



approches.
paysage

Biodiversität und Ökosystemleistungen von Stadtbäumen: Stand des Wissens



Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1. Hintergrund und Ziele	4
2. Ausgangslage	5
2.1 Die Schweiz: ein dicht besiedeltes Land	5
2.2 Hitzeinseleffekt und Klimawandel in urbanen Gebieten und die Rolle der Bäume	5
2.3 Städte als Orte erstaunlich hoher Biodiversität und die Rolle der Bäume	5
2.4 Zentrale Rolle der Bäume für die Lebensqualität der Städte	6
2.5 Monitoringinstrument Kronenflächenindex	6
2.6 Bäume als wichtiger Ansatz für die Hitzeminderung erkannt	7
2.7 Die unterschätzte Rolle der Siedlungsbäume für die Minderung der Biodiversitätskrise	7
3. Die Biodiversität von Stadtbäumen: Stand des Wissens	7
3.1 Hohe Artenvielfalt in der Stadt	8
3.2 Gesamtlebensraum «Stadtbaum»	8
3.3 Der Einfluss gebietsfremder Baumarten auf die Biodiversität	9
3.4 Der Wert der Vielfalt	10
4. Ökosystemdienstleistungen von Stadtbäumen	11
4.1 Ökologische Ökosystemleistungen	11
4.2 Klimatische Ökosystemleistungen	11
4.3 Kulturelle Leistungen	11
4.4 Negative Effekte von Stadtbäumen	11
5. Bäume im Siedlungsraum und Klimawandel	14
5.1 Anpassungsstrategien	14
5.2 Dem Klimawandel entgegenwirken	14
6. Bilanz und Ausblick	16
6.1 Eine solide wissenschaftliche Grundlage	16
6.2 Es braucht ehrgeizige Ziele	16
6.3 Herausforderungen auf dem Weg zu einem nachhaltigen Baumbestand	16
7. Literatur	18

Impressum

Mandant: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Wald, Sektion Waldökosystemleistungen und Forstwirtschaft, CH-3003 Bern. Das BAFU ist ein Amt des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer: n+p biologie Sàrl, SWILD, approches. AG

Autor:innen: Dr. Jérôme Pellet (direction de projet, n+p), Dr. Sandra Gloor (SWILD), Pauline Jochenbein (approches. SA), Katja Rauchenstein (SWILD), Julia Schmid (SWILD)

Begleitung BAFU: Jean-Laurent Pfund

Hinweis: Der vorliegende Studienbericht wurde im Auftrag des BAFU erstellt. Für seinen Inhalt tragen allein die Auftragnehmenden die Verantwortung.

Zitatvorschlag: n+p, SWILD, approches. 2024. Biodiversität und Ökosystemleistungen von Stadtbäumen: Stand des Wissens. BAFU. 23 S.

Zusammenfassung

Siedlungsgebiete sind in der heutigen Zeit mit grossen Herausforderungen konfrontiert: Städte und Agglomerationen sind stark von der Klimaerwärmung betroffen, da diese den ohnehin problematischen Hitzeinseleffekt zusätzlich verstärkt. Hier können Grün- und Freiräume und im Speziellen Bäume eine wichtige Rolle übernehmen, da sie über Beschattung und Verdunstung ihre Umgebung kühlen und damit die Effekte der Hitzeinseln und der Klimaerwärmung mildern und mit verschiedenen Ökosystemleistungen zur Lebensqualität in Städten beitragen. Dies ist von zentraler Bedeutung für eine Mehrheit der Schweizer Bevölkerung, da 85% der Menschen in unserem Land in urbanen Gebieten leben und ihr Wohlbefinden und ihre Gesundheit, wie Studien zeigen, auf vielfältige Weise eng mit urbanen Grün- und Naturräumen verknüpft sind.

Bäume in Siedlungsgebieten stehen jedoch ihrerseits aufgrund verschiedener Faktoren wie versiegelter und verdichteter Böden, kleiner Wurzelräumen wegen Werkleitungen im städtischen Strassenraum und der regen Bautätigkeit im Zug der Verdichtung des Siedlungsraums unter Druck. Hinzu kommen verschiedene Stressfaktoren, wie der Klimawandel mit Trockenperioden, Starkregenereignissen und Spätfrost und vermehrt eingeschleppte Schadorganismen. Viele Städte versuchen sich deshalb mit einer klimaangepassten Baumartenwahl und einer veränderten Pflege der Stadtbäume an diese schwierigen Bedingungen anzupassen.

Neben der Klimakrise stehen wir heute mit der Biodiversitätskrise einer zweiten, globalen Krise gegenüber. Da Städte Orte erstaunlich hoher Biodiversität sind, tragen sie hier eine grosse Verantwortung. Hier leben 45 % der einheimischen Gefässpflanzenarten und bis zu 67% der einheimischen Tierarten. Auch für die urbane Biodiversität spielen Bäume eine Schlüsselrolle, als Lebensraum, Rückzugsort und als Lieferanten von Nahrung. Bäume sind zudem ein wichtiger Teil der Ökologischen Infrastruktur und tragen massgeblich zur Vernetzung von Lebensräumen innerhalb der Siedlungsgebiete und mit dem Umland bei. Wie wertvoll Bäume für die Biodiversität für Fauna und Flora sein können, hängt jedoch von ihrer Art, vom Standort und von ihrem Alter ab. Diese Faktoren gilt es deshalb bei der Planung und der Pflege des städtischen Baumbestandes Rechnung zu tragen.

Viele, vor allem grosse Schweizer Städte, haben die vielfältigen Herausforderungen einerseits und die zentrale, wichtige Rolle ihrer Bäume erkannt und erarbeiten Konzepte und Strategien, um den Anforderungen eines gesunden, alterungsfähigen Baumbestands gerecht zu werden. Allerdings konzentrieren sich die Strategien meist auf Bäume öffentlicher Flächen, obwohl sich rund die Hälfte der Bäume in Privatbesitz befinden und für die gesamte Bevölkerung ebenfalls von grosser Wichtigkeit sind. Es fehlt oft an den nötigen Instrumenten, um auch den privaten Baumbestand verbindlich in die Strategien einzubinden. In vielen, vor allem kleineren Siedlungsgebieten der Schweiz sind ausserdem das nötige Wissen und die Erfahrung, um angepasst auf die Herausforderungen reagieren zu können, noch nicht vorhanden. Hier könnten umfassende Datensätze und eine Koordination und Wissenstransfer auf nationaler Ebene die Gemeinden bei der Planung und dem Unterhalt eines an den Klimawandel und die Biodiversitätskrise angepassten Baumbestandes unterstützen.

1. Hintergrund und Ziele

Im Rahmen der Umsetzung der Strategie für nachhaltige Entwicklung 2030 (SDD 2030) hat das Bundesamt für Umwelt BAFU (Abteilung Wald - Waldleistungen und Waldpflege) das Projekt "Bäume ausserhalb des Walds" initiiert. Dieses Projekt soll die Grundlagen für ein Konzept zur Förderung von Bäumen außerhalb des Waldes als Element zur Stärkung der Ökologischen Infrastruktur schaffen.

Dieses Projekt ist zudem auch Teil der folgenden Planungen und Strategien:

- Der Aktionsplan Biodiversität Schweiz, insbesondere das Projekt im Rahmen des Aktionsplans der Strategie Biodiversität Schweiz AP SBS A2.2 "Förderung der Biodiversität und der Landschaftsqualität im Siedlungsgebiet", das von der Abteilung Biodiversität und Landschaft getragen wird;
- Ziel 7.2 der Gesundheitsstrategie 2030 - das vorliegende Projekt wird in der gemeinsamen RoadMap Gesundheit 2030 des BAG und des BAFU erwähnt, die 2022 erarbeitet wurde;;
- Die Strategie "Anpassung an den Klimawandel 2020-2025" (Maßnahmen AP2-b2 AP2-b6).
- Die Schweizer Bodenstrategie (ZR3: "In den Siedlungen sollen die Böden die für den jeweiligen Standort bedeutsamen Bodenfunktionen möglichst gut erfüllen können und einen Beitrag für die Lebensqualität, die Klimaanpassung und die Biodiversität leisten. Der Versiegelungsgrad ist zu minimieren.").

Zu diesem Zweck hat uns das BAFU beauftragt, die Grenzen und das Verbesserungspotenzial der "urban forestry" für den Natur- und Landschaftsschutz aufzuzeigen. Stadtbäume spielen in der Tat in mehrfacher Hinsicht eine entscheidende Rolle (BAFU 2019):

- Stärkung der Biodiversität im überbauten Raum;
- Stärkung der ökologischen Infrastruktur (grünes Netz);
- Strukturierung der Landschaft;
- Bereitstellung von Ökosystemdienstleistungen;
- Instrument für den ökologischen Ausgleich im Sinne von Art. 18b Abs. 2 NHG.

Das Projekt besteht aus zwei sich ergänzenden Teilen:

1. Eine Zusammenfassung der wissenschaftlichen und technischen Literatur über den Beitrag von Stadtbäumen zur Biodiversität, zur Landschaftsqualität und zum Stadtklima;
2. Eine Analyse der Entscheidungsprozesse für die Bepflanzung des Stadtgebiets mit Bäumen.
 - a. Bewertung der Vielfalt früherer und aktueller Planungsansätze;
 - b. Identifizierung der Stärken und Schwächen jedes einzelnen Ansatzes;
 - c. Formulierung von praktischen Empfehlungen für den weiteren Prozess.

