



Die Grüne Stadt aus forstlicher Sicht

Cecilie Birgitte Foldal, Brigitta Hollosi, Andrea Kodym, Barbara Öllerer

Impressum:

Die Grüne Stadt aus forstlicher Sicht

Autor*innen: Cecilie Birgitte Foldal, Brigitta Hollosi, Andrea Kodym, Barbara Öllerer (alphabetisch)

Eine Studie vom Bundesforschungszentrum für Wald (BFW) in Zusammenarbeit mit der Zentralanstalt für Geodynamik und Meteorologie (ZAMG) für die Akademie der Wissenschaften (ÖAW), Januar 2022.

Projektleitung: Cecilie Birgitte Foldal



Bundesforschungszentrum für Wald
Seckendorff Gudent Weg 8
1131 Wien
<https://www.bfw.gv.at/>



Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
Hohe Warte 38
1190 Wien
<https://www.zamg.ac.at/cms/de/aktuell>



Österreichische Akademie der Wissenschaften
Dr. Ignaz Seipel-Platz 2
1010 Wien
<https://www.oeaw.ac.at/>

Anregungen und Beiträge von:

(in alphabetischer Reihenfolge) Anton Aigner, Thomas Cech, Alfred Fürst, Thomas Gschwandtner, Claudia Haumer, Gernot Hoch, Monika Humer, Robert Jandl, Astrid Kainz, Barbara Kitzler, Katharina Lapin, Thomas Ledermann, Kerstin Michel, Dominik Mühlberger, Andreas Schindlbacher, Alois Schuschnigg, Maja Zuvella-Aloise.

Zu zitieren: Foldal, C. B., Hollosi, B., Kodym, A., Öllerer, B. 2022: Die grüne Stadt aus forstlicher Sicht. Eine Studie im Auftrag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Arbeitsgruppe 'Klima und Luftreinhaltung', Wien. Ausgeführt durch das Bundesforschungszentrum für Wald (BFW) und der Zentralanstalt für Geodynamik und Meteorologie (ZAMG).

Fotos: erste Seite ©BFW/Bernhardt 2018, letzte Seite @ BFW/Walli 2021

Inhalt

1. Einleitung.....	4
2. Strategieempfehlungen.....	5
3. Wissensstand.....	8
3.1. Stadtklima.....	8
3.2. Urban forestry	16
3.2. Stadtböden	23
3.3. Urban Forestry und die Gesellschaft.....	28
4. Mögliche Projektstädte	34
Wien	34
Graz	37
5. Österreichweite Akteur*innen zu Themen der grünen Stadt.....	40
6. Forschungsbedarf.....	41
6.1. Klima.....	41
6.2. Urban Forestry.....	41
6.3. Boden	42
6.4. Gesellschaft	42
7. Schlussfolgerung.....	43
8. Literatur	44
9. Anhänge:	51
9.1. Abgeschlossene bzw. laufende Projekte vom BFW/ZAMG mit Bezug zu Wien und Graz	51
9.2. Interessante Weblinks:.....	52

1. Einleitung

Unserem Stadtgrün kommt, bedingt durch den Klimawandel, immer mehr Bedeutung zu, denn es leistet einen unverkennbaren Beitrag für ein nachhaltiges urbanes Leben. Es wirkt sich positiv auf die Menschen aus, das Mikroklima, den Boden und die Artenvielfalt von Pflanzen und Tieren. Das Stadtgrün steht aber durch die Klimaveränderungen vor großen Herausforderungen. Für eine klimagerechte Stadtplanung, wo das Stadtgrün Platz findet und seine vielfältigen und wichtigen Funktionen erfüllen kann, ist eine enge Zusammenarbeit vieler Akteure erforderlich. Ebendeshalb wird hier der Mehrwert einer forstlichen Expertise für die grüne Stadt aufgezeigt.

Im Fokus dieser Studie steht das Stadtgrün, insbesondere die Bäume und urbanen Wälder, allerdings auch das Stadtklima. Die beiden Themen werden aus dem Blick des Bundesforschungszentrums für Wald (BFW) und der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) ausführlich abgehandelt. Zusätzlich wird auf Stadtböden und auf den Zusammenhang zwischen Stadtgrün und der Gesellschaft eingegangen. Diese Arbeit beruht auf Internetrecherchen und Auskünften von Expert*innen aus den Disziplinen der Meteorologie, Bodenkunde, Forstwirtschaft, Entomologie, von Praktikern*innen der Grünraumpflege, von Grünraumgestaltern und Landschaftsplaner*innen.

Ein paar wichtige Begriffe vorab: **Stadtgrün** umfasst alle Formen grüner Freiräume und begrünter Gebäude. Zu den Grünflächen zählen Parkanlagen, Friedhöfe, Kleingärten, Brachflächen, Spielbereiche und Spielplätze, Sportflächen, Straßengrün und Straßenbäume, Siedlungsgrün sowie der Wald. Weiterhin zählen das Bauwerksgrün mit Fassaden- und Dachgrün dazu. **Urban forestry**, frei übersetzt als 'städtische Forstwirtschaft' ist eine in Österreich eher bislang wenig bekannte Disziplin. Sie ist eine spezialisierte Sparte der Forstwirtschaft, die sich mit der Pflege und dem nachhaltigen Management von Bäumen in urbanen Grünräumen und den Stadtrandgebieten befasst. Dieses Aufgabenfeld umfasst demnach die Straßenbäume, alle Bäume in Parks, Gärten und versteckten Winkeln, sowie stadtnahe Wälder in den Grüngürteln.

Bei der Recherche zu dieser Studie zeigte sich, dass es in Österreich zwar viele regionale Aktivitäten und sehr viele Expert*innen gibt, aber eine gemeinsame Strategie in punkto Stadtgrün fehlt. Wir starten daher mit einer Strategieempfehlung. Danach wird in mehreren Unterkapiteln der Stand des Wissens der aktuellen Forschungsfelder beschrieben. Die Charakteristika und Akteure von zwei Beispielstädten Wien und Graz werden aufgelistet, darüber hinaus Wissenslücken und der Forschungsbedarf aufgezeigt. Im Anhang finden sich aktuelle und abgeschlossene Projekte von BFW/ZAMG in Wien und Graz.

2. Strategieempfehlungen

Aus der vorliegenden Studie ist deutlich hervorgegangen, dass es in Österreich zwar viele regionale Aktivitäten gibt, aber eine gemeinsame Strategie im Punkto Stadtgrün fehlt.

Zur Gestaltung des Expert*innen- Netzwerkes sind die Erfahrungen der Schweiz für die österreichischen Bestrebungen relevant. In der Schweiz gibt es traditionell wenig Grün in den Stadtzentren. Erholung und Freizeitaktivitäten finden in den Stadtwäldern und stadtnahen Wäldern statt. Seit dem neuen Raumplanungsgesetz 2014 erhöht die starke Fokussierung auf Innenentwicklung den Druck auf die bestehenden Grünräumen, die einfacher und schneller erschlossen werden können als bereits bebaute Gebiete (Wittenwiler, 2020). In 2014 wurde der Verein **ArboCityNet** auf Initiative weniger Expert*innen für unterschiedliche Berufsgruppen wie Raumplaner*innen, Landschaftsplaner*innen, Förster*innen etc. rund um das Thema Urban Forestry gegründet. Übergeordnete Ziele sind nachhaltige Lösungen für mehr Grünraum und grüne Städte als Teil der Innenverdichtung zu forcieren und auf die Ökosystemleistungen der Stadtbäume und des Stadtgrüns aufmerksam zu machen. Das interdisziplinäre Netzwerk bietet eine Plattform für Wissenstransfer, Austausch und Diskussionen, einerseits über die Webseite und die Newsletter, aber auch via jährlichen Tagungen und weiteren mehrwertgenerierenden Aktivitäten (Webinare, Schulungen, Themen-Begehungen in den Städten). Bei ArboCityNet finden die Stadtverwaltungen kompetente Ansprechpersonen um anstehende Probleme zu diskutieren.

In Deutschland bietet der Verein Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz (GALK) ein bundesweites Netzwerk von kommunalen Grünflächenverwaltungen. In Arbeitskreisen und Landesgruppen werden thematische und regionale Veranstaltungen angeboten und Preise vergeben. In der bundesweiten GALK Jahreskonferenz kommen alle Fachgruppen zusammen.

Wir können die Aktivitäten in unseren Nachbarländern als Anstoß sehen, um auch in Österreich entsprechende Kompetenzzentren aufzubauen.

Im Besondern wurden folgende Maßnahmen als notwendig erachtet, die z.T. schon in einer Publikation der FAO aus dem Jahre 1999! zu finden waren (Kuchelmeister & Braatz, 1999)

1. Vernetzung der Städte, Gemeinden und deren Akteuren auf nationaler Ebene
2. Veranstaltung von regelmäßigen Tagungen zum Thema Stadtgrün
3. Anschluss an die internationale Forschungsgesellschaft
4. Entwicklung der Urban Forestry als Fachgebiet in Österreich
5. Verbesserung der institutionellen Strukturen und des Rechtsrahmens für Stadtgrün
6. Bewusstseinsbildung in der Gesellschaft zum verantwortungsvollen Umgang mit Stadtgrün

1. Vernetzung der Städte, Gemeinden und deren Akteure auf nationaler Ebene.

Im Netzwerk sollten alle Bundeshauptstädte vertreten sein und darüber hinaus, weitere ambitionierte Städte und Gemeinden. Es können sich Planer*innen, Praktiker*innen, Wissenschaftler*innen etc. etwa aus den Bereichen Raum- und Landschaftsplanung, Gartenbau und Baumpflege, Klimaforschung, Forstwirtschaft, Green Care, Ingenieurbiologie und Bodenforschung anschließen. Die vielzähligen Initiativen in den Städten, Dörfern und Ländern werden so gebündelt und erlauben einen Austausch von Wissen und Erfahrungen. So kann eine gezieltere Bedarfserhebung stattfinden, Kooperationspartner werden leichter

identifiziert, es kann gemeinsam an Lösungsansätzen gearbeitet und die Doppelgleisigkeit vermieden werden.

2. Veranstaltung von regelmäßigen Tagungen zum Thema Stadtgrün

Das Abhalten regelmäßiger Tagungen zum Thema Stadtgrün mit Referent*innen z.B. aus der Planung, Verwaltung, Forschung, Lehre und vom Unternehmensbereich fördert dem Dialog und Austausch. Es bringt aber nicht nur die Stakeholder*innen zusammen und erlaubt die Präsentation von neuen Erkenntnissen, sondern hat auch Symbolkraft und verleiht der Bewegung Stadtgrün eine öffentliche Sichtbarkeit. Die Tagung kann jährlich an einem anderen Ort innerhalb von Österreich stattfinden, wo auch Exkursionen zu Paradebeispielen eingeplant werden. In Deutschland z.B. findet ein- bis zweimal pro Jahr im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft das Symposium Stadtgrün zu aktuellen Fragestellungen statt.

3. Anschluss an die internationale Forschungsgesellschaft

Strategisch ist es sinnvoll, sich der Arbeitsgruppe Urban Forestry der International Union of Forest Research Organisation (IUFRO) anzuschließen. Zu den wichtigsten Zielen dieser Gruppe zählen:

- a) Entwicklung von Urban Forestry als wissenschaftliches Gebiet
- b) Verbesserung der Vernetzung
- c) Förderung der multidisziplinären Forschung und
- d) Verbesserung des Informations- und Erfahrungsaustauschs zwischen Wissenschaft und Praxis.

IUFRO ist ein globales Netzwerk für forstwissenschaftliche Zusammenarbeit. Es umfasst mehr als 15.000 Wissenschaftler*innen aus über 125 Ländern.

4. Entwicklung der Urban Forestry als Fachgebiet in Österreich

Eine Voraussetzung für die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit 'Der Grünen Stadt' ist die Kenntnis des aktuellen Wissensstandes. Die sogenannte 'Urban Forestry' oder städtische Forstwirtschaft ist eine relativ junge Disziplin. In Nordamerika wurde der Begriff bereits in den 1970er Jahren geprägt. Erst kurz vor der Jahrtausendwende wurde von dänischen Forstleuten das Aufgabengebiet bei der IUFRO als Arbeitsgruppe etabliert. Die Aktivitäten wurden anfangs eher zurückhaltend betrachtet, da die getrennte Positionierung von Forstleuten für den Wald und Stadtgärtnern für den Siedlungsraum weit verbreitet war. Der damalige IUFRO Präsident hatte die neue Arbeitsgruppe nach Kräften unterstützt und den jungen niederländischen Forstfachmann Konijnendijk als Frontmann eingesetzt. Urban Forestry hat sich mittlerweile weltweit als anerkanntes Forschungsgebiet etabliert.

5. Verbesserung der institutionellen Strukturen und des Rechtsrahmens für Stadtgrün

In innerstädtischen Bereichen, wo öffentliche Flächen begrenzt sind, aber intensiv genutzt werden, bestehen Interessenkonflikte zwischen unterschiedlichen Nutzungsansprüchen wie Wohnbebauung, öffentliche Einrichtungen, Handel oder auch Stellplatzflächen. Eine ausreichende Grünflächenversorgung wird von Entscheidungsträgern in der Praxis noch immer zu wenig berücksichtigt. In Neubaugebieten werden Grünflächen oftmals auf Bereiche mit geringer sonstiger Verwertbarkeit (z.B. Restflächen) beschränkt. Für eine nachhaltig ausgerichtete Stadtentwicklung sind übergreifende Konzepte und Strategien und ein entsprechender Rechtsrahmen gefordert.

6. Bewusstseinsbildung in der Gesellschaft zum verantwortungsvollen Umgang mit Stadtgrün

Das Stadtgrün befindet sich – bedingt durch den Klimawandel – im Umbruch, neue Strategien werden eingesetzt, das gewohnte Stadtbild ändert sich. Das Stadtklima wird zum zentralen Thema, für das die Bevölkerung sensibilisiert werden muss. Die Akzeptanz und Verantwortung der Bürgerschaft für mehr Grün und einer naturnahen Pflege muss erhöht werden und bedarf entsprechender Aufklärungsarbeit und bewusstseinsbildenden Maßnahmen wie etwa durch Fernsehbeiträge oder Zeitungsartikeln, Infotafeln, Beratung, Austausch mit Vereinen, Vernetzung, Apps, Auftritten in sozialen Medien, Podcasts; Auch Citizen Science und Schulprojekte bieten die Möglichkeit die Bevölkerung direkt anzusprechen. Das Phänomen der sogenannten ‚Plant Blindness‘, ein Wort das es im deutschen Sprachgebrauch nicht gibt, beschreibt die Tatsache, dass Pflanzen von den meisten Menschen in ihrem täglichen Leben übersehen bzw. ignoriert werden. Es muss nicht nur der Baum gepflegt werden, sondern die Beziehung zwischen Menschen und Baum.

Fazit: Für die Koordination all dieser Maßnahmen bedarf es der Einrichtung einer Projektgruppe zum Thema Stadtgrün/Urban Forestry. Diese sollte an eine Institution angeschlossen sein, um Kontinuität zu gewährleisten.



Abbildung 1: Blick aus dem Wald, ©2017 JP Valery unsplash.com

3. Wissensstand

3.1. Stadtklima

Das Stadtklima wird als das gegenüber dem Umland veränderte Lokalklima definiert und ist durch erhöhte Luft- und Oberflächentemperaturen, veränderte Wind-, Feuchte-, Niederschlags-, Strahlungs- und Luftqualitätsverhältnisse charakterisiert (Bornstein & Johnson, 1977; D. O. Lee, 1991; Oke, 1982; Shepherd et al., 2002; Maja Žuvela-Aloise et al., 2014). Stadtklimaeffekte sind weltweit, jedoch in unterschiedlicher Ausprägung zu beobachten. Dabei spielen Faktoren, wie geografische Gegebenheiten (z. B. liegt eine Stadt in Tallage, gibt es in der Umgebung Frischluftentstehungsgebiete), städtebauliche Charakteristiken (z. B. wie dicht ist die Stadt verbaut, wie groß und versiegelt ist sie, welche Baumaterialien überwiegen, wie viele Grünflächen gibt es und wo liegen sie), meteorologische und klimatologische Bedingungen (z. B. wolkenlose und ruhige atmosphärische Bedingungen sind ideal für die Entwicklung einer starken Stadt-Umland Differenz) eine entscheidende Rolle (Grimmond, 2007; Kleerekoper et al., 2012).

Durch die hohe Absorption der Sonnenstrahlung von versiegelten Flächen, Wärmespeicherung durch bebaute Strukturen, fehlender Vegetation, reduzierter Zirkulation und der Freisetzung anthropogener Wärme sind Städte im Allgemeinen wärmer als ihre Umgebung (Oke, 1982). Der Temperaturunterschied zur natürlichen Umgebung - als urbaner Hitzeinseleffekt bekannt - ist während der Nacht am ausgeprägtesten und erreicht im Durchschnitt zwischen 1 °C und 5 °C, in Extremsituationen sogar bis zu 9 °C. Ähnlich zur Studie von Oke aus 1967, der die Lufttemperaturunterschiede in 10 unterschiedlichen Städten mit einer Einwohnerzahl von 1000 bis zu 2 Million untersucht hatte, wurde in der Publikation von Zhou et al. (2017) der Zusammenhang zwischen der Stadtgröße und der Ausprägung des **urbanen Hitzeinseleffektes (UHI-Effekt)** basierend auf Oberflächentemperaturen analysiert. Sie stellten fest, dass unter den größten 5.000 Städten auf der Welt die UHI-Intensität mit dem Logarithmus der Stadtgröße und der Einwohnerzahl zunimmt. Die räumliche Verteilung der städtischen Wärmeinseln korreliert mit der Landnutzung und der geänderten Landbedeckung. Besonders problematische urbane Hitzeinseln können in Gebieten mit dichter Bebauung, starker Versiegelung und mangelnden Grünflächen auftreten (Stewart & Oke, 2012). In der Studie von Hollósi et al. (2021) wurden die UHI Intensitäten in mehreren österreichischen Landeshauptstädten basierend auf Mess- und Modellierungsdaten analysiert. Ausgewertet wurde der Sommer 2019, der sich dem Rekordsommer 2003 näherte und mit Juni der wärmste, sonnigste und trockenste Monat in der Messgeschichte Österreichs (rund 4,7 °C über dem Klimamittel 1981-2010) verzeichnete. In dem Untersuchungszeitraum wurden die größten Stadt-Umland Unterschiede mit absoluten Höchstwerten von 5,8 bis 7,2 °C in Wien, Graz, Linz, Salzburg und Innsbruck registriert.

Stadtgrün als Schlüsselement fürs Stadtklima

Stadtgrün oder urbanes Grün - was alle Formen grüner Freiräume, begrünter Gebäude und Maßnahmen zur Stadtbegrünung umfasst - hat vielfältige Einflüsse auf das Klima, die Menschen, Tiere und die Infrastruktur in der Stadt. Ein ausgeprägtes Stadtgrün kann erheblich zur Verbesserung des Klimas und der Lebensqualität in einer Stadt beitragen. Grünflächen können die Windgeschwindigkeit beträchtlich herabsetzen, erhöhen die Verdunstung, senken dadurch die Lufttemperatur und helfen, thermische Extreme und die damit verbundenen Risiken (sowohl Hitzestressrisiken durch die Verdunstungskühlung und den Schattenentwurf als auch Kältestressrisiken durch die Verringerung der Windgeschwindigkeit) zu reduzieren.

Blätter und Äste beeinflussen durch Beschattung die Energiebilanz in ihrer direkten Umgebung, indem sie die direkte Sonneneinstrahlung stark reduzieren. Die Menge an Sonnenlicht, die durch die Blätter absorbiert wird, variiert nach Pflanzenart. Im Sommer erreicht durchschnittlich 10 bis 30 % der Sonnenenergie den Bodenbereich, der Rest wird von Blättern absorbiert, für die Photosynthese verwendet bzw. ein Teil zurück in die Atmosphäre reflektiert. Im Winter ist dieses Verhältnis viel größer (10 bis 80 %), da Immergrüne bzw. Laubbäume im Winterhalbjahr unterschiedliche Blattmengen tragen (Akbari et al., 1997). Durch den Schatteneffekt von Bäumen können Oberflächentemperaturen unterhalb der Kronenschicht, je nach Oberflächeneigenschaften, sogar bis zu 25 °C und die sommerlichen Spitzenlufttemperaturen um 5 °C reduziert werden. Besonders relevant ist ihre Kühlwirkung über versiegelten Flächen, wo sonnenexponierte Oberflächen stark erhitzen können und durch ihre Wärmespeicherefähigkeit in der Nacht die Wärme verzögert abgeben. Baumlose städtische Grünflächen sind insgesamt weniger effektiv bei der Reduzierung von Oberflächentemperaturen und ihre Kühlwirkung ist etwa zwei bis viermal geringer als die durch städtische Bäume erzeugte Kühlung (Barbierato et al., 2019; Bowler et al., 2010).

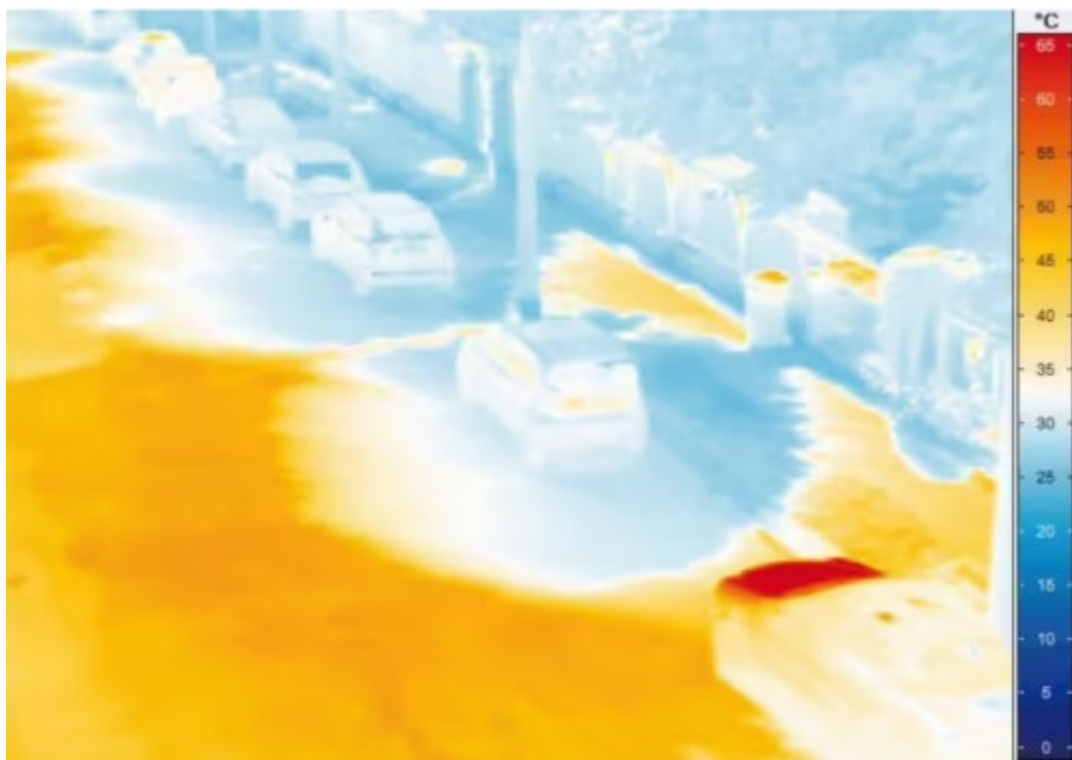


Abbildung 2 Thermographie der Baumart *Tilia cordata* 'Greenspire', im Vergleich der Oberflächentemperaturen von vollsonnigen zu beschatteten Asphaltflächen. Quelle: (Gillner, 2015; TU Dresden)

Die mikroklimatischen Auswirkungen von Grünflächen in der Stadt erstrecken sich je nach Bebauungs- und Vegetationsstruktur in Abhängigkeit des Grünflächenanteils, -größe, -volumens auf ein paar hundert bis etwa tausend Meter Entfernung (Aram et al., 2020; Grilo et al., 2020). Zahlreiche Messkampagnen, Modellsimulationen und qualitative Befragungen konnten bestätigen, dass die Kühleffektintensität der Stadtvegetation für ihre Umgebung bei etwa 1 bis 5 °C liegt und einen positiven Einfluss auf den thermischen Komfort der Bürger hat (Aram et al., 2019; Kabisch et al., 2021). Bei der Klimawirkung wird außerdem auch ein Unterschied zwischen den verschiedenen Vegetationsformen, wie Bäumen, Sträuchern, Wiesen und Rasen festgestellt - das Kühlungspotential von Wiesen ist um einiges geringer als das von Bäumen, die im Straßenbereich wachsen (H. Lee et al., 2016). An verschiedenen Baumarten in unterschiedlichen Untersuchungsgebieten konnten

temperaturbedingte Änderungen in der phänologischen Entwicklung nachgewiesen werden, wobei die Verlängerung der Vegetationsperiode hauptsächlich durch einen früheren Austrieb beeinflusst wird (Comber & Brunsdon, 2015; Zipper et al., 2016). Neben der Blattentwicklung sind auch die Blüte oder der Laubfall von der Temperatur determiniert. Jedoch sind Bäume in Parks generell kühler als solche im Straßenbereich.

