

STADT BÄUME IM KLIMA WANDEL

ENTWICKLUNGSKONZEPT STADTBÄUME

Anpassungsstrategien an sich verändernde urbane und klimatische Rahmenbedingungen

Hamburg | Behörde für Umwelt und Energie

HCU | HafenCity Universität Hamburg

UH Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

Gefördert durch:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Entwicklungskonzept Stadtbäume

Anpassungsstrategien an sich verändernde urbane und klimatische Rahmenbedingungen

Herausgeber
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Dickhaut (HafenCity Universität Hamburg),
Prof. Dr. Annette Eschenbach (Universität Hamburg)

Mit Textbeiträgen von
Wolfgang Dickhaut, Gerhard Doobe, Annette Eschenbach, Mareike Fellmer, Judith Gerstner, Alexander Gröngröft, Kai Jensen, Johannes Lauer, Christoph Reisdorff, Anna Sandner, Selina Titel, Annette Wagner, Annika Winkelmann

Layout
Annette Buschermöhle, Johannes Lauer

Titelbild
Mareike Fellmer (Nutzungsdruck für Straßenbäume in der Blumenau im Herbst, Hamburg)

Das Entwicklungskonzept Stadtbäume basiert auf den Forschungsergebnissen des Projektes „Stadtbäume im Klimawandel", das die Behörde für Umwelt und Energie der Freien und Hansestadt Hamburg, die HafenCity Universität Hamburg (Umweltgerechte Stadt- und Infrastrukturplanung) und die Universität Hamburg (Institut für Bodenkunde und dem Biozentrum Klein Flottbek) im Auftrag des Bunderministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages durchgeführt hat.

Projektleitung
Prof. Dr. Annette Eschenbach (Projektkoordination), Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Dickhaut, Prof. Dr. Kai Jensen

Hinweis im Sinne des Gleichbehandlungsgesetzes
Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wird auf eine geschlechtsspezifische Differenzierung verzichtet.
Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung für alle Geschlechter.
Aus Gründen der Gewohnheit findet die männliche Begriffsform Verwendung.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliothek;
detaillierte Daten sind im Internet über http://www.dnb.de abrufbar.

Impressum

© HafenCity Universität Hamburg, 2019

ISBN: 978-3-941722-83-5

Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt.
Sie darf ohne vorherige Genehmigung des Autors nicht vervielfältigt werden.

EINLEITUNG

1. Hintergrund und Problemstellung 9

STADTBÄUME IN HAMBURG

2. Funktionen und Entwicklungstrends 11

2.1 Bedeutung von Bäumen in der Stadt: Baumfunktione 11
2.2 Entwicklungstrends in der wachsenden Stadt Hamburg 12
2.3 Standort- und Wuchsbedingungen von Stadtbäumen 14

WISSENSSTAND STADTBÄUME IM KLIMAWANDEL

3. Zukunftsperspektiven von Stadtbäumen 19

3.1 Klimaveränderungen in Hamburg 19
3.2 Strategietypen bei Trockenstress 21
3.3. Bewertung der Vitalität von Baumarten an Hamburger Straßenstandorten 25

ANPASSUNG UND UMSETZUNG

4. Anpassungsstrategien und Anpassungsmaßnahmen 35

4.1 Umgang mit Altbäumen als Klimabäume 36
4.2 Auswahl von Baumarten und Baumsorten 41
4.3 Anpassung von Baumstandorten 46

5. Umsetzungsinstrumente und Zuständigkeiten 60

5.1 Klimafolgenindikatoren für Stadtbäume 60
5.2 GALK-Straßenbaumtest 65
5.3 Umsetzungsinstrumente 65
5.4 Zuständigkeiten und Zusammenarbeit 69

AUSBLICK

6. Entwicklungsstrategie und Ziele für die künftige Entwicklung der Stadtbäume in Hamburg 72

ANHANG

I. Steckbriefe von ausgewählten Baumstandorten 74
II. Vorschläge für Klimafolgenindikatoren für Stadtbäume 92
III. Weiterführende Informationen 98
IV. Abbildungen und Tabellen 109
V. Beteiligte Universitäten / Personen 110

VORWORT

„Wie ist die zukünftige Vitalität des Hamburger Bestandes an Straßenbäumen in Anbetracht der zu erwartenden Klimaveränderungen zu beurteilen? Wie wirken sich Trockenperioden und damit einhergehender Wassermangel im Boden auf Straßenbäume aus? Welche Planungen, Maßnahmen und Instrumente müssen für die Anpassung des Hamburger Straßenbaumbestandes an die Auswirkungen des Klimawandels kurz-, mittel- und langfristig entwickelt werden?"

All das sind Fragen, die zur Erarbeitung eines integrierenden Konzepts zur Anpassung des Hamburger Bestandes der Stadtbäume an den Klimawandel beantwortet werden müssen. Im Rahmen des BMU-Förderprojektes „Stadtbäume im Klimawandel" (SiK) haben das Institut der Bodenkunde und die Abteilung angewandte Pflanzenökologie (Universität Hamburg) und das Fachgebiet „Umweltgerechte Stadt- und Infrastrukturplanung" der HafenCity Universität Hamburg Befunde in enger Abstimmung mit dem Stadtbaum-Management der Behörde für Umwelt und Energie in Hamburg auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen produziert, ausgewertet und zusammengetragen. Gleichzeitig wurden die Ergebnisse regelmäßig mit wichtigen Akteuren im regionalen SiK-Verbund diskutiert und weiterentwickelt.

Das vorliegende Entwicklungskonzept gibt den aktuellen Stand des Wissens zu den Hamburger Stadtbäumen im Klimawandel wieder. Es beschreibt aktuelle Erkenntnisse zu den Wechselwirkungen zwischen Boden, Klima und Baum im städtischen Raum. Auf dieser Grundlage werden Indikatoren analysiert, die den Einfluss von Klimaveränderungen auf den Hamburger Baumbestand aufzeigen. Stadtbäume leben in und von Stadtböden, wobei limitierende Faktoren und Dynamiken aus einem umfassenden Stadtbaum-Monitoring erarbeitet werden. Es gibt außerdem unterschiedliche Baumarten, die unterschiedlich reagieren. Zukunftsbaumkriterien sollen zeigen, wie eine standortgerechte Baumauswahl stattfinden kann. Zugleich werden Baumstandorte als Teil des dezentralen Regenwassermanagements untersucht.

Ergebnis ist eine Studie, die als Entwicklungskonzept in das Handeln der städtischen Verwaltung Einzug nehmen kann. Darüber hinaus erhalten alle beteiligten Partner des regionalen SiK-Verbundes wichtige Informationen für ihren Arbeitsprozess. Das Entwicklungskonzept nimmt Bezug zur Entwicklung des Baumbestands der Stadt Hamburg, bewertet konkrete Bäume und Baumstandorte im Hamburger Stadtgebiet und liefert explizit Handlungsvorschläge für Bäume in den typischen Stadtstrukturen sowie Planungs- und Verwaltungsprozesse der Stadt. Um sich der Komplexität des Themas zu nähern werden einige Standorte in Form von Steckbriefen analysiert. Deren Potenzial wurde hinsichtlich klimarobuster Baumarten, ihrer Substratzusammensetzung, ihrer Einleitung durch Regenwasser vom Dach oder im Rahmen der Integration von Nutzungsinteressen untersucht. Klimafolgenindikatoren für Stadtbäume werden vorgeschlagen.

