auf den urbanen Flächen deutlich weniger Arten. Die Ergebnisse machen deutlich, dass in den unterschiedlichen Stadtgebieten eine Anpassung der Flächenanlage und -management notwendig sein könnte. Die Beobachtung der weiteren Entwicklung wird zeigen, ob über längere Zeitspannen möglicherweise eine Angleichung erfolgt.

Bestäuber

Ergebnisse der Farbschalenfänge werden hier exemplarisch für die Gruppe der Wildbienen erläutert. Sowohl Abundanz wie Artenzahlen der Wildbienen zeigt in dem erhobenen Datensatz keine signifikanten Unterschiede in den Urbanisierungskategorien, ein Trend zu einem erhöhten Vorkommen von Wildbienen im peri-urbanen Raum wurde jedoch gefunden. Wir vermuten, dass durch die schlechte Habitatqualität des ökologisch eher bedeutungsarmen Straßenbegleitgrüns Wildbienen als Zufallsfänge in den Farbschalen auftauchten. Deutlich zu erkennen sind jedoch Effekte des Grünflächenanteils auf die Abundanz der Wildbienen auf mittlerer (500 m) und großer (1000 m) Maßstabsebene. Dieser Effekt lässt sich auf den hohen Anteil von 75 % bodennistender Wildbienenarten zurückführen.

Während des Nisthilfenexperiment wurden 526 besiedelte Nester untersucht, die insgesamt 2749 Brutzellen enthielten (Abb. 45). Die Nester wurden von 12 Bienenarten aus fünf Gattungen, 15 Wespenarten aus neun Gattungen und 23 Arten von Antagonisten genutzt. Durchschnittlich waren 18,6 % ($\pm 2,6$) der Brutzellen parasitiert. In den statistischen Modellen erklärte vor allem die Landschaftsvariable ‚Versiegelung‘ im 500 m Umkreis Abundanz, Vielfalt und Mortalität der gefundenen Insekten. Bei ansteigender Versiegelung zeigten die Modelle einen Abfall der Abundanz und der Artenzahl sowie eine steigende Mortalitätsrate. Dieses Ergebnis könnte auf ein verknapptes Nahrungsangebot bei steigender Versiegelung hindeuten, durch das sich weniger Insekten in diesem Gebiet aufhalten und durch eine schlechtere Versorgung der Larven deren Sterblichkeit ansteigt.

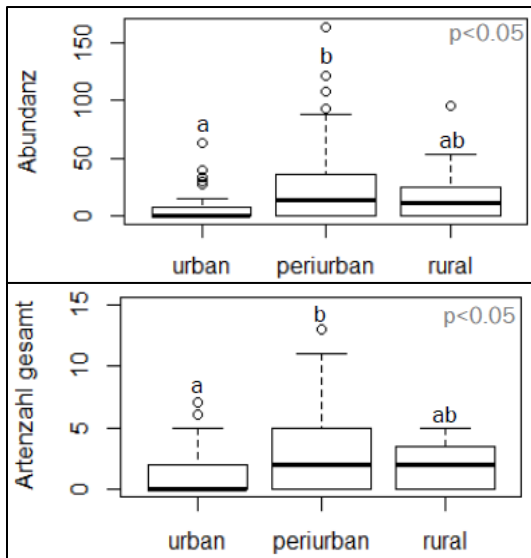


Abbildung 45: Abundanz und Artenzahl solitärer Bienen- und Wespenarten in den Nisthilfen sind im peri-urbanen Bereich am höchsten (C. Meyer)

- Versuche in den Klimakammern von TUM-mesa unter Berücksichtigung unterschiedlicher Klimaszenarios (Hitze, Trockenheit, atmosphärische CO₂-Konzentration);
- Fortführung der Datenerhebung mit Farbschalen und Nisthilfen;
- Experiment zur Messung der Blühflächeneffekte auf den Bestäubungserfolg ausgewählter Modellpflanzen;
- Vorversuche zu Release-Capture-Recapture-Experimenten zur Untersuchung des Bewegungsverhaltens von Wildbienen in der Stadt;
- Auswertung der Vorher-Nachher-Erhebungen von Farbschalen und Nisthilfen.

Zusammenfassung und Ausblick

Den ersten Ergebnissen nach zu urteilen besitzt das Straßenbegleitgrün als Nahrungshabitat großes Potential, da sich vor allem eine große Anzahl Wildbienen aus unterschiedlichen Gattungen einfanden, die als potentielle Profiteure dieser Blühflächen in Frage kommen.

Die wichtigsten Ergebnisse:

- Abundanz und Artenvielfalt von Bestäubern variieren entlang des städtischen Gradienten;
- Höchste Abundanz und Artenzahlen trat im peri-urbanen Bereich auf;
- Wichtigste Einflussgrößen auf Landschaftsebene auf Abundanz und Vielfalt von Bestäubern sind der Versiegelungsgrad sowie Gehölz- und Grünflächenanteil;
- Aufwertungsmaßnahmen im Straßenbegleitgrün haben großes Potential, Bestäuber in der Stadt zu fördern.