Der vorliegende Bericht beschreibt die Ergebnisse von Teil 1.

2. Ausgangslage

2.1 Die Schweiz: ein dicht besiedeltes Land

Die Schweiz ist eines der am dichtesten besiedelten Länder Europas. Siedlungsgebiete und Infratrakturfächen bedecken zwar nur 8% der Landesfläche (im Mittelland sind es 16%), was aber immerhin mehr als 3'000 km² ausmacht (BFS 2022).

Laut Bundesamt für Statistik (2021) leben aktuell 85% der Schweizer Bevölkerung in Städten und Agglomerationen. Eine Mehrheit der Schweizer Bevölkerung ist deshalb von Entwicklungen im Siedlungsraum direkt betroffen. Die Lebensqualität und Gesundheit der Bevölkerung in Siedlungsgebieten sind eng verknüpft mit den urbanen Grünräumen und einer vielfältigen Natur (Golden et al. 2015, Hornberg 2016, Ragettli et al. 2017).

2.2 Hitzeinseleffekt und Klimawandel in urbanen Gebieten und die Rolle der Bäume

Innerhalb des Siedlungsgebiets sind rund 60% der Fläche versiegelt (Gebäude, Strassen, Plätze, Infrastruktur) (BFS 2021). Da sich diese wasserundurchlässigen Flächen während des Tages bei Sonneneinstrahlung stark erhitzen und diese Wärme während der Nacht wieder abgeben, entstehen innerhalb der überbauten Gebiete sogenannte Hitzeinseln (Gehrig et al. 2018). Dieser Effekt wird durch den Klimawandel zusätzlich verstärkt, weshalb Siedlungsgebiete besonders stark von der Klimaerwärmung betroffen sind (BAFU 2018).

Grünräume und insbesondere Bäume können bezüglich des Hitzeinseleffekts eine positive Rolle spielen (Gago et al. 2013). So können Bäume und Grünräume die Effekte der städtischen Hitzeinseln und der Klimaerwärmung mildern und damit die Lebensqualität der Bevölkerung erhöhen (Deilami et al. 2018, BAFU 2018). Dabei sorgen Grünanlagen mit Bäumen für einen grösseren Kühlungseffekt als Grünflächen ohne Bäume (Schwaab 2021).

2.3 Städte als Orte erstaunlich hoher Biodiversität und die Rolle der Bäume

Städte sind Orte von relativ hoher Biodiversität, ihre Biodiversität ist vergleichbar mit derjenigen ländlicher Gebiete oder Waldgebiete (Sattler et al. 2011, Gloor et al. 201, Obrist et al. 2012, BAFU 2017, BAFU 2023). Oft findet sich in Städten sogar eine höhere Biodiversität als im intensiv landwirtschaftlich genutzten Umland (Turrini & Knop 2015). Städte können für viele verschiedene Arten Rückzugsorte und Ersatzlebensräume bieten (Vögel, Säugetiere, Wirbellose, Flora, Moose, Flechten, Pilze). Städtische Gebiete sind daher eine wichtige und unterschätzte Quelle der Biodiversität, Schätzungen zufolge leben 45% der einheimischen Gefäßpflanzenarten und 67% der einheimischen Tierarten in Städten (Schweizerischer Verband für Kommunale Infrastruktur et al. 2018).

Für die urbane Biodiversität spielen Bäume eine Schlüsselrolle (Fontana et al. 2011, Prevedello et al. 2017). Sie sind Lebensraum und Rückzugsort und liefern für unzählige Organismen direkt und indirekt die Nahrungsgrundlage. Bäume sind zudem ein wichtiger Teil der Ökologischen Infrastruktur und tragen massgeblich zur Vernetzung von Lebensräumen innerhalb der Siedlungsgebiete und hin zum Umland für viele verschiedene Organismen bei (Manning et al. 2006, Feber 2017).

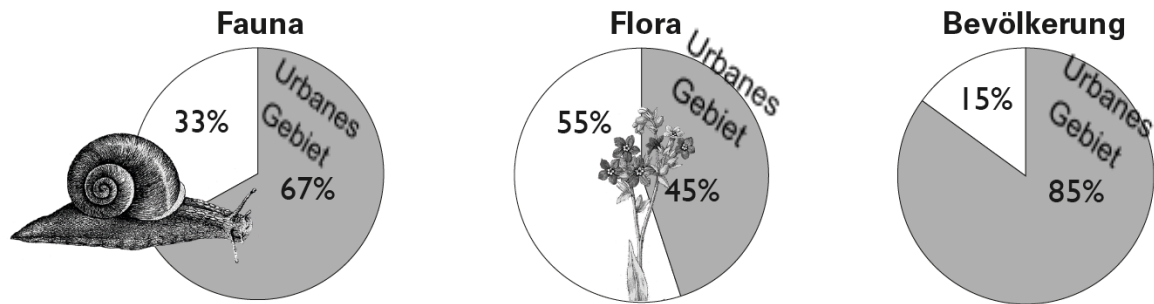


Abb. 1: Fauna, Flora und Bevölkerung in Schweizer Siedlungsgebieten (urbane Gebiete = grau; ländliche Gebiete = weiss). (Schweiz. Verband Kommunale Infrastruktur et al. 2018). Fauna: 67% der Schweizer Fauna in den berücksichtigten Gruppen (25'200 potentielle Arten von N tot=37'600) kommen in Schweizer Städten (untersucht wurden 25 Städte) vor. Jede einzelne Stadt weist zwischen 20% und 41% Arten der Schweizer Fauna auf. Dabei beherbergt jede einzelne Stadt durchschnittlich 44 National Prioritäre Arten (zwischen 24 und 113) (Quelle Yves Gonseth, Info Fauna). Flora: In Städten leben ca. 45% der einheimischen Gefässpflanzenarten (Quelle Stefan Eggenberg Info Flora). Bevölkerung: 85% der Schweizer Bevölkerung lebt heute im Siedlungsgebiet (Quelle Bundesamt für Statistik 2021).

2.4 Zentrale Rolle der Bäume für die Lebensqualität der Städte

Immer mehr Großstädte in der Schweiz und in Europa haben die zentrale Rolle der Bäume für die Lebensqualität in den Städten erkannt (BAFU/BAG 2019, Konijnendijk et al. 2022). Um Bäume im Siedlungsraum umfassend planen, erhalten und pflegen zu können, braucht es Konzepte, welche die Gesamtheit der Bäume erfassen. Der Bedarf für solche Konzepte wird von der Tatsache unterstrichen, dass die am dichtesten bestockten Gebiete nach den Wäldern die städtischen Gebiete sind (Ginzler et al. 2011).

Im angelsächsischen Raum wurde dafür der Begriff « Urban Forestry» geprägt (Konijnendijk et al. 2006, Baerlocher et al. 2019). Urban Forestry beschäftigt sich nicht nur mit den städtischen Bäumen im Einzelnen, sondern auch mit deren vielfältigen Wechselwirkungen mit deren Umgebung. Mit einbezogen werden alle Aspekte wie die Topografie, die Standorte, die Böden und Substrate, in denen die Bäume wachsen, das Pflege-Management, aber auch die Belange der Bevölkerung, Planungsaspekte und übergeordnete Aspekte etc. Ziel ist ein integrales Management, um alterungsfähige, grosskronige Bäume zu gewährleisten (z.B. Urbalyon 2019; Urban Forestry, ZHAW 2022).

2.5 Monitoringinstrument Kronenflächenindex

Ein Instrument für ein Monitoring von Stadtbäumen ist die Erfassung des Kronenflächenindex (Fläche, die durch Bäume einer festgelegten Höhe beschattet wird). Die renommierte US-amerikanische Organisation American Forests empfiehlt einen Kronenflächenindex von 40% für urbane Gebiete, wovon allerdings alle grösseren Schweizer Städte noch weit entfernt sind (Abb. 2). Die in Genf durchgeführte Studie "Nos arbres" (Schlaepfer et al. 2018) spricht von erheblichen gesundheitlichen Vorteilen, die bis zu einer Kronenflächeindex von 25% linear ansteigen.

Zurzeit scheint aber auch dieses Ziel ehrgeizig. In der Stadt Zürich beispielsweise hat das Kronendach in der letzten Erhebungsphase von 2014 bis 2018 nicht zu, sondern abgenommen, nämlich jährlich um ca. 1 bis 1.5 % (Grün Stadt Zürich 2021). Dabei sind nicht alle Gebiete in der Stadt gleich stark von dieser Abnahme betroffen. Die öffentlich und zonenrechtlich gesicherten Grün- und Freiräume sind beständiger und weisen die geringsten Verluste auf. Am stärksten betroffen von der Abnahme des Kronendachs sind die Stadtzürcher Wohn- und Arbeitsumfelder, also private Flächen, welche zwischen 2014 und 2018 einen relativen Verlust an Kronenfläche von ca. 2% jährlich aufweisen. Grün Stadt Zürich schätzt, dass rund die Hälfte aller rund 110'000 Stadtbäume ausserhalb des Waldes in der Stadt Zürich auf Privatgrund stehen.