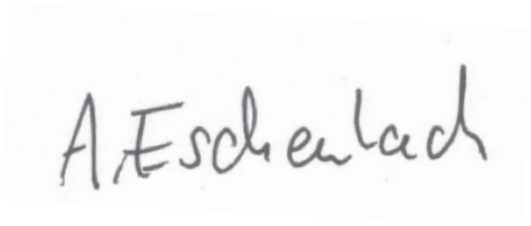
Das Entwicklungskonzept hebt hervor, dass dem Klimawandel insbesondere durch den Erhalt des älteren Baumbestands begegnet werden kann. Besonders Stadtbäume, die mehr als 40 oder 50 Jahre gewachsen sind, können ihre Wirkung für das Stadtklima auch in Zukunft entfalten, da sie ihre Lebensfähigkeit unter Extrembedingungen insbesondere an Straßen unter Beweis gestellt haben.

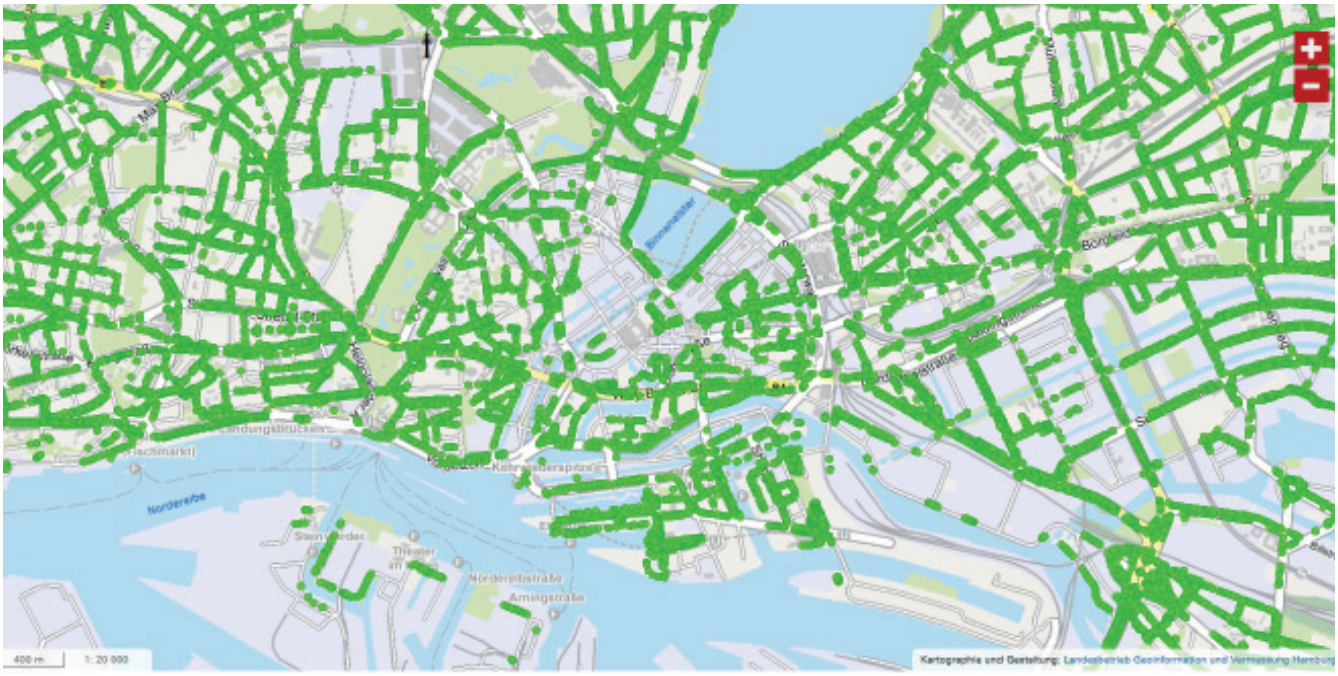
Das SiK-Team bedankt sich für einen spannenden Arbeitsprozess der letzten vier Jahre mit zahlreichen intensiven Diskussionen in den begleitenden Arbeitsgruppen. Die Erarbeitung des Entwicklungskonzeptes wäre ohne diese interdisziplinäre Kooperation nicht möglich gewesen. Wir wünschen uns eine umfangreiche Einbeziehung des Entwicklungskonzeptes in städtische Planungen. Wir denken, dass hierdurch die Stellschrauben für die Zukunft der Stadtbäume vor dem Hintergrund des Klimawandels bei aller Komplexität ein wenig handhabbarer werden können.

In diesem Sinne,
mit freundlichen Grüßen

Annette Eschenbach und Wolfgang Dickhaut

im Dezember 2018







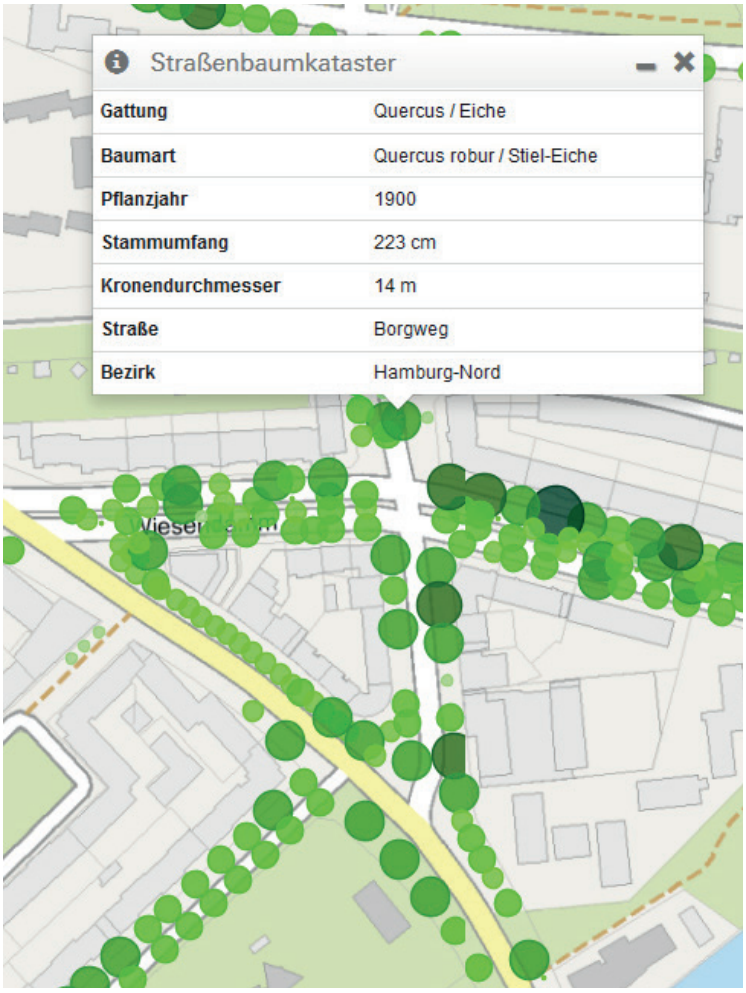


Abb. 1.1: Ausschnitt aus dem frei zugänglichen Online-Baumkataster (oben), Alte Stileiche aus dem Jahr 1886 am Borgweg (links), Standort und Datenblatt im Straßenbaumkataster (rechts). Quelle: Gerhard Doobe, Hamburg (links), Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung Hamburg, abrufbar unter http://www.hamburg.de/strassenbaeume-online-karte (oben & rechts)

1. Hintergrund und Problemstellung

Ein Entwicklungskonzept für Stadtbäume muss vom Baum her betrachtet werden.