Ausblick:

- Start von großflächigen Ansaatversuchen mit unterschiedlichen Gräseranteilen in München und am Campus Weihenstephan;
- Fortführung der Aufnahme der Blühflächenentwicklung;

Teilprojekt 8 - 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), Lehrstuhl für Waldwachstumskunde (Prof. Dr. Thomas Rötzer, Prof. Dr. Hans Pretzsch), Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsentwicklung, TUM (Prof. Dr.-Ing. Stephan Pauleit)



Abbildung 46: Aufbau Pflanzversuch 1, Stand 06.05.2020, Foto: Christoph Fleckenstein

Projektlaufzeit

Projektstart: 01.11.2019

Projektende und Fertigstellung Leitfaden: vrsI.
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 etc. 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 hier die Verwendung von Bäumen in Pflanzgefäßen. Diese findet aktuell 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 vegetations-technische 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 architektonischen Strategien zur ästhetischen und standortgerechten Verwendung von Bäumen in Pflanzgefäßen. Die Strategien 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. 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 47: Detailsicht Pflanzversuch 1, Stand 06.05.2020, Foto: Christoph Fleckenstein

Die Bäume stehen auf einer Versuchsfläche des TUM Gewächshauslaborzentrums Dürnast und sind 8 Reihen à 16 Bäume zufällig angeordnet. Die Pflanzvarianten sind in den Abbildungen 46 und 47 beschrieben. 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.



Abbildung 48: Auswahl an Versuchsbäumen, Stand 07.07.2020, Foto: Christoph Fleckenstein

Fazit und Ausblick

Anfang März wurden 64 Winterlinden (*Tilia cordata*) und 64 Platanen (*Platanus x hispanica*) für die erste Versuchsreihe erfolgreich gepflanzt. Die Bäume sind anschließend gut angewachsen, sodass es nur zu einem Ausfall bei den Platanen kam. Ein Fehler in der Bewässerung Ende Juni, der alle Versuchsbäume gleichermaßen betraf, führte zu einem unbeabsichtigten Trockenstress, auf den einige Platanen mit starkem Blattabwurf reagierten. Winterlinden zeigten keine Anzeichen von Trockenstress, was auf die deutlich geringere Blattmasse gegenüber den Platanen zu diesem Zeitpunkt zurückzuführen ist. Die betroffenen Platanen haben sich jedoch bisher sehr gut erholt. Aktuell werden weiterhin Daten zu den genannten Wachstumsfaktoren erhoben. Im Herbst wird die Blattmasse und die Blattfläche der Bäume ermittelt. Daran schließt dann die Auswertung der erhobenen Daten von der ersten Vegetationsperiode an. Im nächsten Jahr werden die Bewässerungsvarianten etabliert und deren Auswirkung auf das Wachstum und die Vitalität der Bäume untersucht.

Teilprojekt 9 - Leistungen von Stadtgrün an öffentlichen Plätzen in München

Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, TUM (Prof. Dr. Thomas Rötzer, Prof. Dr. Dr. h.c. Hans Pretzsch),
Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsentwicklung, TUM (Prof. Dr.-Ing. Stephan Pauleit)



Abbildung 49: Stadtplätze und ihre Funktionen

Projektlaufzeit

Dezember 2019 bis November 2022

Ausgangspunkt

Öffentliche Plätze sind von großer Bedeutung für die Lebensqualität in der Stadt. Öffentliche Plätze sollten dabei für den Menschen attraktiv gestaltet werden und das thermische Wohlbefinden des Menschen fördern. Hierbei kann Stadtgrün einen wesentlichen Beitrag durch die Erbringung von sogenannten Ökosystemdienstleistungen leisten. Beispiel hierfür sind Beschattung, Abkühlungswirkung, Luftbefeuchtung, Windminderung, Erhöhung der Biodiversität und Ästhetik.

Die Gestaltung der thermischen Verhältnisse von Stadtplätzen wird dabei durch den Klimawandel zu einer zentralen Aufgabe für die Stadtplanung. Klimaszenarien prognostizieren eine Verschlechterung der Lebensqualität in Städten aufgrund von mehr Hitzetagen und Wärmeperioden sowie veränderte Niederschlagsmuster.

Der thermische Komfort des Menschen ist an versiegelten, mit Bebauung umgebenden und stark frequentierten Plätzen oft gering und kann zu erheblichen gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen. Ihre Ausprägung bezüglich Versiegelungsgrad, Gebäude- und Infrastruktur sowie hinsichtlich der Vegetation kann

dabei stark variieren. Häufig stellen öffentliche Plätze frequentierte Orte im Stadtzentrum dar und haben aufgrund ihrer vielfältigen Strukturen eine oft sehr unterschiedliche Wirkung auf das individuelle und thermische Wohlbefinden des Menschen.

Das TP „Leistungen von Stadtgrün an öffentlichen Plätzen in München“ wird an ausgewählten Plätzen in München das vorhandene Stadtgrün aufnehmen und dessen Ökosystemleistungen quantifizieren.

Fragestellung und Ziele

In dem interdisziplinären Projekt sollen die Leistungen von vorhandenem Stadtgrün an ausgewählten Plätzen in München für aktuelle Klimaparameter erhoben und die Wirkung auf das thermische Wohlbefinden des Menschen dargestellt werden. Darüber hinaus können mit Klimamodellen und verschiedenen Gestaltungsszenarien zukünftige Möglichkeiten der Gestaltung von öffentlichen Plätzen im Hinblick auf Klimaanpassung aufgezeigt werden. Diese Erkenntnisse werden sowohl im Kontext der Ökosystemdienstleistungen der Vegetation, des thermischen Wohlbefindens der Menschen als auch der Ästhetik der Plätze bewertet.