In einer vor kurzem veröffentlichten Studie von Schwaab et al. (2021) wurden hochaufgelöste Satellitendaten aus 293 europäischen Städten analysiert, um die Oberflächentemperaturen von Stadtbäumen zu untersuchen. Es konnte festgestellt werden, dass Stadtbäume im Sommer und bei extrem hohen Temperaturen niedrigere Temperaturen aufweisen als versiegelte und bebaute Flächen. Im Vergleich zu den urbanen Strukturen sind die für Stadtbäume gemessenen Oberflächentemperaturen in südeuropäischen Regionen im Durchschnitt 0 bis 4 °C und in Mitteleuropa 8 bis 12 °C niedriger. Die etwas frühere Studie von Leuzinger et al. (2010), in welcher diverse Baumarten unter urbanen Bedingungen in Basel untersucht wurden, hat gezeigt, dass der Spitzahorn in asphaltierter Umgebung im Mittel die höchsten Blatttemperaturen von bis zu 5 °C über der Lufttemperatur aufweist. Eindeutig am kühlfsten blieb die Rosskastanie in Parks, die am ehesten auf die unterschiedlichen Umgebungen reagierte.

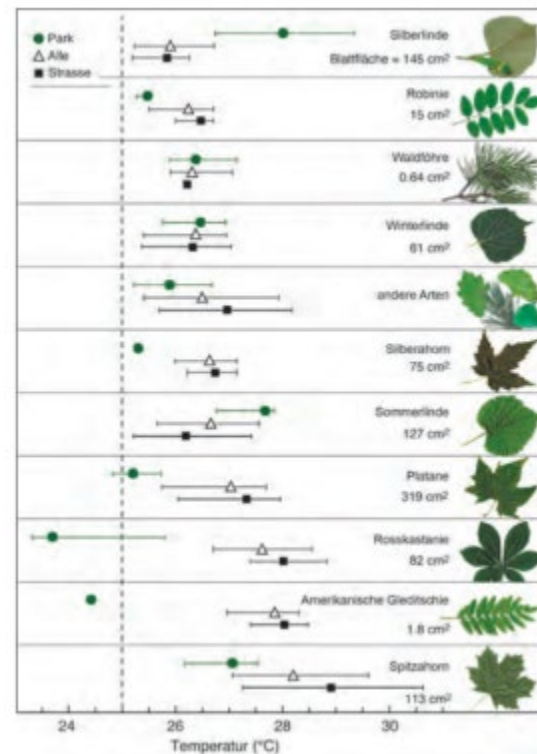


Abbildung 3: Mittlere Oberflächentemperaturen von Bäumen in Parks und Straßenschluchten an einem Sommertag in der Stadt Basel. Quelle: Leuzinger et al., 2010, Grafik: S. Riedl, Basel

Mit dem hohen Grad an Flächenversiegelung in urbanen Räumen ist ein verstärkter Wasserabfluss verbunden. Nicht versiegelter Boden ermöglicht Regenwasser vor Ort zu versickern und speichern (siehe Unterkapitel 2.3.3 Boden). Umwelttechnisch entlastet das die Kanalisation, aber für das lokale Klima wichtiger, die Pflanzen nehmen das Wasser über ihre Wurzeln aus den Stadtböden auf, verdunsten es über ihre Blätter und die Energie, die für den Phasenübergang von Wasser zu Wasserdampf benötigt wird, entzieht sich aus dem System und kühlt die Umgebung entsprechend ab. Die Verdunstungsmenge ist für verschiedene Baum- und Straucharten unterschiedlich. Laubbäume können generell nur solange transpirieren, wie sie Blätter tragen. Je mehr Blätter ein Baum/Strauch besitzt, desto größer ist seine Blattoberfläche, und desto mehr Wasser kann verdunsten. Eine Buche verdunstet beispielweise durchschnittlich etwa 320 bis 370 mm in einem Jahr (Englisch, 2016). Die Verdunstung wirkt auch auf den menschlichen Körper positiv, da die feuchte Luft für viele Menschen angenehmer ist als die trockene (Nienaber et al., 2021). Bei Wassermangel werden allerdings die Transpiration und der damit verbundene Kühleffekt eingestellt.

Auch bei der Verbesserung der Luftqualität und der Bindung von Kohlendioxid (CO₂) leisten Bäume, vor allem Laubbäume, einen großen Beitrag zum Lebensraumerhalt. Sie wandeln nicht nur CO₂ in

Sauerstoff um, sondern filtern auch Fein- und Grobstäube, sowie giftige Stickoxide aus der Luft. Für die Bindung vom Feinstaub sind die Form von Blatt-, Zweig- und Stammoberflächen sowie deren Rauigkeit, Relief, Behaarung, Blattfiederung und die Dauer der Belaubung ausschlaggebend. Wie viel Sauerstoff ein Baum an einem bestimmten Standort produziert wird, ist von der jeweiligen Baumart, sowie Alter und Wachstumsverhalten abhängig. Zudem haben aktuell herrschende Lichtverhältnisse und Lufttemperaturen einen wichtigen Einfluss auf die Photosyntheseleistung und somit auf die Sauerstoffproduktion. Neben Parkflächen spielen angrenzende Wald- und Agrargebiete eine bedeutende Rolle, indem sie für frische und feuchtere Umgebungsluft sorgen. Vor allem in Wäldern und zusammenhängenden Gehölzflächen wird kühlere und saubere Luft produziert, wobei Kaltluft sich hauptsächlich über Flächen mit niedriger Vegetation, wie z.B. Wiesen oder Felder, bildet, wo der Boden in wolkenfreien Strahlungsnächten die tagsüber gespeicherte Wärme nachts ungehindert in die Atmosphäre abstrahlen kann. Mithilfe von sogenannten Frischluftschneisen kann die topographisch und mikroklimatisch induzierte Frischluftzufuhr und der Kaltlufttransport in das Stadtgebiet stattfinden. Bei entsprechendem Luftaustausch kann Kaltluft sowohl lufthygienisch als auch bioklimatisch ungünstige Bedingungen in innerstädtischen Überwärmungsgebieten verbessern. Insbesondere in sommerlichen Hitzeperioden mit geringer nächtlicher Abkühlung wirken Grünflächen ausgleichend auf eine dicht bebaute, durch Sonneneinstrahlung aufgeheizte Umgebung. Bei etwaigen räumlichen Entwicklungsabsichten wie z.B. Flächenumwidmungen und einer Nachverdichtung innerhalb bestehender Siedlungsgebiete, aber auch bei Neubepflanzungen sollen die lokalen Klimafunktionen und die Luftaustauschverhältnisse berücksichtigt werden (Landesamt & Umweltschutz, 2004). Straßenbäume reduzieren die Windgeschwindigkeit, was gegebenenfalls die Abfuhr erwärmter Luft behindern kann. Mithilfe intelligenter Planungsprozesse können etwaige Nachteile (z.B. Beeinträchtigung der Ausstrahlung und der Luftzirkulation in Straßenschluchten bzw. in verdichteten Parks, welche zur verstärkten Pollen- Luftqualität- und Wärmebelastung führen kann) von Stadtgrün verhindert werden.

Die durch menschliche Aktivitäten abgegebene Wärme, wie das Kühlen oder Heizen von Gebäuden, industrielle Prozesse und Transporte spielt ebenfalls eine wichtige Rolle bei der Intensität des städtischen Wärmeinseleffektes. Obwohl die anthropogene Wärmeabgabe im Winter im Allgemeinen größer ist, zeigt sich deren negative Auswirkung im Sommer bei Hitzewellen am stärksten, wenn bereits hohe Temperaturen dadurch noch weiter ansteigen. Durch die Erhöhung des Vegetationsanteils bzw. durch Bauwerksbegrünung kann der Heizenergiebedarf im Winterhalbjahr, sowie der Gebäudekühlbedarf im Sommerhalbjahr durch die Isolierung grüner Gebäudehüllen reduziert werden. Die meisten der verfügbaren Analysen zu empirischen Zusammenhängen zwischen Baumbeschattung und der Energieverbrauch in Wohngebäuden basieren auf Modellsimulationen (Pandit & Laband, 2010). In der Studie von Simá et al. (2015) wurden ergänzend zu Simulationsberechnungen experimentelle Messungen für fünf Monate unter subhumiden Klimabedingungen durchgeführt. Es zeigte sich, dass sich durch die Wirkung der Baumbeschattung ein Unterschied in der durchschnittlichen Raumlufttemperatur von bis zu 2,3 °C ergibt. Im Rahmen einer durch das Lawrence Berkley National Laboratory durchgeführten Studie konnte durch die Kühlwirkung von Bäumen eine Einsparung der Kühlenergie von 7 bis 40 % festgestellt werden.

Zusätzlich hat die Bepflanzung eine Schutzfunktion, bei der sie temperaturbedingte Schäden an Gebäuden und Infrastruktur verhindern kann. Baumschatten kann Bahngleise von Hitzeschäden schützen und die Verschlechterung des Straßenbelags verringern. Die Feldstudie von Mcpherson & Muchnick (2005) ergab, dass Bäume durch Baumschatten die Verschlechterung und generell die Erhaltungskosten von Straßenflächen um etwa 15 bis 60 % reduzieren kann. Bäume sind aber auch

eine potenzielle Gefahrenquelle, denn Verkehrsbehinderungen durch herabfallende Baumteile (z. B. durch einen Sturm verursacht) können auch Schaden anrichten. Risiken durch Stadtbäume hängen von der gepflanzten Art und der Vitalität des Baumes ab (Moser et al., 2017).

Stadtgrün im Klimawandel - Klimaschutz und Klimaanpassung

Seit Beginn der Industrialisierung hat die Temperatur weltweit rund 1 °C zugenommen, in Österreich sind es rund 2 °C (jeweils im Vergleich der aktuellen Klimanormalperiode 1991-2020 zur vorindustriellen Periode 1850-1900). Bei weltweit ungebremstem Ausstoß von Treibhausgasen liegt die Erwärmung in Österreich laut Klimaprojektionen bis zum Jahr 2100 bei mindestens 5 °C. In Österreich gibt es keinen Trend zu weniger Niederschlag, trotzdem kann man mit einer erhöhten Dürrefahr rechnen. Denn die stetige Erwärmung wirkt sich stark auf die Wasserbilanz aus: je wärmer es ist, desto mehr Feuchtigkeit verdunstet aus den Böden. Außerdem entnehmen die Pflanzen über einen längeren Zeitraum mehr Wasser aus den Böden auf und durch wärmeres Klima verlängert sich die Vegetationsperiode – vor allem in urbanen Bereichen.

Die Temperaturen sind in Österreich basierend auf Beobachtungsdaten in den letzten Jahrzehnten gestiegen, was einerseits auf eine regionale Klimaerwärmung, aber in Bezug auf Städten auch auf Veränderungen in der Stadtmorphologie zurückgeführt werden kann (Böhm, 1998; Chimani et al., 2013). Hitzeextreme, ausgedrückt in Form von Klimaindizes, wie die mittlere jährliche Anzahl der *Sommertage* (Tage mit einer maximalen Lufttemperatur von mindestens 25 °C) und *heißen Tagen* (Tage mit einer maximalen Lufttemperatur von mindestens 30 °C) haben in Wien stark zugenommen. Während der durchschnittliche Werte für *Sommertage* für den Klimazeitraum 1961–1990 bei 52,1 lag, stieg er in der Periode 1991–2020 auf 72,0 Tage. Der durchschnittliche Wert für die *heißen Tage* hat sich im gleichen Zeitraum von ursprünglich 9,6 Tagen mehr als verdoppelt. Ein ähnlicher Trend ist in Bezug auf die nächtliche Abkühlung zu beobachten. Die Klimawandelszenarien für die nahe Zukunft (2021–2050) für Wien zeigen einen leichten Anstieg der Wärmebelastung. Für den Zeitraum 2071–2100 variieren die Mittelwerte des Anstiegs der *Sommertage* zwischen 25 Tagen für RCP4.5 (der etablierte Weg) und 48 Tagen für RCP8.5 (der fossile Weg).

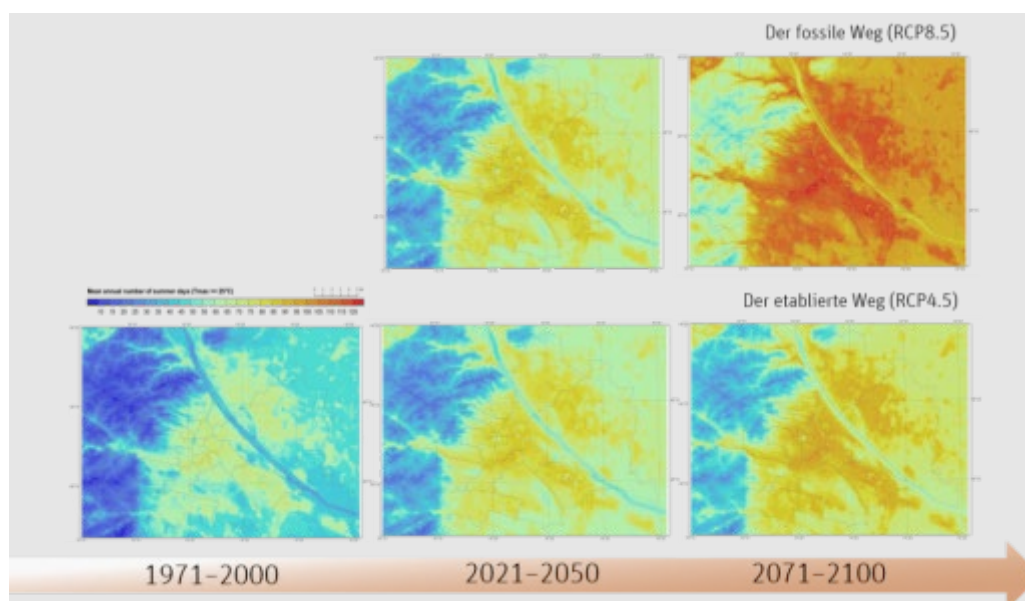


Abbildung 4 Die Entwicklung der städtischen Wärmebelastung in Wien unter Berücksichtigung der RCP4.5 und RCP8.5 Szenarien. Für die Analyse wird der sogenannte Multimodellansatz der regionalen Klimasimulationen von EURO-CORDEX eingeführt, um die Modellungenauigkeiten bestimmen zu können. Als Basis für die Abschätzung der Wärmebelastung ist die mittlere jährliche Anzahl von Sommertagen ($T_{max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) für den Bezugszeitraum (1971–2000), die nahe Zukunft (2021–2050) und für Ende des Jahrhunderts (2071–2100) dargestellt. Quelle: Bokwa et al., 2019

Aufgrund steigender Temperaturen und länger andauernder Hitzewellenereignisse ist ein hoher Bedarf an Kühlung von Innenräumen entstanden. Laut der Internationalen Energieagentur ist von 1990 bis 2016 der Anteil an Energie zur Raum- und Gebäudekühlung in Wohngebäuden von 2,5 auf 6 % und im Gewerbe von 6 auf 11,5 % weltweit angestiegen (IEA, 2018). Der zunehmende Einsatz von Klimaanlage in Privathaushalten und Büros wird laut Prognosen in den nächsten Jahrzehnten weiter steigen und einer der Haupttreiber des Stromverbrauchs sein. Modellstudien haben gezeigt, dass bei längeren Hitzeperioden durch die Verwendung von Klimaanlage die städtischen Lufttemperaturen lokal um bis zu 3 °C erhöht werden können. Der vermehrte Einsatz wirkt sich also nicht nur nachteilig auf das städtische Mikroklima aus, sondern führt auch zu einem erhöhten Energiebedarf. Wird dieser erhöhte Energiebedarf durch Strom gedeckt, der durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe erzeugt wird, trägt er durch die erhöhte Emission von Treibhausgasen direkt zum Klimawandel bei. Um sich nachhaltig an erhöhte Temperaturen anzupassen, ist es wichtig, Lösungen in Betracht zu ziehen, die nicht zu weiteren Treibhausgasemissionen führen, keine anthropogene Erwärmung für die Städte bedeuten, und gleichzeitig den thermischen Komfort in Innenräumen erhöhen. Eine verbesserte Gebäudeisolierung oder die Verwendung von Beschattungsmöglichkeiten kann dazu beitragen, die Einstrahlung zu reduzieren und den Kühlbedarf zu verringern. Zahlreiche Studien haben bereits bestätigt, dass kühle Dächer, Gründächer und vertikale Gärten nicht nur die Raumlufttemperatur senken, sondern auch eine positive Kühlwirkung auf das städtische Mikroklima haben (Reinwald et al., 2019; M Žuvela-Aloise et al., 2016). In mehreren Ländern propagieren daher Wissenschaftler*innen und Behörden vermehrt die Erweiterung von Vegetationsflächen und den Einsatz von Bauwerksbegrünungsmaßnahmen.

In Bezug auf Klimawandelaktivitäten sind zwei übergeordnete Handlungsfelder von Bedeutung (APCC, 2014).

- *Klimaschutz (Mitigation)* befasst sich mit der Vermeidung und Milderung der verursachenden Faktoren, wodurch zum Beispiel mit technologischen Innovationen Treibhausgase reduziert werden können, und so die Folgen vermieden werden sollen.
- *Klimaanpassung (Adaption)* legt den Schwerpunkt auf die Entwicklung von Strategien und Maßnahmen, die zu einer Reduzierung der Empfindlichkeit gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels notwendig sind.

KLIMASCHUTZ

Bäume entziehen während ihres Wachstums der Luft das Treibhausgas CO₂ und speichern den Kohlenstoff im Holz der Bäume und im Boden. Ähnlich dem Wald kann zwischen den Kohlenstoffpools der lebenden und toten oberirdischen Biomasse, lebenden und toten Wurzeln und dem Kohlenstoff, der im Boden umgebaut wird und/oder gespeichert ist unterschieden werden (IPCC, 2006). Untersuchungen zum Kohlenstoffvorrat und zur Kohlenstoffspeicherung durch Stadtbäume gibt es beispielsweise von Gardi et al. (2016), McPherson et al. (2013), Nowak et al. (2013), Richter et al. (2020), Russo et al. (2014). Die Wachstumsleistung von Bäumen ist stark variabel und wird in erster Linie von der Baumart und dem Standort bestimmt. Das Merkblatt der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF, 2011) zeigt das CO₂-Speicherungsvermögen für diverse Baumtypen. Demnach speichert z.B. eine 25 m hohe Fichte als Einzelbaum (BHI 45) 1.200 kg CO₂, während einer gleich großen Buche mehr als die doppelte Menge an gespeichertem CO₂ zugeschrieben wird. Schnell wachsende Baumarten (wie die Fichte) entziehen der Atmosphäre höhere Mengen an CO₂ pro Jahr, haben jedoch meist eine kürzere Lebensdauer (Gardi et al. 2016). Standortbezogen heben Richter et

al. (2020) hervor, dass Parkbäume durch ihre längere Lebenszeit, wesentlich mehr CO₂ speichern als Straßenbäume.

Die Änderungen in der städtischen Baubiomasse ergeben sich aus Zugängen (Wachstum, Neupflanzung) und Abgängen (Fällung, Mortalität, Baumpflegemaßnahmen). Spezifische allometrische Biomassefunktionen für den urbanen Bereich sind aufgrund der großen Arten- und Formenvielfalt von Stadtbäumen und der damit erforderlichen umfangreichen Messungen nach wie vor wenige verfügbar. Auf der Fläche bezogen ist die Klimaschutzwirkung der Bäume in der Stadt verglichen mit der Wald wegen der viel geringeren durchschnittlichen Standesdichte gering. Die Analysen in Bern stellten darüber hinaus fest, dass im urbanen Bereich pro Hektar durchschnittlich 15 Tonnen CO₂ in oberirdischen Baumteilen gespeichert ist, in etwa sechsmal weniger als in Schweizer Waldflächen (Gardi et al. 2016).



Abbildung 5 Schwarzenberggarten 1040 Wien @Foldal 2010

KLIMAANPASSUNG

Selbst wenn die Dekarbonisierung konsequent vorangetrieben wird, sind Anpassungsstrategien an die Folgen des Klimawandels unabdingbar. Pflanzen, insbesondere Bäume sind nicht nur Klimaschützer, weil sie neben vielen weiteren positiven Auswirkungen auf Gesundheit und Lebensqualität bei der Photosynthese das für den Klimawandel verantwortliche Treibhausgas CO₂ binden, sondern spielen auch im Bereich der Anpassung eine wesentliche Rolle. Aufgrund der eingebrachten ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Leistungen wird Stadtgrün auch häufig als „grüne Infrastruktur“ genannt. Es gibt verschiedene Möglichkeiten dem UHI-Effekt durch naturbasierte und technologische Lösungen entgegenzuwirken. Diese Klimaanpassungsmaßnahmen lassen sich grob in drei Kategorien einteilen:

- *Grüne Stadt*: die Erhöhung des Anteils von Pflanzen, vor allem Bäumen;
- *Blaue Stadt*: die Nutzung von Wasserflächen und Umsetzung des intelligenten Wasserverbrauchs;

- *Weißer Stadt*: Die Verringerung der Absorption von Sonnenstrahlung durch verstärkte Reflexion, künstliche Beschattung oder Anpassung der Straßen- und Gebäudegeometrie, um die Luftzirkulation zu verbessern.

Die Kühlwirkung der Maßnahmen hängt stark von den klimatischen und städtebaulichen Charakteristiken ab. Maßnahmen zur Bekämpfung des UHI-Effektes bedeuten oft Maßnahmen zur Steigerung der Lebensqualität in Städten. Parks und Teiche bieten Raum für Erholung, Grünflächen einschließlich Gründächer tragen zur Erhaltung der biologischen Vielfalt im Stadtgebiet bei. Neben der thermischen Regulierung durch Beschattung und Verdunstungskühlung unterstützen Grünflächen das Regenwasserabflussmanagement.

Das Thema der Anpassung wird immer mehr als notwendige Maßnahme wahrgenommen und liegt nicht nur im Fokus von Großstädten, sondern auch von vielen wachsenden Stadtgemeinden. Das Verständnis und die Bewertung möglicher Veränderungen des lokalen Klimas sind entscheidend hinsichtlich nachhaltiger Stadtentwicklung. Durch die Urbanisierungstendenzen, sowie die Herausforderungen des Klimawandels müssen stadtklimatische Erkenntnisse wesentlich stärker in die zukünftigen Planungsprozesse einfließen. Die Ursachen des Rückgangs der Grünflächen in urbanen Bereichen kann hauptsächlich auf den Konkurrenzkampf zwischen qualitativ und quantitativ hochwertiger Grün- und Freiflächenentwicklung und dem Gewährleisten von Wohn- und Verkehrsraum zurückgeführt werden. Stadtgrün hat in Zusammenhang mit der Bewältigung der kurz- und langfristigen Auswirkungen von Extremwetterereignissen und Klimawandel an Bedeutung gewonnen und die Herausforderungen des gestaltbaren öffentlichen Raums zum Vorschein gebracht.

Numerische Modelle (wie z.B. PALM-4U, ENVI-met, MUKLIMO_3), können verwendet werden, um die Auswirkungen verschiedener Anpassungsoptionen unter Berücksichtigung der lokalen Klimabedingungen zu quantifizieren. Welche Methoden oder Datengrundlagen dabei zum Einsatz kommen, orientiert sich an die spezifische Fragestellung und der Maßstabsebene. Es können kritische Zonen mit erhöhter Hitzebelastung in der Stadt identifiziert werden und auf diese Weise kann eine Priorisierung in der Umsetzung von Anpassungsplänen vorgenommen werden. Die Analyse der Klimaszenarien mit und ohne Anwendung von Anpassungsmaßnahmen kann zeigen, inwieweit eine Reduktion der Wärmebelastung möglich ist, indem die thermischen Eigenschaften von Gebäuden, versiegelten und freien Flächen durch erhöhte Anteile von Grün- und Wasserflächen optimiert werden. Stadtklimaanalysen bzw. die daraus abgeleiteten Empfehlungen erlauben der Planung klimatische Aspekte innerhalb ihres Handlungsrahmens aufzugreifen.