Bäume als ein zentrales Element grüner Stadtstrukturen, haben eine hohe ökologische und ästhetische Bedeutung, besonders für die Lebensqualität in stark verdichteten Städten. Gleichzeitig unterliegen Städte einem erheblichen Nutzungsdruck. Neue Wohngebiete oder Straßen benötigen Raum und konkurrieren mit den Bäumen um die knappe Ressource Fläche. Nicht selten müssen Bäume gefällt werden, um ein neues Wohnquartier bauen zu können (Ottitsch und Krott 2005; Rößler 2015).

Stadtbäume tragen mit ihren lokalklimatischen Ausgleichsfunktionen zur Lebensqualität gerade in dicht besiedelten Gebieten der Städte bei (Gillner et al. 2007). Hamburg hat mit rd. 225.000 Straßenbäumen, 600.000 Parkbäumen und einer bisher nicht abgeschätzten Anzahl an Privatbäumen einen sehr großen Bestand und wird nicht zuletzt aus diesem Grund auch als „grüne und lebenswerte Metropole" wahrgenommen (FHH 2009, 2012). Die städtischen Bäume in Hamburg sind in einem digitalen und GIS basierten Baumkataster erfasst, in dem beispielsweise Angaben zur Art, zum Alter, zur Lokalität sowie zum Zustand jedes einzelnen Baumes hinterlegt sind. Abbildung 1.1 zeigt eine Übersicht des Innenstadtgebietes mit einer beispielhaften Darstellung einer 118-jährigen Stiel-Eiche am Borgweg. Der Altbaum unterliegt seit Jahrzehnten dem starken Nutzungsdruck im Straßenraum. Insbesondere sommerliche Hitze- und Trockenperioden oder Stürme stellen eine Gefährdung für die Hamburger Bäume dar. Bereits heute sind Schädigungen der Stadtbäume aufgrund klimatischer Veränderungen zu beobachten. Das Hamburger Baumkataster gibt dazu umfassende Hinweise. Darüber hinaus gefährden neu eingeführte Krankheiten und Schädlinge, die durch höhere Temperaturen oder ein verändertes Niederschlagsgeschehen in Norddeutschland begünstigt werden, zunehmend mehr Baumarten (GALK-Arbeitskreis Stadtbäume 2009).

Die Identifizierung von Ursachen der Schäden an Stadtbäumen ist schwierig: Oft kann nicht eindeutig festgestellt werden, ob die Baum-Schädigungen allein auf klimatische Veränderungen zurückzuführen sind, denn auch andere anthropogene Einflüsse wirken sich auf den Zustand der Bäume in Hamburg aus. Besonders die Straßenbäume sind beispielsweise durch Verletzungen an Stamm- und Wurzel, Streusalzeintrag, Bodenverdichtung und -versiegelung oder eingeengten Wurzelraum in ihrem Anpassungspotenzial deutlich stärker gefordert. (z.B. Ehrhardt 2015). Daher können sich Veränderungen des Klimas einschneidender auswirken, Trockenstress und Hitze häufen sich und halten länger an. Dies tolerieren viele einheimische Baumarten nur eingeschränkt. Als Folge des Klimawandels wird eine Tendenz zu mehr und zu längeren Trockenphasen erwartet. Für Norddeutschland ist damit zu rechnen, dass es in den Sommermonaten weniger regnet als heute. Gleichzeitig wird es mehr Starkregenereignisse und höhere Temperaturen geben (Norddeutsches Klimabüro 2015; Rechid et al. 2014). Besonders Stadtbäume werden deshalb zukünftig immer häufiger in Trockenstress geraten (Böll et al. 2014).

Wie Stadtbäume und einzelne Baumarten auf diese Veränderungen genau reagieren, ist derzeit nur ansatzweise untersucht. Deshalb ist es erforderlich, Konzepte zum Monitoring und zum Umgang mit Stadtbäumen bei Klimaveränderungen zu entwickeln. Dabei ist vielen Baumexperten bereits heute klar: „Es zeichnet sich schon jetzt ab, dass etliche klassische Stadtbaumarten in unseren Breiten den künftigen Anforderungen nicht mehr gewachsen sein werden." (Böll et al. 2014, S. 3). Neben der Frage, welche Baumarten besonders sensibel auf Hitze oder Trockenheit reagieren, stellt ein zentraler Ansatz bei der Anpassung an Klimaveränderungen die Optimierung von Baumstandorten dar. Auch kann die Auswahl und Schichtung von bestimmten Substraten dazu beitragen, die Wasser-, Nährstoff- und Luftzufuhr für Bäume zu fördern (z.B. BBSR 2015; Embrén et al. 2009; MORO Klamis 2011; Rößler 2015) und damit die Toleranz von Bäumen gegenüber Klimaveränderungen verbessern. Eine Detailfrage daher ist: Wie kann Regenwasser beispielsweise in der Pflanzgrube zwischengespeichert werden, um die Wasserverfügbarkeit für die Bäume in Trockenzeiten zu verbessern, ohne durch Übernässung des Wurzelraumes Folgeschäden an den Bäumen auszulösen?



Mein Baum
Meine Stadt
Ich mach' mit.



„Mein Baum – Meine Stadt. Ich mach' mit!"

Trotz der Millionenbeträge, die für neue Bäume seitens der Hamburger Behörde für Umwelt und Energie (BUE) aufgewendet werden, gab es in den letzten Jahren in Hamburg mehr Fällungen als Neupflanzungen. (siehe Kap. 2) Die Spendenaktion „MeinBaum – Meine Stadt. Ich mach' mit!" ermöglicht es den Hamburger Bürgerinnen und Bürgern, über eine Spende einen Baumstandort auszuwählen und gemeinsam mit Mitteln des Senats einen Baum zu pflanzen. Die Aktion stammt aus dem Jahr 2011, in dem Hamburg europäische Umwelthauptstadt war. Sobald für einen Standort 500 Euro zusammen gekommen sind, werden seitens des Senats noch die erforderlichen 500–1.000 Euro hinzu gegeben, damit ein Baum gepflanzt werden kann. Auf einer interaktiven Karte (vgl. Abb. unten) können ein oder mehrere Spender zunächst einen freien Standort auswählen (rote Markierung). Nach der Pflanzung wird der Baum grün markiert und gilt somit als gepflanzt. Kooperationspartner der Aktion ist die Loki-Schmidt-Stiftung, die den Spendern bei der Standortauswahl hilft, Spendenbescheinigungen ausstellt und Urkunden aushändigt. Allein im Auftaktjahr 2011 kam ein Spendenvolumen von mehr als 300.000 Euro zusammen. So konnten zu den 2011 Bäumen, die der Senat alleine gepflanzt hat, weitere 600 Bäume mit den Spendern gepflanzt werden.