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?

Durch die Beantwortung der Fragen können Empfehlungen für eine zukünftige nachhaltige und leistungsfähige Gestaltung von Bebauung und Stadtgrün an öffentlichen Plätzen gegeben werden.



Abbildung 50: Stadtplätze als grüne Oasen und Gestaltungselemente sowie für Erholung

Methodik

Alle Untersuchungen werden an ausgewählten Plätzen des ZSK-TP 4 „100 Places:M“ in München durchgeführt. Die Platzauswahl erfolgt anhand der in 100Places:M erstellten Datenbank zu den Münchner Stadtplätzen. Aus der Gesamtzahl der Plätze werden bis zu 20 Plätze ausgewählt, die in Bezug auf Lage im Stadtgebiet, Platzgeometrie und -nutzung sowie Bepflanzung als repräsentativ für unterschiedliche Platztypen gelten können. Zeitintensive Untersuchungen wie die Modellierung der Plätze mit ENVI-met werden an einem Teilkollektiv der Plätze durchgeführt, die ebenfalls repräsentativ bezüglich ihrer Ausstattung, Form und Lage für München sind.

Zur Beantwortung der Fragen werden zwei Modellansätze verwendet. Zum werden regulative Leistungen wie Kohlenstoffbindung, Abkühlungswirkung und Beschattung mittels eines prozessorientierten Wachstumsmodell (CityTree, siehe Projekt „City Trees 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 Projekt „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.

Ergebnisse

Erste Plätze für die Kartierungen wurden ausgewählt (Abb. 51).



Abbildung 51: Karte der im Rahmen des Projekts untersuchten Plätze

An diesen Plätzen wurden und werden derzeit die Vegetation sowie die weitere Ausstattung der Plätze hinsichtlich Versiegelung, Größe und Gebäudestruktur bestimmt (Abb. 52).



Abbildung 52: Hoch verdichteter Hohenzollener Platz mit Bäumen und annueller Vegetation in Pflanztöpfen (oben) und Alpenplatz mit viel Grasflächen und umsäumenden Hecken (unten).

In einem weiteren Schritt werden die klimatischen Bedingungen am Hohenzollernplatz und Bordeauxplatz mit mobilen Wetterstationen und dauerhaften Sensoren detailliert erfasst. Mit ENVI-met werden anschließend erste Simulationen zum thermischen Komfort und möglichen Verbesserungen und den Auswirkungen des Klimawandels durchgeführt.

Ausblick

Im weiteren Projektverlauf werden die Modellierungsansätze mit CityTree und ENVI-met 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 ZSP-Teilprojekts 100Places:M verschnitten, um ebenso das Verhalten und das Empfinden des Menschen zu berücksichtigen.

Teilprojekt 10 - Nachverdichtung im Kontext des Klimawandels

Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Bauen und Planen, TUM (Prof. Dr.-Ing. Werner Lang), Lehrstuhl für Architekturinformatik, TUM (Prof. Dr. Frank Petzold), Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsentwicklung, TUM (Prof. Dr.-Ing. Stephan Pauleit),



Abbildung 53: 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 Planungsoptionen mit Hilfe der prototypisch implementierten 3D-Werkzeuge besser veranschaulicht werden. Das mit Daten der Landeshauptstadt München entwickelte Vorhaben soll auf andere Städte in Bayern bzw. Deutschland übertragbar sein. Es schließt eine wichtige

Lücke für die Planung, der es bisher an solchen einfach zu handhabenden Werkzeugen fehlt.

Ziele

Simulation zur Quantifizierung:

- Praxisrelevante Abschätzungen zu den Auswirkungen von Nachverdichtungsmaßnahmen auf den Innen- und Außenraumkomfort sowie Ressourcenbedarf. Hierbei werden die Wirksamkeit grüner Infrastruktur und der ressourceneffiziente Materialeinsatz der Gebäude über den gesamten Lebenszyklus hinweg berücksichtigt.
- Konzeption von digitalen Werkzeugen zur Entscheidungsunterstützung bei Nachverdichtungsmaßnahmen, aufbauend auf der Collaborative Design Platform (CDP), die an der TU München entwickelt wurde.

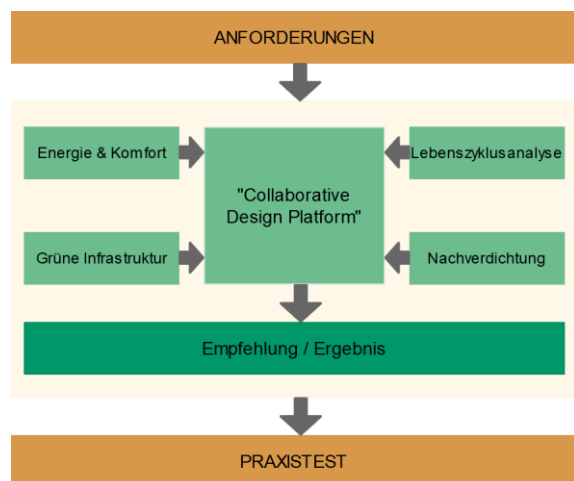


Abbildung 54: Projektablauf

Methodik

Im Fokus des Projekts steht die Simulation und Visualisierung in einem Decision-Support-Tool, der CDP, für den Einsatz in Planungsverfahren. Dazu werden zunächst Potenziale aufgezeigt (AP 1). Anschließend erfolgt die Quantifizierung von Auswirkungen unterschiedlicher Nachver-