In der Studie von Oswald et al. (2020) wurden Stadtklimasimulationen für Klagenfurt am Wörthersee mit zukünftigen Klimaprojektionen und die Auswirkungen möglicher Anpassungsmaßnahmen berechnet. Das „Weiße Stadt“-Szenario inkludiert eine 20%-ige Erhöhung der Albedo von Dächern, Wänden, Straßen und Gehwegen. Das „Grüne Stadt“-Szenario berücksichtigt die Reduzierung der undurchlässigen Oberflächen um 30%, die Erhöhung der Gründächer auf 50% und eine Erhöhung der Anzahl der Bäume und des Anteils der Vegetationsflächen. Darüber hinaus wurde in der Nähe der Stadt ein Aufforstungsgebiet von 1.4 km² einkalkuliert. Die Ergebnisse von beiden Szenarien zeigten eine erhebliche Abnahme der Wärmebelastung. Die durchschnittliche jährliche Anzahl heißer Tage verringerte sich um bis zu 20%. Der Rückgang beim Grünen Stadt Szenario mit zusätzlicher Aufforstung in Stadtnähe war sogar 27%. Eine Kombination von Anpassungsmaßnahmen wies auf ein noch stärkeres Potenzial zur Reduzierung der städtischen Wärmebelastung hin und konnte eine Verringerung der durchschnittlichen Anzahl heißer Tage bis zu 44% erzielen. Die täglichen Temperaturextreme waren ebenfalls reduziert, an einem heißen Tag waren das bis zu 1,7 ° C. Wenn in naher Zukunft kombinierte Anpassungsmaßnahmen umgesetzt werden, könnte eine Zunahme der heißen Tage bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts weitgehend gemindert oder sogar auf ein niedrigeres Niveau als heute reduziert werden.

3.2. Urban forestry

Klimafitte Stadtbäume

Stadtbäume sind nicht nur schön anzusehen, sondern erfüllen eine Reihe wesentlicher funktionaler Aufgaben. Für ein gutes Stadtklima sind sie unerlässlich. Sie leisten einen wesentlichen Dienst im Bereich der Klimaanpassung, indem sie als 'Klimaanlage' agieren, und ebenso zum Klimaschutz, indem sie die schlechte Treibhausbilanz der Städte aufbessern. Weiters tragen sie zum Erhalt der Biodiversität bei, denn besonders Baumkronen bieten einen kostbaren Lebensraum für Tiere, Pflanzen und Pilze. Zudem sind sie wichtige Trittsteine bei der Vernetzung von bestehenden Grünflächen.



Abbildung 6: Einzelbaum und Alleebäume - unterschiedliche Standortbedingungen und Anforderungen - alles anders als im Wald, ©BFW/Schmiedbauer 2017

Bäume finden in der Stadt ganz andere Wachstumsbedingungen vor als an ihrem natürlichen Standort. Sie stehen meist isoliert und exponiert und sie sind einer Reihe von Belastungen ausgesetzt. Eingeschränkter Wurzelraum, Bodenverdichtungen, Umweltbelastungen durch Verkehr, Streusalz, Hundeurin und mechanische Schäden, hier besonders Parkschäden, beeinflussen das Wachstum und die Vitalität der Bäume. Straßenbäume werden dadurch oft nur 40, 50 Jahre alt, ein Bruchteil des Alters, das Bäume im Park bzw. Umland erreichen können. Durch den sich vollziehenden Klimawandel werden die ohnehin schon extremen Standortbedingungen für Bäume in Städten noch mehr verschärft. Aufgrund ihrer Sesshaftigkeit, Langlebigkeit und der hohen Anschaffungskosten bedarf die richtige Auswahl des Baumbestandes größter Sorgfalt. Wurde in der Vergangenheit das Klima als konstanter Faktor gesehen, bedarf das Klima heute einer dynamischen Betrachtung. Umso mehr muss darauf geachtet werden, dass die Bäume auch mit den prognostizierten zukünftigen Umweltbedingungen zurechtkommen. Diese Fähigkeit wird auch mit den Worten klimafit, klimatolerant, klimaangepasst, klimaplastisch oder klimarobust beschrieben.

Die Bäume leiden besonders darunter, dass es wärmer wird, die Trockenperioden länger und die Hitzetage zunehmen. Durch den Hitzeinseleffekt sind die Temperaturen in den Städten meist noch höher als in den umliegenden Gebieten (Arnfield, 2003). Diese Stressfaktoren beeinflussen nicht nur das Wachstum, sondern auch die Vitalität und die Widerstandsfähigkeit. Bei Trockenstress werden sie anfälliger für Windwurf, Schädlinge und Krankheiten. Von den sich einstellenden milderen Temperaturen im Winter profitieren auch wärmeliebende Schädlinge, die zusätzlich Druck ausüben.

Der Ruf nach mehr Bäumen in Städten wird angesichts der Klimakrise immer lauter, allerdings ist zu bedenken, dass Bäume ihre Funktionen nur dann erfüllen können, wenn sie auch vital sind. Daher muss auf die Baumgesundheit geachtet werden und hier sind Innovation und ein Umdenken gefragt. In Anbetracht des Klimawandels wird auf verschiedene Strategien gesetzt, die zum Aufbau stabiler und anpassungsfähiger Bepflanzungen beitragen. Hierbei können viele Parallelen zwischen der traditionellen Forstwirtschaft und der städtischen Forstwirtschaft gezogen werden.

VIELFALT

Das Zauberwort der Zukunft lautet Vielfalt, Vielfalt wie wir sie in der Natur finden. Die Vielfalt sollte sich auf verschiedenen Ebenen widerspiegeln, im Sortiment, innerhalb der Arten, in der Bestandesstruktur, in der Altersstruktur, denn Vielfalt bedeutet Anpassungsfähigkeit und zugleich Risikostreuung, im Sinne von Versicherung gegen den Totalausfall.

In Wien stehen ca. 93.000 Straßenbäume, wobei rund 70 % davon auf sechs Baumarten bzw. -gattungen entfallen (Ahorn, Linde, Rosskastanie, Esche, Platane, Zürgelbaum) (Stadt Wien, 2020). In deutschen Städten spiegelt sich das gleiche Bild wider (Landeshauptstadt Düsseldorf, 2021). Gerade was Straßenbäume angeht, ist die Auswahl sehr beschränkt, während bei Parkbäumen, durch die besseren Standortbedingungen, mehr Arten zum Einsatz kommen. Vielfach werden traditionell ganze Alleen, in Reih und Glied, nur mit einer Baumart angelegt (Monoalleen). Monokulturen fördern jedoch die Ausbreitung spezialisierter Schädlinge, denn wenn die Wirtsbaumart in hoher Dichte vorkommt, finden sich ideale Vermehrungsbedingungen. Beispielhaft sei hier die Kastanien-Miniermotte oder das Eschentriebsterben genannt, die unsere bislang häufigsten Stadtbäume bedrohen. Arten- und strukturreiche Baumbestände, noch dazu mit durchmischter Altersklassenzusammensetzung, sind robuster, da sie Störungen besser ausgleichen können und auch Nützlinge bessere Bedingungen vorfinden.

Darüber hinaus tragen reich strukturierte, mehrstufige Anpflanzungen, wo auch Sträucher ihren Platz finden, zur Erhöhung der Biodiversität bei und erfüllen erhöhte Ökosystemleistungen für unsere heimische Fauna (Insekten, Vögel, Spinnen...). Gehölze mit vielfältigen Blattformen und -farben, die zu unterschiedlichen Zeiten blühen, sind als ästhetische Bereicherung zu sehen und nicht als Unordnung. Empfinden doch manche Menschen z.B. Laub als Verschmutzung oder 'Unkraut' als ungepflegt, das weggeräumt werden muss. In das klinisch sterile, perfekt positionierte und gemanagte Stadtgrün muss eine naturnahe Bepflanzung mit all ihrer Romantik und Ursprünglichkeit, wo z.B. auch Totholz zugelassen wird, Einzug finden (Amber, 2017). Die Stadtmenschen haben sich von der Natur entfremdet und müssen an die Natur herangeführt werden, damit sie wieder ein alltäglicher Bestandteil ihres Lebens wird. Dieser Weg bedarf ein Umdenken bei der Bevölkerung. Das konnte man bereits bei Verkehrsinseln und Grünstreifen beobachten. Waren es einst einfache, geordnete Blumenbeete, finden sich vielerorts heute wilde, artenreiche Blumenwiesen und das mit breiter Akzeptanz. So ein Gedankenprozess braucht Geduld, findet über Jahre hinweg statt und setzt eine gute Kommunikation mit den Bürger*innen voraus.

EINSATZ VON ALTERNATIVEN BAUMARTEN

Nicht alle jetzt angepflanzten Arten werden dem Klimawandel standhalten, z.B. die Rosskastanie ist jetzt schon obsolet und auch der Spitzahorn ist gestresst durch die Wetterextreme. Das Portfolio der Baumarten muss deshalb um alternative Baumarten erweitert werden, die das prognostizierte Stadtklima vertragen und gleichzeitig die Vielfalt erhöhen. Dabei sollte auf die alten bewährten Baumarten nicht vergessen werden, sondern auf eine Mischung aus alt und neu gesetzt werden. Bei den Neuen kommen heimische und nicht heimische Arten in Frage, wobei bei der Auswahl darauf geachtet werden muss, dass sie außer klimafit und stadtauglich auch ästhetisch attraktiv sind und keine Gefahr für die Gesundheit der BewohnerInnen, z.B. in Form von Allergien, darstellen. Der Zürgelbaum ist einer dieser Hoffnungsträger und umfasst bereits 4% der Straßenbäume Wiens.

In die Wahl der richtigen Baumart werden in Zukunft vermehrt Klimawandelüberlegungen einfließen. Die Wiener Stadtgärten haben gemeinsam mit nationalen und internationalen Expert*innen eine Liste von stadtklimafitten Baumarten erarbeitet, die besonders gut für die Stadtumgebung geeignet sind. Sie umfasst 30 Straßenbaumarten, wobei 10 - 15 besonders klimatauglich bzw. salztolerant sind. Bestrebungen in diese Richtung sehen wir auch bei Citree, einer Planungsdatenbank mit über 360 Baum- und Straucharten/-sorten, die potentiell in Mitteleuropa angepflanzt werden können und Hilfestellung bei der richtigen Auswahl bietet (Vogt et al., 2017). Kriterien der Bewertung umfassen Toleranz gegenüber klima-beeinflussten Stressoren wie z.B. Trockenresistenz, Hitze- und Frosttoleranz, des Weiteren deren Bodenansprüche, natürliches Verbreitungsgebiet, Wuchseigenschaften wie z.B. Habitus, Duft, Blatt- und Blütenfarbe; Ökosystemleistungen wie Honig- oder Vogelfutterpflanze; erforderliche Pflegemaßnahmen und Risiken (BMUV, 2021). Eine ähnliche Liste, wenn auch bei weitem nicht so detailliert, ist vom GALK-Arbeitskreis erschienen, auf die sich viele Landschaftsplaner*innen stützen (GALK, 2022). In Großbritannien bietet eine ähnliche Datenbank 'The Right Tress for a Changing Climate' eine Entscheidungshilfe (Forest Research, 2022). In Bern wurde der Klimafit-Stadtbaum-Index (KSI) entwickelt, der über die Winterhärte, Trockenheitstoleranz und Stadtstresstoleranz von Stadtbäumen Auskunft gibt (Mack, 2015). Baumartenlisten haben sich als wichtiges Instrument für die Praxis etabliert.

Für die Waldbesitzer*innen z.B. wurde die Webseite 'www.klimafitterwald.at' eingerichtet, wo mit wenigen Klicks die Baumartenampel die Eignung der 23 gängigsten Baumarten für einen jeweiligen Standort in Österreich im Klima der Zukunft zeigt. Sie basiert auf Prognosen, welche die Temperatur, den Niederschlag und die Seehöhe des angegeben Ortes miteinfließen lassen und greifen auf allometrische Wachstumsbeziehungen der Waldbäume zurück (Moser et al., 2017). Ein ähnliches System könnte man für Landschaftsplaner in verschiedenen Städten und Dörfern auf der Ebene von Stadtbäumen andenken.

In Bayern läuft das Forschungsprojekt 'Stadtgrün 2021', wo neue Baumarten, die das Stadtklima der Zukunft besser vertragen sollen, evaluiert werden. Dreißig Baumarten, darunter mehrere Eichen-, Ahorn- und Lindenarten, wurden 2009 bzw. 2015 in drei Städten mit unterschiedlichen Klimabedingungen angepflanzt und werden nun einem Eignungstest unterzogen. In der Versuchsbaumschule sind noch weitere 200 alternative Arten unter Beobachtung (LWG, 2021; Schönfeld, 2018).

Auf Nuss- und Obstbäume, auch in ihren Wildformen, sollte nicht vergessen werden. Sie können in Parkanlagen die ländlichen Obstbaumwiesen nachahmen und schlagen die Brücke zwischen Stadtbegrünung und Nahrungsmittelproduktion. Die Bewohner*innen erfreuen sich an ihrer 'essbaren Stadt' und die Wildbienen und anderen Insekten an der Blütenpracht (Amber, 2017).

Nicht heimische Pflanzen müssen vor ihrem Einsatz nach mehreren Gesichtspunkten evaluiert werden. Es muss besonders darauf geachtet werden, dass sie nicht als invasiv eingestuft sind. Manche invasiven Pflanzen sind Pionierpflanzen und wahre Überlebenskünstler und könnten unter Umständen mit dem richtigen Management trotz Invasivität in der Stadtbegrünung einen Platz einnehmen (Stoisser, 2021 pers. Com.). Zudem sollen die alternativen Baumarten einen Beitrag zu Erfüllung wichtiger Ökosystemleistungen bringen, z.B. als Habitat und Futterquelle für die heimische Fauna. Das Risiko bezüglich ihrer Schädlingsanfälligkeit oder der Verschleppung von Schadorganismen sollte gering sein. Die Einschleppung folgt meistens unabsichtlich über den Import von Waren, Pflanzen und Erdsubstrate (Pouyat et al., 2020). Aufgrund ungünstiger Lebensbedingungen (Bodenverdichtungen, Trockenheit, Umweltbelastung) ist deren Aktivität und Reproduktionsrate oft gering (Tresch et al., 2018). Auf die Biodiversität in Städten können nicht heimische Bäume positive (z.B. verlängerte Pollensaison für Bienen) oder negative Effekte (z.B. Verdrängung heimischer Arten) haben (Cadotte et al., 2017). Ob die Wahl auf eine nicht heimische Art fällt, wird zudem davon abhängen, ob es sich um eine zentrumsnahe Straßenrand- oder Parkbepflanzung handelt, wo mehr Spielraum besteht, oder um einen naturnahen Bereich, wo Gefahr für die natürliche Vegetation besteht.

Im Rahmen des ALPTREES Projekts wurden 100 nicht heimische Baumarten aus 53 Gattungen, die bereits im urbanen Alpenbereich Österreichs und den benachbarten Ländern vorkommen, erfasst (BFW, 2021). Diese wurden nach dem System von Niinemets & Valladares (2006) und von Roloff et al., (2009) auf ihre Trockentoleranz bewertet. Mehrere Arten zeichnen sich durch hohe Trockentoleranz aus. Deren genau dokumentierte Vorkommen können wichtige Daten zu ihrer Anbaueignung im Urbanbereich in alpinen Regionen liefern (Stojnic et al., 2021).

DIE PASSENDE SORTE/HERKUNFT

Die richtige Baumauswahl endet nicht beim Artenniveau, denn innerhalb einer Art ist abermals eine Unterscheidung notwendig. Bei Bäumen unterschiedlicher Sorten (hervorgegangen durch Pflanzenzüchtung) oder Herkünfte (natürliche Entstehung lokaler Rassen) bestehen große Unterschiede in ihrer Leistungs- und Anpassungsfähigkeit, die somit auch ihre Klimafitness bestimmen. Im Stadtbereich wird viel mit Sorten gearbeitet (z.B. *Tilia cordata* 'Greenspire'), oder aber, wie beim Zürgelbaum, auch auf dem Artenniveau. Die richtige Wahl der Sorte/Herkunft entscheidet wesentlich über den Erfolg oder Misserfolg einer Anpflanzung. Eine geeignete Sorte/Herkunft wird gut mit den Umweltbedingungen klarkommen, die an dem Standort herrschen, und die Bäume werden sich gesund und stabil entwickeln. Ungeeignete Sorten/Herkünfte fallen durch geringe Vitalität und Krankheitsanfälligkeit, langsamen Wuchs sowie unerwünschte Wuchsform auf.

Beim Monitoring der Vitalität von Stadtbäumen wäre eine präzise Aufzeichnung über die entsprechende Herkunft oder die Sorte zweckmäßig. Durch die Auswertung der Wuchsdaten in Verknüpfung mit den lokalen Standortbedingungen können Rückschlüsse über eine Standorteignung gezogen werden und Anbauempfehlungen verbessert werden. Doch nur bei Sorten ist das Pflanzenmaterial klar identifiziert, währenddessen bei reinen Artenangaben die genaue Herkunft meist nicht angegeben ist.

Die Selektion von neuen angepassten und anpassungsfähigen Pflanzenmaterial kann innerhalb der Grenzen Österreichs erfolgen, zusehends wird aber auch auf Herkünfte aus anderen Teilen Europas zurückgegriffen werden müssen. Schlussendlich sollen die Bäume aus Regionen entstammen, wo die Klimabedingungen denen entsprechen, die zukünftig bei uns anzutreffen sein werden. Diese Maßnahme ist ökologisch gut verträglich und sehr aussichtsreich. Es werden z. B. aufgrund ihres natürlichen Vorkommens besonders Herkünfte aus Süd-Ost Europa gut an die Trockenheit und Hitze

angepasst sein. Besonders der Balkanraum gilt als vielversprechend für Österreich. Informationen über die natürliche Temperaturtoleranz einzelner Baumarten liefert u.a. die Europäische Waldinventur (EFI, 2022).

In der Waldwirtschaft wird diese gezielte Migration als 'Assisted population migration' bezeichnet und ist bei uns noch im Anfangsstadium, während im Gartenbau das Inverkehrbringen von Hybriden, exotischen Arten bzw. Sorten oder ausländischen Herkünften seit jeher Praxis ist.



Abbildung 7: Blüte der Birke, der Salweide und der Tulpenmangolie, alle Fotos ©BFW/Schmiedbauer 2017

ERHÖHUNG DER GENETISCHEN VIELFALT

Die genetische Vielfalt, d.h. die Vielfalt innerhalb einer Art, ist überlebenswichtig im Kampf gegen den Klimawandel. Im traditionellen Gartenbau, wo man für gewöhnlich auf Einheitlichkeit, insbesondere bei der Wuchsform setzt, geht sie jedoch leicht verloren. Bei den Sorten wird das Vermehrungsgut durch Veredelung gewonnen und diese unterscheiden sich höchstens in der Verwendung der Unterlage. Möchte man die genetische Vielfalt erhöhen, sollte man vermehrt auf Sämlinge anstelle von Veredelungen setzen. Doch auch hier besteht Vorsicht, denn selbst wenn das Pflanzgut durch sexuelle Vermehrung gewonnen wird, wird das Saatgut oft von wenigen einzelnen Mutterbäumen gewonnen. Als Folge davon sind unsere Stadtbäume genetisch oft stark verarmt. Bei Extremereignissen überleben in einer natürlichen Population nur genetisch angepasste Individuen, d.h. einzelne Bäume. Besteht eine Population aber nur aus gleichen Individuen, macht sie das besonders vulnerabel, da alle mit demselben Erbgut ausgestattet sind. Ein Blick auf die Forstwirtschaft zeigt, dass bei der Gewinnung von forstlichem Vermehrungsgut, zumindest für die häufigsten Baumarten, gesetzliche Auflagen einzuhalten sind, die die Mindestanzahl (10 bis 20 Mutterbäume) der zu beernteten Bäume regeln (Forstliches Vermehrungsgutgesetz 2002). Dadurch wird ein gewisses Maß an genetischer Vielfalt in der Nachkommenschaft gesichert. Ein wichtiger Punkt angesichts des Klimawandels und der erwünschten Plastizität der Bäume.

AUSWAHL DER BESTEN

Die genetische Vielfalt innerhalb einer Art kann man sich zu Nutze machen, indem man klimafitte Einzelbäume selektiert und diese in ein Zuchtprogramm aufnimmt. Bäume mit den besten

Eigenschaften, wie hohe Trockentoleranz oder Schädlingsresistenz, aber auch Frosttoleranz, werden von Expert*innen ausgewählt. Die unter dem Begriff Plusbäume zusammengefassten Individuen können durch Veredelung oder Stecklingsvermehrung in Klonarchiven gesichert werden und ihre Gene stehen Zuchtprogrammen zur Verfügung. Sie können in Samenplantagen zusammengefasst werden und liefern in Folge hochwertiges Vermehrungsgut.

Der Selektionsprozess kann an bestehenden Pflanzungen in der Stadt ansetzen oder durch gezielte Anbauversuche. Dabei werden neben Wachstum, Überlebensrate und phänologischen Beobachtungen auch Chlorophyll-Gehalt und -Fluoreszenz, Blattmasse pro Fläche (LMA) erhoben, um die Reaktion der Bäume auf Umweltstress zu messen (Bussotti et al., 2014). Eine Vielzahl von Biomarkern wie Prolin, Stärke, Verhältnis Aminosäuren zu Proteinen helfen bei der Evaluierung von Stresstoleranz (Kätzel, 2021). Bei der Selektion sollte auf vitale Altbäume nicht vergessen werden, da sie sich über Jahrzehnte bereits als widerstandsfähig gegenüber Trockenperioden und Wetterextreme erwiesen haben. Mit dendrochronologischen Methoden, wie Bohrkernuntersuchungen, können Rückschlüsse auf das Wachstum und den physiologischen Zustand der Bäume in Trockenjahren gezogen werden (Eschenbach et al., 2019).

Im Gartenbau ist die Züchtung bei großen Baumschulen untergebracht, wobei die Sortenentwicklung im Vordergrund steht und auf genetische Vielfalt wenig geachtet wird. Die Ansprüche an klimafitte Stadtbäume müssen daher klar und früh an sie kommuniziert werden und eine enge Zusammenarbeit ist unerlässlich.

PRODUKTION STADTKLIMAFITTER, GENETISCH VIELFÄLTIGER BÄUME

Der Mangel an passender Handelsware stellt die Stadtbegrünung in Österreich, als auch in anderen Ländern wie Deutschland, vor Probleme. Auch letztes Jahr wurde am Symposium zum Thema Stadtgrün des Julius-Kühn-Institut in Braunschweig dieser Punkt ausgiebig diskutiert (JKI, 2021).

Die Produktion von Stadtbäumen, besonders Alleebäumen kann gut 15 bis 30 Jahre dauern. Durch die lange Zeitspanne trägt die Baumschule ein hohes Risiko, denn setzt sie auf das falsche Baumsortiment, bekommt sie ein Absatzproblem. Sie können nicht so schnell auf die Marktänderungen reagieren, sondern brauchen eine gewisse Vorlaufzeit. Die fehlende Planbarkeit stellt für die Baumschulen eine ziemliche Erschwernis dar und sie bräuchten eine garantierte Abnahmezusage. Kritisch wird es auch, wenn eine neue Krankheit oder ein neuer Schädling auftreten, dann kommt es zu Ausfällen bzw. sinkt sofort die Nachfrage. Bedingt durch den Klimawandel kommt es in letzter Zeit regelrecht zu einem Ansturm auf klimafitte Pflanzen, der sich noch verstärken wird.

Werden in der Stadtbegrünung meist Bäume mit einem Stammdurchmesser von 18/20 oder zumindest 16/18 gepflanzt, stellt sich die Frage, ob das Pflanzen von Jungbäumen dem Mangel entgegensteuern könnte. „So klein wie möglich, so groß wie nötig“. So lautet eine Redensart in der Forstwirtschaft. Allgemein wird davon ausgegangen, dass Großpflanzen nach dem Verpflanzen empfindlicher sind und schwieriger anwachsen als kleinere. Das hängt natürlich noch von weiteren Faktoren wie z.B. Standort oder Baumart ab, aber der Einsatz von Jungpflanzen trägt zumindest massiv zur Reduzierung der Anschaffungskosten bei. Sind Jungpflanzen für wenige Euro erhältlich, werden für Großpflanzen, bedingt durch die lange Aufzucht, bis zu einige Tausend Euro in Rechnung gestellt. Jungbäume zeichnen sich auch durch einen deutlich niedrigerem Wasserbedarf aus.

Auf größeren Freiflächen können Jungbäume in hoher Stammzahl, sprich in Gruppen, gesetzt werden. Im Laufe der Jahre zeigt sich, welche Genotypen besonders gut für den Standort geeignet sind. Im Rahmen der Pflege werden, so wie im Wald üblich, nur die Vitalsten (Z-Bäume...Zukunftsbäume)

behalten, die kranken oder jene mit schlechter Wuchsform werden entfernt. Ein Ansatz, der daran anschließt wäre "Früher und kleiner", wo mit der Aufstockung nicht gewartet wird bis der Altbaum entfernt werden muss, sondern, dass in die Lücken, abhängig vom Lichtbedarf, Jungbäume gesetzt werden (Stoisser, 2021; pers. Com.)

Die Naturverjüngung durch herabgefallene oder angeflogene Samen von umstehenden Bäumen oder durch vegetative Vermehrung wie Stockauschlag, stellen eine kosteneinsparende Quelle für Vermehrungsgut dar. Sie wird wenig genutzt, und meist durch regelmäßiges Mähen unterdrückt. Sie wäre ein weiterer Ansatz um den Mangel an Pflanzgut abzufedern und sofern es zur Samenbildung kommt, um die genetische Vielfalt zu erhöhen.