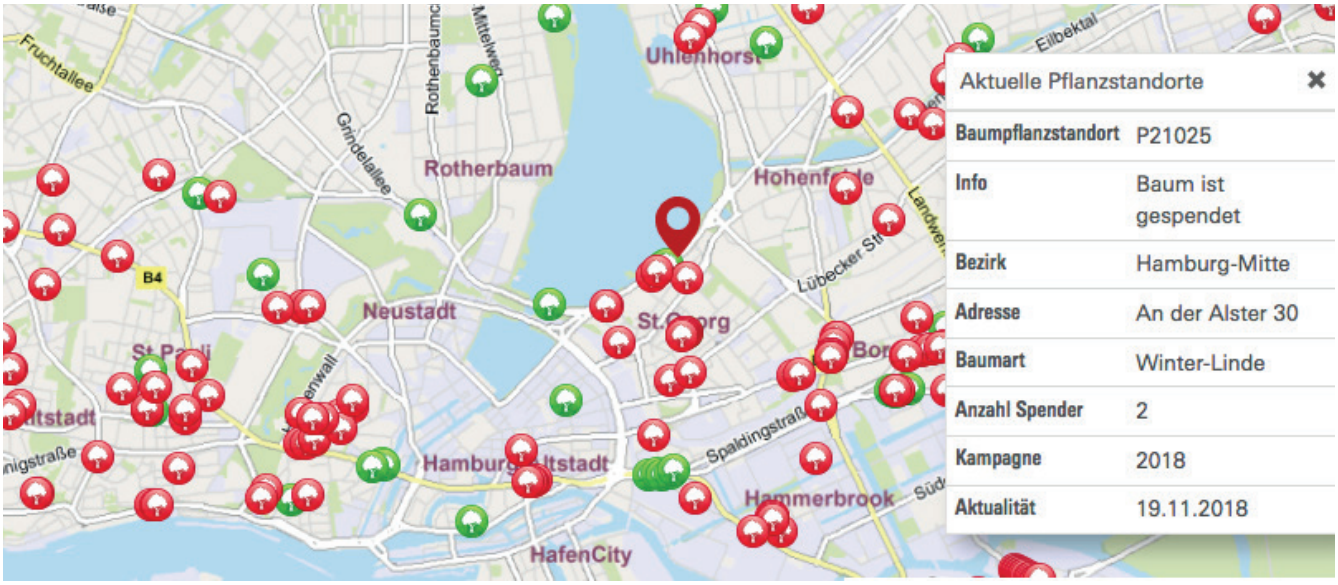


Abb. 2.1 : Infobox zur Aktion „Mein Baum – Meine Stadt. Ich mach' mit!".
Karte: Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung Hamburg, abrufbar unter http://www.hamburg.de/mein-baum-meine-stadt/, Bilder: Mareike Fellmer

2. Funktionen und Entwicklungstrends

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Bedeutung der Hamburger Stadtbäume für die Lebensqualität, das Stadtklima und die Gestaltung von Straßenräumen sowie Wohnquartieren. Zudem werden die aktuellen städtischen Entwicklungstrends in Hamburg dargestellt, die einen Einfluss auf den Hamburger Baumbestand haben. Ziel dieser Darstellung ist es, die Funktionen der Bäume in der Stadt, aber auch ihre Ausgangsbedingungen aufzuzeigen, um auf dieser Basis den Umgang mit Stadtbäumen bei Klimaveränderungen bewerten zu können.

2.1 Bedeutung von Bäumen in der Stadt: Baumfunktionen

Bäume sind ein zentrales Element grüner Stadtstrukturen. Sie haben eine hohe ökologische und ästhetische Bedeutung, besonders für die Lebensqualität in einer stark verdichteten Stadt wie Hamburg. Insbesondere Altbäume können als besonders wertvoll angesehen werden, da sie über Jahrzehnte ihre Standfestigkeit bewiesen haben. Sie haben über ihr Wurzelwachstum tief liegende Wasser- und Nährstofressourcen erschlossen und können demnach Zeiten der Trockenheit viel besser überstehen als Jungbäume. Der große Wurzelraum bedingt für die Altbäume geringere Probleme mit Trockenstress, das große Kronenvolumen erfüllt über Verdunstung und Schatten eine Klimafunktion im Verdichtungsraum, die nicht durch Neupflanzungen an anderer Stelle ersetzt werden kann.

Gleichzeitig herrscht in einer wachsenden Stadt ein erheblicher Nutzungsdruck, der auch zu Lasten der Stadtbäume geht. Laut Roloff (2013) haben heute neu gepflanzte Stadtbäume eine bis zu 50 % niedrigere Lebenserwartung als vor Jahrzehnten gepflanzte. Neue Wohngebiete oder Straßen benötigen Freiflächen und konkurrieren mit den Bäumen um die knappe Ressource Fläche. Nicht selten müssen Bäume gefällt werden, damit Baulücken nachverdichtet, Fahrradwege, Busspuren oder andere Baumaßnahmen umgesetzt werden können (Ottitsch und Krott 2005; Rößler 2015). Es ist daher wichtig, dem Erhalt des städtischen Baumbestandes in allen Planungs- und Bauvorhaben der Stadt eine hohe Priorität beizumessen. Dazu unterstreichen die folgenden Baumfunktionen die Bedeutung von Bäumen in der Stadt:

- **Bäume sorgen für eine gute Lebensqualität in Städten,** weil sie mit ihren Eigenschaften zu einem positiven Stadtklima beitragen, Straßenräume aufwerten, Lebensraum für Tiere und Pflanzen sind und menschliches Wohlbefinden + Lebensqualität erhöhen (FHH 2017; Roloff 2013; Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin 2017).
- **Bäume sind Lebensraum für Tiere und Pflanzen:** Viele Bäume bieten einen wertvollen Lebensraum für Tiere und Pflanzen in oder unter den Bäumen. Besonders in der Stadt stellen die Bäume den zentralen und oft einzigen grünen Raum dar. Viele verschiedene Baumarten gemeinsam leisten damit auch einen wesentlichen Beitrag zur biologischen Vielfalt in Städten. Daher ist es auch besonders wichtig, die biologische Vielfalt durch die Auswahl der Baumarten und -sorten zu unterstützen.
- **Bäume sorgen für eine saubere Luft:** Bäume verarbeiten über ihre Blätter Kohlendioxid und produzieren mithilfe von Sonnenenergie Sauerstoff. Wie viel Sauerstoff ein Baum pro Tag produzieren kann, hängt von seiner Größe und der Anzahl seiner Blätter ab. Darüber hinaus können die Bäume über die Blattoberfläche Schadstoffe und Stäube aus der Luft filtern. Wir wissen, dass Bäume allerdings auch zu einer ungünstigen Schadstoffverteilung beitragen können, wenn Fragen der Luftzirkulation bei der Planung nicht ausreichend berücksichtigt werden. Viele Studien zeigen, dass das Potential von Stadtgrün zur Deposition von Ozon höher ist als der mögliche Beitrag der Stadtbäume zur Ozonbildung über die Freisetzung von reaktiven flüchtigen organischen Verbindungen (BVOC). Ist die Luftverschmutzung in einer Stadt zu hoch, werden die Bäume krank und können sogar sterben.
- **Bäume schützen uns vor Wind und Regen:** Bäume mit einer ausreichend großer Baumkrone fangen den Regen ab und stellen damit einen natürlichen Regenschirm dar. Besonders in Reihen gepflanzt schützen sie zudem vor Wind und fördern damit die Aufenthaltsqualität in den Straßen für Bewohner sowie für Tiere, die in den Bäumen Schutz suchen.
- **Stadtbäume verschönern Straßenräume:** Bäume in der Stadt tragen zum Wohlbefinden bei. Viele Menschen fühlen sich mit Bäumen in einer Straße oder auf einem Platz wohler und identifizieren sich gleichzeitig stärker mit der Umgebung. Bäume mit ihren unterschiedlichen Farbnuancen und Strukturen (Größe, Kronen- und Blattform) werten Stadtquartiere und Straßenräume auf. Sie haben folglich eine positive ästhetische Wirkung in Städten. Bäume wirken zudem wertsteigernd auf Immobilien (Hoffmann/Gruehn 2010).
- **Bäume fördern die Sicherheit im Straßenverkehr:** Alleen und Baumreihen entlang der Straße tragen zur Orientierung und Lenkung des Straßenverkehrs bei. Gleichzeitig schützten sie Auto- und Radfahrer mit ihrem Blätterdach vor gefährlichen Spiegel- und Blendeffekten. Diese Straßenbäume haben deshalb einen bedeutenden Stellenwert für die Verkehrssicherheit.
- **Bäume spenden Schatten und Abkühlung an heißen Sommertagen:** Ein Stadtbaum bietet mit seinen vielen Blättern Schutz vor Sonne. Zudem kühlen sie durch Transpiration an heißen Tagen die Umgebung und spenden uns Feuchtigkeit. Sie sind deshalb besonders für das lokale Stadtklima von großer Bedeutung. Auch für die Anpassung an Klimaveränderungen sind Bäume deshalb sehr wichtig. So können Bäume gerade in sehr dichten Stadtquartieren Hitzestress vorbeugen und abmildern.