dichtungsszenarien in einem ausgewählten Nachverdichtungsfall auf den Klimaschutz (Energiebedarf, THG-Emissionen) und die Klimaanpassung (Mikroklima, Außenraum) (AP 2 und 3), bevor das 3D-Tool, in Form der CDP, die auf vorangegangenen Forschungsprojekten aufbaut, spezifiziert wird (AP 4). Zudem wird die Übertragbarkeit in die Praxis behandelt, u.a. in Workshops mit potenziellen Nutzern (AP 5).

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 55: Analyse Kriterien in der CDP

Potenziale für Nachverdichtung

Die Nachverdichtungspotenziale verschiedener Siedlungstypen werden über eine Literaturrecherche ermittelt. Planungswerkzeuge sowie bau- und planungsrechtliche Rahmenbedingungen werden erfasst und analysiert. Gleichzeitig wird eine Gute-Praxis-Datenbank zu erfolgreichen Nachverdichtungsstrategien aufgebaut.

Quantifizierung – Energie und Behaglichkeit

Die betrachteten Nachverdichtungsszenarien werden hinsichtlich Energiebedarf 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. Dachbegrünung). Um den Entscheidungsprozess interaktiv zu unterstützen, werden Ergebnisse in Echtzeit ausgegeben. Hierzu wird ein Verfeinerungsverfahren angewandt, das die Simulationen mit steigender Wartezeit iterativ

verbessert. Einfache Berechnungen liefern schnelle Ergebnisse, dynamische Simulationen reduzieren die Unschärfe.

Quantifizierung – Lebenszyklusanalyse

Neben der klimaresilienten Umsetzung von Nachverdichtungsprojekten in Bezug auf deren Betrieb müssen auch Auswirkungen auf Umwelt und Ressourcenverbrauch in die Bewertung mit einbezogen werden. Durch eine Lebenszyklusanalyse 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 gegeben werden.

Collaborative Design Platform

Das interdisziplinäre Forschungsprojekt CDP will die gegenwärtige Diskrepanz zwischen den bekannten analogen Arbeitsweisen in den frühen Phasen des Architekturentwurfs und dem immer stärkeren Einsatz digitaler Werkzeuge in der Büropraxis verringern. Durch die direkte Verknüpfung bekannter analoger Arbeitsweisen mit digitalen computergestützten Designwerkzeugen stellt das CDP eine Entwurfsplattform im städtischen Kontext dar, die es den Designern ermöglicht, so zu arbeiten, wie sie es gewohnt sind und gleichzeitig das Potenzial von Computern zu nutzen.



Abbildung 56: Prototyp für das CDP Plugin

Übertragbarkeit in die Praxis/Akteursanalyse

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, Wohnungsbau-genossenschaften und Bürger. In einer Online-Umfrage werden alle bayerischen Kommunen, die ein prognostiziertes Bevölkerungswachstum von mind. 2,5% haben, nach ihren Erfahrungen im Umgang mit Nachverdichtung befragt (Teil 1). Über diese Online-Umfrage sollen außerdem Interessenten für weiterführende Interviews gewonnen werden (Teil 2). Hierfür wurde ein Leitfaden entworfen. Die Befragungen sollen Erkenntnisse über die Bedürfnisse und Anforderungen von Nachverdichtungsvorhaben liefern, um festzustellen, welche Funktionen eines Visualisierungswerkzeuges die Stadtplanung unterstützen können. Nach Durchführung der Interviews ist die Vorbereitung eines Workshops vorgesehen, bei dem die Teilnehmer das Visualisierungswerkzeug kennenlernen und testen können.

Erwartete Ergebnisse und Ausblick

Das Projekt entwickelt ein Modellierungs- und Visualisierungswerkzeug (CPD) für die Quantifizierung von Auswirkungen unterschiedlicher Szenarien der baulichen Nachverdichtung. Durch die Entwicklung von Szenarien und deren Echtzeitsimulation über die CPD und deren Vergleich, wird die Entscheidungsfindung bei Nachverdichtungsvorhaben unterstützt, um die Bebauungsplanung und Freiraumgestaltung für Klimaschutz (Energiebedarf, THG-Emissionen) und Klimaanpassung (Mikroklima, thermischer Komfort im Außenraum) zu fördern.