Beide Schritte wirken sich zudem positiv auf die Alters- und Bestandesstruktur aus.

Fazit:

Die Herausforderung liegt darin Stadtgrün naturnah zu gestalten und auf die biologische Vielfalt zu achten. Benötigt wird ein breites Baum-Sortiment mit klimafitten Arten/Sorten/Herkünften, damit eine differenzierte und standortangepasste Pflanzenauswahl getroffen werden kann, auch im Hinblick der geforderten Eigenschaften wie z.B. Wuchshöhe und -form. Darüber hinaus sind gezielt Schritte zu setzen, damit das entsprechende Pflanzgut am Markt erhältlich ist.

Beispiele von Stress, Krankheiten und Schadorganismen an Stadtbäumen

Da im städtischen Bereich während der Wintermonate chloridhaltige Auftaumittel eingesetzt werden, sollten Straßenbäume auch weitgehend tolerant gegen **Streusalz** sein. Das Salz wird über die Wurzeln aufgenommen und reichert sich in den Blättern und Nadeln an. Speziell in den Blattspitzen und Blatträndern können die Gehalte so hoch sein, dass Zellmembranen platzen und es zu Verfärbungen und Nekrosen kommt und in weiterer Folge tritt verfrühter Blattfall auf. Die Stadt Wien setzt in den letzten Jahren auf den salzresistenten Zürgelbaum.

Hundeurin ist ein weiterer Stressfaktor. Besonders Straßen- und Alleebäume und Bäume in Stadtparks können beträchtliche tägliche Mengen an Hundeurin abbekommen (Allen et al., 2020). Einerseits ist Hundeurin eine Nährstoffquelle, welche die Nährstoffbilanzen der Bäume so beeinflussen kann, dass sie anfälliger gegenüber Schaderregern werden. Andererseits kann bei einem direkten Kontakt, besonders bei empfindlichen und jungen Bäumen, Rindennekrosen entstehen (Balder, 1994). Ein typischer Schaderreger als Folge von Hundeurin ist der Faulpilz Eschenbaumschwamm (*Perenniaporina fraxinea*) (Tomiczek, 2003). Als indirekte Folge bildet Stadtbäume mit einem hohen Stickstoffangebot weniger Symbiosen mit Ektomykorrhizen (Goff, 2020; Timonen & Kauppinen, 2008), das wiederum die Wasserversorgung der Bäume reduziert. Eine Studie in zwei Parks in Wien, hat ergeben, dass Bäume mit Unterwuchs und Bäume an Spielplätzen weitgehend vor Hundeurin geschützt sind, während Schadbilder an allen anderen Bäumen, vor allem in den Hundezonen und entlang der Wege, gefunden wurden (Schuecker, 2009).

Invasive Schadorganismen können in Stadtbäumen ihre ersten Populationen etablieren, so wie etwa der Asiatische Laubholzbockkäfer, der mehrfach in Holzverpackungsmaterial aus China nach Europa gelangte und dessen neue Befallsgebiete ausschließlich in urbanen Gebieten auftraten (Javal et al., 2019). Ähnliches gilt für Schädlinge, die als blinde Passagiere mit verschiedenen Transportmitteln reisen, wie aktuell die Eichennetzwanze, die sich rasant über den Balkan nach Mitteleuropa ausbreitet. Auch hier finden sich neue Befallsgebiete in menschlichen Siedlungsgebieten und entlang von Verkehrsinfrastruktur (Paulin et al., 2020; Sallmannshofer et al., 2020).

Diese Rolle urbaner Bäume als erste Stützpunkte invasiver Schadorganismen gilt es sowohl bei neuen Pflanzungen (Herkunft des Materials) wie auch bei der regelmäßigen Kontrolle des Gesundheitszustandes von Stadtbäumen zu beachten. Eine enge Abstimmung von Stadtgärten und Pflanzenschutzdienst ist unerlässlich.

In vielen Fällen haben Gegenmaßnahmen zur Bekämpfung invasiver Schadorganismen negative Folgen für die Lebensqualität der Menschen im betroffenen Gebiet. So sind etwa bei einem Auftreten des Asiatischen Laubholzbockkäfers großflächige Fällungen von Laubbäumen notwendig, um neu entdeckte Schadauftreten zu tilgen, bevor diese noch zu Ausbreitungszentren werden können (Commission Implementing Decision EU, 2015/893). Die Maßnahmen sind aufwendig und kostenintensiv.

Bodenbürtige, an Wurzeln pathogene, pilzähnliche Organismen der Gattung *Phytophthora* stellen innerhalb der invasiven Krankheitserreger von Gehölzen einen besonders hohen Risikofaktor dar. Die Hauptvoraussetzung für die Verbreitung der *Phytophthora*-Keime in Waldökosysteme ist die fast ubiquitäre Verseuchung von Pflanzenproduktionsflächen mit zahlreichen *Phytophthora*-Arten (Jung et al., 2016). Die besondere Bedeutung, die hier dem urbanen Bereich mit seiner Vielzahl von Gehölzen oft exotischer Provenienz zukommt, liegt im erhöhten Risiko der Entstehung von Hybriden mit neuen pathogenen Eigenschaften durch Kontakte verschiedener *Phytophthora*-Arten im Boden. Optimal Wasser versorgte Standorte bieten die besten lokalen Verbreitungsvoraussetzungen. Dieser Aspekt sollte bei Projekten nach dem Schwammstadt-Prinzip nicht übersehen werden; hier besteht noch Forschungsbedarf.

Um zukünftige *Phytophthora*-Epidemien zu vermeiden, muss daher der kontinuierlichen Ausbreitung durch den Menschen Einhalt geboten werden. Bei der Produktion von Gehölzen ist die Verwendung von *Phytophthora*-freiem Pflanzenmaterial erstes Gebot. Eine weitere erforderliche Maßnahme sind allerdings Überwachungssysteme zur Früherkennung von Infektionsherden in Baumbeständen, denn Bekämpfungsmaßnahmen (Entsorgung befallener Bäume) sind nur bei kleinräumigen Infektionsflächen realistisch.

3.3. Stadtböden

Alle Böden innerhalb der Stadtgrenze werden als „**Stadtböden**“ bezeichnet (Lehmann & Stahr, 2007; Morel et al., 2005; Pouyat & Trammell, 2019). Diese Definition umfasst allerlei Bodentypen entlang eines Gradienten von relativ ungestörten Stadtböden im Wald, über bewirtschaftete Ackerflächen - beide grundlegend beeinflusst von Ausgangsgestein, Vegetation und klimatische Bedingungen - bis hin zu technisch hergestellten Bodensubstraten in stark bebauten Stadtgebieten oder entlang von Verkehrssträgern. Alle diese Stadtböden sind von menschlichen Aktivitäten und Umwelteinflüssen geprägt, entweder direkt durch Bearbeitung, Umschichtung, Planierung, Überlagerung etc. oder indirekt durch Depositionen von Aerosolen (insb. NO_x und Schwermetallverbindungen).

Bodensystematik

In der internationale World Reference Base for Soil Resources (WBR) sind Stadtböden je nach ihrer Zusammensetzung als **Anthrosols** (von Menschen beeinflusst) und **Technosols** (von Menschen gemacht) eingeteilt.

Die Österreichische Bodensystematik (Nestroy et al., 2011) hebt die Genese der Stadtböden hervor und unterscheidet zwischen:

- **Schüttungsböden:** eine mindestens 40 cm tiefe Schicht, die von technischen Eingriffen geprägt ist. Es fehlt bei Schüttungsböden die typische Horizontfolge eines natürlichen Bodens, und Planierungen führen zu stark verdichteten Zonen im Profil. Die Schichten sind in der Regel voneinander scharf abgegrenzt.
- **Gartenböden** charakterisiert durch hohen Gehalt an organischem Material im Oberboden
Deponieböden haben mindesten 20 cm technogene Materialien wie z.B. Bauschutt, Aschen, Schlamm, Schlacken, Müll, Industrierückstände verschiedener Art, sowie auch Kompost.

In unserer Definition von Stadtböden fallen allerlei Bodenarten der Österreichische Bodensystematik z.B. auch Auböden oder Braunerden, sofern sie innerhalb der Stadtgrenze liegen. In Abbildung 8 sind die theoretisch vorhandenen Bodentypen in Wien abgebildet.

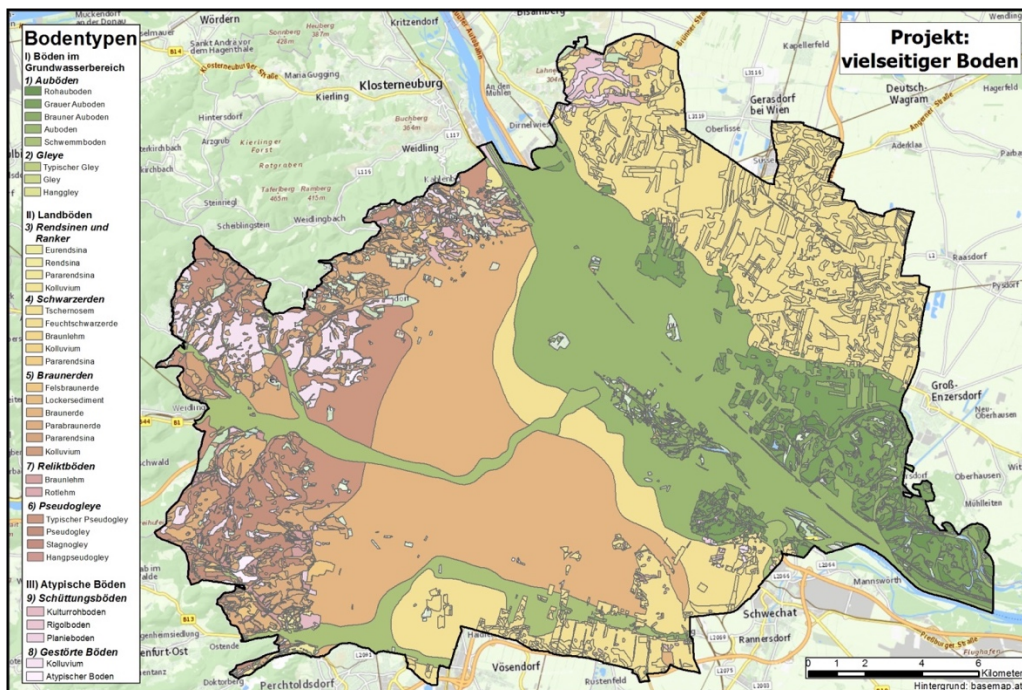


Abbildung 8: Bodenarten Wien, Karte aus dem Projekt Vielfältiger Boden (Haslmayr et al., 2015) © MA 22

Besonderheiten der Stadtböden

HÖHERE GEHALTE AN BODENKOHLENSTOFF, NÄHRSTOFFE UND SCHWERMETALLEN BZW. SCHADSTOFFE

Besonders in bewirtschafteten Garten- und Parkböden sind die **Gehalte an Bodenkohlenstoff** höher als in umliegenden Böden (Cambou et al., 2018; Edmondson et al., 2012, 2014). Grund ist eine hohe Zufuhr von organischen Materialien (e.g. Kompost, torfhaltige Substrate) und eine oft intensive Pflege, insbesondere Bewässerung, die den Pflanzenwuchs und damit auch die Ausscheidung an Wurzelexsudate im Boden fördert. Weil der Oberboden bei der Umgestaltung abgetragen wurde, fehlen unter Straßen und Bebauung meist die ursprünglich organischen Bodenkohlenstoffverbindungen. Stattdessen haben Stadtböden entlang Straßen oder von Industriegebieten einen höheren Anteil an anorganischen Kohlenstoff. Im Straßenbau werden, um den Unterbau stabiler zu machen, Kalk-Mischungen eingesetzt. Dazu kommen auch noch Aufbaumaterialien (z.B. Bauschutt) die oft ebenfalls Kohlenstoffverbindungen beinhalten. Diese vergrabenen Kohlenstoffverbindungen liegen vor Abbau und Auswaschung im tieferen Bodenschichten geschützt.

Wichtige Quellen von **Stickstoff und Phosphor** in den Städten sind Abwasser, Düngemittel und auch Abgase (insb. NO_x) (Yang et al., 2021). Hundeurin ist eine weitere Stickstoff- und Phosphorquelle. Die Mengen kann, vor allem unter Baumscheiben der Straßen- oder Alleebäume, beträchtlich sein (Allen et al., 2020) und beeinflusst die chemischen (höheren pH-Wert; Kationenaustauschkapazität verschoben etc.) aber auch biologischen Bodeneigenschaften (Artenzusammensetzung und Aktivität der Biota). Während Stickstoffverbindungen entweder in Biomasse eingebaut werden oder verloren gehen (Auswaschung als NO_3^- oder Ausgasung N_2O , N_2 , NH_3) können Phosphor mit Karbonat stabile Verbindungen ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) eingehen und in Stadtböden akkumulieren Yang et al., (2021).



Abbildung 9: Boden begreifen, © BFW/Winter 2011 und Stadtböden nutzen © Foldal 2010

Stadtböden sind **Staubsenken und sind oft mit Schwermetallen und organischen Schadstoffen** wie polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) kontaminiert (Lehmann & Stahr, 2007; Li et al., 2018; Yang & Zhang, 2011). Besonders entlang von Straßen mit viel Verkehr werden erhöhte Werte gemessen (Pfleiderer et al., 2012). Eine weitere Umweltbelastung entlang den Straßen und Gehwege ist das Streusalz. Die ausgebrachten Natrium-, Kalium- oder/und Chlor-Ionen ändern die Ionenkonzentrationen und den pH-Wert im Boden. Außerdem verschlechtern die einwertigen Ionen die Bodenstruktur, Nährsalze werden ausgewaschen und der Boden verschlämmt zunehmend (Thüringer, 2014). Die alternativ zum Einsatz kommenden stickstoffhaltigen Auftaumittel bringen ein Überangebot an stickstoffhaltigen Ionen (NH_4^+ und NO_3^-) in den Stadtböden ein, und das zu einer Jahreszeit, wo das Bodenleben und die Pflanzen kaum Stickstoff aufnehmen können. Es ist anzunehmen, dass das meiste Nitrat (NO_3^-) in tiefere Bodenschichten, bzw. in den Kanal oder das Grundwasser versickert. Das überschüssige Ammonium (NH_4^+) wird in der wärmeren Jahreszeit zum Teil von den Straßenbäumen aufgenommen, das Überangebot wirkt aber stark auf das Wurzelwachstum und den Mykorrhizierungsgrad ein (Wresowar & Sieghart, 2000). Inwieweit die Verwendung von stickstoffhaltigen Auftaumitteln die Treibhausgasemissionen beeinflussen ist nicht gut dokumentiert.

HOHE PH-WERTE, LAGERUNGSDICHTEN UND GESTÖRTE BODENSTRUKTUR

Der pH-Wert von Stadtböden kann punktuell stark variieren, liegt aber meist um 7 im neutralen Bereich oder höher. Kalkhaltiger Baustaub und Bauschutt beeinflusst den pH-Wert von Stadtböden (Sauerwein, 2011). Auch Ausbringung von Kompost, Bewässerung mit kalkhaltigem Grundwasser (Tresch et al., 2018), Verwitterung von karbonatreichen Baumaterialien und die Verwendung von Streusalzen im Winter heben den pH-Wert der Stadtböden (Craul, 1985; Greinert, 2015). Auf Baustellen und im Straßenbau wird der strukturreiche Oberboden abgetragen und der Unterboden gezielt befestigt (verdichtet). Mehrere Studien fanden höhere **Lagerungsdichte** in Stadtböden im Vergleich zu Böden in der Umgebung (Jim, 1998; Lehmann & Stahr, 2007). Ghosh et al. (2016) stellten

fest, dass die höchsten Lagerungsdichten entlang Straßen in einer Bodentiefe von 30 bis 50 cm zu finden sind. Doch andere Studien, wie Tresch *et al.* (2018) und Edmondson *et al.* (2011), kamen zu den Ergebnissen, dass die Lagerungsdichten gering bzw. signifikant niedriger in den bewirtschafteten Stadtböden sind im Vergleich zu den landwirtschaftlich genutzten Böden außerhalb der Stadt.

Die Bodenstruktur wird von physischen (Textur), chemischen (pH-Wert, vorliegenden Anionen und Kationen) und biologischen (Wurzelexsudate, mikrobielle Aktivität) Parametern bestimmt (Blum *et al.*, 2017). Zusätzlich beeinflusst das Klima und die Landnutzung die Bodenstruktur. In Stadtböden, wo der Oberboden abgetragen wurde, haben Yang & Zhang (2015) eine degradierte blockige und plattige Struktur gefunden. Der hohe Anteil an größeren **Artefakten** wie z.B., Bauschutt, Kunststoff, Glas oder Steinbrocken erschwert eine Neubildung von Bodenstruktur. Die Artefakte sind meistens grobkörnig und haben einen Einfluss auf die Stabilität, den Bodenwasserhaushalt und die Leitfähigkeit der Böden. Eventuelle toxische Inhaltstoffe beeinflussen den Pflanzenwuchs. Vor allem eventuelle toxische Komponente, die von Pflanzen aufgenommen oder ins Grundwasser ausgewaschen werden, stellen eine Herausforderung dar (Craul, 1985; Yang & Zhang, 2011). In gut gemischten Technosolen, mit einem guten Verhältnis zwischen fein- und grobkörniger Komponente, haben Deeb *et al.* (2020) ein hohes Potential für eine rasche Strukturbildung festgestellt.

HOHE BIOLOGISCHE DIVERSITÄT

Stadtböden sind **Hotspots der Biodiversität** mit einer Mischung von einheimischen und nicht heimischen Arten (Salinitro *et al.*, 2018). Mit Substraten und mit dem Pflanzgut folgen Kleinstlebewesen, die sich in den Stadtböden etablieren können. Die große Vielfalt an Stadtböden, das wärmere Stadtklima und die große Pflanzen- und Tiervielfalt beeinflusst die Zusammensetzung und Aktivität der Bodenlebewesen direkt über ihre Menge und Art der Wurzelausscheidungen (Baruch *et al.*, 2021). Weiter können Neophyten oder eingeschleppte Insekten oder Mikroorganismen auch Pflanzen verdrängen oder krank machen und so indirekt, durch das Absterben der heimischen Bäume, auch die Bodenlebewesen beeinflussen (Pouyat *et al.*, 2020). Guiland *et al.* (2018) stellten bei einem Vergleich unterschiedlicher Stadträume (Garten, Parks, Straßenzüge *etc.*) fest, dass die höchste Abundanz von Bodenfauna in Privatgärten, aber die höchste Vielfalt in den Stadtparks zu finden war. Generell gibt es wenige Studien zur Bodenfauna von Stadtböden.

Das Zusammenleben von Bäumen und Pilzen im Wald ist relativ gut erforscht (Egli & Brunner, 2011; Peter *et al.*, 2001), aber es gibt weniger Studien zum Thema Mykorrhiza und Stadtböden bzw. Stadtbäume. Es ist z.B. nicht klar welche Rolle die Baumschulen hier spielen (LWG, 2021). Während im Wald die Mykorrhiza dem Baum mit der Versorgung von v.a. Phosphor und Wasser aus fernerer Bodenschichten unterstützt, wissen wir wenig, inwiefern die aus der Baumschule mitgebrachte Mykorrhiza sich im Stadtboden etablieren kann (Goff, 2020; Timonen & Kauppinen, 2008). Es ist auch fraglich, inwiefern sie evtl. vor Schadstoffen schützen, bzw. wie sie sich in einem von den Schadstoffen oder Streusalz beeinflussten Stadtboden entwickeln.

Auswirkung der Charakteristika auf die Stadtböden

ALS PFLANZENSTANDORT

Wichtigste Parameter für Stadtböden als Pflanzenstandort sind verfügbarer Wurzelraum (Volumen), die Aktivität der Bodenlebewesen, welche wiederum vom Bodenwasserhaushalt und der Bodentemperatur abhängt, und die Nährstoffverfügbarkeit.

Wasser- und Nährstoffflüsse sind in Stadtböden mit gestörter Bodenstruktur gehemmt (Craul, 1985), die höheren pH-Werte wirken sich auf die Verfügbarkeit mancher Nährstoffe (z.B. Phosphor und Eisen) negativ aus und limitieren so das Pflanzenwachstum. In verdichtete Stadtböden fehlt einerseits der Raum für Bodenwasser und auch ist der Gasaustausch eingeschränkt. Die Bäume sind dadurch in ihrem Wachstum beeinträchtigt. Ein durch Streusalz erhöhter osmotischer Wert im Boden erschwert die Wasseraufnahme durch die Wurzeln. Da das osmotische Gefälle zwischen dem Zellsaft der Pflanze und der Bodenlösung verringert wird, kann ein Baum selbst bei hohen Bodenwassergehalten weniger Wasser aufnehmen. Zudem beeinflusst die hohe Konzentration einwertiger Salz-Ionen die Verfügbarkeit von wichtigen Nährstoffen wie Stickstoff, Kalium und Kalzium in der Bodenlösung. Dies bedeutet, dass ein Baum der ins beste Substrat gepflanzt wurde, wegen des Auftausalzes mit der Zeit Mangelerscheinungen entwickelt oder sogar langsam absterben kann, da er nicht in der Lage ist, die notwendigen Nährstoffe aufzunehmen (Schuecker, 2009).



Abbildung 10 Baumscheibe @Foldal 2022

Die regelmäßige Zufuhr von organischem Material und/oder Dünger, eine Bewässerung bzw. Schnitt und Pflegemaßnahmen wirken sich vorteilhaft auf die Nährstoffverfügbarkeit und das Pflanzenwachstum aus (Ghosh et al., 2016; O’Riordan et al., 2021; Vodyanitskii, 2015). Die Art der Bewirtschaftung und Bewirtschaftungsintensität beeinflusst nicht nur das Pflanzenwachstum, sondern auch die Treibhausgasemissionen (Stefaner et al., 2021).

ALS WASSERSPEICHER

Die Fähigkeit große Mengen Regenwasser in kürzester Zeit aufzunehmen und zu speichern ist eine wichtige Ökosystemleistung von Stadtböden. Die Wasserspeicherfähigkeit hängt von der Textur, dem Gehalt an Bodenkohlenstoff, der Bodenstruktur und dem Porenvolumen ab. Zudem beeinflusst die Oberflächenbeschaffenheit des Stadtbodens den Oberflächenabfluss bzw. die Infiltrationsrate.

Versiegelte und verdichtete Flächen haben den höchsten Oberflächenabfluss (Butler & Davies, 2011; Rawlins et al., 2015). Die Infiltrationsrate ist am höchsten unter Büschen und Hecken, besonders dort wo es keinen Zutritt gibt (Alizadehtazi et al., 2016; Elliott et al., 2018). Böden von Stadtwäldern haben eine bessere Drainage als Stadtböden von Betriebs- und Wohngebieten und können regional wichtige Wassersenken sein.

Um die Drainage von Oberflächenwasser und Platz für die grüne Infrastruktur neben Straßen, Plätzen und Gehsteigen zu schaffen, werden in Österreich vermehrt Freiräume nach dem **Schwammstadt-Prinzip (auch Stockholm-System)** gestaltet. Das Prinzip der Schwammstadt beruht auf technisch

hergestellte Substrate, welche den Oberflächenwasserabfluss durch Versickerung reduzieren und den Stadtbäumen einen möglichst optimalen Wurzelraum bieten. Es werden Flächen unterhalb von Verkehrsnebenflächen im System Schwammstadt einbezogen (Zeiser et al., 2021). Die Substratmischungen setzen sich aus regionalen grob- und feinkörnigen (mineralischen) Materialien in einem gewissen Mischungsverhältnis zusammen, sowie Kompost und auch manchmal Artefakten (Reststoffen).

Aktuelle Projekte zum Thema Stadtböden

Aktuelle Forschungsthemen rund um Stadtböden in Österreich sind u.a.