- **Bäume zeigen den Wandel der Jahreszeiten:** Besonders in Städten mit wenig Grünflächen sind die Bäume für das Erleben der Jahreszeiten wichtig. Je nach Jahreszeit sehen die Bäume anders aus. Der Austrieb und die Blüte kündigen den Frühling an, während die Früchte im Sommer reif sind. Je nach Baumart ist die Färbung der Blätter für den Herbst prägend. Der Raureif auf den Blättern ist wiederum für den Winter kennzeichnend.
- **Bäume sind Zeitzeugen:** Rückblickend betrachtet grenzt es fast an ein Wunder, wenn in einer Stadt heute noch prächtige alte Bäume stehen. Es war für diese Bäume nicht einfach, ganze Jahrhunderte zu überstehen. Gerade Eichen wurden in der Vergangenheit als Baumaterial verwendet und aus diesem Grund gefällt. Auch Kriege und Naturkatastrophen führten zum Verlust vieler Bäume. Die ältesten Hamburger Bäume sind mit über 800 Jahren zwei alte Eiben in den Bezirken Harburg und Altona. (FHH – Freie und Hansestadt Hamburg (2018): Bäume sind Zeitzeugen. Online unter: https://www.hamburg.de/baeume/geschichte/)

Demnach bereichern Bäume nicht nur aus ästhetischen Gründen Stadtquartiere und Straßen, sie tragen auch zu einer guten Lebensqualität bei, indem sie zu einem besseren Stadtklima beitragen. Besonders als Lebensraum und als Zeitzeugen sind sie zudem für die Städte sehr wertvoll. Umso wichtiger ist es, Bäume – insbesondere die etablierten Bestands- und Altbäume – vor Baumaßnahmen zu schützen und geeignete Strategien zu entwickeln, um die Bäume auch in Zeiten des Klimawandels zu erhalten.

2.2 Entwicklungstrends in der wachsenden Stadt Hamburg

Stadtbäume sind extremen Bedingungen ausgesetzt. Dies sind beispielsweise ein hoher Versiegelungsgrad, eine hohe Bodenverdichtung sowie ein durch die Abwärme von Bauwerken beeinflusstes Mikroklima mit höheren Temperaturen (Roloff 2013). Abbildung 2.2 zeigt den Verlauf von 1850 bis 2016 der jährlich gepflanzten Bäume im Hamburger Stadtgebiet. Von Mitte der 1970er Jahre bis Ende der 1980er Jahre wurden viele Baumpflanzungen durchgeführt – oft auch an Stellen, die ungeeignet und bis heute problematisch sind. Die Stagnation um 2000 kann mit der zu diesem Zeitpunkt beginnende dataillierte Erfassung der Bäume zusammenhängen, während das anschließende, weitere Absinken der Baumzahlen an den zurückgefahrenen Ersatzpflanzungen liegt. Mit der Baumkontrolle wurden viele Pflegedefizite bei Altbäumen erkannt, sodass Mittel für Baumpflanzungen weitgehend in die Unterhaltung und Verkehrssicherheit umgeleitet wurden. Mit dem Umwelthauptstadtjahr 2011 kam es wieder zu einer positiven Entwicklung, zumal die Stadt Hamburg Sondermittel für Neupflanzungen zur Verfügung gestellt hat.

Einer der brisantesten Entwicklungstrends ist in der zunehmenden Bebauung und damit einhergehender Bodenversiegelung zu sehen. Derzeit werden in Hamburg fast 60% der Fläche als Siedlungs- und Verkehrsfläche genutzt. Der Anteil der tatsächlich versiegelten Fläche betrug im Jahr 2014 etwa 38% (Taugs 2016).

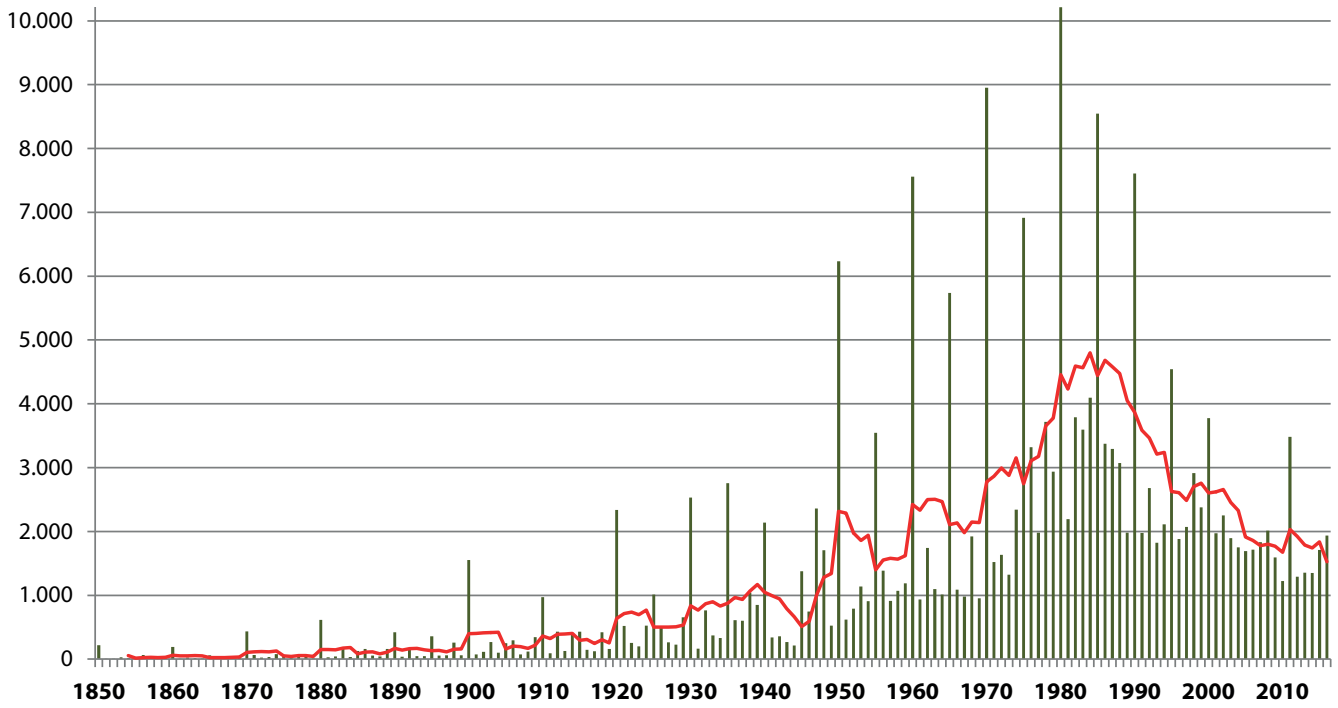


Abb. 2.2 : Anzahl der gepflanzten Bäume (y-Achse) in Hamburg pro Jahr (x-Achse) (1850-2016) (grüne Balken), Gleitender Durchschnitt alle 5 Jahre (rot)
Quelle: HCU basierend auf Daten der Beörde für Umwelt und Energie (BUE)