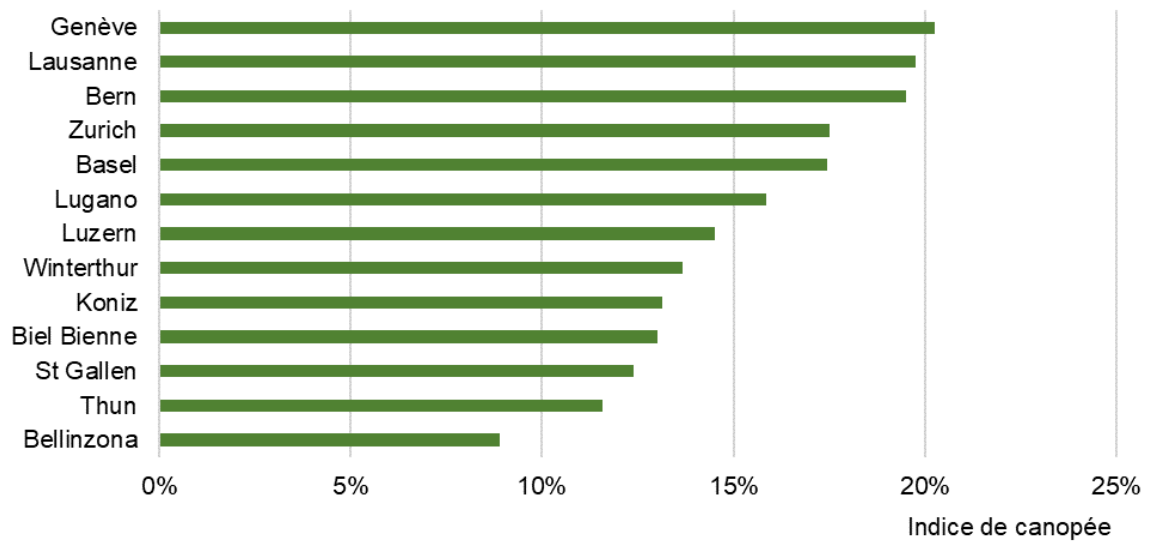


Abb. 2: Anteil der durch Bäume beschatteten Fläche (Kronenfläche) mit Bäumen höher als 6 m im Siedlungsgebiet der Schweizer Großstädte. Quelle: n+p (2021).

2.6 Bäume als wichtiger Ansatz für die Hitzeminderung erkannt

Die Dringlichkeit der Klimakrise wird allmählich von der Gesellschaft anerkannt. Die Verwaltungen sind sich allgemein der wichtigen Rolle der Bäume für die Hitzeminderung bewusst und viele Städte haben sich Ziele für ein Management der Stadtbäume gesetzt, das an das zukünftige Klima angepasst ist (e.g. Dickhaut et al. 2019, Saluz et al. 2021). Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass die Baumartenwahl im Siedlungsgebiet im Hinblick auf die Klimaerwärmung je nach Standort angepasst werden muss (Roloff et al. 2009, Roloff et al. 2013, Pellet et al. 2021).

2.7 Die unterschätzte Rolle der Siedlungsbäume für die Minderung der Biodiversitätskrise

Allgemein weit weniger bewusst als die Rolle der Bäume für die Hitzeminderung ist die wichtige Rolle, welche Bäume im Siedlungsraum zur Minderung des Biodiversitätsverlusts spielen könnten. Während der Klimawandel als eine der hauptsächlichsten Herausforderungen unserer Zeit in den Verwaltungen und in der Gesellschaft angekommen sind, ist die Biodiversitätskrise heute weit weniger präsent. Der Klimawandel und der Verlust der biologischen Vielfalt stellen jedoch beide eine Bedrohung für die Menschheit dar. Beide Krisen hängen zusammen, verstärken sich gegenseitig und müssen darum auch gemeinsam angegangen werden (Ismail et al. 2021).

Der Biodiversitätsindex für Stadtbäume im Klimawandel bietet ein Instrument, welches bei der Baumartenauswahl auf geeigneten Standorten helfen kann, die Biodiversität einzubeziehen (Gloor & Göldi Hofbauer 2018, Gloor et al. 2021). Es fehlen in den Verwaltungen von Städten und Gemeinden jedoch meist klare, verbindliche, quantitative Vorgaben und Zielwerte bezüglich der Baumartenwahl und weiterer Massnahmen, wie den Erhalt von alten Bäumen, mit welchen über den Erhalt und die Förderung von Stadtbäumen die Biodiversität in Planungsprozesse einbezogen und gefördert werden kann.

3. Die Biodiversität von Stadtbäumen: Stand des Wissens

3.1 Hohe Artenvielfalt in der Stadt

Die Biodiversität in Städten ist überraschend hoch (Kühn et al. 2004, Ives et al. 2016, Aronson et al. 2017, Lewis et al. 2019) und wird in erster Linie durch zwei Faktoren bestimmt: die Fläche der naturnahen Lebensräume sowie die Dichte und die strukturelle Vielfalt des Baumbestands (Beninde et al. 2015). Verschiedene Studien konnten aufzeigen, dass städtische Lebensräume mehr Pflanzenarten beherbergen als die umgebende Landschaft (Klotz, 1990; Pyšek, 1993; Araújo, 2003). Zu dieser Vielfalt tragen nicht, wie oft argumentiert, nur gebietsfremde Pflanzen bei, auch die Vielfalt an einheimischen Pflanzen ist in Städten signifikant höher als im Umland (Kühn et al. 2004).

Städte sind auch für viele Wildtiere zu rettenden Inseln in einer ausgeräumten und intensivierten Kulturlandschaft geworden: So kommen in städtischen Ökosystemen eine erstaunliche Vielfalt an Vogel- und Insektenarten vor, welche die Biodiversität in ländlichen Gebieten oftmals übersteigt (Reichholf, 2015). Auch seltene Arten können in einem hohen Anteil vorkommen, sogar in stark urbanisierten Gebieten (Casanelles-Abella et al. 2021a). Bei Wildbienen tragen städtische Ökosysteme gar zur Erhaltung und Förderung der Artenvielfalt bei: Städte sind wärmer, weisen eine hohe Strukturvielfalt sowie eine landschaftliche Heterogenität auf und sind weniger pestizidbelastet als die intensiv bewirtschaftete Landwirtschaft (Casanelles-Abella, 2021b). Dies mögen Gründe dafür sein, dass in verschiedenen Studien in städtischen Gebieten eine höhere Wildbienen-Artenvielfalt gefunden wurde, als in landwirtschaftlichen Gebieten, der urbane Lebensraum stellt ein Refugium für Insekten dar (Baldock et al. 2015, Reichholf, 2015).

3.2 Gesamtlebensraum «Stadtbaum»

Für die Biodiversität im Siedlungsraum spielen Bäume eine entscheidende Rolle, wie zahlreiche internationale Studien belegen (Obrist et al. 2012, Baldock et al. 2015, O'Sullivan et al. 2017, Threlfall et al. 2017, Wood & Esaian, 2020). Keine andere Pflanzenform ist so vielfältig wie der Baum und bietet so viele unterschiedliche ökologische Nischen. Er ist Lebensraum, Rückzugsort, bietet Schutz und Nahrungsgrundlagen. Alte Bäume gelten als besonders wertvoll für die Biodiversität, da erst mit einem gewissen Alter Mikrohabitate wie Astlöcher entstehen (Le Roux et al. 2018). Dabei gehört zum Gesamtlebensraum «Stadtbaum» nicht nur der Stamm und die Krone. Erst als Gesamtheit mit Wurzelreich und Krautschicht kann die Vielfalt der Artengruppen wie Arthropoden, Vögel, Säugetiere, Moose, Flechten und Mykorrhiza diesen Lebensraum nutzen.

Viele Insekten sind auf eine Unterpflanzung der Bäume als Teillebensraum in der Stadt angewiesen. So schien in einer Studie kennzeichnend für die hohe Wildbienenartenvielfalt, neben den Bäumen mit ihrer Fähigkeit Schatten und Nahrung bereitzustellen, auch der Grünstreifen unter den Bäumen zu sein (Heinrich & Saluz 2017, Böll et al. 2019)

Besonders in der Stadt stellen Bäume den zentralen und oft auch einzigen grünen Raum dar. Viele verschiedene Baumarten leisten damit gemeinsam einen wesentlichen Beitrag zur biologischen Vielfalt in den Städten (Dickhaut et al., 2019). Verschiedene Studien weisen Bäumen, welche nicht einem Wald angegliedert sind, einen speziellen Wert zu, da diese Einzelbäume Trittsteine in Städten ausbilden, die Konnektivität der Grünflächen erhöhen und den Austausch genetischer Information vereinfachen (Manning et al. 2006; Prevedello et al. 2017, Le Roux et al. 2018).