- **Das Wiener Bodensubstrat** zur Förderung der gesunden Entwicklung und Verlängerung der Lebensdauer der Stadtbäume hat die MA42 mit Expert*innen von Amt für Wasserwirtschaft, der Gartenbauschule Schönbrunn und 3.0 Landschaftsarchitektur ein Bodensubstrat entwickelt. Das Substrat eignet sich für den erweiterten Wurzelraum unter der Verkehrsfläche. Das Substrat ist zu bestimmten Anteilen aus mineralischen und organischen Komponenten zusammengestellt und wird von der Stadt Wien (MA 42) selber produziert. Ähnliche Bodensubstrate, mit den gleichen Eigenschaften, werden auch anderswo vor Ort aus regionalen Materialien produziert und eingesetzt z.B. in Graz.
- **Das Schwammstadtprinzip** schafft optimale Verhältnisse für Stadtbäume kombiniert mit einem effizienten Oberflächenwassermanagement. Auf eine relativ große Fläche wird auf einem Grobskelettboden (Schotter) ein geeignetes Bodensubstrat aufgeschlämmt. Die Fläche reicht unter die Verkehrsflächen und erweitert den Wurzelraum der Stadtbäume. Die Vereine Schwammstadt.at und LandSchafttWasser betreuen aktuell Projekt in Wien und Graz. Das Amt für Wasserwirtschaft betreibt gemeinsam mit der Gartenbauschule Schönbrunn einen Lysimeterversuch in Wien, wo verschiedene Aspekte des Schwammstadtprinzips untersucht werden. Mehrere Gemeinden und Städte in Österreich setzen nun die Methode um (z.B. Mödling, Lanzenkirchen, Linz).
- **CircularSoils** - im Sinne der Kreislaufwirtschaft soll bei Bautätigkeiten wertvoller Stadtböden vor Ort wieder eingesetzt werden. Im Rahmen der Dissertation von Frau Minixhofer wird der Bodenaushub von Großbaustellen getestet und als Substrat aufbereitet. Zudem wird die Baulogistik optimiert.
- **Schwermetallkonzentrationen** in Stadtböden, Substrate oder Stadtstaub wird seit Jahrzehnten von mehreren Akteuren erfasst. Die Stadt Wien geprobt regelmäßig den Gehalt an Schwermetalle und polyzyklische Kohlenstoffverbindungen der Böden öffentlicher Flächen. Im Karlsgarten (Karlsplatz, Wien) wurde über mehrere Jahre etliche Bachelor und Masterarbeiten rund um das Thema Umweltbelastung, Bodensubstrate und essbare Stadt geschrieben. In einer Studie hat Sager (2020) die Umweltbelastung von Straßenstaub erfasst und Ziss et al. (2021) haben die Schwermetallbelastung von mehreren Wiener Urban Garden Projekten untersucht.

3.4. Urban Forestry und die Gesellschaft

Urbanisierte Welt

Mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung lebt aktuell bereits in Städten und es wird erwartet, dass es 2050 sogar zwei Drittel aller Menschen sind (Vereinte Nationen, 2015). Die große Bedeutung des urbanen Raums für die Menschheit wird unter anderem in den Zielen für nachhaltige Entwicklung der

Vereinten Nationen (SDGs) abgebildet. So befasst sich etwa Ziel 11 konkret mit Städten und Siedlungen: "Städte und Siedlungen inklusiv, sicher, widerstandsfähig und nachhaltig gestalten" (Vereinte Nationen, 2015). Dafür wurden unterschiedliche Zielvorgaben formuliert, wobei die Bedeutung von urbanen Grünräumen an dieser Stelle besonders deutlich wird: "Bis 2030 den öffentlichen Zugang zu sicheren, inklusiven und zugänglichen grünen und öffentlichen Räumen, insbesondere für Frauen und Kinder, ältere Menschen und Menschen mit Behinderungen, zu gewährleisten" (Vereinte Nationen, 2015).

Urbane Wälder und Grünräume bieten der städtischen Bevölkerung eine Reihe von unterstützenden, regulierenden, versorgenden und kulturellen Ökosystemleistungen. In einer Welt, die immer mehr urbanisiert ist, rücken Grünräume in der Stadt somit in den Fokus von Stadtplanung, sozialer Gerechtigkeit und öffentlicher Gesundheit.

Wirkungen von Grünräumen auf Gesundheit und Wohlbefinden der Gesellschaft

Die Weltgesundheitsorganisation definiert Gesundheit als einen "Zustand des vollständigen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlergehens und nicht nur das Fehlen von Krankheit oder Gebrechen" (WHO, 1948). Diese ganzheitliche Definition beinhaltet also die körperliche, geistige und soziale Dimension.

Die Wirkungen urbaner und peri-urbaner Wälder und Grünräume auf die Gesellschaft kann in sozio-kulturelle und gesundheitliche Aspekte unterteilt werden (FAO, 2014). Nachfolgend wird ein Überblick auf die wichtigsten Wirkungen auf Gesundheit und Wohlbefinden der Menschen eingegangen.

SOZIO-KULTURELLE ASPEKTE

Urbane Wälder spielen eine wichtige Rolle an den Orten, wo Menschen zusammenkommen, miteinander interagieren und Beziehungen pflegen (Wolf, 2017). Diese Möglichkeit sozialer Interaktion ist dabei besonders für Menschen mit unterschiedlichem sozialem Hintergrund von Bedeutung. Generell scheinen Grünräume und Parks in der Stadt soziale Verbindungen in der Nachbarschaft zu stärken (Sugiyama et al., 2008).

Studien zeigen außerdem den Zusammenhang zwischen der Entwicklung kognitiver Fähigkeiten von Kindern bzw. deren schulischen Leistungen und dem Zugang zu Grünräumen in der Stadt (Amoly et al., 2014; Dadvand et al., 2015; Jarvis et al., 2021). Diese Entwicklungsmöglichkeiten für Kinder gelten dabei unabhängig von deren sozialer Schicht (FAO, 2014).

In Städten fehlen meist vielfältige Umgebungen für Kinder zum Entdecken und Interagieren, zudem werden Kinder geradezu mit Reizen wie Verkehr, Lärm, Medien und Reklame überflutet. Zudem wurden negative Effekte auf die Entwicklung von Kleinkindern nachgewiesen. Natürliche Umgebungen wie peri-urbane Wälder weisen eine gute Mischung aus stetigen Reizen und einer großen Reizvielfalt auf (Gebhard, 2013). Die Waldpädagogik widmet sich z. B. in stadtnahen Wäldern diesem Thema, legt bei Kindern die Basis für Naturverbundenheit und betreibt zusätzlich Bewusstseinsbildung.

Auch urbane Grünräume bieten diese Möglichkeit zur Bewusstseinsbildung für Menschen aller Altersklassen für Umwelt, Natur und Klima (FAO, 2014). Dies kann in einer vom Klimawandel geprägten Zeit eine Chance darstellen, umweltfreundliches Verhalten anzulernen.



Abbildung 11 Laufpause @ BFW/Walli n.d.

GESUNDHEITLICHE ASPEKTE

Urbane Wälder und Grünräume haben sowohl auf die psychische als auch die physische Gesundheit der Menschen einen positiven Einfluss. Dazu wurde eine große Anzahl von Studien und Literaturreviews veröffentlicht (A. C. K. Lee & Maheswaran, 2011; M. van den Bosch & Ode Sang, 2017; Wolf et al., 2020).

Natürliche Umgebung, darunter auch urbane Wälder, kann Stress und geistige Erschöpfung reduzieren. Die bekanntesten Theorien dazu sind die Stressreduktionstheorie (SRT) und die Aufmerksamkeitsrestaurationstheorie (ART) (van den Bosch, 2017). SRT besagt, dass natürliche Elemente schnelle, affektive Reaktionen, die ohne bewusste Verarbeitung auftreten, hervorruft (Ulrich, 1983). In der Folge kommt es zu physiologischer Mobilisierung und Stressreduktion. ART hingegen besagt, dass die Erholung durch die natürliche Umgebung kommt, die es nicht erfordert, Aufmerksamkeit gezielt auf etwas lenken zu müssen. Dadurch werden Ruhe und Erholung möglich (van den Bosch, 2017).

Zudem hat gesteigerte körperliche Aktivität, die durch öffentliche Grünräume gefördert wird, positive Auswirkungen unter anderem im Hinblick auf Übergewicht und Herz-Kreislaufkrankungen (FAO, 2014). Es profitieren dabei Personen aller Altersgruppen - von Kindern und Jugendlichen über Erwachsene (van den Bosch, 2017) bis hin zur älteren Bevölkerung (FAO, 2014). Ein gesunder Stadtboden spielt zudem eine wichtige Rolle für die Bildung eines starken Immunsystems und es wird ihm auch eine therapeutische Wirkung zugeschrieben (Brevik et al., 2020).

Luftverschmutzung, Lärm und urbane Hitzeinseln sind Faktoren, die das Leben in der Stadt konstant besonders stressig machen. In Verbindung mit chronischem Stress stehen Erschöpfung und psychische Erkrankungen (van den Bosch, 2017). Urbane Wälder und Grünräume bieten die Möglichkeit, dem Stress und der Hektik zu entkommen.

Auch durch Luftverbesserung, Absorption von UV-Strahlung und Lärmreduktion spielen sie eine Rolle für die Gesundheit der Gesellschaft (FAO, 2014). Hier können Bäume vielfältig eingesetzt werden, um die Auswirkungen diverser städtischer Probleme zu begrenzen, so ist es auch bei der Lärmbelastung. Lärm kann für die Einwohner in städtischen Gebieten sogar gesundheitsschädlich sein. In der Studie "Umweltbedingungen, Umweltverhalten 2019 – Ergebnisse des Mikrozensus" (Statistik Austria, 2020) wird berichtet, dass im Jahr 2019 33,3% der Einwohner in Österreich in ihrer Wohnung durch Lärm gestört gefühlt haben und dass die Belastung durch Lärm in Gemeinden bis 20.000 Einwohnern deutlich unter jenen Werten liegt, die in den Ballungszentren ausgewiesen sind. Es wird darauf hingewiesen, dass bis zur Erhebung 2011 der Verkehr die maßgebende Lärmquelle in Österreich war und seit 2015 die Verkehrs- und die Nicht-Verkehrslärmquellen in etwa gleich häufig genannt werden. Die am häufigsten angewendete Schutzmöglichkeit sind Lärmschutzbauten. Bäume und Sträucher können den Schall gut ablenken und gleichzeitig absorbieren, werden dabei deutlich weniger als eine Barriere wahrgenommen und tragen zu einem naturfreundlichen Stadtbild bei. Die Wirksamkeit der Lärmreduzierung steht in engem Zusammenhang mit der Dichte von Baumstämmen, Zweigen und Blättern (Samara & Tsitsoni, 2011). Jedoch soll es erwähnt werden, dass, um die gleiche Wirkung einer Lärmschutzwand zu erreichen, sind breite (etwa 25-30 Metern) Bepflanzungen nötig (Van Renterghem et al., 2013). Im EU-Projekt HOSANNA zeigen die Ergebnisse, dass schallisolierende Barrieren von etwa 1 m Höhe den Verkehrslärm in 1,5 m Höhe um 8 dB und bei 4 m Höhe um 6 dB reduzieren. Ein 15 m breiter Baumgürtel senkt den Geräuschpegel um 3 dB. Modellergebnisse zeigen, dass eine Dachbegrünung den Lärm in einem Innenhof um 3 bis 8 dB reduzieren kann. Ähnliche Ergebnisse sind auch in der Publikation von Jang et al. 2015 zu finden, wo die Autoren Bäume, Sträucher, begrünte Fassaden, grüne Dächer in städtischer Umgebung installiert haben, um ihre Auswirkungen auf die Lärmreduzierung zu analysieren. Begrünte Fassaden konnten den Gesamtgeräuschpegel in der Straßenschlucht um bis zu 1,6 dB dämpfen und begrünte Fassaden waren wirksam, um niederfrequente Geräuschpegel zu reduzieren. In der Straßenschlucht erhöhten Bäume teilweise den Lärmpegel im Hochfrequenzbereich, denn Baumkronen streuten und reflektierten die hochfrequenten Töne.

Darüber hinaus bietet urbanes Grün weitere zahlreiche Vorteile, wie z.B. die Verbesserung der Wasserqualität, der Schutz des Bodens gegen Erosion, eine Zunahme der Artenvielfalt und sozioökonomische Vorteile wie Erholungs-, psychologischen und pädagogischen Wert (Berland, 2012; Demuzere et al., 2014; Escobedo & Nowak, 2009; Leuzinger et al., 2010). Zudem die direkte Wertsteigerung einer Wohnung in 'Grünlage' bzw. mit dem Ausblick auf einem Baum bzw. einen Park (nach Wagner, 2021). Eine ausführlichere Beschreibung der Ökosystemleistungen von Stadtwäldern ist z. B. in der Studie von Chen & Jim (2008) zu finden.

RÄUMLICHE VERTEILUNG

Um die potenzielle mikroklimatische Wirkung und die gesellschaftliche Relevanz einzelner Grünflächen bewerten zu können, ist die räumliche Verteilung entscheidend. Zur Sicherstellung der Umweltgerechtigkeit (d.h. gleiche Zugangsmöglichkeiten zu öffentlichen Grünflächen) sind Grünflächen in allen Stadtteilen von großer Bedeutung (BMUB, 2015; B. Richter et al., 2016).

Eine Faustregel, die in der Stadtplanung Orientierung geben kann, stellt die 3-30-300-Regel dar (Konijnendijk et al., 2021). Je nach Situation und Stadt können die Zahlen dieser Faustregel abweichen. 3 bedeutet, dass jeder Mensch von zuhause aus mindestens 3 Bäume sehen sollte, 30 bezieht sich auf 30 % Baumkronenbedeckung in den Stadtbezirken und 300 darauf, dass der nächste Grünraum (mit

mindestens 1 Hektar Größe) maximal 300 Meter (Van den Bosch et al., 2016) entfernt sein soll (Konijnendijk et al., 2021).

Aktuelle Entwicklungen

URBAN GREEN CARE

Green Care bezieht sich auf "[...] ein Angebot an Aktivitäten, das die körperliche, geistige und [soziale] Gesundheit und Wohlbefinden durch den Kontakt mit der Natur fördert" (Sempik et al., 2010). *Urban Green Care*, umfasst nach der Definition, die im Rahmen des europäischen Green4C-Projekts entstanden ist, somit das "Spektrum der Projekte, Initiativen und/oder Akteur*innen und Organisationen, die städtische und stadtnahe Grünflächen fördern und die Gesundheit und das Wohlbefinden der Menschen ausdrücklich in ihre Strategien und Aktivitäten einbeziehen" (Mammadova et al., 2021).

Die Bandbreite der Aktivitäten ist groß und reicht von naturbasierten Lösungen wie begrünten Dächern oder vertikale Gärten über die Nutzung städtischer Grünflächen für Maßnahmen, die sozialen Zusammenhalt und Integration fördern, wie z. B. Gemeinschaftsgärten, bis zur Nutzung von Grünflächen wie Stadtparks oder urbanen Wäldern zur Gesundheitsförderung und Prävention von Krankheiten. All diesen Urban-Green-Care-Aktivitäten gemein ist, dass sie in den urbanen und peri-urbanen Kontext eingebettet sind. Sie sind damit auf das Engagement und die Beteiligung von Gemeinden, Regionalentwicklungsagenturen, Krankenhäusern, Universitäten, Forschungszentren, Bürger*innen und zivilgesellschaftlichen Organisationen angewiesen (Mammadova et al., 2021).

URBANE WÄLDER UND COVID-19

Durch die COVID-19-Pandemie bekam die Bedeutung von urbanen Wäldern und Grünräumen besonders viel Aufmerksamkeit. Eine Studie, die in einem stadtnahen Wald in Bonn, Deutschland, durchgeführt wurde, zeigt, dass die Besucher*innenzahlen in städtischen Grünflächen und Wäldern gestiegen sind. Neue Nutzer*innengruppen haben urbane und peri-urbane Wälder besucht, nachdem Anfang 2020 COVID-19-Lockdowns eingeführt und die Bewegungs- und Versammlungsfreiheit eingeschränkt worden waren (Derks et al., 2020). Analog dazu zeigen die Ergebnisse einer Studie aus den USA, dass sich die Besucher*innenfrequenz in Grünräumen und städtischen Wäldern erhöht hat. Ein Viertel der Befragten hatte ihre lokalen Naturgebiete vor der Pandemie nie oder nur sehr selten besucht, und ein Großteil dieser neuen Besucher*innen bezeichnete den Zugang zu diesen Gebieten während COVID-19 allerdings als sehr wichtig (Grima et al., 2020).



Abbildung 12: Green Care © BFW n.d.

In einer Studie in Freiburg, Deutschland, wurden die Beweggründe für Besuche in Wäldern rund um die Stadt untersucht. Die Motive dabei waren gesund zu bleiben und Sport zu treiben, psychischen Stress abzubauen, beim Social Distancing zu helfen und den Kontakt zu Freund*innen zu halten oder

unter Menschen zu sein. Auch Bewältigung und Kompensation waren zentrale Beweggründe (Weinbrenner et al., 2021).

Bei den Beschränkungen im Zuge der COVID-19-Pandemie wurde laut einer Studie aus Wien allerdings auch deutlich, wie schwierig es für Stadtbewohner*innen ist, die vorgeschriebenen Maßnahmen wie den Sicherheitsabstand einzuhalten. Innerstädtische Grünräume wurden vermehrt für Erholungszwecke genutzt und waren daher zeitweise überfüllt.

Diese Beobachtungen unterstreichen den Bedarf an grünen Freiflächen in städtischen Gebieten. Zusätzlich zur Bewältigung der Herausforderungen von Pandemien unterstützen diese die städtische Bevölkerung auch bei der Bewältigung der Folgen des Klimawandels (Reinwald et al., 2021).

Ob die verstärkte Nutzung von urbanen Wäldern und Grünräumen zu dauerhaften Veränderungen im Freizeitverhalten führt, ist derzeit noch offen. Eine in Norwegen durchgeführte Studie konnte jedoch bereits zeigen, dass der Anstieg der Erholungsnutzung auch sechs Monate später noch anhielt (Venter et al., 2020). Dies lässt vermuten, dass die COVID-19-Pandemie unsere Beziehung zum öffentlichen Raum nachhaltig verändert hat. Das gesteigerte Bewusstsein für urbane Wälder und Grünflächen ist in jedem Fall eine Chance, mit neuen Zielgruppen in Kontakt zu treten.



Abbildung 13 Waldpädagogik in den Stadtwäldern © BFW//Oettel 2018

4. Mögliche Projektstädte

Als Projektstädte würden sich die zwei größten Städte Österreichs anbieten. Idealerweise erfolgt allerdings, wie unter den strategischen Zielen schon beschrieben, eine österreichweite Vernetzung

Wien

Die Stadt Wien umfasst eine Fläche von 414,9 km², davon sind 50 % Grünflächen und Gewässer. Trotz unterschiedlicher gesellschaftlicher Entwicklungen konnte der Wiener Wald- und Wiesengürtel weitgehend erhalten bleiben. Der Erhalt der historischen Grünräume wie z.B. Wienerwald und Prater wurde durch den mutigen Beschluss des Wiener Gemeinderats in 1905 gesichert (Johann & Fritz, 2005). Etwa 8.5 Millionen Bäume wachsen in Wien. Das umfasst auch die Forstflächen in der Lobau, den Wienerwald oder den Lainzer Tiergarten. Die Forstflächen werden von der MA 49 bewirtschaftet. Die Wiener Stadtgärten (MA 42) betreuen Bäume in Parks und entlang von Straßen. Jährlich fällen die Stadtgärtner rund 2000 alte, kranke oder befallene Bäume und setzen dafür 2000 bis 3000 neue, Tendenz steigend. Ein eigenes Baumschutzgesetz soll die Erhaltung einer gesunden Umwelt sichern und gilt für öffentliche und private Bäume in Wien, davon ausgenommen sind Obstbäume, Bäume in Kleingärten und in Forstgebieten (im Wald gilt das Forstgesetz). Sie verlangt eine Erhaltungspflicht und bei Rodung eine Ersatzpflanzpflicht (Wiener Baumschutzgesetz, 2018).

Die Stadt hat erkannt, dass der Grünraumanteil und die Gewässer in Wien eine zentrale Rolle für das Stadtklima spielen (MA 18, 2014). Im Fachkonzept „Grün- und Freiraum“ stellt die Stadt Wien die Strategie der Grünraumplanung aus dem Stadtentwicklungsplan 2025 (STEP2025) vor. Unter den sieben Kernpunkten heißt es u.a., dass zur Sicherung einer quantitativen aber auch qualitativen Entwicklung nutzbarer Grünräume will die Stadt: *„Innerhalb von ca. 250 m wird jede Wienerin und jeder Wiener in Zukunft den nächstgelegenen Abschnitt des Freiraumnetzes erreichen“*. Diesem Gedanken liegt die Idee zugrunde, dass Großgrünräume, Parks, kleinere ökologisch bedeutende Flächen, Straßen mit Grünelementen miteinander verbunden werden sollen. *„Weil die Vernetzung... steigert auch die Aufenthalts- und Erholungsqualität im direkten Wohn- bzw. Arbeitsumfeld und wirkt sich positiv auf das Stadtklima als auch Flora und Fauna aus.“* (MA 18, 2014).

Im selben Jahr wurde der „Urban Heat Island-Strategieplan Wien“ unter der Leitung der Wiener Umweltschutzabteilung (MA 22) gemeinsam mit wissenschaftlichen Expertinnen und Experten erarbeitet, in dem unterschiedliche Möglichkeiten dargestellt sind, womit der städtische Hitzeinseleffekt reduziert werden kann. Großer Wert wird auf die *„Sicherung und Erweiterung von Grün- und Freiräumen“*, sowie auf *„Erhaltung und Ausweitung des Bestands an (Straßen-)Bäumen“* gelegt. Basierend auf dem Urban Heat Islands Strategieplan Wien wurde im Jahr 2018 das Programm *„InKA - Infrastrukturelle Anpassung an den Klimawandel“* gestartet, in dem die Voraussetzungen geschaffen werden sollen, damit die Maßnahmen rasch, einfach und flächendeckend umgesetzt werden können. Der Wiener Klimarat, der eingerichtet wurde, um Politik und Verwaltung bei der Entwicklung klimapolitischer Vorhaben zu beraten, hat in seinem verfassten Dokument *„Klimapolitische Maßnahmenvorschläge von Mitgliedern der Sounding Boards Gesellschaft des Wiener Klimarats“* die Relevanz der Förderung und Ausgestaltung des städtischen Grünraums nochmals hervorgehoben und mit hoher Priorität versehen.

Die Wiener Stadtregierung hat das Ziel gesetzt, im Jahr 2040 klimaneutral zu sein und um dieses Ziel zu erreichen, wurde eine eigene Person als Bereichsleiter für Klimaangelegenheiten eingesetzt. Sein Aufgabenbereich umfasst zahlreiche Schwerpunkte z.B. zukunftsorientierte Gesamtsteuerung der

Agenden des Klimaschutzes, der Klimaanpassung und der Kreislaufwirtschaft; Etablierung und Optimierung des Bewusstseins für eine ganzheitliche Kultur der klimaneutralen, resilienten und zirkulären Stadt; Wissensaustausch und Vernetzung zwischen relevanten Stakeholdern in diesem Bereich, insbesondere mit Institutionen der Wissenschaft und Forschung.

In 2021 hat die Stadt Wien den europäischen Stadtbaupreis (ECOT) für ihr intensive Forschung und innovative Maßnahmen für eine verbesserte Anpassungsfähigkeit der urbanen Ökosysteme an sich wandelnde Klimabedingungen erhalten (freiraumgestalter.at, 2021).

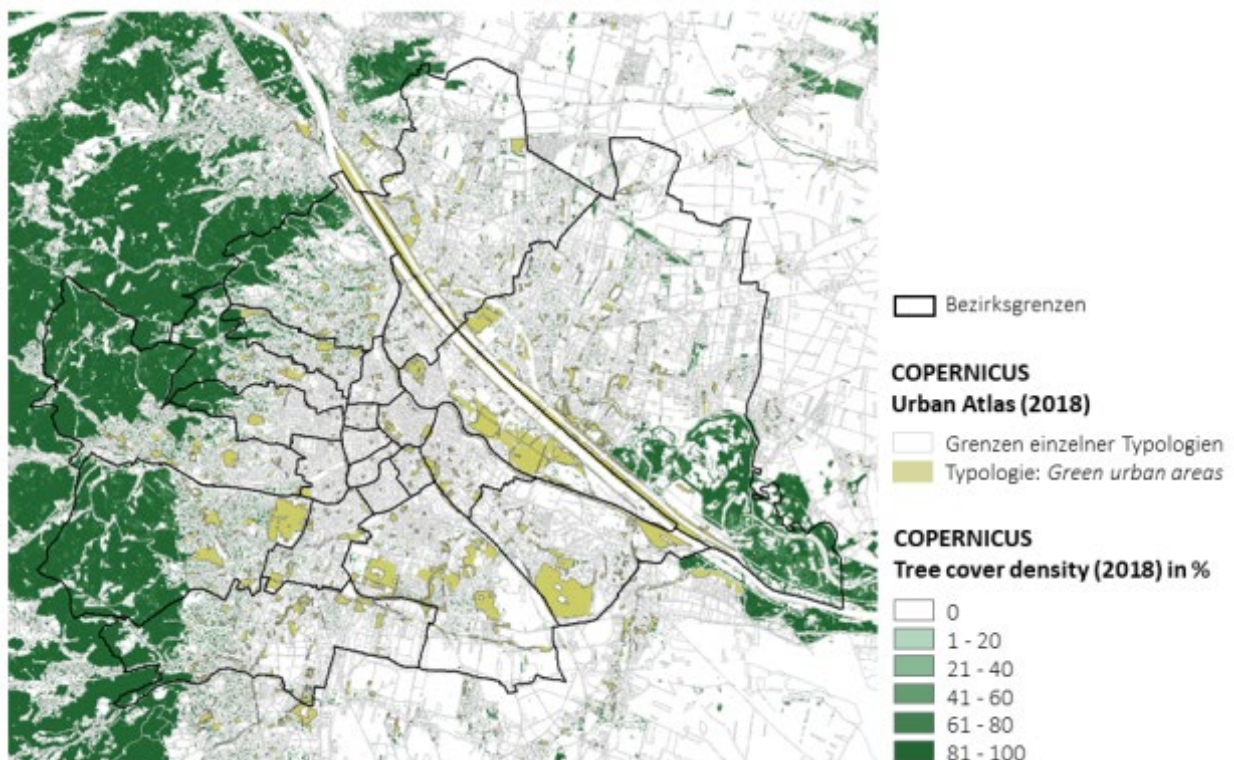


Abbildung - Darstellung grüner Flächen in Wien basierend auf die Produkte des Erdbeobachtungsprogramm COPERNICUS (Urban Atlas Landnutzungskartierung und HRL Baumdeckungsgrad).