Teilprojekt 11 - Multifunktionale Versickerungsmulden im Siedlungsraum

Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft, TUM (Prof. Dr. Brigitte Helmreich), Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (Prof. Dr. Swantje Duthweiler, Prof. Dr. Christoph Moning)



Abbildung 57: Integration von Bepflanzungen im urbanen Raum

Projektlaufzeit

November 2020 - Oktober 2023

Ausgangspunkt und Fragestellung

Städte erfahren derzeit ein überdurchschnittliches Wachstum. In zahlreichen Ballungszentren kommt es daher zu sehr starken Nachverdichtungen, zur Erschließung neuer Baugebiete und einer deutlichen Reduzierung innerstädtischer Grünflächen. Parallel dazu nehmen im Klimawandel die Häufigkeit, Dauer und Intensität von Wetterextremen wie Starkregenereignisse und Dürren zu. Damit wird aus wasserwirtschaftlicher Sicht die Regenwasserbewirtschaftung vor eine große Herausforderung gestellt. Parallel dazu werden siedlungstypische Lebensräume immer weiter zurückgedrängt, was einen negativen Einfluss auf die Biodiversität in Siedlungsräumen hat. Als besonders vielversprechend für die naturnahe Bewirtschaftung von Niederschlagsabflüssen im Siedlungsbereich werden begrünte oberirdische Versickerungsmulden erachtet. Versickerungsmulden übernehmen die Funktion einer regulierten Entwässerung der Abflüsse versiegelter Flächen wie Straßen und Dächer aber auch den Rückhalt ihrer Schadstoffe zum Schutz des Grundwassers. Zur Beibehaltung der Versickerungsleistung ist die bewachsene Bodenzone aber nur mit einem geringen Humus-

und Tongehalt ausgestattet. Daher werden sie in der Regel durch eine pflegeleichte Rasensaat begrünt, die aus Sicht der Biodiversität und zur Integration im Siedlungsraum nur wenig Anerkennung findet und wenig vorbereitet ist auf Stressbelastungen durch Staunässe und Hitzephasen.

Ziele

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines siedlungswassertechnisch-, pflanzen- und tierökologisch-integrierten Versickerungssystems. Dieses soll sowohl in seiner stadtklimatischen Wirkung als auch in der Aufnahmeleistung, Speicherfähigkeit und Entwässerung von Niederschlagswasser und seiner Reinigungsleistung des Bodenkörpers optimiert sein. Zusätzlich soll es im Nahrungs- und Fortpflanzungshabitat für eine Vielfalt an Insekten (insbesondere Hautflügler, Tagfalter und Laufkäfer) abgestimmt sein und durch ein attraktives Pflanzenbild planerische Akzente in der Stadt setzt (Abb. 57).

Methodik

Abbildung 58 zeigt einen Überblick über die Vorgehensweise. Nach Untersuchungen im Labormaßstab zur Optimierung von Oberböden zur Entwässerungssicherheit, Wasserspeicherfähigkeit und zum Schadstoffrückhalt sowie einer Recherche zu schadstofffilternden Vegetation (möglichst heimisch), 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 Versuche in halbertechnischen Maßstab durchgeführt. Im halbertechnischen Maßstab werden Untersuchungen zu stofflichen Belastungen (Biozide, Schwermetalle, etc.) sowie Probebepflanzungen von Insektennährpflanzen auf Versickerungskörpern vorgenommen. Nach

den halbtechnischen Untersuchungen erfolgt eine Pilotierung in einem ausgewählten Siedlungsraum zur Evaluierung der Ergebnisse aus

den labor- und halbtechnischen Versuchen unter realen Bedingungen.

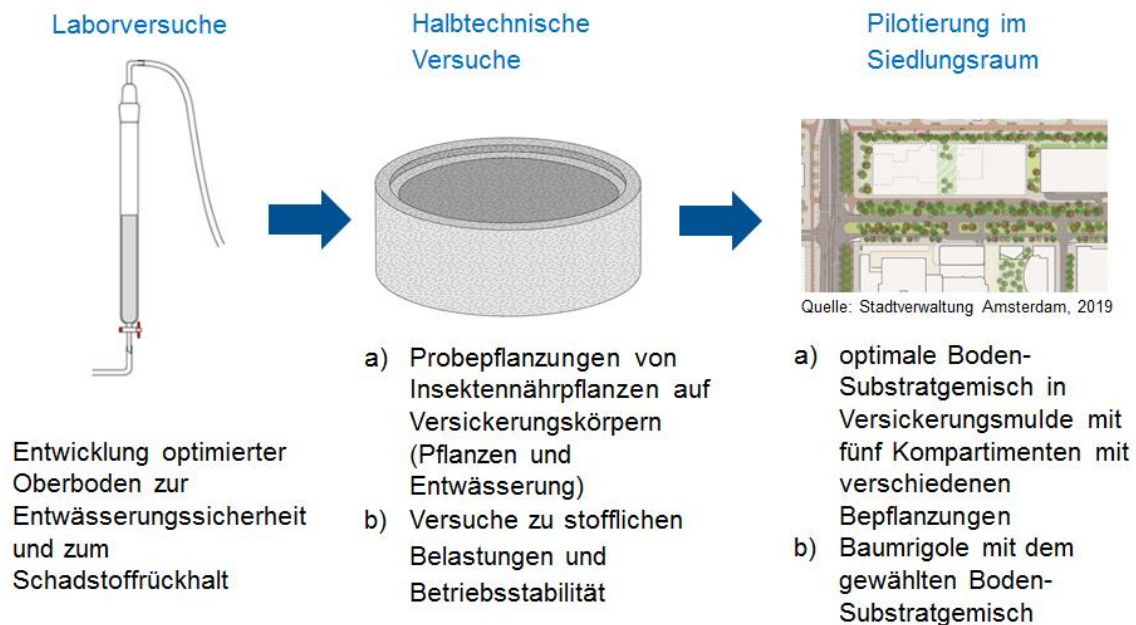


Abbildung 58: Methodik des Projektes

In der Pilotierung werden zusätzlich Baumrigolen mit betrachtet werden, da sie zusätzlich Beschattung und Verdunstung im urbanen Raum begünstigen.