3.3 Der Einfluss gebietsfremder Baumarten auf die Biodiversität

Der städtische Lebensraum ist, wie viele der von Menschen beeinflussten Landschaften, sowohl von einheimischen wie auch von gebietsfremden Baum- und Tierarten geprägt. Gebietsfremde Arten können negative Auswirkungen auf das Stadtökosystem haben, indem sie natürliche Interaktionen zwischen Arten und wichtige Funktionen des Ökosystems verändern. Gleichzeitig können sie vorhandene Nischen ausfüllen, die Rolle von lokal ausgestorbenen Arten übernehmen und Ökosystemdienstleistungen bereitstellen (Finerty et al. 2016; Gray und van Heezik 2016, Schlaepfer et al. 2020).

Inwiefern nah verwandte heimische und gebietsfremde Baumarten die Arthropodenvielfalt in der Stadt beeinflussen, wurde in der Studie von Böll et al. (2019) in verschiedenen bayerischen Städten untersucht. Dabei wurden drei verschiedene Baumartenpaare (Winterlinde/Silberlinde, Gemeine Esche/Blumenesche, Hainbuche/Hopfenbuche) verglichen. Alle Baumarten wiesen dabei einen unerwartet hohen Individuen- und Artenreichtum auf. Auf den heimischen Baumarten wurden deutlich mehr Individuen gefangen, allerdings nicht in allen Arthropodentaxa.

Die Südosteuropäischen Baumarten unterschieden sich in der Artenvielfalt der Wirbellosen nicht von ihren verwandten heimischen Baumarten. Die überwiegende Anzahl Arten wurden in beiden Baumartengruppen gefunden, ein Drittel nur auf heimischen Bäumen und ein Viertel ausschliesslich auf südosteuropäischen Baumarten (Abb. 1). Da über die Hälfte der Arten nur auf einer der beiden Baumgruppen zu finden waren, ergibt sich die höchste Biodiversität der Arthropoden durch eine gemischte Anpflanzung der untersuchten Baumarten.



Abb. 3 Auftreten der Arten dominanter Taxa auf heimischen, südosteuropäischen oder beiden Baumartengruppen (Böll et al. 2019).

Bei einer Studie von Casanelles-Abella et al. (2021a), welche die Nahrung von Wildbienen entlang eines Stadtgradienten untersuchte, zeigten sich unterschiedliche erfolgreiche Strategien der städtischen Wildbienenarten: Sowohl breiter Generalismus in der Blütenwahl, intermediärer Generalismus wie auch Spezialisierung auf weit verbreitete städtische Pflanzen. Bei einer Art wurde sogar ein Wechsel des Pollenbezugs von krautigen Pflanzen zu Bäumen festgestellt: je urbaner die Umgebung, desto mehr Pollen wurden von den Bäumen gesammelt.

Dabei erwiesen sich sowohl einheimische als auch gebietsfremde Baumarten als weitverbreitete und beliebte Pollenressource (Casanelles-Abella et al. 2021a). Eine Untersuchung des Einflusses der invasiven Robinie (*Robinia pseudoacacia*) auf Arthropoden zeigte, dass eine Invasion dieser Baumart zu Artenfluktuationen beitragen kann, aber keinen signifikanten Einfluss auf die Abundanz oder Vielfalt der terrestrischen Wirbellosen hatte (Buchholz et al. 2015). Unterschiede von gebietsfremden zu einheimischen Baumarten konnten jedoch bei saproxylichen Käferarten festgestellt werden, bei welchen der Artenreichtum bei gebietsfremden

Baumarten geringer war. Besonders bei genetisch weit-entfernt verwandten Baumarten verringert sich die lokale Vielfalt von saproxylichen Käfern (Kärvemo et al. 2022).

3.4 Der Wert der Vielfalt

Je nach Artengruppe sind unterschiedliche Resultate bezüglich der Bevorzugung von einheimischen zu gebietsfremden Arten zu verzeichnen, wobei eine überwiegende Anzahl Arten innerhalb der Arthropoden sowohl auf heimischen wie auch auf gebietsfremden Baumarten vorkommen (Böll et al. 2019, Casanelles-Abella et al. 2021a, Kärvemo et al. 2022). Jedoch sind bisher nur eine begrenzte Vielfalt an Tieren sowie eine kleine Auswahl an unterschiedlichen Baumarten getestet worden, was viel Raum für Spekulation lässt.

Gleichzeitig kann die Auswahl einheimischer Baumarten zu klein sein, um die Ökosystemleistungen unter veränderten klimatischen Bedingungen und der rauen städtischen Umgebung weiterhin zu leisten (Sjöman et al. 2016).

Das Anlegen von Misch-Alleen aus einheimischen und klimatisch gut angepassten, exotischen Baumarten mit einer vielfältigen Unterpflanzung bietet der Stad fauna eine Vielzahl von Lebensräumen und Ausweichmöglichkeiten und erhöht das Potenzial für die Biodiversität. Durch eine stadtweite Vielfalt der Baumarten werden ausserdem klimatische und schädlingsbedingte Risiken verringert, was ein stabileres städtisches Ökosystem zur Folge hat. Ein Ökosystem, welches trotz des hohen Urbanisierungsgrades ein Refugium für Tierarten sein kann.

4. Ökosystemdienstleistungen von Stadtbäumen

Ökosystemdienstleistungen beschreiben Leistungen, die von der Natur erbracht und vom Menschen genutzt werden. Stadtbäume bieten eine Reihe von Ökosystemdienstleistungen, die in die drei, in Abb. 4 illustrierten Leistungstypen aufgeteilt und nachfolgend näher beschrieben werden.

4.1 Ökologische Ökosystemleistungen

Bäume bieten einer Vielzahl an Arten Lebensraum und spielen für die Biodiversität im Siedlungsraum eine wichtige Rolle (mehr dazu unter 2.). Gleichzeitig bieten sie Nahrung für städtische Wildtiere (Somme et al. 2016, Wood & Esaian 2020) und können als Verbindungsachse zwischen Habitaten dienen (Manning et al. 2006, Feber 2017).

Untersuchungen ergaben, dass nicht-einheimische Baumarten ungefähr identische regulierende Ökosystemdienstleistungen erbringen wie einheimische Baumarten (Sjöman et al. 2016, Schlaepfer et al. 2020), da diese in erster Linie an morphologische Eigenschaften eines Baumes geknüpft sind.

4.2 Klimatische Ökosystemleistungen

Indem Bäume CO₂ einlagern, Wasser transpirieren und Schatten spenden (mehr dazu unter 5.), sind sie ein Mittel, um den Klimawandel und dessen negative Auswirkungen abzuschwächen (Ariiluoma et al. 2021, Nowak et al. 2013, Strohbach et al. 2012). Zudem können Bäume und generell Grünflächen mit wasserdurchlässigen, nicht versiegelten Böden im Siedlungsraum erhebliche Mengen an Regenwasser aufnehmen und im Boden speichern, und so zu einem verbesserten hydrologischen Kreislauf beitragen und lokal Überschwemmungen abmildern (Bartens et al. 2009, BAFU 2020, Pataki et al. 2021). Darüber hinaus tragen Bäume dazu bei, den Lärm des Straßenverkehrs zu dämpfen (Fern Ow & Ghosh 2017).

Stadtbäume tragen unter gewissen Umständen zur Verbesserung der städtischen Luftqualität bei, indem sie Luftschadstoffe wie Kohlenmonoxid (CO), Stickstoffdioxid (NO₂), Ozon, Schwefeldioxid (SO₂), volatile organische Verbindungen (VOC) und Feinstaub absorbieren (Nowak et al. 2018). Dabei gilt es je nach Standort zu berücksichtigen, dass Bäume im urbanen Kontext die Luftzirkulation verringern und sich so Luftschadstoffe lokal konzentrieren können (Eisenmann et al. 2019).

4.3 Kulturelle Leistungen

Urbane Grünräume haben für die Bevölkerung einen hohen Wert. So kann beispielsweise der Zugang zu städtischen Grünflächen Erholungsmöglichkeiten bieten, die wiederum die körperliche Gesundheit und den sozialen Zusammenhalt fördern können (Salmond et al. 2016, Nesbitt et al. 2017, BAFU/BAG 2019, Astell-Burt & Feng 2019). Weiter haben Grünräume einen positiven Einfluss auf die psychische Gesundheit (Marselle et al. 2020, Olszewska-Guizzo et al. 2022).

Untersuchungen zeigten zudem, dass Bäume in der Umgebung und auf Privatgrundstücken deren Verkaufswert steigern (Arbor Day Foundation, 2021), ästhetischen Mehrwert bringen und das Ortsbild positiv prägen können (Collins et al. 2019).

4.4 Negative Effekte von Stadtbäumen

Neben den oben genannten Ökosystemdienstleistungen, die Bäume im Siedlungsgebiet generell erbringen, können sie aus anthropozentrischer Sicht auch einige negative Aspekte aufweisen.

Asthmatiker*Innen und Allergiker*Innen können unter dem Pollenflug von verschiedenen Baumarten wie z.B. Birke, Erle, Hasel, Kastanie oder Platane leiden. Zudem können einzelne Baumarten in Hitzeperioden volatile organische Verbindungen (VOC) generieren und dadurch die Ozonkonzentration erhöhen (Churkina et al. 2017, Eisenmann et al. 2019). Weiter geht von Bäumen bei Unwettern, Windstürmen und starkem Schneefall für Passanten sowie für die Infrastruktur eine gewisse Gefahr in Form von herunterfallenden Ästen oder Windwürfen aus. Ebenfalls erbrachten nicht einheimische Baumarten ungefähr gleich viele nachteilige Ökosystemdienstleistungen wie einheimische Arten (Schlaepfer et al. 2020).