Wobei der Trend einer weiteren Bodenversiegelung anhält, so stieg z.B. zwischen den Jahren 2000 und 2014 die versiegelte Bodenfläche jährlich um ca. 100 ha (Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder 2018). Dies bedeutet, dass auch in Hamburg durch Neubebauung und Nachverdichtung Standorte für Stadtgrün und Stadtbäume wegfallen.

Zudem ist das Wurzelwachstum in Städten häufig durch beengte Pflanzgruben erheblich eingeschränkt. Dabei ist entscheidend, ob es der Baum schafft, sich außerhalb der Pflanzgrube Wurzelraum zu erschließen. Wenn dies aufgrund von versiegelten Behältern oder Trennbereichen im Untergrund nicht möglich ist, beendet der Baum sein Wurzelwachstum, sobald der Rand der Pflanzgrube erreicht ist. Die Verdichtung der Böden und der hohe Grad der Versiegelung im potenziellen Wurzelbereich der Bäume führen dazu, dass der Gasaustausch sowie die Versickerung von Regenwasser im Boden gestört ist (vgl. Böll et al. 2014). (siehe S. 24 Monitorungstandorte) Diese Standortfaktoren verstärken sich meist nochmal für Straßenbäume, bei denen der Wurzelraum häufig noch eingeschränkter ist als bei Bäumen in Parks oder in Wohngebieten. Deshalb gelten für die Auswahl von Straßenbäumen besondere Standortanforderungen. Dies sind u.a. die Toleranz bei Streusalz-, Hitze- und (UV-)Lichtrückstrahlung und Strahlung, die Toleranz gegenüber einem eingeschränkten Wurzelraum und die Unempfindlichkeit gegenüber Bodenverdichtung. Straßenbäume, die heute gepflanzt werden, haben erfahrungsgemäß m deshalb nur noch eine Lebenserwartung von 40 bis 50 Jahren.

Das zunehmende Heranrücken des Wohnungsbaus bis an die Grundstücksgrenze hat massive kleinklimatische Folgen. Durch den verengten Straßenraum wird dieser stärker aufgeheizt und die Bäume haben weniger Raum sich zu entfalten. Oftmals können aufgrund von zu geringer Gehwegbreite und fehlender Vorgärten gar keine neuen Bäume mehr gepflanzt werden. Die Ursachen sind auf eine Veränderung im Planungsverständnis zurückzuführen, indem die Planung sich immer mehr von den Bedürfnissen des Menschen nach mehr Stadtgrün entfernt. Der Natur muss auch in der verdichteten Stadt mehr Raum gelassen werden, ansonsten geht die Entwicklung auf Kosten der positiven Bedingungen, die durch die Baumfunktionen hervorgebracht werden (Doobe 2017; Roloff 2013). Die in Hamburg angestrebte Erhöhung der Aufenthaltsqualität im Straßenraum ist durch diese Tendenzen gefährdet.

Aber auch Aspekte der Straßengestaltung und -reinigung sind bei der Auswahl von Straßenbäumen relevant, z. B. eine Mindestgröße für einen Lichtraumprofilschnitt oder eine begrenzte Größe der Früchte, denn für die Verkehrssicherheit ist es geboten, einen vorgeschriebenen lichten Raum über Straßen einzuhalten (Roloff 2013). Derzeit verstärkt sich der Nutzungsdruck für die Straßenbäume. Der Ausbau von Fahrradrouten, das Busbeschleunigungsprogramm sowie der Bau neuer Wohnungen im Rahmen des Wohnungsbauprogramms Hamburgs führen immer häufiger dazu, dass Bäume für deren Flächenbedarfe gefällt werden sollen. Werden Jungbäume gefällt, stellt dies zunächst einen wirtschaftlichen Verlust für die Stadt Hamburg

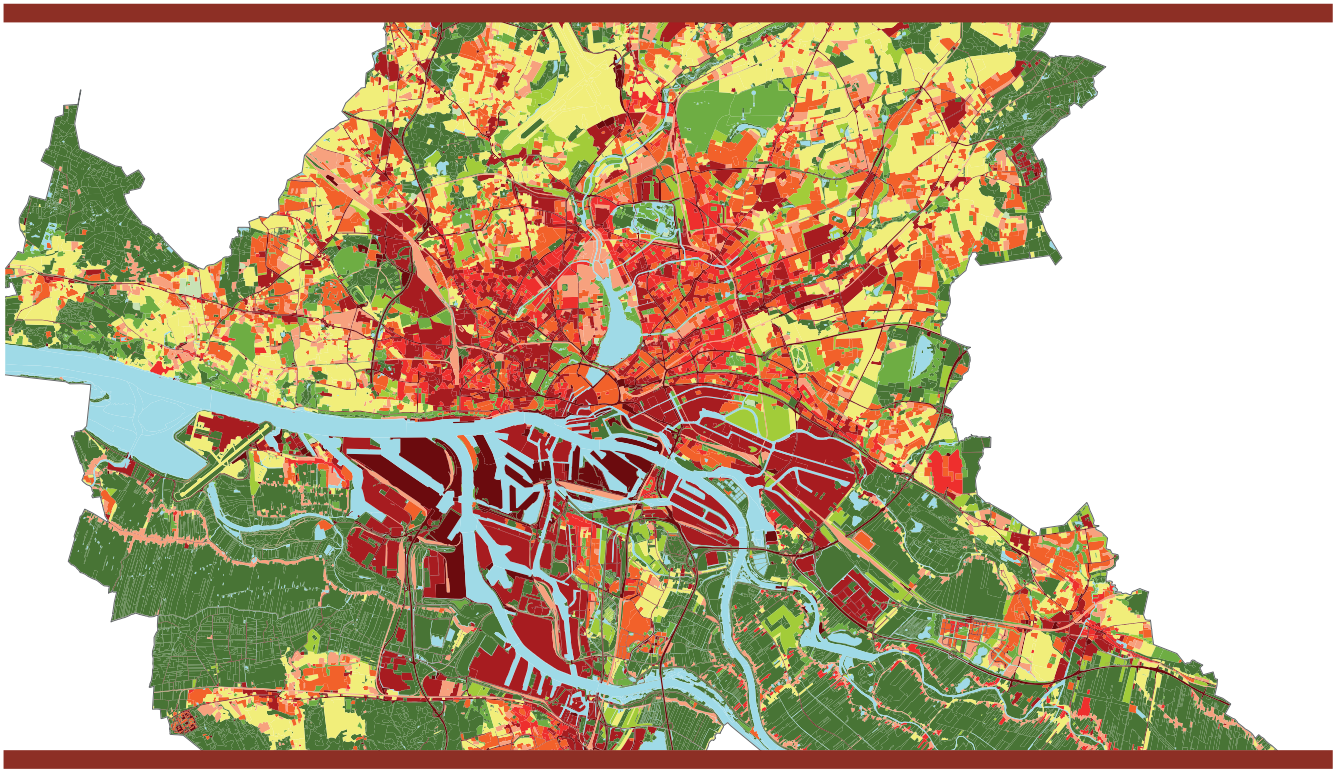


Abb. 2.3: Kartenausschnitt zur Bodenversiegelung für das Jahr 2012 (rechts). Quelle: BSU (2013)

dar. Jedoch sind immer häufiger auch etablierte Bestands- und Altbäume betroffen, da große Baumaßnahmen wie z. B. der U-Bahnausbau nur wirtschaftlich bleiben, wenn die Straßenräume oberirdisch geöffnet und komplett für diese Baumaßnahme bereinigt werden.