Ausblick

Mit den optimierten Böden und einer möglichst heimischen Bepflanzung, die lange, klimabedingte Hitze, Dürreperioden sowie Starkregenereignisse überdauern kann, sollen Versickerungsmulden im Siedlungsraum zu einer bessere Akzeptanz und zur Erhöhung der Artenvielfalt beitragen. Dabei sollen dennoch die Entwässerungssicherheit und der Schadstoffrückhalt gewährleistet sein. Oberboden 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) zurechtkommen. Zudem werden umsetzbare Pflegekonzepte entwickelt werden, 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.

Schlussfolgerung und Ausblick zum ZSK

Zusammenfassung und Kooperationen

Mit dem ZSK wurde vor sieben 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 100 Beiträge in nationalen und internationalen Zeitschriften, Konferenz- und Tagungsbeiträge, Pressemitteilungen und Onlinepublikationen und auf weitere öffentlichkeitswirksame Aktivitäten wie ein Abschlussymposium, Workshops und Tagungen 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:

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

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung 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 extrem 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 (GI) 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?

- 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. Dabei werden die Auswirkungen des städtischen Mikroklimas auf das Baumwachstum und die damit verbundenen Dienstleistungen (Beschattung, Abkühlung, Kohlenstoffspeicherung) unter dem gegenwärtigen Klima und zukünftigen Klimawandel-Szenarien quantifiziert. Neben Städten mit temperatem Klima in Deutschland werden Städte in Israel, Palästina und Jordanien mit mediterranem und aridem Klima untersucht.

Untersucht werden die Wachstumsmuster und morphologischen Eigenschaften der Stadtbäume. Dazu werden permanente Baumlabore eingerichtet, an denen neben meteorologischen Daten auch kontinuierliche Wachstums- und Wasserhaushaltsmessungen an Stadtbäumen in hoher zeitlicher Auflösung erhoben werden. Im Rahmen des Projekts werden die Auswirkungen des städtischen Mikroklimas auf das Baumwachstum in Bezug auf Stress (Hitze stress, Wasserbegrenzung und Dürre) analysiert, die Auswirkungen der Umwelt auf die Ökosystemleistungen von Stadtbäumen (C-Speicherung, Kühlung, Beschattung) 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 (Abbildung 2). Aus den Messergebnissen und der mikroklimatischer 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 (Kohlenstofffixierung, Kühlung durch Transpiration und Beschattung, Oberflächenabfluss)
- 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 Technischen Universität 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 Artengemeinschaften werden zusammengesetzt aus verschiedenen Gruppen einheimischer krautiger Arten. 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.

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

Das Projekt wird an der Technischen Universität München (Lehrstuhl für Renaturierungsökologie) bearbeitet. Das Projekt wird 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 wird 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. Für Unternehmen ist es schwierig den Bundeseinheitlichen Qualitätsstandard 7-1 für Rekultivierungsschichten (BQS 7-1) einzuhalten, da es noch keine standardisierte Systemlösung gibt. Eine Kombination aus einem ziegelhaltigen Substrat und einer passenden Vegetation wäre diese Systemlösung und würde das Potential von Ziegelbruch besser ausnutzen als dessen Nutzung als Schüttgut. Ein solches Substrat wäre auch sinnvoll für Stadtbaumpflanzungen, denn dafür werden Substrate mit einer guten Wasserspeicherung und einer hohen Tragfähigkeit benötigt.

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 platanoides* 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?

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. 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 Social Media 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) eingeworben. Derzeit sind in Erarbeitung:

- Begleitforschung zum Modellvorhaben „Klimaanpassung im Wohnungsbau“ des Bayerischen Staatsministeriums für Wohnen, Bau und Verkehr
- Projektantrag Graduiertenkolleg: Konsortium aus u.a. Prof. Dr. Stephan Pauleit, Prof. Dr. Wolfgang Weisser, Prof. Dr. Hans Pretzsch, Prof. Dr. Werner Lang, Prof. Dr. Kollmann, Prof. Dr. Thomas Rötzer sind in der 2. Phase zur Einwerbung eines Graduiertenkollegs an der TU München (DFG Projektförderung)
- Projektantrag Automatisierte Erfassung von Baumarten und Ökosystemeigenschaften: In Zusammenarbeit mit der Universität Würzburg wird derzeit von den Lehrstühlen für Waldwachstumskunde und Strategie und Management der Landschaftsentwicklung ein Projektantrag entwickelt. Thema ist die automatisierte Erfassung von Baumarten in der Stadt durch Satellitendaten, wobei ebenfalls weitere Baumeigenschaften wie Art, Größe und Ökosystemleistungen erfasst werden sollen (eingereicht bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, DBU).
- Projektantrag „Risikopotenzial und Regulierung zukünftiger urbaner Wasserextreme in Würzburg – eine Stadt im Brennpunkt von Stadtklima und regionalem Klimawandel-Hotspot“: Konsortium aus Prof. Dr. Heiko Paeth, Prof. Dr. Thomas Rötzer, Christian Göpfert, Dr. Herbert Walter, Prof. Dr. Markus Disse, Prof. Dr. Stephan Pauleit.