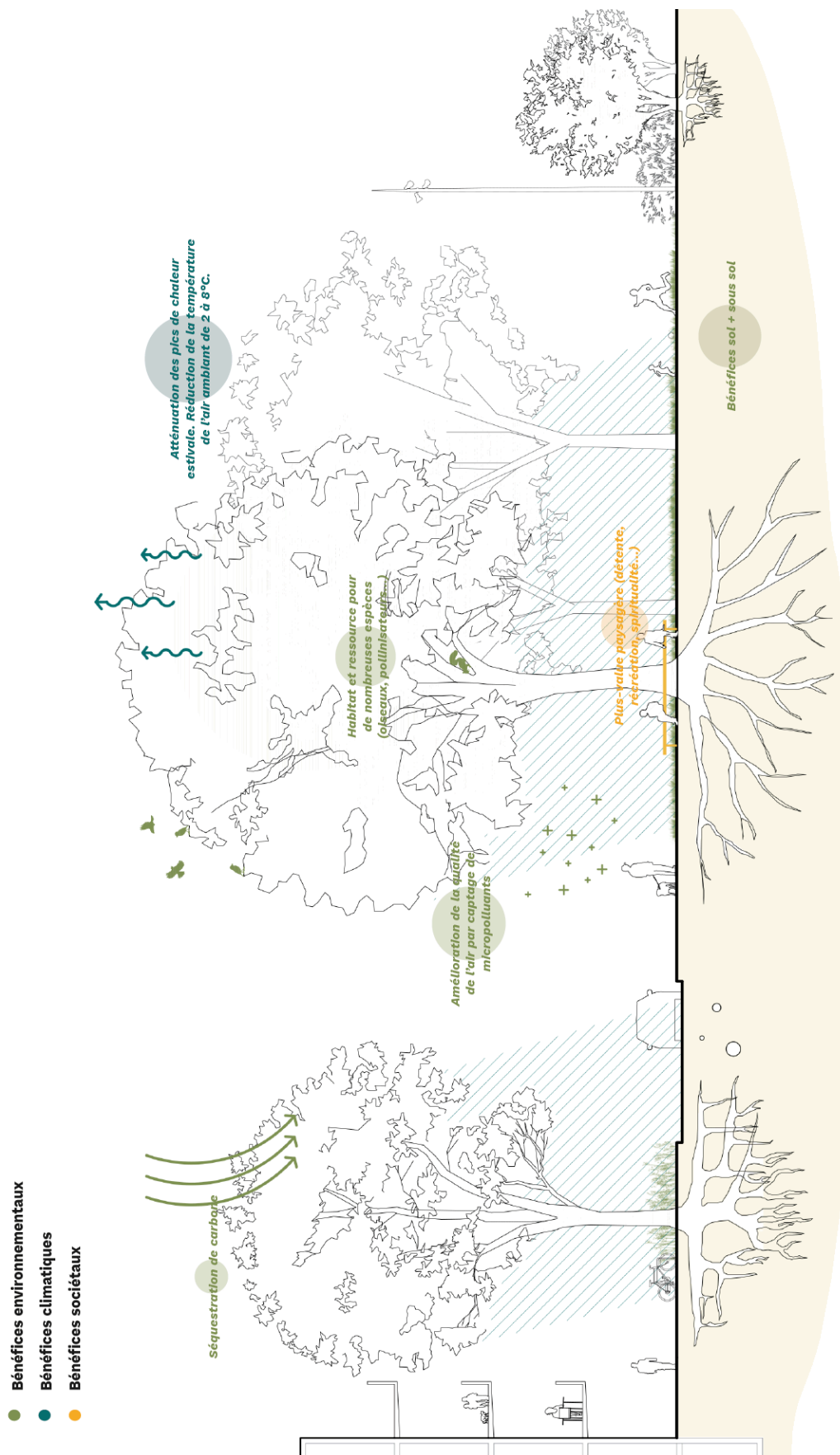


Abb 4: Ökosystemdienstleistungen von Stadtbäumen. Quelle: Hüsler & Partner, n+p (2021).

5. Bäume im Siedlungsraum und Klimawandel

5.1 Anpassungsstrategien

Durch den Klimawandel werden Hitzetage deutlich häufiger und in urbanen Gebieten durch den städtischen Wärmeinsel-Effekt noch ausgeprägter (BAFU 2018, Deilami et al. 2018). Dabei erwärmen sich Städte tagsüber stärker auf und kühlen in der Nacht weniger ab. Die mittlere Lufttemperatur liegt in Schweizer Innenstädten um 1 bis 3° C über den Werten des Umlands. Während windschwachen Sommernächten mit wolkenlosem Himmel kann dieser Unterschied vom Stadtrand zum Stadtzentrum sogar mehr als 6 bis 8° C, in Einzelfällen sogar noch mehr betragen (BAFU 2018, Gehrig et al. 2018).

Begrünte Flächen und unversiegelte Böden können den städtischen Wärmeinseln entgegenwirken (Tervooren 2015, Barradas et al. 2022, Koopman & Davin 2022). Stadtbäume tragen durch Transpiration und Schattenwurf dazu bei, die Temperaturen lokal zu senken (Blaser et al. 2016, Bowler et al. 2010, Edmondson et al. 2016). Insbesondere grosskronige Bäume und grössere unversiegelte Flächen unterstützen die Verbesserung des lokalen Mikroklimas (Ziter et al. 2019). Zudem können mit Vegetationsstreifen durch die Stadt und Grünflächen am Stadtrand die Zufuhr von Frisch- und Kaltluft aus der Umgebung sowie der Luftaustausch deutlich verbessert werden (Dickhaut et al. 2019).

Ausserdem können Stadtbäume zur Schadensminderung von Überschwemmungen durch Starkregenereignisse beitragen, indem überschüssiges Regenwasser in den Pflanzgruben zwischengespeichert und später verdunstet wird (BAFU/ARE 2022).

Um den Baumbestand in den Städten und damit die erwünschten Funktionen in Zukunft zu erhalten, bedarf es bei Neupflanzungen robuste Baumarten und – sorten, die erstens mit den stadtspezifischen Stressoren und zweitens den Herausforderungen des Klimawandels zurechtkommen (Böll et al. 2019, Pellet et al. 2021).

5.2 Dem Klimawandel entgegenwirken

Bäume tragen mit ihrer Eigenschaft, atmosphärisches CO₂ zu speichern, zur Minderung des Klimawandels bei (Ariluoma et al. 2021, Nowak et al. 2013, Strohbach et al. 2012). Die Abschätzung des in Stadtbäumen gespeicherten Kohlenstoffs ist noch mit grossen Unsicherheiten verbunden und die Ergebnisse variieren je nach geographischem Kontext und Untersuchungsmethode. So ergaben Untersuchungen von Gardi et al. (2016) in der Stadt Bern, dass in der oberirdischen Baumbiomasse durchschnittlich 14.9 ± 0.5 Tonnen Kohlenstoff pro Hektare gespeichert ist. Eine andere schweizweite Studie kam mit 20 und 48 Tonnen Kohlenstoff pro Hektare auf deutlich grössere Mengen gespeicherter Kohlenstoff (Price et al. 2017). Eine Studie aus den USA über 28 Städten schätze einen Durchschnittswert von 76.9 t/ha in Stadtbäumen gespeicherter Kohlenstoff (Nowak et al. 2013).

Verglichen mit den CO₂-Emissionen, die in den Städten anfallen, ist die Speicherkapazität von Bäumen eher gering (Nowak et al., 2013, Velasco et al. 2016, Pataki et al. 2021). Das jährliche Wachstum von Stadtbäumen kann meist nur 0-3% der städtischen CO₂-Emissionen kompensieren (Lindén et al. 2020, Pataki et al. 2009, Pataki et al. 2021, Velasco et al. 2016). Interessante Studien aus Helsinki zeigen allerdings, dass Bäume und die Einmischung von Pflanzenkohle in das Kultursubstrat die Kohlenstoffspeicherung und -bindung erheblich steigern können und die Pflanzenkohle darüber hinaus für günstige Wachstumsbedingungen sorgt (Ariluoma et al. 2021, Pataki et al. 2021). Mit der Wirkung von Substrat, welches mit Pflanzenkohle angereichert ist, auf die Vitalität von Baumpflanzungen beschäftigt sich auch ein

aktuelles Forschungsprojekt der ZHAW in Wädenswil in Zusammenarbeit mit der Stadtgärtnerei Basel, wobei Resultate noch ausstehend sind.

Das Ausbauen der urbanen Grünräume kann ausserdem indirekt zum Klimaschutz beitragen, indem so potentiell weniger in kohlenstoffintensive Aktivitäten wie dem Bau von grauer Infrastruktur investiert wird (Ottelin et al. 2018). Zudem kann damit die wahrgenommene Qualität der Wohnumgebung verbessert werden, was dazu führen kann, dass die Bevölkerung mehr Zeit in ihrer Wohnumgebung verbringen und weniger CO₂-intensive Fahrten ins Grüne unternehmen (Reichert et al. 2016).