Dies hat zur Folge, dass in diesen Planungsverfahren seitens der Landschaftsplanung und der Grünämter um den Erhalt solcher Bäume gekämpft werden muss (vgl. hierzu auch Kapitel 5.4 „Zuständigkeiten und Zusammenarbeit"). Hier muss der Stellenwert und die Bedeutung besonders von Bäumen im Straßenraum, die älter als 40-50 Jahre sind immer wieder deutlich gemacht werden. Im Gegensatz zu rückbaubaren Straßenbaumaßnahmen sind gefällte Altbäume unwiederbringlich verloren. Als weiteres, großes Problem sind Eingriffe in den Wurzelraum mit Verletzungen der Versorgungs- oder der Haltewurzeln die Hauptursache für abgängige Bäume. Es steigt die Gefahr, dass der Baum durch Wurzelfäule über Jahre hinweg seine Vitalität und Standsicherheit verliert oder aufgrund gekappter Haltewurzeln aus Sicherheitsgründen sofort gefällt werden muss. Vitalitätsminderungen führen zudem zu einer erhöhten Anfälligkeit für Krankheiten und mindern die Wiederstandskraft gegenüber Schädlingen (Doobe 2017).

2.3 Standort- und Wuchsbedingungen von Stadtbäumen

Für Bäume stellen die vom Menschen erschaffenen Städte Extremstandorte dar. Der ursprüngliche Lebensraum ist vor allem durch die Bebauung überprägt, so dass sich in den Städten charakteristische Standorteigenschaften und Wuchsbedingungen für die meist gepflanzten Bäume entwickelt haben. Dabei lassen sich drei typische Standorte für Bäume in der Stadt identifizieren: Straßenränder, Parks und Gärten. Sie unterscheiden sich insbesondere durch die Bodensubstrate und die Intensität des anthropogenen Einflusses. Im Folgenden liegt der Fokus auf den Straßenbäumen.

Standortfaktor Stadtboden

Ein sehr wichtiger Faktor, der das Wachstum der Bäume prägt, ist der Boden. Der Boden bildet die Grundlage für die Entwicklung der Bäume. Er bietet Raum und Stabilität für das Wurzelwachstum und versorgt den Baum mit Wasser und Nährstoffen.

Im urbanen Raum können naturnahe Böden, gestörte Böden und Böden versiegelter Standorte unterschieden werden (Schickoff / Eschenbach, 2018). Bei naturnahen Böden handelt es sich um Böden, die je nach Ausgangsmaterial in einer mehr oder weniger langen Phase der Bodengenese entstanden sind. In Hamburg sind die natürlichen Böden durch das Ausgangsmaterial der letzten Eiszeiten und Sedimentablagerungen des Elbe-Ästuars geprägt. So haben sich unter anderem Braunerden, Podsole, Gleye, Pseudogleye und Flussmarschen ausgebildet (Miehlich 2010; FHH 2012c). An manchen Standorten in der Stadt weisen diese Böden noch einen geringen anthropogenen Einfluss auf. Gemeinsam ist diesen naturnahen Stadtböden, dass ihre Eigenschaften und Funktionen ähnlich wie bei Böden außerhalb der Stadt sind und bestehendes Wissen sich daher leichter übertragen lässt.

Gestörte Böden sind im Zuge von Baumaßnahmen durch Bodenauftragungen, Bodenabtragungen und Durchmischungen erheblich gegenüber dem ursprünglichen Zustand verändert (Henninger 2011). Sie beinhalten oft technogene Substrate wie Bauschutt, Trümmerschutt, Aschen, Müll oder Schlacken (Eschenbach und Pfeiffer 2010; Henninger 2011; Endlicher 2012). Diese können mit Schadstoffen belastet sein oder tragen durch ihr Material zu veränderten physikalischen und chemischen Standortbedingungen bei (z.B. einem erhöhten pH bei kalkhaltigem Mörtel). An Straßenrändern überwiegen durch diese Eingriffe meist sandige, skelettreiche Böden (FHH 2012a), die kleinräumig sehr heterogen sind (z.B. Wolff 1993; FHH 2012a; Greinert 2015).

Eine Sonderkategorie dieser Standorte stellen bei Straßenbäumen die Standorte mit künstlichen Pflanzgruben dar. Pflanzgruben werden angelegt, um den Bäumen möglichst gute Wachstumsbedingungen zu bieten. Heute werden sie bei den meisten Baumneupflanzungen am Straßenrand genutzt (Endlicher 2012). Die Ausgestaltung dieser Gruben ist eine wichtige Einflussgröße bei der Gestaltung des Pflanzstandorts. Es gibt Unterschiede bei der Größe der Pflanzgrube, bei dem eingebrachten Pflanzsubstrat und gegebenenfalls zusätzlichen Maßnahmen wie dem Einsatz von Belüftungsrohren oder Drainagerohren. Für die ersten Jahre ist die Qualität des Pflanzgrubensubstrats (Körnung, Porengehalt, Nährstoffgehalte, Schichtung) ausschlaggebend für die Etablierung und die Wuchsleistung der gepflanzten Bäume. Später können die Bäume – abhängig von den Umgebungsbedingungen – gegebenenfalls mit ihren Wurzeln die Pflanzgrube verlassen und umliegende Nährstoff- und Wasserquellen erschließen (z. B. Endlicher 2012; FLL 2015). Die Wurzeln vieler Bäume haben allerdings Schwierigkeiten die Pflanzgrube zu verlassen, da sich z. B. die Bodeneigenschaften mit dem Übergang zu dem umgebenden Material sprunghaft verschlechtern (Krieter und Malkus 1996).

Bei versiegelten Standorten ist neben anderen Bodenfunktionen auch der Wasser- und Gashaushalt stark beeinträchtigt. In Abhängigkeit von den Versiegelungsmaterialien, der Vollständigkeit der Versiegelung und dem Alter der Versiegelung können die Niederschläge nur zu einem deutlich geringeren Anteil in den Boden eindringen als auf unversiegelten und nicht verdichteten Standorten (Wessolek 2001).

Kennzeichnend für die urbanen Gebiete mit ihrer intensiven und häufig auch schon sehr lange andauernden Nutzung ist der starke kleinräumige Wechsel von Bodenmerkmalen. Die oben genannten Einheiten können daher im Meterabstand im kleinräumlichen Mosaik nebeneinander vorkommen. Gemeinsam werden die Stadtböden durch die stadtspezifischen Stoffeinträge, das Stadtklima sowie die schwierigen Lebensbedingungen der Bodenorganismen geprägt.