BMBF



Abbildung 59: Die Partner und Förderer des ZSK

Veröffentlichungen der Teilprojekte (Stand Juli 2020)

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.

2020

- 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., Stratopoulos, 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.org/10.1016/j.buildenv.2019.106606

2019

- 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.
- 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, Ch., 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
- Stratopoulos, 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, <https://doi.org/10.3390/su11185117>
- Zhang, C., Stratopoulos, 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; <https://doi.org/10.3390/f10080676>
- Pauleit, S., Zöch, 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

2018

- Hartmann, C. (2018): Klimaerlebnis Würzburg. In *Anthos – Zeitschrift für Landschaftsarchitektur*. Veröffentlicht: September 2018
- Konferenz "100Places:M: Urbane Naturen-Kulturen entwerfen", Vorhoelzer Forum, Technische Universität München, München 11.-12.10.2018. Vorträge können auf Youtube abgerufen werden.
- 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

2017

- 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.
- Konferenz "CFP: Circling the Square: Re-designing nature-cultures in a changing urban climate", Technische Universität München, 23.-24.11.2017
- 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 microclimatic 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.
- 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 Schattenspender: Ökosystemleistungen grüner Infrastruktur untersucht, *BDLA Verbandszeitschrift* 3/2017

2016

- 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, Kanada, Mai 2016.
- 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.org/10.1016/j.agrformet.2016.10.006. [DOI]
- 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.

2015

- 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.
- Moser, A., Rötzer, T., Pauleit, S., & Pretzsch, H. (2015). Structure and ecosystem services of small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) and black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in urban environments. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(4), 1110-1121.

2014

- 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.

Literaturempfehlungen zu den Themen des ZSK

- Böll, S., Schönfeld, P., Körber, K., & Herrmann J.V. (2014). Stadtgrün 2021: Stadtbäume der Zukunft. *Deutsche Baumschule* 02/2014, 21-26.
- Czechowski, D., Hauck, T., & Hausladen, G. (Hrsg.). (2015). Revising Green Infrastructure – Concepts between Nature and Design, *Boca Raton* (FL).
- Gloor, S. (2014). Der ökologische Wert von Stadtbäumen bezüglich ihrer Bedeutung für die Biodiversität. *Auftraggeber Grün Stadt Zürich*, 28 S.
- 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.
- Schelle, R., Hauck, T., Weisser, W. (2013). Animal-Aided Design – Integration von Tierbedürfnissen. *Garten+Landschaft, Gehölzverwendung*, Heft 12, Dezember 2013, 32-35.
- Rahman, M.A., Stratopoulos, 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

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Forschungsthemen des ZSK (ZSK, TP1)	5
Abbildung 2: Die aktuell laufenden Teilprojekte des ZSK. Stand April 2020 (Grafik: ZSK)	5
Abbildung 3: Die bereits abgeschlossenen Teilprojekte des ZSK. Stand April 2020 (Grafik: ZSK).....	6
Abbildung 4: Teilprojekt 1 – Klimaschutz und grüne Infrastruktur in der Stadt	7
Abbildung 5: Projektaufbau und methodisches Vorgehen (Grafik: TP1)	8
Abbildung 6: Regionales Klimamodell REMO: Änderung der Jahresmitteltemperatur für die Region München von 1990 bis 2100 nach unterschiedlichen Klimawandelszenarien (IPCC) (Grafik: TP1).....	8
Abbildung 7: Energiebedarf nach unterschiedlichen Sanierungsstandards in Abhängigkeit der klimatischen Veränderungen (Grafik: TP1)	9
Abbildung 8: Mikroklimasimulation eines Modellblocks in der Münchner Maxvorstadt mit ENVI-met (Grafik: TP1).....	9
Abbildung 9: Neue Lebensqualität: Blick auf einen begrünten Innenhof in der Maxvorstadt (Szenario) (Grafik: TP1).....	9
Abbildung 10: Auszug aus der Stadtklimaanalyse der Landeshauptstadt München (Grafik: Referat für Gesundheit und Umwelt, Landeshauptstadt München, 2014).....	10
Abbildung 11: Lebenszyklus des Rotkehlchens (Grafik: S. Jahnke)	11
Abbildung 12: Schema zum Planungsablauf mit Animal-Aided Design (aus Broschüre „Animal-Aided Design im Wohnumfeld“).....	12
Abbildung 13: Kommerziell erhältliche Fassaden-quartiere für Spatzen (oben) und Fledermäuse (unten) 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).	12
Abbildung 14: 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“).....	12
Abbildung 15: 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“)	13
Abbildung 16: Lebenszyklus des Grünspechts (<i>Picus viridis</i>). Quelle: AAD	13
Abbildung 17: Umweltleistungen von Stadtbäumen in Abhängigkeit der Baumart, der Vitalität und des Alters (Grafik: TP 3).....	14
Abbildung 18: Das Wachstumsmodell CityTree (Grafik: TP 3)	15
Abbildung 19: Mittlere jährliche Kühlleistung in Abhängigkeit von der Baumart und dem Baumalter im Mittel der sechs bayerischen Städte.	15
Abbildung 20: Biomassezuwachs von Winterlinden, Platanen, Robinien und Rosskastanien in bayerischen Städten (Grafik: TP 3).....	17
Abbildung 21: Marienhof, München (Foto: R. Keller)	18
Abbildung 22: GIS Kartierung – Beispiel Alpenplatz (Quelle: 100Places:M)	19
Abbildung 23: Datenbank– Beispiel Alpenplatz (Quelle: 100Places:M).....	19
Abbildung 24: Testentwurf Baldeplatz Dittrich/Krimmer (Quelle: 100Places:M).....	19
Abbildung 25: Blattfraß an der Hopfenbuche (Foto: S. Böll).....	20
Abbildung 26: Eklektoren und Gelbtafel in <i>Fraxinus ornus</i> , kurz vor dem Blattaustrieb	21
Abbildung 27: Fallenwechsel im Hubsteiger	22
Abbildung 28: Mittlere Individuenzahlen einzelner Arthropodengruppen auf heimischen (grün) und südosteuropäischen (gelb) Baumarten (* $p < 0,01$).....	22