Interessante Initiativen der Stadt Wien

Im digitalen Baumkataster sind Art, Stamm- und Kronenumfang aller Stadtbäume standortstreu im digitalen Stadtplan abrufbar.

„Junge Wälder“ Jährliche Aufforstungsaktion. Seit dem Jahr 2000 werden in Wien ca. 2 ha Fläche neu aufgeforstet. Die Aktion ist gut geeignet für Familien. Gepflanzt werden heimische Bäume und Sträucher.

Fassaden-, Dach- und Innenhofbegrünungen, die Stadt bietet Beratung und **Förderungen**. Für Begrünung von Liegenschaften, die nicht im Eigentum eines öffentlichen Rechtsträgers (z. B. Bund, Stadt Wien) stehen, können bei der Wiener Umweltschutzabteilung - MA 22 Geldmittel beantragt werden. Begrünungsmaßnahmen bei Neubauten und im Rahmen einer umfassenden Sanierung von städtischen Wohnbauten werden über den Wohnfonds Wien gefördert.

Ideen-Wettbewerb STADTGRÜN Wien zur Begrünung im öffentlichen Raum. 55 Projekte wurden bei diesem Fachwettbewerb eingereicht.

Im **Ideenwettbewerb für begrünte Straßen und Plätze (Wien wird WOW!)** waren auch die Wiener und Wienerinnen gefragt, ihre Begrünungsmaßnahmen einzureichen. 500 Ideen wurden dabei gesammelt.

Biotopenmonitoring: Ende der 1980er-Jahre wurde eine detaillierte Biotopkartierung durchgeführt. Dabei wurden etwa 40 % der Fläche Wiens erfasst, allerdings nur 2 % des dicht bebauten Stadtgebietes. Aktuell wird im Projekt SeMoNa22 (Projektleitung Georaum GmbH Partner: BOKU; TU Wien; BFW; Stadt Wien) anhand von Indikatoren die Stadt neu kartiert.

Bodenkarte Wien bietet eine Übersicht der verschiedenen Böden in Wien und ist für die vorausschauende Stadtplanung ein gutes Instrument der Standortfindung für verschiedene Nutzungsvorhaben. Die Bodenkarte ist im Stadtplan aufrufbar und basiert auf Daten der eBod, der Finanzbodenschätzung, der Forstliche Standortkartierung und der Bodentypenkarte von O. Nestroy aus 2002 und wurde 2015 für die MA22 von b⁵ erstellt.

Schwammstadtprinzip: im Seestadt Aspern wird das Prinzip der "Schwammstadt" erstmals in ganzen Straßenzügen umgesetzt. Die Bauarbeiten haben in 2020 angefangen und die letzten der 330 neue Bäume werden im Frühjahr 2022 gepflanzt (Lang, 2021). Mehr zum Prinzip siehe oben: Unterkapitel „Aktuelle Projekte zum Thema Stadtböden“.

Lebenswerte Klimamusterstadt: für Klimaprojekte werden in Wien in den nächsten fünf Jahren insgesamt 100 Millionen Euro an Förderungen bereitgestellt. Stadt und Bezirke setzen dabei auf Maßnahmen wie Begrünung, Kühlung, Entsiegelung von Beton- und Asphaltflächen, Beschattung, mehr Wasserflächen? und den Ausbau von Parks.

Aktion Grätzloase Wien: von Parkflächen zu Oasen in Wien. Seit 2015 werden Parkplätze neue Aufenthaltsorte, ausgestattet mit gemütlichen Sitzgruppen und Pflanzen. Neben einer finanziellen Unterstützung der Stadt Wien unterstützt der Verein Lokale Agenda 21 auch bei der Ideenfindung, Bewerbung und Umsetzung

*Tabelle 1: Für Forschungsprojekte sind die wichtigsten Ansprechpartner*innen der Stadt Wien:*

Organisationen	Fachbereiche, Themen
MA 18 Stadtentwicklung und Stadtplanung	Stadtklimaanalysen, Siedlungsentwicklung
MA 22 Umweltschutz	Freiraumplanung – Beratungen Pflanzenschutz; UHI Strategieplan, Bauwerksbegrünung
MA 42 Wiener Stadtgärten	Parkanlagen, Grünraumpflege, Baumschutz
MA 49 Forst- und Landwirtschaftsbetrieb	Betreuung und Pflege der Stadtwälder, Waldbewirtschaftung
Stadtrat für Soziales, Gesundheit und Sport	Green Care
Stadträtin für Innovation, Stadtplanung und Mobilität	Stadtplanung
Stadtrat für Klima, Umwelt, Demokratie und Personal	Forst- und Landwirtschaftsthemen, Umwelt, Gärten und Parks, Stadtböden und Klima

Graz

Graz umfasst 127,58 km² und ist eine der walddreichsten Städte in Österreich. Der Grünraum deckt 68% der Fläche, davon ist 25% Wald (Stadt Graz, 2021). Das entspricht etwa 3.111 ha Wald. Damit handelt sich bei der steirischen Landeshauptstadt um eine der walddreichsten Städte in Österreich. Das Gebäude- und Baumanagment der Stadt Graz ist für die Betreuung großer Teile dieser Wälder verantwortlich und gibt die Zahl der Bäume in den städtischen Wäldern mit 2,3 Mio. an. Das entspricht 8,17 Bäumen pro Einwohner. Stadtgrün und Stadtbäume werden im Stadtentwicklungskonzept und im Aktionsplan Klimawandelanpassung Graz als wichtige Maßnahmen um eine nachhaltige Stadtentwicklung zu sichern. Im aktuellen Stadtentwicklungskonzept sind über bindende Bebauungspläne z.B. Festlegungen betreffend Erhalt der begrünten Innenhöfe und Vorgärten, Mindestgrünflächenanteil der Bauplätze (20% Grünanteil), verpflichtender Erhalt von 10% des Bauplatzes als unversiegelte Fläche und auch verpflichtende Bepflanzung eines Baumes je 5 PKW-Abstellplätzen festgehalten (Stadt Graz, 2018).

Die Stadt Graz hat in Bezug auf Stadtklimaforschung eine lange Tradition. Basierend auf Befliegungen in Jahren 1986, 1996, 2004 und 2011 wurden zahlreiche Analysen zum Thema Stadtklima durchgeführt. Der Grazer Gemeinderat hat im 2020 beschlossen, ein neues Klima - Informationssystem aufzubauen, welches auch Teile des steirischen Zentralraums beinhalten soll.

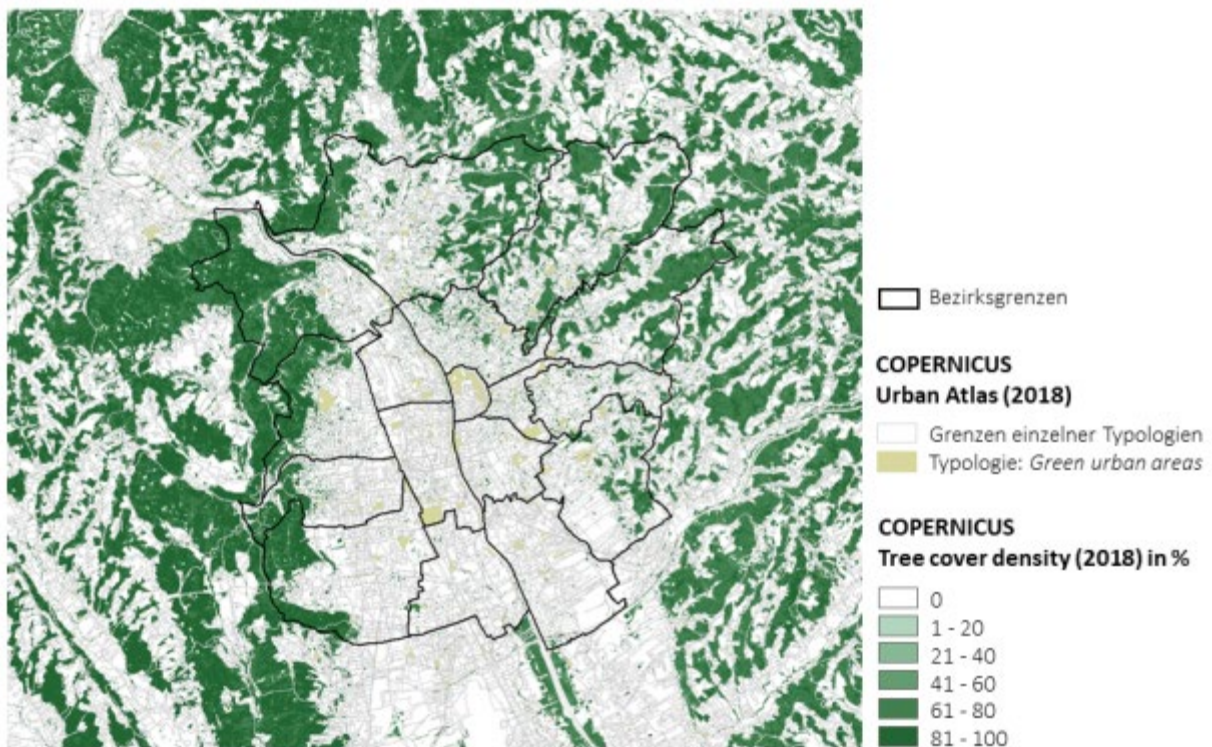


Abbildung 14: Darstellung grüner Flächen in Graz basierend auf die Produkte des Erdbeobachtungsprogramm COPERNICUS (Urban Atlas Landnutzungskartierung und HRL Baumdeckungsgrad).



Abbildung 15: Simulationen des Kühlungseffekts der Klimaanpassungsmaßnahmen am Beispiel des Bezirks Jakomini in Graz: Reduzierung des Anteils der Versiegelung um 50% (links), Einpflanzung von 30.000 neuen Bäumen auf Straßen und Freiflächen (Mitte) und Erhöhung der Dachalbedo auf 70% (rechts). Adaptiert von Zuvela-Aloise et al. (2017). Die Unterschiede bei der mittleren jährlichen Anzahl der Sommertage zeigen, dass ein starker Kühleffekt erzielt werden kann, indem Materialien mit hohem Reflexionsvermögen auf die Wände und Dächer von Gebäuden aufgebracht werden und der Anteil der Versiegelung verringert oder die Anzahl der Bäume auf Straßen und in offenen Räumen erhöht wird

Interessante Initiativen der Stadt Graz

Stadtklima- Analysen: seit 1986 belegen die Grazer Stadtklima-Analysen den positiven Einfluss von unversiegelten Flächen. Es zeigt sich, dass Parkanlagen und Stadtwälder klimawirksam für ganze Stadtteile sind.

Klima-Informationssystem Graz (KIS): aus der Stadtklimaanalyse entwickelt sich derzeit ein umfassendes und innovatives Klima - Informationssystem für die Stadt Graz. Das KIS soll sich jedoch nicht nur auf die Stadt begrenzen, sondern soll auch Teile des steirischen Zentralraums inkludieren.

Grünraumsicherung: Im 4.0 Stadtentwicklungskonzept wurde im Jahr 2013 eine Mindestfläche an öffentlichem Freiraum pro Einwohner eines Gebietes festgelegt. Der Grünraum soll für alle nach 200 – 400 m erreichbar sein. Die gesicherten Grünflächen sind auch wichtig für den regionalen und lokalen Wasserkreislauf.

Grazer Stadtbaum: in innovativen Pilotprojekten wird die Mehrfachnutzung der Stadtbäume gezeigt. Entlang mehreren Straßenzügen werden Bäume nach dem Schwammstadtprinzip gesetzt. Hier findet neben Begrünung, Beschattung und Kühlung, direkt vor Ort eine Entlastung der Kanalisation bei Starkniederschlägen statt. Auch wird die Pflanzenkohle im Baumsubstrat als CO₂ Senke einberechnet.

Für jedes Kind ein Baum: ein Vorschlag des Kinderrates, dass jedes Kind ein Anspruch auf einen eigenen Baum hat, wird in Graz seit 2019 umgesetzt. In Frühling und Herbst kann ein Baum abgeholt werden. Wer zu Hause keinen geeigneten Platz für sein Bäumchen hat, für den pflanzt es die Stadt am Areal Plabutsch-Buchkogel aus.

Förderung für Stadtbäume, Fassaden-, Dachbegrünungen das Umweltamt bietet seit 2019 eine Förderung an, um Anreize für die Pflanzung von Stadtbäumen zu schaffen und dadurch auch den Grünanteil in Graz zu erhöhen. Ziel dieser Förderung ist es, ökologische und mikroklimatische Bedingungen in Graz weiter zu verbessern. Der Stadtbaum muss auf einem privaten Grundstück innerhalb des Stadtgebiets gepflanzt werden, das sich außerhalb des Grazer Grüngürtels befindet. Zu den Themen Fassaden- und Dachbegrünung bietet das Umweltamt eine kostenlose Erstberatung an.

Tabelle 2 Für Forschungsprojekte sind die wichtigsten Ansprechpartner*innen der Stadt Graz:

Organisationen	Fachbereiche, Themen
Referat Baumschutz	Baumschutz
Referat Grün- und Freiraumplanung	Grünraumoffensive, Grazer Stadtpark, Parkpflegewerk, Stadtbaum
Gebäude- und Baumanagement GmbH	Städtisches Bauen, Waldschule
Holding Graz	Grünraumpflege
Abteilung Grünraum und Gewässer	Grazer Stadtbaum, Bewirtschaftung und Pflege der Naherholungswälder (Team Forst)
Umweltamt Graz	Urbane Begrünung, Ökostadt und Klima
Stadtbaudirektorin	Abteilung für Grünraum und Gewässer, Umweltamt, Stadtplanungsamt, Straßenamt,



Abbildung 16 Graz © Foldal 2020

5. Österreichweite Akteur*innen zu Themen der grünen Stadt

Von der Baumannzucht bis hin zum Klimagasmonitoring beschäftigen sich sehr viele Organisationen, Firmen, Vereine und Personen mit den Themen der grünen Stadt. In der folgenden Tabelle sind beispielhaft Akteur*innen mit ihren Fachbereichen und Arbeitsthemen gelistet. Beim Aufbau eines Netzwerkes empfiehlt es sich, diese Liste detaillierter auszuarbeiten und zu vervollständigen.

Tabelle 3 Österreichweite Akteur*innen:

Organisationen, Themen	Fachbereichen, Themen, Beispiele:
Austrian Institute of Technology (AIT)	Vertikale Begrünung; Stadtklima; Simulationen Mikroklima, Wasserhaushalt
Architekt*innen und Wohnbauträger	Kleinräumige, projektbezogene Grünraumkonzepte
Baumkontrolle	Kontrolle der Verkehrssicherheit und Pflegebedarf
Bundesforschungszentrum für Wald (BFW)	Klimafitte Bäume, Bioindikatornetz, nicht heimische Baumarten, Schädlinge und Baumkrankheiten, Bodenkunde, Bodenbewusstseinsbildung, Waldpädagogik, Green Care
Bioforschung Austria	Gemeinschaftsgärten; Schwermetalle im Straßenstaub
Bodenwissenschaftler*innen	Antworten auf spezifische Fragestellungen
Botanischer Garten der Universität Wien	Baumartenwahl, Erfahrung mit nicht heimischen Arten, Grüne Schule
Bundesamt für Wasserwirtschaft	Bodenhydrologie; Bodensubstrat; Schwammstadtprinzip
Gartenbauschulen	Baumartenwahl Pflanzung und Pflege; Lehre
GrünstattGrau	Vernetzung Ingenieure, Gartengestalter, Gärtnereien
Landschaftsplaner*innen	Projektbezogene Grünraumkonzepte im städtischen Raum und bei größeren Bauprojekten
Landschaft Wasser	Schwammstadt; Bodensubstrat
Umweltberatung	Beratung, u.a. Informationen zu Straßen- und Stadtgrün
Umweltbundesamt GmbH	Boden, Flächennutzung, Bewusstseinsbildung Luftqualität, Eddy Flux (CO ₂ Messungen), Treibhausgasmessungen, Wassergüte
Universität für Bodenkultur Wien	Vertikalgrün; Dachbegrünung; Cirkular Soil Biodiversität in der Stadt; Stadtbäume unter Stress; Schwermetalle; Baumschutz; Klimagase der Bäume; Luftqualität; Stadtklima; Mikroklima; Simulationen
Universität Salzburg	Stadtbäume, Stadtökologie
Weitere Vereine und Bewegungen	z.B. Gartenpolylog, Natur im Garten, Initiative Zukunft Stadtbaum
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG)	Stadtklima (Monitoring und Modellierung); phänologische Untersuchungen; regionale, stadt- und mikroklimatische Analysen im Wetter-, Klima und Umweltbereich; Gefahrenanalyse; Planung und Überprüfung der Wirksamkeit von Begrünungsmaßnahmen; Spezialanalysen und Warnungen; Citizen Science

6. Forschungsbedarf

Der Forschungsbedarf sollte in einer Bedarfserhebung mit den Stakeholdern stattfinden. Hier vorab einige Vorschläge.

6.1 Klima

- Um städtische Strukturen bzw. Wechselwirkungen zwischen Vegetation, Böden und Erdatmosphäre in Simulationsmodellen realistisch abbilden zu können, ist die **Erfassung des Stadtgrüns bzw. forstliche Expertise** essentiell. Als Instrument zur nachhaltigen Entwicklung gesunder Baumbestände werden in vielen Städten Bäume und ihre Eigenschaften digital erfasst. Das Verzeichnis bezieht sich allerdings ausschließlich auf Bäume, welche im öffentlichen Bereich liegen. Durch fehlende Informationen von **Bäumen im privaten Bereich**, sowie in städtischen und in herumliegenden Waldflächen sind Klimaanalysen mit Unsicherheiten behaftet.
- Beurteilung der **Anpassungsfähigkeit von Bäumen** an zukünftige Klimabedingungen für die nachhaltige Umsetzung der Klimaanpassungsmaßnahmen. Für eine zukunftsorientierte Planung der grünen Infrastruktur ist außerdem die Abschätzung des Wasserbedarfs, sowie der zukünftigen Wasserverfügbarkeit in Städten unverzichtbar.
- Das Stadtgrün spielt eine große Rolle im Zusammenhang mit der Bewältigung der kurz- und langfristigen Herausforderungen von Extremwetterereignissen und Klimawandel. Die **Regulationsleistung** grüner Infrastruktur auf das Mikroklima bei Hitze- und Starkregenereignissen unter zukünftigen Klimabedingungen ist in den meisten Städten noch nicht erforscht.
- Untersuchung der **Kühlwirkung unterschiedlicher Baumarten** anhand von Mikroklimamodellen ist angestrebt.
- Mithilfe wissenschaftlich begleiteter Planungsprozesse können etwaige **Nachteile von Stadtgrün** (Beeinträchtigung der Ausstrahlung und der Luftzirkulation in Straßenschluchten bzw. in verdichteten Parks, welche zur verstärkten Pollen- Luftqualität- und Wärmebelastung führen kann) verhindert werden.
- Untersuchung von strategisch geplanten Netzwerken der Grünflächen, um ein breites Spektrum an **Ökosystemdienstleistungen** erzeugen zu können.
- Stichwort **Pilot Studien** – es stellt sich die Frage, inwieweit Ergebnisse von der Gebäudeebene auf das Quartier skalierbar bzw. übertragbar sind.

6.2 Urban Forestry

- Das Konzept von **Vielfalt auf allen Ebenen** etablieren. Gesucht ist ein möglichst breites Sortiment. Auch die Bevölkerung als Nutznießer*innen oder als Besitzer*innen von Gärten, Terrassen und Balkonen sollte vermehrt aufgeklärt und einbezogen werden.
- Die zur Verfügung stehenden **Listen** für Stadtbaumarten müssen angesichts der rasanten Klimaentwicklungen laufend am letzten Stand des Wissens geführt und durch Erkenntnisse aus dem In- und Ausland regelmäßig aktualisiert werden. **Klimabedingte Stressindikatoren** für gelistete Baumarten müssen definiert werden.
- **Wissenschaftlich begleitete Anbauversuche** mit alternativen (heimischen, auch seltenen oder aber nicht heimischen) Baumarten, die an wärmere und trockenere Verhältnisse angepasst sind, auf realen Standorten in Städten durchführen (Praxisanbauversuche) um die Anbaueignung zu erforschen. Dabei auch bestehendes Wissen nutzen: Botanische Gärten,

Arboreten, Parks, private Gärten – was hat sich hier bewährt? Hier könnte die Bevölkerung durch Citizen Science Projekte einbezogen werden. Darüber hinaus würden Kollaborationen mit ausländischen Städten, in denen heute schon die klimatischen Verhältnisse herrschen, die für unsere Modellstädte prognostiziert werden (Klimaanalogie), einen Erfahrungsaustausch erlauben.

- Selektion von **Plusbäumen**, die besonders gut mit dem Klima und den Umweltbedingungen in der Stadt zurechtkommen, und Etablierung von Zuchtprogrammen und Saatgutplantagen.
- Versuchsanzpflanzungen mit **wenig-jährigen Jungbäumen** in urbanen Bereichen um Erfahrungswerte über ihr Wuchsverhalten zu sammeln, aber auch über den Umgang von der Bevölkerung mit ihnen. Welche Schutzmaßnahmen sind zu setzen?
- **Bestimmung der Artenvielfalt** von Vögeln, Spinnen, Insekten, Epiphyten im Baumkronenraum verschiedener Baumarten, um deren Stellenwert in Bezug auf Biodiversität und Verlinken von Habitaten bewerten zu können.

6.3 Boden

- Einfluss der **Biodiversität des Bodenlebens** in Stadtböden auf Pflanzenwachstum, Phytopathogene und Treibhausgasemissionen. Es gibt hier nur einige wenige Bachelor- und Masterarbeiten von der Universität der Bodenkultur Wien, die sich vor allem mit der Abundanz und Artenvielfalt der **Meso- und Makrofauna der Stadtböden** befassen.
- **Die Bestimmung der Menge an organischem und anorganischem Kohlenstoff** in Stadtböden nach Landnutzungskategorien ist ein wichtiger Beitrag für die Nationale Treibhausgasinventur. Zurzeit wird auf geschätzte Werte zurückgegriffen. Eine umfängliche **Erfassung der Kohlenstoffspeicherung** in Stadtböden (unter verschiedener Vegetation und Behandlung) könnte wichtige Anhaltspunkte zur Planung und Optimierung von Mitigationsmaßnahmen im Bereich der grünen Stadtplanung liefern. Eine gleichzeitige **Erfassung der Treibhausgasflüsse** in/aus dem Stadtboden könnte die Senke/Qellenfunktion unterschiedlicher Stadtböden aufzeigen.
- Die **CO₂-Bindungskapazität** von Bäumen hängt von diversen Faktoren (Baumart, Baumalter, Zuwachsrate, Bodenqualität, Wasserversorgung, Klima) ab. Wie viele Bäume und konkret, wo müsste man anpflanzen, um den CO₂ Abdruck verringern zu können. Neben der oberirdischen Biomasse sollte auch auf den Komplex Wurzel/Boden geachtet werden.
- **Wurzelraum** v.a. von Straßenbäumen; es gibt einige Masterarbeiten (z.B. Goff, 2020; Schuecker, 2009; Thüringer, 2014) zum Thema Baumscheiben; Mykorrhiza oder Wurzelwachstum von Stadtbäumen. Wir wissen aber wenig in inwieweit die Pflanzen und das Bodenleben vom Schwammstadtprinzip profitieren.

6.4 Gesellschaft

- Erfassung der **Freizeitnutzung von stadtnahen Wäldern** in Österreich, um Daten zur Besucher*innenfrequenz, der Nutzungsart, und –zeit und Ähnlichem zu erhalten.
- Darstellung der **Interessensgruppen und Stakeholder in stadtnahen Wäldern**.
- Untersuchung des **Zusammenhangs** zwischen urbanen Wäldern und Grünräumen und Ersparnissen des **Gesundheitssystems**. Es gibt eine Studie aus Philadelphia, die die Wirkung auf die öffentliche Gesundheit durch Kronenbeschirmung untersucht (Kondo et al., 2020). Eine ähnliche, auf die lokalen Umstände angepasste Untersuchung könnte für Österreich interessant sein.