6. Bilanz und Ausblick

6.1 Eine solide wissenschaftliche Grundlage

Der Beitrag von Bäumen zur urbanen Biodiversität ist weithin anerkannt und wurde in zahlreichen Studien nachgewiesen. Eine Vielzahl an Organismen profitieren von Stadtbäumen: von Flechten und Pilze, über Flora und Wirbellose bis hin zu Säugetieren und Vögeln. Es besteht heute kein Zweifel mehr daran, dass Stadtbäume dazu beitragen, die Artenvielfalt in urbanen Gebieten deutlich zu erhöhen.

Die Rolle von Einzelbäumen ausserhalb des Waldes ist ebenfalls von grundlegender Bedeutung für die Aufrechterhaltung der ökologischen Vernetzung. Sie tragen zur Durchlässigkeit urbaner Gebiete für Tiere und Pflanzen bei und spielen eine Schlüsselrolle in der Ökologischen Infrastruktur und der Strukturierung der Landschaft.

Ihre Rolle im städtischen Raum ist grösser, als es im Verhältnis zu dem von ihnen eingenommenen Raum zu erwarten wäre. Die vielfältigen Ökosystemdienstleistungen, die sie der Stadtbevölkerung bieten, übersteigen bei weitem die wenigen negativen Effekte, die sie verursachen können.

6.2 Es braucht ehrgeizige Ziele

Trotz dieser wichtigen, positiven Rolle der Stadtbäume muss festgestellt werden, dass der Baumbestand in den meisten Ballungsräumen des Landes zurückgeht. Aus all den oben genannten Gründen haben sich viele Städte und Gemeinden zum Ziele gesetzt, ihren Kronenflächenindex bis zur Mitte des Jahrhunderts zu erhöhen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Zielwerte für den Kronenflächenindex der drei Städte Genf, Lausanne und Zürich (Quelle: RTSinfo).

Jahr	Genève	Lausanne	Zurich
2022	22%	20%	17%
2030	25%		
2040		30%	
2050			25%

Die meisten Städte streben eine Kronenflächenbedeckung zwischen 25 und 30% an, da dieser Wert als notwendig erachtet wird, damit die Stadtbäume alle ihre Ökosystemleistungen, einschließlich der Stärkung der Biodiversität, wirksam entfalten können (Grün Stadt Zürich 2021). Diese Ziele für das Kronendach schlagen sich in extrem ehrgeizigen und nur mit enormen Anstrengungen umzusetzenden jährlichen Pflanzzielen nieder.

6.3 Herausforderungen auf dem Weg zu einem nachhaltigen Baumbestand

Um die Ziele zur Stärkung und Weiterentwicklung des Baumbestandes zu erreichen, müssen die Gemeinden eine Reihe von Schritten unternehmen, die jeweils mit verschiedenen Herausforderungen verbunden sind:

1. **Aufbau und Erweiterung der Kenntnisse über den Baumbestand:** Karte der durchlässigen, nicht versiegelten Böden, Kronenflächenbedeckung, Baumkataster auf privatem und öffentlichem Grund. Ohne diese Grundlagen, die in kleinen Gemeinden oft

ganz fehlen, können die Behörden keine faktenbasierten wirksamen Maßnahmen ergreifen.

2. **Aufbauen und Führen von Instrumenten, um den Baumbestand zu schützen und insbesondere alte Bäume zu erhalten.** Alte Bäume (oder Baumveteranen) spielen eine überproportional grosse Rolle für die Biodiversität. Die Fülle an Mikrohabitaten, die sie beherbergen, macht sie zu einzigartigen Lebensräumen für viele anspruchsvolle Arten.
3. **Die richtige Baumart am richtigen Ort pflanzen.** Dieser Schritt erfordert eine sorgfältige Planung, um Baumarten mit einem hohen Potenzial für die biologische Vielfalt auszuwählen, die dem zukünftigen Klima, dem sie ausgesetzt sein werden, standhalten und an den Boden und die Umgebung, in der sie wachsen sollen, angepasst sind.
4. **Gewährleistung guter Wachstumsbedingungen.** In der Stadtplanung werden die Bedürfnisse der Bäume oft nicht frühzeitig einbezogen. Oft werden Bäume nur als Dekoration und ästhetischen Beitrag gesehen. Der eingeschränkte, zur Verfügung stehende Wurzelraum und unterirdische technische Einschränkungen behindern die freie Entwicklung der Wurzeln und beeinträchtigen die Wachstums- und Alterungsfähigkeit der Bäume erheblich. Bäume brauchen Raum, sowohl im Untergrund als auch über dem Boden.
5. **Planen, um den Fortbestand zu sichern.** Damit der Baum sein ökologisches Potential entfalten kann, muss er sich frei und über eine lange Zeit entwickeln können. Regelmäßiger Schnitt, fehlende Pflege, Schäden an seinem Stamm, seinen Wurzeln und Ästen sind Stressfaktoren, die seine Lebenserwartung verkürzen. Die kurzen Unterhaltszyklen der grauen Infrastruktur und die Dynamik, wie sich städtische Räume verändern, lassen den Bäumen keine Zeit, ihr volles Potenzial zu entfalten (vorzeitiges Fällen). Hier ist ein grundsätzliches Umdenken und eine Anpassung der Planungsabläufe erforderlich.

Die wissenschaftlichen Erkenntnisse reichen heute bei weitem aus, um eine ehrgeizige städtische Baumpolitik zu rechtfertigen. Die limitierenden Faktoren liegen vor allem in den rechtlichen und technischen Instrumenten zur Umsetzung dieser Politik. Diese Aspekte sind Gegenstand des zweiten Teils des vorliegenden Projekts.

7. Literatur

- Araújo, M.B. 2003. The coincidence of people and biodiversity in Europe. *Global Ecol. Biogeogr.*, 12: 5–12.
- Arbor Day Foundation. 2021. Economics of urban forestry in the United States. Arbor Day Foundation et al., Lincoln, Nebraska. <https://www.arborday.org/urban-forestry-economic/>.
- Ariiluoma M., Ottelin J., Hautamäki R., Tuhkanen E.M., Mänttari, M. 2021. Carbon sequestration and storage potential of urban green in residential yards: A case study from Helsinki. *Urban Forestry and Urban Greening*, 57, <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126939>
- Aronson, Myla FJ; Lepczyk, Christopher A; Evans, Karl L; Goddard, Mark A; Lerman, Susannah B; MacIvor, J Scott; Nilon, Charles H; Vargo, Timothy (2017). Biodiversity in the city: key challenges for urban green space management. *Frontiers in Ecology and the Environment*, doi:10.1002/fee.1480
- Bartens, J., Day, S.D., Harris, J.R. et al. 2009. Transpiration and Root Development of Urban Trees in Structural Soil Stormwater Reservoirs. *Environmental Management* 44, 646–657. <https://doi.org/10.1007/s00267-009-9366-9>
- BAFU 2017: Biodiversität in der Schweiz: Zustand und Entwicklung. Ergebnisse des Überwachungssystems im Bereich Biodiversität, Stand 2016. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1630: 60 S.
- BAFU 2018. Hitze in Städten. Grundlage für eine klimaangepasste Siedlungsentwicklung. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen, Nr. 1812: 108 S.
- BAFU/BAG (Hrsg.). 2019: Umwelt und Gesundheit in der Schweiz. Eine facettenreiche Beziehung. Bundesamt für Umwelt und Bundesamt für Gesundheit, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1908: 61 Seiten.
- BAFU. 2020. Bodenstrategie Schweiz, für einen nachhaltigen Umgang mit dem Boden. Schweizerischer Bundesrat (Hrsg.). Umwelt-Info 2018-d. 69 Seiten.
- BAFU. 2021. Taschenstatistik der Schweiz 2021. 29 Seiten. <https://www.swissstats.bfs.admin.ch/>
- BAFU. 2022a. Bäume ausserhalb des Waldes - Urbane Forstwirtschaft und Agroforstwirtschaft. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wald/fachinformationen/waldbewirtschaftung/urbane-forstwirtschaft-agroforstwirtschaft.html> (Abfrage / Consultation du site web 15.12.2022).
- BAFU 2022b: Biodiversität und Landschaftsqualität im Siedlungsgebiet. Empfehlungen für Musterbestimmungen für Kantone und Gemeinden. Bundesamt für Umwelt. 57 Seiten.
- BAFU/ARE 2022: Regenwasser im Siedlungsraum. Starkniederschlag und Regenwasserbewirtschaftung in der klimaangepassten Siedlungsentwicklung. Bundesamt für Umwelt (BAFU); Bundesamt für Raumentwicklung (ARE). Umwelt-Wissen Nr. 2201: 115 Seiten.
- BAFU 2023: Biodiversität in der Schweiz, Zustand und Entwicklung. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 2306: 95 Seiten.
- Baerlocher, B., Wilkes-Allemann, J., Heinrich, A., Schlaepfer, M., Guinaudeau, B., Robert, O. and Amos, E., 2019. Was ist Urban Forestry? Beispiele aus der Schweiz. *Anthos*, 58(1), pp.32-36.
- Baldock, K.C.R., Goddard, M.A., Hicks, D.M. et al. 2015. Where is the UK's pollinator biodiversity? The importance of urban areas for flower visiting insects. *Proc. R. Soc. B* 282: 20142849.