Abbildung 29: Prozentuale Anteile der Hautflügler-Familien an der Gesamtabundanz (3301 Individuen) auf den Versuchsbaumarten.....	22
Abbildung 30: Artenvielfalt der Wildbienen auf den einzelnen Baumarten. Kruskal Wallis-ANOVA $p=0,29$	23
Abbildung 31: Artenzahl dominanter Taxa* auf heimischen, südosteuropäischen oder beiden Baumartengruppen (* Auchenorrhyncha, Heteroptera, Chrysomelidae, Curculionidae, Apidae).....	23
Abbildung 32: Skabiosenfurchenbiene (<i>Halictus scabiosae</i>) und eine kleine Furchenbienenart der Gattung <i>Lasioglossum</i>	23
Abbildung 33: Bild TP 6 (Karte: geoportal.bayern.de).....	24
Abbildung 34: Infotonne auf der Fläche der Landesgartenschau (LGS).....	24
Abbildung 35: Wärmebezogene klimatologische Kenntage in den Jahren 2018 und 2019 sowie im langjährigen Mittel an drei Standorten im Würzburger Stadtgebiet.....	25
Abbildung 36: Mittlere monatliche Temperaturunterschiede unter Stadtbäumen im Würzburger Ringpark (rot = 2018, blau = 2019).....	26
Abbildung 37: Mittlerer Radialzuwachs von <i>T. cordata</i> (links) und <i>R. pseudoacacia</i> (rechts) in den Jahren 2018 (dunkelgrau) und 2019 (hellgrau) im Mittel über alle Standorte	26
Abbildung 38: Mittlere Transpirationssumme in der Vegetationszeit (Mai-Oktober) von <i>T. cordata</i> (links) und <i>R. pseudoacacia</i> (rechts) in den Jahren 2018 (dunkelgrau) und 2019 (hellgrau) im Mittel über alle Standorte.....	26
Abbildung 39: Kühlleistung durch Transpiration von <i>T. cordata</i> (links) und <i>R. pseudoacacia</i> (rechts) an den einzelnen Standorten für die Jahre 2018 (rot) und 2019 (orange)	27
Abbildung 40: Versuchsbäume auf der LGS, am Ludwigkai und an der Rottendorfer Straße (Quelle: KEW)	27
Abbildung 41: Bild „Bunte Bänder für unsere Städte“ – Teilprojekt 7 (S. Dietzel).....	28
Abbildung 42: Schematische Darstellung des Versuchsdesigns auf Plot-Ebene.....	29
Abbildung 43: Lage der untersuchten Straßenzüge im Stadtgebiet von München, an denen im Jahr 2019 Blühflächen angelegt wurden, inkl. Kartierungsradien und drei Urbanisierungsgrade (A. Dichtl)	29
Abbildung 44: Verschiedene Verschlüsse der Nisthilfen lassen bereits auf verschiedene Solitärbiene- und Wespenarten schließen (A. Dichtl).....	30
Abbildung 45: Abundanz und Artenzahl solitärer Biene- und Wespenarten in den Nisthilfen sind im peri-urbanen Bereich am höchsten (C. Meyer).....	31
Abbildung 46: Aufbau Pflanzversuch 1, Stand 06.05.2020, Foto: Christoph Fleckenstein	32
Abbildung 47: Detailansicht Pflanzversuch 1, Stand 06.05.2020, Foto: Christoph Fleckenstein	33
Abbildung 48: Auswahl an Versuchsbäumen, Stand 07.07.2020, Foto: Christoph Fleckenstein.....	34
Abbildung 49: Stadtplätze und ihre Funktionen	35
Abbildung 50: Stadtplätze als grüne Oasen und Gestaltungselemente sowie für Erholung.....	36
Abbildung 51: Karte der im Rahmen des Projekts untersuchten Plätze	37
Abbildung 52: Hoch verdichteter Hohenzollener Platz mit Bäumen und annueller Vegetation in Pflanztöpfen (oben) und Alpenplatz mit viel Grasflächen und umsäumenden Hecken (unten).	37
Abbildung 53: CDP, eine interaktive Entwurfsplattform im städtischen Kontext.....	38
Abbildung 54: Projektablauf.....	38
Abbildung 55: Analysekrterien in der CDP	39
Abbildung 56: Prototyp für das CDP Plugin.....	39
Abbildung 57: Integration von Bepflanzungen im urbanen Raum.....	41
Abbildung 58: Methodik des Projektes	42
Abbildung 59: Die Partner und Förderer des ZSK.....	48