- **Urban Green Care:** Erhebung bestehender Initiativen und Marktaussichten in Österreich. Das Green4C-Projekt hat europäische Market Outlooks zu den 4 Green-Care-Sektoren publiziert, darunter auch für Urban Green Care. Eine Erhebung bestehender Initiativen und Darstellung der Marktaussichten für Österreich wären interessant.
- Studie zu **Wahrnehmung der Erholung und Entspannung** in Parks.

7 Schlussfolgerung

Stadtbäume haben eine Vielzahl von Funktionen und Ansprüchen zu erfüllen. Hier ist ein integraler Zugang von Vorteil. Die Forstwirte und Forstwissenschaftler*innen vom Bundesforschungszentrum für Wald (BFW) besitzen hohe Fachkompetenzen, was die nachhaltige Nutzung von Bäumen und Wäldern betrifft. Sie beschäftigen sich mit Standortansprüchen der Baumarten, deren Eignung für Extremstandorte, mit Schadorganismen, aber auch mit Erholungsuchenden oder der notwendigen Anpassung der Bewirtschaftung an den Klimawandel.

Die Forstwirtschaft mit ihren vielseitigen Facetten kann der Landschaftsarchitektur, dem Gartenbau und der Stadtplanung ergänzend zur Seite stehen und so zu einer gesamtheitlichen Sichtweise beitragen. Jede Disziplin folgt einem anderen Denkmuster und zusammen ergänzen sie sich um komplexe, bereichsübergreifende Fragestellungen zu lösen. Eine enge Zusammenarbeit ist daher als Bereicherung zu verstehen, die sich positiv auf die Bewirtschaftung und Weiterentwicklung von Stadtgrün auswirkt.

Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) hat fachliche Kompetenzen im Bereich Klimawandel und Klimaanpassung und unterstützt mithilfe von Stadtklimamodellierung die nachhaltige Stadtplanung. Sie begrüßt die Initiative und Zusammenarbeit zum Thema Stadtgrün, um gegenseitiges Lernen zu ermöglichen und die gesellschaftliche Relevanz vom Stadtgrün zu stärken.

Aus der vorliegenden Studie geht hervor, dass es bundesweit einige Lücken zu schließen gibt, um den neuen Herausforderungen und Ansprüchen an das Stadtgrün gerecht zu werden. Hier sehen wir besonders beim Ausbau der Fachdisziplin Urban Forestry einen Handlungsbedarf.

Wir empfehlen den Aufbau eines österreichweiten inter- und transdisziplinären Netzwerks für Planer*innen, Praktiker*innen und Wissenschaftler*innen, wo Städte und Gemeinden eine kompetente Anlaufstelle finden. Wünschenswert sind weiters das Abhalten von regelmäßigen Tagungen zum Thema Stadtgrün und eine Anbindung an das internationale Forschungsnetzwerk IUFRO. Für die Umsetzung von nachhaltigen Begrünungsmaßnahmen ist auch eine Verbesserung der derzeitigen rechtlichen Rahmenbedingungen und die Durchführung von bewusstseinsbildenden Initiativen in der Gesellschaft notwendig.

Für die Koordination all dieser Maßnahmen bedarf es der Einrichtung einer Projektgruppe, die an eine Institution angeschlossen ist.

8 Literatur

- Akbari, H., Kurn, D. M., Bretz, S. E., & Hanford, J. W. (1997). Peak power and cooling energy savings of shade trees. *Energy and Buildings*, 25(2), 139–148. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(96\)01003-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)01003-1)
- Alizadehtazi, B., DiGiovanni, K., Foti, R., Morin, T., Shetty, N., Montalto, F., & Gurian, P. (2016). Comparison of Observed Infiltration Rates of Different Permeable Urban Surfaces Using a Cornell Sprinkle Infiltrometer. *Journal of Hydrologic Engineering*, 21, 6016003. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001374](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001374)
- Allen, J. A., Setälä, H., & Kotze, D. J. (2020). Dog Urine Has Acute Impacts on Soil Chemistry in Urban Greenspaces. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.615979>
- Amber, C. (2017). *Bäume auf die Dächer, Wälder in der Stadt, Projekte und Visionen eines Naturdenkers*. Franckh Kosmos Verlag.
- Amoly, E., Dadvand, P., Forn, J., López-Vicente, M., Basagaña, X., Julvez, J., Alvarez-Pedrerol, M., Nieuwenhuisen, M. J., & Sunyer, J. (2014). Green and Blue Spaces and Behavioral Development in Barcelona Schoolchildren: The BREATHE Project. *Environmental Health Perspectives*, 122(12), 1351–1358. <https://doi.org/10.1289/ehp.1408215>
- APCC. (2014). *Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14)*. Austrian Panel on Climate Change. http://austriaca.at/APPC_AAR2014.pdf
- Aram, F., Solgi, E., Garcia, E. H., & Mosavi, A. (2020). Urban heat resilience at the time of global warming: evaluating the impact of the urban parks on outdoor thermal comfort. *Environmental Sciences Europe*, 32(1), 117. <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00393-8>
- Aram, F., Solgi, E., Higuera García, E., Mosavi, A., & R. Várkonyi-Kóczy, A. (2019). The Cooling Effect of Large-Scale Urban Parks on Surrounding Area Thermal Comfort. In *Energies* (Vol. 12, Issue 20). <https://doi.org/10.3390/en12203904>
- Arnfield, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 23(1), 1–26. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/joc.859>
- Balder, H. (1994). The effect of dog-urine on plants. *Gesunde Pflanzen*, 46(3), 93–102.
- Barbierato, E., Bernetti, I., Capecchi, I., & Saragosa, C. (2019). Quantifying the impact of trees on land surface temperature: a downscaling algorithm at city-scale. *European Journal of Remote Sensing*, 52(sup4), 74–83. <https://doi.org/10.1080/22797254.2019.1646104>
- Baruch, Z., Liddicoat, C., Cando-Dumancela, C., Laws, M., Morelli, H., Weinstein, P., Young, J. M., & Breed, M. F. (2021). Increased plant species richness associates with greater soil bacterial diversity in urban green spaces. *Environmental Research*, 196, 110425. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110425>
- Berland, A. (2012). Long-term urbanization effects on tree canopy cover along an urban–rural gradient. *Urban Ecosystems*, 15. <https://doi.org/10.1007/s11252-012-0224-9>
- BFW. (2021). *ALPTREES, Sustainable Use and Management of non native trees in the alpine region*. <https://www.alpine-space.org/projects/alptrees/en/home>
- Blum, W. E. H., Schad, P., & Nortcliff, S. (2017). *Essentials of Soil Science*. Schweizerbart Science Publishers. http://www.schweizerbart.de//publications/detail/isbn/9783443010904/Blum%5C_Schad%5C_Nortcliff%5C_Essentials%5C_of%5C_Soil
- BMUB. (2015). *Grün in der Stadt – Für eine lebenswerte Zukunft*. https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/bmub/verschiedene-themen/2015/gruenbuch-2015-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- BMUV. (2021). *Ökosystemleistungen von Wäldern – Honorierung von Klimaschutzleistungen mit ambitionierten Biodiversitätsstandards*. https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/oekosystemleistungen_waelder_position_spapier_bf.pdf
- Böhm, R. (1998). Urban Bias in Temperature Time Series – a Case Study for the City of Vienna, Austria. *Climatic Change*, 38(1), 113–128. <https://doi.org/10.1023/A:1005338514333>
- Bokwa, A., Geletič, J., Lehnert, M., Žuvela-Aloise, M., Hollósi, B., Gál, T., Skarbit, N., Dobrovolný, P., Hajto, M. J., Kielar, R., Walawender, J. P., Šťastný, P., Holec, J., Ostapowicz, K., Burianová, J., & Garaj, M. (2019). Heat load assessment in Central European cities using an urban climate model and observational monitoring data. *Energy and Buildings*, 201, 53–69. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.07.023>
- Bornstein, R. D., & Johnson, D. S. (1977). Urban-rural wind velocity differences. *Atmospheric Environment* (1967), 11(7), 597–604. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0004-6981\(77\)90112-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0004-6981(77)90112-3)
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147–155. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>
- Brevik, E. C., Slaughter, L., Singh, B. R., Steffan, J. J., Collier, D., Barnhart, P., & Pereira, P. (2020). Soil and Human Health: Current Status and Future Needs. *Air, Soil and Water Research*, 13, 1178622120934441.

<https://doi.org/10.1177/1178622120934441>

- Bussotti, F., Pollastrini, M., Killi, D., Ferrini, F., & Fini, A. (2014). Ecophysiology of urban trees in a perspective of climate change. *Agrochimica*, 58, 247–268.
- Butler, D., & Davies, J. W. (2011). *Urban drainage* (3rd ed.). Spon Press.
- Cadotte, M., Yasui, S.-L. E., Livingstone, S., & MacIvor, J. S. (2017). Are urban systems beneficial, detrimental, or indifferent for biological invasion? *Biological Invasions*, 19. <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1586-y>
- Cambou, A., Shaw, R. K., Huot, H., Vidal-Beaudet, L., Hunault, G., Cannavo, P., Nold, F., & Schwartz, C. (2018). Estimation of soil organic carbon stocks of two cities, New York City and Paris. *Science of The Total Environment*, 644, 452–464. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.322>
- Chen, W., & Jim, C. Y. (2008). Assessment and Valuation of the Ecosystem Services Provided by Urban Forests. In *Ecology, Planning, and Management of Urban Forests International Perspectives* (pp. 53–83). https://doi.org/10.1007/978-0-387-71425-7_5
- Chimani, B., Matulla, C., Böhm, R., & Hofstätter, M. (2013). A new high resolution absolute temperature grid for the Greater Alpine Region back to 1780. *International Journal of Climatology*, 33(9), 2129–2141. <https://doi.org/10.1002/joc.3574>
- Comber, A., & Brunsdon, C. (2015). A spatial analysis of plant phenophase changes and the impact of increases in urban land use. *International Journal of Climatology*, 35(6), 972–980. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/joc.4030>
- Craul, P. J. (1985). A description of urban soils and their desired characteristics. *The International Society of Arboriculture*, 330–339.
- Dadvand, P., Nieuwenhuijsen, M. J., Esnaola, M., Fornes, J., Basagaña, X., Alvarez-Pedrerol, M., Rivas, I., López-Vicente, M., De Castro Pascual, M., Su, J., Jerrett, M., Querol, X., & Sunyer, J. (2015). Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(26), 7937 LP – 7942. <https://doi.org/10.1073/pnas.1503402112>
- Deeb, M., Groffman, P. M., Blouin, M., Egendorf, S. P., Vergnes, A., Vasenev, V., Cao, D. L., Walsh, D., Morin, T., & Sére, G. (2020). Using constructed soils for green infrastructure – challenges and limitations. *SOIL*, 6(2), 413–434. <https://doi.org/10.5194/soil-6-413-2020>
- Demuzere, M., Orru, K., Heidrich, O., Olazabal, E., Geneletti, D., Orru, H., Bhave, A. G., Mittal, N., Feliu, E., & Faehnle, M. (2014). Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. *Journal of Environmental Management*, 146, 107–115. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.025>
- Derks, J., Giessen, L., & Winkel, G. (2020). COVID-19-induced visitor boom reveals the importance of forests as critical infrastructure. *Forest Policy and Economics*, 118, 102253. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102253>
- Edmondson, J. L., Davies, Z. G., McCormack, S. A., Gaston, K. J., & Leake, J. R. (2011). Are soils in urban ecosystems compacted? A citywide analysis. *Biology Letters*, 7(5), 771–774. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2011.0260>
- Edmondson, J. L., Davies, Z. G., McCormack, S. A., Gaston, K. J., & Leake, J. R. (2014). Land-cover effects on soil organic carbon stocks in a European city. *Science of The Total Environment*, 472, 444–453. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.025>
- Edmondson, J. L., Davies, Z. G., McHugh, N., Gaston, K. J., & Leake, J. R. (2012). Organic carbon hidden in urban ecosystems. *Scientific Reports*, 2(1), 963. <https://doi.org/10.1038/srep00963>
- EFI. (2022). *EFI databases*. <http://dataservices.efi.int/authenticate.php>
- Egli, S., & Brunner, I. (2011). Mykorrhiza Eine faszinierende Lebensgemeinschaft im Wald. *Merkblatt Praxis*, 35, 8. <https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl:9140/datastream/PDF>
- Elliott, R. M., Adkins, E. R., Culligan, P. J., & Palmer, M. I. (2018). Stormwater infiltration capacity of street tree pits: Quantifying the influence of different design and management strategies in New York City. *Ecological Engineering*, 111, 157–166. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.12.003>
- Englisch, M. (2016). Wald und Wasser – ein (fast) ideales Paar. *BFW-Praxisinformation*, 40, 3–5.
- Eschenbach, A., Dickhaut, W., & Jensen, K. (2019). *Entwicklungskonzept Straßenbäume, Anpassungsstrategien an sich verändernde urbane und klimatische Rahmenbedingungen*. <https://fiona.uni-hamburg.de/3573328e/sik-entwicklungskonzept-stadtbäume.pdf>
- Escobedo, F. J., & Nowak, D. J. (2009). Spatial heterogeneity and air pollution removal by an urban forest. *Landscape and Urban Planning*, 90(3), 102–110. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.021>
- EU. (2015). *Commission Implementing Decision (EU) 2015/893 of 9 June 2015 as regards measures to prevent the introduction into and the spread within the Union of Anoplophora glabripennis (Motschulsky) (notified under document C(2015) 3772)* (pp. 16–28). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32015D0893>
- FAO. (2014). *Benefits of urban and peri-urban forestry*. <https://www.fao.org/forestry/urbanforestry/87029/en/>
- Forest Research. (2022). *Welcome to The Right Trees for Changing Climate Database*. <http://www.righttrees4cc.org.uk/>

- Forstliches Vermehrungsgutgesetz 2002.
<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20002089>
- freiraumgestalter.at. (2021). *Stadt Wien erhält europäischen Stadtbaumpreis (ECOT) 2021*.
<https://www.freiraumgestalter.net/Stadt-Wien-erhaelt-europaeischen-Stadtbaumpreis-ECOT-2021,QUIEPTY5OTYzNDAmTUIEPT2MzYyNw.html>
- GALK. (2022). *Straßenbaumliste*. <https://www.galk.de/arbeitskreise/stadtbaeume/themenuuebersicht/strassenbaumliste>
- Gardi, O., Schaller, G., Neuner, M., & Mack, S. (2016). Ermittlung der Kohlenstoffspeicherung von Bäumen im Siedlungsgebiet am Beispiel der Stadt Bern. *Schweizerische Zeitschrift Fur Forstwesen*, 167(2), 90–97.
<https://doi.org/10.3188/szf.2016.0090>
- Gebhard, U. (2013). *Kind und Natur. Die Bedeutung der Natur für die psychische Entwicklung* (4th ed.). Springer VS.
- Ghosh, S., Scharenbroch, B. C., & Ow, L. F. (2016). Soil organic carbon distribution in roadside soils of Singapore. *Chemosphere*, 165, 163–172. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.028>
- Gillner, S. (2015). *Thermographie der Stadtbäume mildern Hitzewellen*. TU Dresden. <https://bi-medien.de/fachzeitschriften/galabau/stadtgruen/tu-dresden-stadtbaeume-mildern-hitzewellen-g10614>
- Goff, D. (2020). *Effect of Urban Environmental Stress on Tree Vitality, Mycorrhiza and Root Morphology of Roadside Tilia sp.* Universität der Bodenkultur Wien.
- Greiner, A. (2015). The heterogeneity of urban soils in the light of their properties. *Journal of Soils and Sediments*, 15(8), 1725–1737. <https://doi.org/10.1007/s11368-014-1054-6>
- Grilo, F., Pinho, P., Aleixo, C., Catita, C., Silva, P., Lopes, N., Freitas, C., Santos-Reis, M., McPhearson, T., & Branquinho, C. (2020). Using green to cool the grey: Modelling the cooling effect of green spaces with a high spatial resolution. *Science of The Total Environment*, 724, 138182. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138182>
- Grima, N., Corcoran, W., Hill-James, C., Langton, B., Sommer, H., & Fisher, B. (2020). The importance of urban natural areas and urban ecosystem services during the COVID-19 pandemic. *PLOS ONE*, 15(12), e0243344.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243344>
- Grimmond, S. U. E. (2007). Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. *The Geographical Journal*, 173(1), 83–88. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2007.232_3.x
- Guilland, C., Maron, P. A., Damas, O., & Ranjard, L. (2018). Biodiversity of urban soils for sustainable cities. *Environmental Chemistry Letters*, 16(4), 1267–1282. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0751-6>
- Haslmayr, H.-P., Herzberger, E., Englisch, M., Huber, S., Murer, E., Schwarz, M., Hözl, M., Zimmermann, M., & Baumgarten, A. (2015). *Vielseitiger Boden, Projekt-Endbericht und Erläuterungsheft zur Bodeninformationskarte Wiens*.
- Hollósi, B., Žuvela-Aloise, M., Oswald, S., Kainz, A., & Schöner, W. (2021). Applying urban climate model in prediction mode—evaluation of MUKLIMO_3 model performance for Austrian cities based on the summer period of 2019. *Theoretical and Applied Climatology*, 144(3), 1181–1204. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03580-6>
- IEA. (2018). *The Future of Cooling Opportunities for energy- efficient air conditioning*.
https://iea.blob.core.windows.net/assets/0bb45525-277f-4c9c-8d0c-9c0cb5e7d525/The_Future_of_Cooling.pdf
- IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme* (H. S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe (eds.)). IGES. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- Jarvis, I., Davis, Z., Sbihi, H., Brauer, M., Czekajlo, A., Davies, H. W., Gergel, S. E., Guhn, M., Jerrett, M., Koehoorn, M., Oberlander, T. F., Su, J., & van den Bosch, M. (2021). Assessing the association between lifetime exposure to greenspace and early childhood development and the mediation effects of air pollution and noise in Canada: a population-based birth cohort study. *The Lancet Planetary Health*, 5(10), e709–e717. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00235-7](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00235-7)
- Javal, M., Roques, A., Haran, J., Hérard, F., Keena, M., & Roux, G. (2019). Complex invasion history of the Asian long-horned beetle: fifteen years after first detection in Europe. *Journal of Pest Science*, 92(1), 173–187.
<https://doi.org/10.1007/s10340-017-0917-1>
- Jim, C. Y. (1998). Soil Characteristics and Management in an Urban Park in Hong Kong. *Environmental Management*, 22(5), 683–695. <https://doi.org/10.1007/s002679900139>
- JKI. (2021). *Tagungsbeiträge Symposien Stadtgrün*. <https://www.julius-kuehn.de/stadtgruen/>
- Johann, E., & Fritz, P. (2005). Wie Schöffel den Wienerwald rettete. In K. Brunner (Ed.), *Umwelt Stadt: Geschichte des natur- und Lebensraumes Wien*. Böhlau Verlag Wien.
- Jung, T., Orlikowski, L., Henricot, B., Abad-Campos, P., Aday, A. G., Aguin Casal, O., Bakonyi, J., Cacciola, S. O., Cech, T., Chavarriaga, D., Corcobado, T., Cravador, A., Decourcelle, T., Denton, G., Diamandis, S., Doğmuş-Lehtijärvi, H. T., Franceschini, A., Ginetti, B., Green, S., ... Pérez-Sierra, A. (2016). Widespread Phytophthora infestations in European nurseries put forest, semi-natural and horticultural ecosystems at high risk of Phytophthora diseases. *Forest Pathology*, 46(2), 134–163. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/efp.12239>
- Kabisch, N., Püffel, C., Masztalerz, O., Hemmerling, J., & Kraemer, R. (2021). Physiological and psychological effects of visits to different urban green and street environments in older people: A field experiment in a dense inner-city area.

- Landscape and Urban Planning*, 207, 103998. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103998>
- Kätzel, R. (2021). Wege und Selektionsstrategien für stresstolerantere Straßenbäume. 11. *Fachsymposium Stadtgrün*. https://www.julius-kuehn.de/media/Institute/GF/_FS_Stadtgruen/11/08_Kaetzel_Stress_11FS_Stadtgruen.pdf
- Kleerekoper, L., van Esch, M., & Salcedo, T. B. (2012). How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Resources, Conservation and Recycling*, 64, 30–38. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.004>
- Konijnendijk van den Bosch, C., Nesbitt, L., & Wirtz, Z. (2021). Urban Forest Governance in the Face of Pulse Disturbances—Canadian Experiences. *Arboriculture & Urban Forestry*, 47, 267–283. <https://doi.org/10.48044/jauf.2021.023>
- Kuchelmeister, G., & Braatz, S. (1999). Urban forestry revisited. In S. A. Dembner, R. Tucker, & M. Criscuolo (Eds.), *Unasylva - No. 173 - Urban and peri-urban forestry*. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/u9300e/u9300e00.htm#Contents>
- Landesamt, B., & Umweltschutz, F. (2004). *Klima und Immissionsschutz im Landschaftsplan, Merkblätter zur Landschaftspflege und zum Naturschutz 3.7*. https://www.lfu.bayern.de/umweltkommunal/doc/lfu_37.pdf
- Landeshauptstadt Düsseldorf. (2021). *Zukunftsbaumliste Düsseldorf*. https://www.duesseldorf.de/fileadmin/Amt68/gartenamt/pdf/strassengruen/68_Baumliste_2016_web.pdf
- Lang, R. (2021). Die Wiener Seestadt wird zur Schwammstadt. *Der Standard*, online. <https://www.derstandard.at/story/2000129828404/die-seestadt-wird-zur-schwammstadt>
- Lee, A. C. K., & Maheswaran, R. (2011). The health benefits of urban green spaces: a review of the evidence. *Journal of Public Health*, 33(2), 212–222. <https://doi.org/10.1093/pubmed/fdq068>
- Lee, D. O. (1991). Urban—rural humidity differences in London. *International Journal of Climatology*, 11(5), 577–582. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/joc.3370110509>
- Lee, H., Mayer, H., & Chen, L. (2016). Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg, Southwest Germany. *Landscape and Urban Planning*, 148, 37–50. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.12.004>
- Lehmann, A., & Stahr, K. (2007). Nature and significance of anthropogenic urban soils. *Journal of Soils and Sediments*, 7(4), 247–260. <https://doi.org/10.1065/jss2007.06.235>
- Leuzinger, S., Vogt, R., & Körner, C. (2010). Tree surface temperature in an urban environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.08.006>
- Li, G., Sun, G.-X., Ren, Y., Luo, X.-S., & Zhu, Y.-G. (2018). Urban soil and human health: a review. *European Journal of Soil Science*, 69(1), 196–215. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ejss.12518>
- LWF. (2011). Kohlenstoffspeicherung von Bäumen. *Merkblatt Der Bayerische Landesanstalt Für Wald Und Forstwirtschaft*, 27, 6. <https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/mb-27-kohlenstoffspeicherung-2.pdf>
- LWG. (2021). *Stadtgrün 2021: Neue Bäume braucht das Land!* https://www.lwg.bayern.de/landespflege/urbanes_gruen/085113/index.php
- MA 18. (2014). *Stadtentwicklungsplan Wien 2015 – STEP 2025*. www.step.wien.at
- Mack, S. (2015). *Klimafitte Bäume für Schweizer Städte*. Berner Fachhochschule (BFH).
- Mammadova, A., Burlando, C., O’Driscoll, C., Doimo, I., & Pettenella, D. (2021). *EU Blueprint on Green Care: Nature for Health, Well-being and Social Inclusion*.
- Mc Pherson, E., & Muchnick, J. (2005). Effects of street tree shade on asphalt concrete pavement performance. *Journal of Arboriculture*, 31.
- McPherson, E. G., Xiao, Q., & Aguaron, E. (2013). A new approach to quantify and map carbon stored, sequestered and emissions avoided by urban forests. *Landscape and Urban Planning*, 120, 70–84. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.08.005>
- Morel, J. L., Schwartz, C., Florentin, L., & de Kimpe, C. (2005). URBAN SOILS. In D. Hillel (Ed.), *Encyclopedia of Soils in the Environment* (pp. 202–208). Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B0123485304003052>
- Moser, A., Rotzer, T., Pauleit, S., & Pretsch, H. (2017). Stadtbäume: Wachstum, Funktionen und Leistungen - Risiken und Forschungsperspektiven. *Allgemeine Forst- Und Jagdzeitung*, 188(10.23765/afjz0002006), 94–111. <https://doi.org/10.23765/afjz0002006>
- Nestroy, Othmar, Aust, G., Blum, W. E. H., Englisch, M., Hager, H., Herzberger, E., Killian, W., Nelhiebel, P., Ortner, G., Pecina, E., Pheamberger, A., Schneider, W., & Wagner, J. (2011). *Systematische Gliederung der Böden Österreichs Österreichische Bodensystematik 2000 in der revidierten Fassung von 2011*. <https://www.bodensystematik.de/OEBG-Systematik.pdf>
- Nienaber, F., Rewitz, K., Seiwert, P., & Müller, D. (2021). Einfluss der Luftfeuchte auf den Menschen und seine Gesundheit. *RWTH Aachen University*. <https://doi.org/10.18154/RWTH-2021-01238>
- Niinemets, Ü., & Valladares, F. (2006). TOLERANCE TO SHADE, DROUGHT, AND WATERLOGGING OF TEMPERATE NORTHERN HEMISPHERE TREES AND SHRUBS. *Ecological Monographs*, 76(4), 521–547. [https://doi.org/https://doi.org/10.1890/0012-9615\(2006\)076\[0521:TTSDAW\]2.0.CO;2](https://doi.org/https://doi.org/10.1890/0012-9615(2006)076[0521:TTSDAW]2.0.CO;2)
- Nowak, D. J., Greenfield, E. J., Hoehn, R. E., & Lapoint, E. (2013). Carbon storage and sequestration by trees in urban and