- Barradas, V.L., Miranda, J.A., Esperón-Rodríguez, M., Ballinas, M. 2022. (Re)Designing Urban Parks to Maximize Urban Heat Island Mitigation by Natural Means. *Forests*, 13, 1143. <https://doi.org/10.3390/f13071143>.
- Beninde J., Veith M., Hochkirch A. 2015. Biodiversity in cities needs space: a meta-analysis of factors determining intra-urban biodiversity variation. *Ecology Letters* 18: 581-592.
- Blaser J., Gardi O., Kern M., Mack S., Wiedemar M., Remund J. 2016. Schlussbericht Urban Green & Climate Bern - Die Rolle und Bewirtschaftung von Bäumen in einer klimaangepassten Stadtentwicklung. Berner Fachhochschule, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, 62 Seiten.
- Böll, V.S., Mahsberg, D., Albrecht, R., Peters, M.K. 2019. Urbane Artenvielfalt fördern. *NATURSCHUTZ und Landschaftsplanung*, 51, 12.
- 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/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>.
- Buchholz S., Tietze H., Kowarik I., Schirmel J. 2015. Effects of a Major Tree Invader on Urban Woodland Arthropods. *PLoS ONE* 10(9): e0137723.
- Casanelles-Abella, J., Chauvier, Y., Zellweger, F., Villiger, P., Frey, D., Ginzler, C., Moretti, M., Pellissier, L. 2021a. Applying predictive models to study the ecological properties of urban ecosystems: A case study in Zürich. Switzerland. *Landscape and Urban Planning*, 214, 104137. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104137>
- Casanelles-Abella, J., Müller, S., Keller, A., Aleixo, C., Alós Orti, M., Chiron, F., Deguines, N., Hallikma, T., Laanisto, L., Pinho, P., Samson, R., Tryjanowski, P., Van Mensel, A., Pellissier, L., Moretti, M. 2021b. How wild bees find a way in European cities: Pollen metabarcoding unravels multiple feeding strategies and their effects on distribution patterns in four wild bee species. *Journal of Applied Ecology*, 59, 457–470. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14063>
- Churkina G., Kuik F., Bonn B., Lauer A., Grote R., Tomiak K., Butler T.M. 2017. Effect of VOC Emissions from Vegetation on Air Quality in Berlin during a Heatwave. *Environ. Sci. Technol.* 51(11): 6120-6130.
- Collins C.M.T., Cook-Monie I., Raum S. 2019. What do people know? Ecosystem services, public perception and sustainable management of urban park trees in London, U.K. *Urban Forestry & Urban Greening*. 43. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.06.005>.
- Deilami K., Kamruzzaman M, Liua Y. 2018. Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 67: 30-42.
- Dickhaut, W., Doobe, G., Eschenbach, A., Fellmer, M., Gerstner, J., Gröngroft, A., Winkelmann, A. 2019. Entwicklungskonzept Stadtbäume. Anpassungsstrategien an sich verändernde urbane und klimatische Rahmenbedingungen. HafenCity Universität Hamburg.
- Edmondson, J., Stott, I., Davies, Z. et al. Soil surface temperatures reveal moderation of the urban heat island effect by trees and shrubs. *Sci Rep* 6, 33708 2016. <https://doi.org/10.1038/srep33708>
- Eisenmann S.T., Churkina G., Jariwala S.P., Prashant Kt, Lovasi G.S., Pataki D.E., Weinberger K.E., Whitlow T.H. 2019. Urban trees, air quality, and asthma: An interdisciplinary review. *Landscape and Urban Planning*, 187, 47-59. doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.02.010
- Feber R. 2017. The role of trees outside woods in contributing to the ecological connectivity and functioning of landscapes. *Woodland Trust Research Report*. 23 p.
- Fern Ow L., Ghosh S., 2017. Urban cities and road traffic noise: Reduction through vegetation. *Applied acoustics*. 120. 15-20.

- Finerty G.E, de Bello F., Bila K., Berg M.P., Dias A.T.C., Pezzatti G.B., Moretti M. 2016. Exotic or not, leaf trait dissimilarity modulates the effect of dominant species on mixed litter decomposition. *J Ecol* 104:1400–1409.
- Fontana S., Sattler T., Bontadina F., Moretti, M. 2011. How to manage the urban green to improve bird diversity and community structure. *Landsc. Urban Plan.*101(3), 278-285. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.02.033>
- Gago, E.J., Roldan, J., Pacheco-Torres, R. and Ordóñez, J., 2013. The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable and sustainable energy reviews*, 25, pp.749-758.
- Gardi O., Schaller G., Neuner M., Mack S. 2016. Ermittlung der Kohlenstoffspeicherung von Bäumen im Siedlungsgebiet am Beispiel der Stadt Bern. *Schweiz Z Forstwes* 167. 2: 90 – 97
- Gehrig R., König, N., Scherrer, S. 2018. Städtische Wärmeinsel in der Schweiz – Klimatologische Studie mit Messdaten in fünf Städten, Fachbericht MeteoSchweiz, 273, 61 pp.
- Ginzler C., Mathys, L., Thürig E. 2011. Die Baumbedeckung in der Schweiz. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 162(9): 344–349.
- Gloor S., Moretti M., Bauer, N., Bontadina F., Della Bruna P. & Duelli P. 2010. BiodiverCity: Biodiversität im Siedlungsraum. Zusammenfassung. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU).
- Gloor S., Göldi Hofbauer M. 2018. Der ökologische Wert von Stadtbäumen bezüglich der Biodiversität. In: D. Dujesiefken (Hrsg.), *Jahrbuch der Baumpflege 2018*. Jahrgang 22, Haymarket Media: Braunschweig.
- Gloor S., Taucher A., Rauchenstein K. 2021. Biodiversitätsindex 2021 für Stadtbäume im Klimawandel. SWILD Zürich. Grün Stadt Zürich, interner Bericht, 58 Seiten.
- Golden Christopher D., Romanelli C. et al. 2015. Connecting Global Priorities: Biodiversity and Human Health, a State of Knowledge Review. World Health Organization and Secretariat for the Convention on Biological Diversity. pp. 360.
- Gray E.R. & Van Heezik Y. 2016. Exotic trees can sustain native birds in urban woodlands. *Urban Ecosystems* 19: 315-329.
- Grün Stadt Zürich (Hrsg.). 2021. Fachplanung Stadtbäume. Zürich, 61 Seiten.
- Heinrich, A., & Saluz, A. G. (2017). Die Logik der "Gehölzbetonten Pflanzensysteme": Unterpflanzungen fördern Vitalität von Straßenbäumen. *Stadt + Grün*, 2017(3), 25–30.
- Hornberg C. 2016. Stadtnatur fördert die Gesundheit. In *Ökosystemleistungen in der Stadt – Gesundheit schützen und Lebensqualität erhöhen*. (Eds. Kowarik I, Bartz R, Brenck M) 98–125 Technische Universität Berlin, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ. Berlin, Leipzig.
- Ismail S.A., Geschke J., Kohli M. et al. 2021. Klimawandel und Biodiversitätsverlust gemeinsam angehen, *Swiss Academies Factsheet* 16 (3).
- Ives, Christopher D.; Lentini, Pia E.; Threlfall, Caragh G.; Ikin, Karen; Shanahan, Danielle F.; Garrard, Georgia E.; Bekessy, Sarah A.; Fuller, Richard A.; Mumaw, Laura; Rayner, Laura; Rowe, Ross; Valentine, Leonie E.; Kendal, Dave (2016). Cities are hotspots for threatened species. *Global Ecology and Biogeography*, 25(1), 117–126. doi:10.1111.
- Kärvemo, S., Schroeder, M., Ranius, T. 2022. Beetle diversity in dead wood is lower in non-native than native tree species, especially those more distantly related to native species. *Journal of Applied Ecology*.
- Klotz, S. 1990. Species/area and species/inhabitants relations in European cities. In *Urban Ecology: Plants and Plant Communities in Urban Environments* (H. Sukopp and S. Hejný, eds.), pp. 99–103. The Hague: SPB Academic Publishing.

- Konijnendijk C.C., Ricard R.M., Kenney A. and Randrup T.B., 2006. Defining urban forestry—A comparative perspective of North America and Europe. *Urban forestry & urban greening*, 4(3-4), pp.93-103.
- Konijnendijk C.C., Bernasconi A., Eggenberger T., Juchli J. Trees outside forests - Values and Services (TREEVES). Review and Perspective for Switzerland. Bericht im Auftrag des BAFU, 76 Seiten.
- Koopmans M. & Davin E. 2022. Urban trees and green spaces for climate-resilient cities in Switzerland. Wyss Academy for Nature at the University of Bern. 12 p.
- Kühn I., Brandl R., Klotz S. 2004. The flora of German cities is naturally species rich. *Evolutionary Ecology Research*, 6/2004, 749-764.
- Le Roux D.S., Ikin K., Lindenmayer D.B., Manning A.D., Gibbons P. 2018. The value of scattered trees for wildlife: Contrasting effects of landscape context and tree size. *Diversity and Distribution* 24: 69-81.
- Lewis, A.D., Bouman, M.J., Winter, A.M., Hasle, E.A., Stotz, D.F., Johnston, M.K., Klinger, K.R., Rosenthal, A., Czarnecki, C.A., 2019. Does nature need cities? Pollinators reveal a role for cities in wildlife conservation. *Front. Ecol. Evol.* 7 (June), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00220>.
- Lindén L., Riikonen A., Setälä H., Yli-Pelkonen, V. 2020. Quantifying carbon stocks in urban parks under cold climate conditions. *Urban For. Urban Green.* 49:126633. doi: 10.1016/j.ufug.2020.126633
- Manning A.D., Fischer J., Lindenmayer D.B. 2006. Scattered trees are keystone structures – Implications for conservation. *Biological Conservation* 132: 311-321.
- Marselle, M.R., Bowler, D.E., Watzema, J. et al. 2020. Urban street tree biodiversity and antidepressant prescriptions. *Sci Rep* 10, 22445. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79924-5>
- Nesbitt L., Hotte N., Barron S., Cowan J., Sheppard S.R.J. 2017. The social and economic value of cultural ecosystem services provided by urban forests in North America: A review and suggestions for future research. *Urban Forestry & Urban Greening.* 25. 103-111. doi.org/10.1016/j.ufug.2017.05.005
- Nowak D.J., Greenfield E.J., Hoehn R.E., Lapoint, E. 2013. Carbon sequestration and storage by trees in urban and community areas of the United States. *Environ. Pollut.* 178, 229–236.
- Nowak D.J., Hirabayashi, S., Doyle, M., McGovern, M., Pasher, J. 2018. Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban For. Urban Green.* 29, 40–48. doi: 10.1016/j.ufug.2017.10.019
- n+p 2021. Canopée dans l'espace bâti et température au sol dans les communes vaudoises. Notice technique. Plan d'action biodiversité 2019-2030. Etat de Vaud. 4 p.
- Obrist M.K., Sattler T., Home R., Gloor S., Bontadina F., Nobis M., Braaker S., Duelli P., Bauer N., Della Bruna P., Hunziker M., Moretti M., 2012. Biodiversität in der Stadt - für Mensch und Natur. Merkblatt für die Praxis, 48. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL. 12 Seiten.
- OFS 2022. Évolution de l'utilisation du sol. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/espace-environnement/utilisation-couverture-sol/evolution.html>.
- Olszewska-Guizzo A., Sia A., Fogel A. et al. 2022. Features of urban green spaces associated with positive emotions, mindfulness and relaxation. *Sci Rep* 12, 20695. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24637-0>
- O'Sullivan O.S., Holt A.R., Warren P.H., Evans, K.L. 2017. Optimising UK urban road verge contributions to biodiversity and ecosystem services with cost-effective management. *Journal of Environmental Management*, 191, 162-171.

- Pataki D.E., Emmi P.C., Forster C., Mills J., Pardyjak E.R., Peterson T.R., et al. 2009. An integrated approach to improving fossil fuel emissions scenarios with urban ecosystems studies. *Ecol. Comp.* 6, 1–14.
- Pataki D.E., Alberti M., Cadenasso M.L., Felson A.J., McDonnell M.J., Pincetl S., Pouyat, R.V., Setälä H., Whitlow T.H. 2021. The Benefits and Limits of Urban Tree Planting for Environmental and Human Health. *Front. Ecol. Evol.* 9:603757. doi: 10.3389/fevo.2021.603757
- Pellet J., Sonnay V., Randin C., Sigg P., Rosselet M., Graz E. 2021. Arborisation urbaine lausannoise et changements climatiques. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 100: 73-89.
- Prevedello J.A., Almeida-Gomes M., Lindenmayer D.B. 2017. The importance of scattered trees for biodiversity conservation: a global meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* 55: 205-214.
- Price B., Gomez A., Mathys L., et al., 2017. Tree biomass in the Swiss landscape: nationwide modelling for improved accounting for forest and non-forest trees. *Environmental Monitoring and Assessment* 189: 106.
- Pyšek P. 1993. Factors affecting the diversity of flora and vegetation in central European settlements. *Vegetatio*, 106: 89–100.
- Ragetti M., Flückiger B., Rösli M. 2017. Auswirkungen der Umwelt auf die Gesundheit. *Swiss TPH*. pp 86.
- Reichholf J.H. 2015. Hauptstadt der Nachtigallen – Warum die Vögel so sehr auf (Gross-)Städte fliegen. *Berl. Ornithol. Ber.* 25, 9-17.
- Reichert, A., Holz-Rau, C., Scheiner, J. 2016. GHG emissions in daily travel and long-distance travel in Germany – Social and spatial correlates. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 49, 25–43. doi:10.1016/j.trd.2016.08.029
- 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* 8:295-308.
- Roloff A. (Ed.). 2013. *Bäume in der Stadt*: Ulmer.
- Roloff A., Gillner S. 2013. Klimawandel und Stadtbaumarten. In Andreas Roloff (Ed.): *Bäume in der Stadt*: Ulmer, pp. 168–179.
- Roloff A., Gillner S., Vogt J., Hofman M. 2015: *Citree*. Edited by TU Dresden, Professur für Forstbotanik. Tharandt. Available online at <https://citree.de/>.
- Salmond J.A., Tadaki M., Vardoulakis S. et al. 2016. Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment. *Environ Health* 15 (Suppl 1), S36. <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0103-6>
- Saluz A., Zürcher N., Bernasconi A., Gubsch M., Eggenberger T. 2021. *i-Tree – Bäume und Stadtwälder klimaangepasst managen, Pilotprogrammes zur Anpassung an den Klimawandel*, Bundesamt für Umwelt. 174 Seiten.
- Sattler T., Obrist M.K., Duelli, P., Moretti, M. 2011. Urban arthropod communities: Added value or just a blend of surrounding biodiversity? *Landsc. Urban Plan.* 103: 347–361.
- 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), pp.1-11.
- Schweizerische Eidgenossenschaft 2020: *Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Aktionsplan 2020–2025*. Bern, 164 S.
- Schweizerische Eidgenossenschaft 2020: *Die gesundheitspolitische Strategie des Bundesrates 2020–2030*. Bern, 34 S.

- Schweizerischer Verband Kommunale Infrastruktur et al. 2018. Stadtnatur im Dichtestress. Ergebnisse der Tagung vom 16. Mai 2018 in Solothurn. 4 Seiten.
- Schlaepfer M.A., Guinaudeau B.P., Martin P. et al. 2020. Quantifying the contributions of native and non-native trees to a city's biodiversity and ecosystem services. *Urban Forestry & Urban Greening* 56, 126861.
- Schlaepfer M. A., Guinaudeau B. P., Robert O. & Amos E. 2018. Projet NOS-ARBRES - Synthèse pour les instances de décision. 43 p.
- Sjöman H., Morgenroth J., Sjöman J.D., Sæbød A., Kowarika I.I. 2016. Diversification of the urban forest—Can we afford to exclude exotic tree species? *Urban Forestry & Urban Greening* 18: 237-241.
- Somme L., Moquet L., Quinet M., Vanderplanck M., Michez D., Lognay G., Jacquemart A.L. 2016. Food in a row: urban trees offer valuable floral resources to pollinating insects. *Urban Ecosystems* 19: 1149-1161.
- Strohbach M.W., Arnold E., Haase D. 2012. The carbon footprint of urban green space – A life cycle approach. *Landscape and Urban Planning*. 104(2). 220-229.
- Tervooren, S. (2015): Potenziale von Grünvolumen und Entsiegelung zur Klimaanpassung am Beispiel der Landeshauptstadt Potsdam. *AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik*, S. 258–367. <http://tinyurl.com/y9h6vdc7>
- Threlfall C.G., Mata L., Mackie J.A., Hahs A.K., Stork N.E., Williams N.S.G., Livesley S.J. 2017. Increasing biodiversity in urban green spaces through simple vegetation interventions. *Journal of Applied Ecology*, 54(6), 1874–1883.
- Turrini T., Knop E. 2015. A landscape ecology approach identifies important drivers of urban biodiversity. *Global Change Biology*, 21(4), 1652–1667. doi:10.1111/gcb.12825.
- UrbaLyon 2019. Une Canopée pour la Métropole de Lyon? Enseignements d'un benchmark international. *Grand Lyon*. 24 p.
- Velasco E., Roth M., Norford L., Molina L.T. 2016. Does urban vegetation enhance carbon sequestration? *Landscape and Urban Planning*, 148, 99-107. /doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.12.003.
- Wood E.M., Esaian S. 2020. The importance of street trees to urban avifauna. *Ecological Applications*, (), eap.2149–. doi:10.1002/eap.2149
- Ziter C.D., Pedersen E.J., Kucharik C.J., Turner M.G. 2019. Scale-dependent interactions between tree canopy cover and impervious surfaces reduce daytime urban heat during summer. *PNAS* 116: 7575-7580.