- community areas of the United States. *Environmental Pollution*, 178, 229–236. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.019>
- O’Riordan, R., Davies, J., Stevens, C., Quinton, J. N., & Boyko, C. (2021). The ecosystem services of urban soils: A review. *Geoderma*, 395, 115076. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115076>
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1–24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Oswald, S. M., Hollosi, B., Žuvela-Aloise, M., See, L., Guggenberger, S., Hafner, W., Prokop, G., Storch, A., & Schieder, W. (2020). Using urban climate modelling and improved land use classifications to support climate change adaptation in urban environments: A case study for the city of Klagenfurt, Austria. *Urban Climate*, 31, 100582. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100582>
- Pandit, R., & Laband, D. N. (2010). Energy savings from tree shade. *Ecological Economics*, 69(6), 1324–1329. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.01.009>
- Paulin, M., Hirka, A., Eötvös, C., Csaba, G., Fürjes-Mikó, Á., & Csóka, G. (2020). Known and predicted impacts of the invasive oak lace bug (*Corythucha arcuata*) in European oak ecosystems – a review. *Folia Oecologica*, 47, 131–139. <https://doi.org/10.2478/foecol-2020-0015>
- Peter, M., Ayer, F., & Egli, S. (2001). Nitrogen addition in a Norway spruce stand altered macromycete sporocarp production and below-ground ectomycorrhizal species composition. *New Phytologist*, 149(2), 311–325. <https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2001.00030.x>
- Pfleiderer, S., Englisch, M., & Reiter, R. (2012). Current state of heavy metal contents in Vienna soils. *Environmental Geochemistry and Health*, 34, 665–675.
- Pouyat, R. V., Day, S. D., Brown, S., Schwarz, K., Shaw, R. E., Szlavecz, K., Trammell, T. L. E., & Yesilonis, I. D. (2020). *Urban Soils BT - Forest and Rangeland Soils of the United States Under Changing Conditions: A Comprehensive Science Synthesis* (R. V. Pouyat, D. S. Page-Dumroese, T. Patel-Weynand, & L. H. Geiser (eds.); pp. 127–144). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45216-2_7
- Pouyat, R. V., & Trammell, T. L. E. (2019). Chapter 10 - Climate change and urban forest soils. In M. Busse, C. P. Giardina, D. M. Morris, & D. S. Page-Dumroese (Eds.), *Developments in Soil Science* (Vol. 36, pp. 189–211). Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444639981000100>
- Rawlins, B. G., Harris, J., Price, S., & Bartlett, M. (2015). A review of climate change impacts on urban soil functions with examples and policy insights from England, UK. *Soil Use and Management*, 31(S1), 46–61. <https://doi.org/10.1111/sum.12079>
- Reinwald, F., Brandenburg, C., Hinterkörner, P., Hollósi, B., Huber, C., Kainz, A., Kastner, J., Hraus, F., Liebl, U., Preiss, J., Ring, Z., Scharf, B., Tötzer, T., Züger, J., Žuvela-Aloise, M., & Damyanovic, D. (2021). *Grüne und resiliente Stadt Steuerungs- und Planungsinstrumente für eine klimasensible Stadtentwicklung*. https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/schriftenreihe-2021-13-gruene-resiliente-stadt.pdf
- Reinwald, F., Ring, Z., Kraus, F., Kainz, A., Tötzer, T., & Damyanovic, D. (2019). Green Resilient City - A framework to integrate the Green and Open Space Factor and climate simulations into everyday planning to support a green and climate-sensitive landscape and urban development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 323, 012082. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012082>
- Richter, B., Grunewald, K., & Meinel, G. (2016). Urbane Grünflächenausstattung und deren Erreichbarkeit – Indikator-design und empirischer Städtevergleich. In G. Meinel, D. Förtsch, S. Schwarz, & T. Krüger (Eds.), *Urbane Grünflächenausstattung, Flächennutzungsmonitoring VIII. Flächensparen – Ökosystemleistungen – Handlungsstrategien* (p. ÖR Schriften 69, 293–303). Rhombos-Verlag. [https://doi.org/ISBN 978-3-944101-69-9](https://doi.org/ISBN%20978-3-944101-69-9)
- Richter, S., Haase, D., Thestorf, K., & Makki, M. (2020). Carbon Pools of Berlin, Germany: Organic Carbon in Soils and Aboveground in Trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 54, 126777. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126777>
- Roloff, A., Korn, S., & Gillner, S. (2009). The Climate-Species-Matrix to select tree species for urban habitats considering climate change. *Urban Forestry & Urban Greening*, 8(4), 295–308. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.08.002>
- Russo, A., Escobedo, F. J., Timilsina, N., Schmitt, A. O., Varela, S., & Zerbe, S. (2014). Assessing urban tree carbon storage and sequestration in Bolzano, Italy. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 10(1), 54–70. <https://doi.org/10.1080/21513732.2013.873822>
- Sager, M. (2020). Urban Soils and Road Dust—Civilization Effects and Metal Pollution—A Review. In *Environments* (Vol. 7, Issue 11). <https://doi.org/10.3390/environments7110098>
- Salinitro, M., Alessandrini, A., Zappi, A., Melucci, D., & Tassoni, A. (2018). Floristic diversity in different urban ecological niches of a southern European city. *Scientific Reports*, 8(1), 15110. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33346-6>
- Sallmannshofer, M., Ette, S., Hinterstoisser, W., Cech, T., & Hoch, G. (2020). *Erstnachweis der Eichennetzwanze, Corythucha arcuata, in Österreich [First report of oak lace bug, Corythucha arcuata, in Austria]*.
- Samara, T., & Tsitoni, T. (2011). The effects of vegetation on reducing traffic noise from a city ring road. *Noise Control Engineering Journal*, 59(1), 68–74. <https://doi.org/https://doi.org/10.3397/1.3528970>

- Sauerwein, M. (2011). Urban Soils—Characterization, Pollution, and Relevance in Urban Ecosystems. *Urban Ecol. Patterns Process. Appl.*, 45–58. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199563562.003.0006>
- Schönfeld, P. (2018). Klimabäume: welche Arten sind zukunftsträchtig? *Pro Baum*, 03. <https://stadtundgruen.de/artikel/klimabaeume-welche-arten-sind-zukunftstraechtig-9570.html>
- Schuecker, K. (2009). *Bäume auf Tiefgaragen Märzpark und Schubertpark, Wien*. Universität für Bodenkultur Wien.
- Schwaab, J., Meier, R., Mussetti, G., Seneviratne, S., Bürgi, C., & Davin, E. L. (2021). The role of urban trees in reducing land surface temperatures in European cities. *Nature Communications*, 12(1), 6763. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26768-w>
- Sempik, J., Hine, R., & Wilcox, D. (2010). *Green Care: A Conceptual Framework. A Report of the Working Group on the Health Benefits of Green Care (COST Action 866; Green Care in Agriculture)*.
- Shepherd, J. M., Pierce, H., & Negri, A. J. (2002). Rainfall Modification by Major Urban Areas: Observations from Spaceborne Rain Radar on the TRMM Satellite. *Journal of Applied Meteorology*, 41(7), 689–701. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2002\)041<0689:RMBMUA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2002)041<0689:RMBMUA>2.0.CO;2)
- Simá, E., Chagolla-Aranda, M. A., Huelsz, G., Tovar, R., & Alvarez, G. (2015). Tree and neighboring buildings shading effects on the thermal performance of a house in a warm sub-humid climate. *Building Simulation*, 8(6), 711–723. <https://doi.org/10.1007/s12273-015-0247-2>
- Stadt Graz. (2018). *4.0 Stadtentwicklungskonzept Graz*. https://www.graz.at/cms/dokumente/10165681_7758015/ea034383/40_STEK_konsolidierte_Fassung_2020.pdf
- Stadt Graz. (2021). *Zahlen + Fakten: Bevölkerung, Bezirke, Wirtschaft, Geografie*. https://www.graz.at/cms/beitrag/10034466/7772565/Zahlen_Fakten_Bevoelkerung_Bezirke_Wirtschaft.html
- Wiener Baumschutzgesetz, (2018). <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrW&Gesetzesnummer=20000294>
- Stadt Wien. (2020). *Straßenbäume * nach Baumgattungen und Bezirken 2020*.
- Statistik Austria. (2020). *Umweltbedingungen, Umweltverhalten 2019 – Ergebnisse des Mikrozensus*. https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/nachhaltigkeit/green_economy/mikrozensus_umwelt.html
- Stefaner, K., Ghosh, S., Mohd Yusof, M. L., Ibrahim, H., Leitgeb, E., Schindlbacher, A., & Kitzler, B. (2021). Soil greenhouse gas fluxes from a humid tropical forest and differently managed urban parkland in Singapore. *Science of The Total Environment*, 786, 147305. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147305>
- Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879–1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- Stoisser, P. (2021). *No Title*. Abteilung für Grünraum und Gewässer, Stadt Graz.
- Stojnic, S., Bindewald, A., Lapin, K., & Kraxner, F. (2021). *Urban non-native trees assessment in the Alpine Space, Interreg Alpine Space Project – Alptrees Report for D.T2.3.2 Report on Urban NNT assessment in the Alpine Space*.
- Sugiyama, T., Leslie, E., Giles-Corti, B., & Owen, N. (2008). Associations of neighbourhood greenness with physical and mental health: do walking, social coherence and local social interaction explain the relationships? *Journal of Epidemiology and Community Health*, 62(5), e9 LP-e9. <https://doi.org/10.1136/jech.2007.064287>
- Thüringer, B. (2014). *AUSWIRKUNGEN DER BAUMSCHEIBENGESTALTUNG AUF STRAßENBÄUME IM NORDBURGENLAND*. Universität der Bodenkultur Wien.
- Timonen, S., & Kauppinen, P. (2008). Mycorrhizal colonisation patterns of Tilia trees in street, nursery and forest habitats in southern Finland. *Urban Forestry & Urban Greening*, 7(4), 265–276. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ufug.2008.08.001>
- Tomiczek, C. (2003). The phytomedical situation of plants under urban conditions. *SECOND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT HEALTH IN URBAN HORTICULTURE*, 27–29.
- Tresch, S., Moretti, M., Le Bayon, R.-C., Mäder, P., Zanetta, A., Frey, D., & Fliessbach, A. (2018). A Gardener’s Influence on Urban Soil Quality. *Frontiers in Environmental Science*, 6, 25. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00025>
- Ulrich, R. S. (1983). esthetic and Affective Response to Natural Environment. In I. Altman & F. F. Wohlwill (Eds.), *Behavior and the Natural Environment. Human Behavior and Environment (Advances in Theory and Research)*, vol 6. Springer. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-4613-3539-9_4
- van den Bosch, M. (2017). Impacts of urban forests on physical and mental health and wellbeing. In F. Ferrini, C. Konijnendijk van den Bosch, & A. Fini (Eds.), *Routledge Handbook of Urban Forestry* (pp. 82–95). Routledge.
- Van den Bosch, M. A., MUDU, P., USCILA, V., BARRDAHL, M., KULINKINA, A., STAATSEN, B., SWART, W. I. M., KRUIZE, H., ZURLYTE, I., & EGOROV, A. I. (2016). Development of an urban green space indicator and the public health rationale. *Scandinavian Journal of Public Health*, 44(2), 159–167. <https://www.jstor.org/stable/48512637>
- van den Bosch, M., & Ode Sang, Å. (2017). Urban natural environments as nature-based solutions for improved public health – A systematic review of reviews. *Environmental Research*, 158, 373–384. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.05.040>
- Van Renterghem, T., De Coensel, B., & Botteldooren, D. (2013). Loudness evaluation of road traffic noise abatement by tree

- belts. *Proceedings of the 42nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Internoise 2013)*.
- Venter, Z. S., Barton, D. N., Gundersen, V., Figari, H., & Nowell, M. (2020). Urban nature in a time of crisis: recreational use of green space increases during the COVID-19 outbreak in Oslo, Norway. *Environmental Research Letters*, *15*(10), 104075. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb396>
- Vereinte Nationen. (2015). *THE 17 GOALS*. <https://sdgs.un.org/goals>
- Vodyanitskii, Y. N. (2015). Organic matter of urban soils: A review. *Eurasian Soil Science*, *48*(8), 802–811. <https://doi.org/10.1134/S1064229315080116>
- Vogt, J., Gillner, S., Hofmann, M., Tharang, A., Dettmann, S., Gerstenberg, T., Schmidt, C., Gebauer, H., Van de Riet, K., Berger, U., & Roloff, A. (2017). Citree: A database supporting tree selection for urban areas in temperate climate. *Landscape and Urban Planning*, *157*, 14–25. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.06.005>
- Wagner, G. (2021). *Stadt Land Klima warum wir nur mit einem urbanen Leben die Erde retten können*. Brandstätter Verlag.
- WBR. (2015). *World reference base for soil resources 2014 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*.
- Weinbrenner, H., Breithut, J., Hebermehl, W., Kaufmann, A., Klinger, T., Palm, T., & Wirth, K. (2021). “The Forest Has Become Our New Living Room” – The Critical Importance of Urban Forests During the COVID-19 Pandemic. *Frontiers in Forests and Global Change*, *4*. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.672909>
- WHO. (1948). *Verfassung der Weltgesundheitsorganisation*. https://fedlex.data.admin.ch/filestore/fedlex.data.admin.ch/eli/cc/1948/1015_1002_976/20200706/de/pdf-a/fedlex-data-admin-ch-eli-cc-1948-1015_1002_976-20200706-de-pdf-a.pdf
- Wittenwiler, C. (2020). *Grünflächenveränderungen in Siedlungsgebieten der Schweiz: Einflussfaktoren und Instrumente zur Grünflächenplanung in vier Fallbeispielen* [ETH Zürich]. https://www.wsl.ch/fileadmin/user_upload/WSL/Ueber_die_WSL/Forschungsprogramme_Initiativen/Zentrum_Land_schaft/Masterarbeiten_Zentrum_Land_schaft/Masterarbeit_Corina_Wittenwiler.pdf
- Wolf, K. L. (2017). Social aspects of urban forestry and metro nature. In F. Ferrini, C. Konijnendijk van den Bosch, & A. Fini (Eds.), *Routledge Handbook of Urban Forestry* (pp. 65–81). Routledge.
- Wolf, K. L., Lam, S. T., McKeen, J. K., Richardson, G. R. A., van den Bosch, M., & Bardekjian, A. C. (2020). Urban Trees and Human Health: A Scoping Review. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 17, Issue 12). <https://doi.org/10.3390/ijerph17124371>
- Wresowar, M., & Sieghart, M. (2000). *Studie über die Auswirkung stickstoffhaltiger Auftaumittel Auswirkungen auf Boden und Bewuchs Vergleich mit herkömmlichen Auftaumitteln*.
- Yang, J.-L., Yuan, D.-G., Zhao, Y.-G., He, Y., & Zhang, G.-L. (2021). Stoichiometric relations of C, N, and P in urban top soils in Nanjing, China, and their biogeochemical implications. *Journal of Soils and Sediments*, *21*(5), 2154–2164. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02826-6>
- Yang, J.-L., & Zhang, G.-L. (2011). Water infiltration in urban soils and its effects on the quantity and quality of runoff. *Journal of Soils and Sediments*, *11*(5), 751–761. <https://doi.org/10.1007/s11368-011-0356-1>
- Zeiser, A., Weninger, T., Schmidt, S., Weisgram, R., & Murer, E. (2021). Substratevaluierung anhang von stadtbäumlysimetern mit pflanzenphysiologischem Monitoring. *19. Gumpensteiner Lysimentertagung*, 157–162.
- Zhou, B., Rybski, D., & Kropp, J. P. (2017). The role of city size and urban form in the surface urban heat island. *Scientific Reports*, *7*(1), 4791. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04242-2>
- Zipper, S., Schatz, J., Singh, A., Kucharik, C., Townsend, P., & Loheide, S. (2016). Urban heat island impacts on plant phenology: Intra-urban variability and response to land cover. *Environmental Research Letters*, *11*, 54023. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/5/054023>
- Ziss, E., Friesl-Hanl, W., Götzinger, S., Noller, C., Puschenreiter, M., Watzinger, A., & Hood-Nowotny, R. (2021). Exploring the Potential Risk of Heavy Metal Pollution of Edible Cultivated Plants in Urban Gardening Contexts Using a Citizen Science Approach in the Project “Heavy Metal City-Zen.” In *Sustainability* (Vol. 13, Issue 15). <https://doi.org/10.3390/su13158626>
- Žuvela-Aloise, M., Koch, R., Buchholz, S., & Früh, B. (2016). Modelling the potential of green and blue infrastructure to reduce urban heat load in the city of Vienna. *Climatic Change*, *135*(3–4), 425–438. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1596-2>
- Žuvela-Aloise, Maja, Koch, R., Neureiter, A., Böhm, R., & Buchholz, S. (2014). Reconstructing urban climate of Vienna based on historical maps dating to the early instrumental period. *Urban Climate*, *10*, 490–508. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.04.002>

9 Anhänge:

9.1 Abgeschlossene bzw. laufende Projekte vom BFW/ZAMG mit Bezug zu Wien und Graz

DaFNE Projekt: WILDOBST: In einem vom BFW geführten Projekt werden Maßnahmen gesetzt um die genetische Vielfalt von seltenen, heimischen Wildobstarten wie Elsbeere, Speierling und Wildbirne zu sichern. Der Biospährenpark Wienerwald dient dabei als Modellregion. Laufzeit 2021 – 2024 <https://www.bfw.gv.at/anbau-wildobst-foerderung/>

FFG Talente Regional: FUTURES OIL, welche Anbausysteme gibt es, kann man in der Stadt Essen anbauen? Was hat Essen mit Klima und Boden zu tun? Laufzeit 2019 – 2023 <https://projekte.ffg.at/projekt/3757231>

KLIEN ACRP: LUCRETIA, “The role of Land Use Changes on the development of intra-urban heat islands”. Hier werden u.a. die innerstädtischen Temperaturverteilungen in ausgewählten österreichischen Städten auf Basis unterschiedlicher Stadtklimamodellen, so wie Crowd-Sourcing-Beobachtungsdaten analysiert und das Stadtklima von Graz und Wien rekonstruiert. Laufzeit 2019 – 2022. <https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/16/B960227-ACRP11-LUCRETIA-KR18ACOK14598-ZB2.pdf>

BMVIT FFG Stadt der Zukunft: GREEN.RESILIENT.CITY “Grüne und resiliente Stadt - Steuerungs- und Planungsinstrumente für eine klimasensible Stadtentwicklung“. Hier wurde ein Tool-Set zur Steuerung, Optimierung und Evaluierung einer grünen und klimasensiblen Stadt(teil)planung entwickelt. Laufzeit 2017 – 2020. <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/projekte/gruene-und-resiliente-stadt.php>

BMVIT FFG Stadt der Zukunft: PHOTONIC COOLING „Effizientere Gebäudekühlung durch Nutzung von Photonik“. Es fanden Evaluierung und Modellrechnungen von der Gebäude-Kühlwirkung verschiedener Photonik-Materialien statt. Laufzeit 2016 – 2018. <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/projekte/photonic-cooling.php>

KLIEN ACRP Smart Cities Demo : Jacky Cool Check, „Effektive Maßnahmen zur Reduktion einer städtischen Wärmeinsel auf Basis von Wirkungsmodellierung und Stakeholderkooperation“, Das Projekt hat sehr gut gezeigt, wo im Bezirk Jakomini in Graz Möglichkeiten bestehen, Maßnahmen gegen Wärmeinseln zu setzen. Die Erkenntnisse und die Kontakte zu den einzelnen Stakeholdern, allen voran der Stadtplanung und der Bezirksvertretung, bilden die Grundlage für ein Demoprojekt um Maßnahmen umzusetzen und eine nachhaltige Wirkung in der Bekämpfung von Hitzeinseln im Bezirk zu erzielen. Laufzeit 2016 – 2018. https://smartcities.at/wp-content/uploads/sites/3/BGR12_2019_Jacky_cool_check-1.pdf

FFG Talente Regional: BOKLI „Boden und Klima selbst erforscht“ Hier wurde Boden als Wasser- und Kohlenstoffspeicher in engem Zusammenhang mit Klima und Klimawandel gesetzt, sowohl global als auch lokal vor Ort in der Stadt. Laufzeit 2015 – 2017. <https://projekte.ffg.at/projekt/2708889>

Stadt Wien, BMNT: 1. Wiener Bodenlehrpfad. Eine Vielzahl an Schautafeln informiert über spannende Bodenthemen am Roten Berg in 1130 Wien <https://www.bodeninfo.net/produkte-und-informationsmedien/bodenbildungsnavigator/lehrpfade/bodenlehrpfad-roter-berg/>. Laufzeit 2015

International Visegrad Fund: Urban Climate and Global Climate Change: “Urban climate in Central European cities and global climate change“. Hier wurde u.a. das Stadtklima von Wien anhand historischer Karten rekonstruiert und modelliert. Laufzeit 2014 – 2015 <http://www.klimat.geo.uj.edu.pl/urbanclimate/about.html>

BMVIT FFG Stadt der Zukunft: KELVIN, „Reduktion städtischer Wärmeinseln durch Verbesserung der Abstrahleigenschaften von Gebäuden und Quartieren“. Das Potential der Verringerung des UHI Effekts durch Veränderung der Oberflächenalbedo unterschiedlicher Stadtstrukturen (Boden, Dachflächen, Dachbegrünung etc.) wurde anhand von Modellen ermittelt. Laufzeit 2014 – 2015. <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/projekte/kelvin-reduktion-staedtischer-waermeinseln-durch-verbesserung-der-abstrahleigenschaften-von-gebaeuden-und-quartieren.php>

BMLFUW, Abteilung V/4 – Immissions- und Klimaschutz, 2013 – „Boden macht Schule“. Hands-On Workshops für Schüler*innen jedes Alters wurden entwickelt. Materialiensammlung angelegt. Workshops finden vor allem in Wien statt. MA22 fördert Wiener Schulen mit einigen Workshops jedes Jahr. Laufzeit ab 2012 - <https://www.bfw.gv.at/workshop-boden-macht-schule/>

KLIEN ACRP: FOCUS-I, “Future of Climatic Urban Heat Stress Impacts“. Modellierung verschiedener Anpassungsmaßnahmen um UHI zu reduzieren. Laufzeit 2011 – 2013. <https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/16/03032015FOCUSZuvela-AloiseEBACRP2B060373.pdf>

9.2 Interessante Weblinks:

Arbeitsgruppe Urban Forestry IUFRO: <https://www.iufro.org/science/divisions/division-6/60000/60700/>

ArboCityNet: <https://www.arbocitynet.ch/de/startseite/>

Baumgattungen in Wien: <https://www.wien.gv.at/statistik/lebensraum/tabellen/baeume-gattung-bez.html>

Baumkataster Graz:

https://www.graz.at/cms/beitrag/10295863/8115447/Online_Karte_Baumkataster.html

Baumkataster Wien: <https://www.wien.gv.at/umweltgut/public/grafik.aspx?ThemePage=11>

Forstliches Vermehrungsgutgesetz 2002: <https://info.bmlrt.gv.at/themen/wald/wald-in-oesterreich/Forstrecht/Vermehrungsgutgesetz.html>

Für jedes Kind ein Baum: <https://kinderbuero.at/neuigkeit/jedes-kind-ein-baum-idee-aus-dem-kinderparlament-wird-von-der-stadt-graz-umgesetzt/>

Ideenwettbewerb der Stadt Wien zum Thema Stadtgrün: <https://wienwirdwow.at/>

INKA Programm der Stadt Wien: <https://www.wien.gv.at/umwelt/klimaschutz/inka/programm.html>

Klimaschutzrat Wien: <https://www.wien.gv.at/umwelt-klimaschutz/klimarat.html>

Stadtklimaanalyse 2003 - Befliegung 2001 Wien:

<https://www.wien.gv.at/umweltschutz/umweltgut/klima.html>

Stadtklimaanalyse Wien:

<https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/grundlagen/stadtforschung/stadtklimaanalyse.html>

Symposien Stadtgrün, Julius-Kühn-Institut: <https://www.julius-kuehn.de/stadtgruen/>

UHI Strategieplan Wien: <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/uhi-strategieplan.html>

Verein Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz (GALK): <https://www.galk.de>

Zukunftsbäume in Düsseldorf: <https://www.duesseldorf.de/stadtgruen/baeume-in-der-stadt/zukunftsbaeume.html>

Dazu fällt mir ein:...