Durch die Bebauung sowie durch das Überfahren und Begehen werden die Böden verdichtet (z.B. Wittig 2002). Dadurch hat der Boden weniger Mittel- und Grobporen, die Luft- und Wasser führen können. Somit ist bei diesen verdichteten Böden die nutzbare Feldkapazität geringer. Dieses bedeutet, dass das Wasser für die Pflanzen zu einem geringeren Anteil nutzbar ist und dadurch schneller Trockenstress auftreten kann. Die Versiegelung der Oberflächen verschärft diese Problematik, da weniger Niederschläge in den Boden infiltrieren können. Zusätzlich wird das Niederschlagswasser zu einem großen Teil in Kanäle abgeleitet, so dass nur ein Teil des Wassers in den Boden versickern kann. Weiterhin verhindert die Versiegelung den Austausch mit der Atmosphäre; die Evaporation ist stark eingeschränkt. D.h. der Austausch der Bodenluft ist vermindert, dadurch kann ein Sauerstoffmangel (Ruge 1978) oder eine kritische Kohlendioxidbelastung entstehen. Zudem erschwert die dichte Lagerung das Wachstum der Wurzeln (Endlicher 2012).

Neben der Verdichtung haben die Substrateigenschaften einen Einfluss auf den Bodenwasserhaushalt. Die technogenen Beimengen, die typisch für viele Stadtböden sind, haben oftmals deutlich andere Texturen und Eigenschaften als das natürliche Bodenmaterial und verändern dadurch den Bodenwasserhaushalt (insbesondere die Wasserhaltekapazität, die Porengrößenverteilung und die Wasserleitfähigkeit) deutlich. So kann grobes Material wie Bauschutt zum Beispiel zu einer Zunahme der Grobporen führen und sich positiv auf die Durchwurzelung auswirken, feines Material hat dagegen einen gegenteiligen Effekt.

Ein weiteres Problem kann die Nährstoffversorgung darstellen. Durch die Versiegelung der Oberflächen werden weniger Nährstoffe in den Boden eingetragen. Die Straßen und Gehwege werden gefegt und die Grünflächen gepflegt, dadurch wird das Laub der Bäume und Sträucher mit den darin enthaltenen Nährstoffen von den Standorten entfernt. Durch den verringerten Humuseintrag ist die Anzahl der Bodenlebewesen und deren Artenreichtum verringert und unterscheidet sich deutlich von dem an naturnäheren Standorten wie Wiesen und Wäldern. Auch die Bodentemperaturen beeinflussen die mikrobielle Aktivität und damit die Abbaugeschwindigkeit von der organischen Substanz (Krieter und Malkus 1996), die für den Nährstoffhaushalt der Pflanzen wichtig ist. Dorendorf et al. (2015) zeigten, dass das Laub von Stadtbäumen schneller zersetzt werden kann als das von weiter außerhalb der Stadt gewachsener Bäume, da die Streuqualität bei Stadtbäumen verändert ist.

Nicht nur ein Mangel der für die Pflanzen günstigen Nährstoffe kann ein Problem darstellen. Auch ein Überangebot oder ungünstige Konzentrationsverhältnisse haben negative Folgen. Auch ein Überschuss an Stickstoff und Phosphat kann insbesondere an Pflanzgruben am Straßenrand festgestellt werden (Kasielske und Buch 2011). Außerdem kann die Harnsäure von Hundeurin die Bäume direkt beschädigen.

Die Bäume an den Straßenrändern sind von einer zusätzlichen Belastung durch Salze betroffen. Von den Winterdiensten werden Auftausalze verwendet, um die Straßen frei von Eis zu halten. In geringen Konzentrationen werden diese Salze als essentielle Nährstoffe von den Bäumen benötigt. Doch durch die hohe Streusalzbelastung entstanden insbesondere von den 60er bis 80er Jahren des 20. Jahrhunderts starke Salzschäden an den Bäumen (Petersen und Eckstein 1988). Bevor äußerliche Schäden wie Blattrandnekrosen oder ein verfrühter Blattverlust sichtbar werden, kann der Baum bereits durch Stoffwechselstörungen, die zu Wachstumseinbußen führen, beeinträchtigt sein. Folgen für den Baum können eine langsamere Holzbildung, eine verkürzte Wachstumszeit, die Abnahme der Biomasse aller Organe oder die Anlage von weniger Knospen, Trieben, Blättern und Wurzeln sein. Bei hoher Salzkonzentration können auch direkte Gewebeschäden auftreten (Petersen und Eckstein 1988). Eine weitere Folge des Salzstresses ist, dass die betroffenen Bäume empfindlicher auf Wasserstress reagieren (Petersen und Eckstein 1988). Durch die hohen Salzkonzentrationen werden andere Nährstoffe im Boden verdrängt (Rust 2008; Wittig 2012) und die Struktur des Bodens wird verändert: Der Boden kann verkrusten und damit die Nährstoffaufnahme durch die Baumwurzeln erschweren. Weiterhin kann die Stabilität der Bodenstruktur, des Bodengefüges durch die dispergierende Wirkung der Salz Ionen abnehmen (FHH 2012c). Seit dem Bekanntwerden dieser Problematik wurde der Einsatz der Auftausalze verringert bzw. zum Teil verboten. Dennoch werden sie bis heute eingesetzt, um die Sicherheit im Straßenverkehr bei schlechter Witterung im Winter zu gewährleisten.

In den Städten und insbesondere an den Straßenrändern sind die Schadstoffgehalte oft erhöht. Die technogenen Einträge in den Böden enthalten häufig vermehrt Schadstoffe. Aber nicht nur diese direkten Schadstoffeinträge in die Böden führen zu einer erhöhten Schadstoffbelastung für die Stadtbäume. Die Nähe zu den Schadstoffentstehungsorten, wie den Industriegebieten, den Verkehrswegen und den Haushalten bedingt ebenfalls die hohe Belastung. Die Schadstoffe gelangen unter anderem durch atmosphärische Deposition direkt zu Bäumen und urbanen Böden, aber auch über direkte Stoffeinträge wie Reifenabrieb oder Auswaschungen durch Niederschläge, Spritzwasser oder durch den Oberflächenabfluss in den Boden (z.B. Wittig 2002; Henninger 2011). In Hamburg sind erhöhte Schadstoffgehalte insbesondere von den Spurenmetallen Blei, Cadmium, Zink und Kupfer zu nennen (Lux 1986; Dües 1987; Umweltbehörde Hamburg 1994; Vybornova 2012). Allerdings sind viele Spurenmetalle an den Straßenrandböden wegen des hohen pH vergleichsweise immobil. Auch organische Schadstoffe wie z.B. PAK sind im Bereich der Straßenrandböden in erhöhten Konzentrationen zu ermitteln; als Quellen spielen hier die Kfz-Abgase, Reifenabrieb und Öl sowie Treibstoffrückstände eine große Rolle (Gras et al. 2000).





Platzmangel im Straßenraum von Altbäumen aufgrund zu klein bemessener Baumscheiben in der Lohbrügger Kirchstraße, Bezirk HH-Bergedorf Quelle: Malte Rehder

Der pH der urbanen Böden ist durch die anthropogenen Beimengungen vielerorts verändert. Dabei ist festzustellen, dass die Variation der Bodenreaktionen in der Stadt groß ist. So sind Böden in den Parks oftmals durch den sauren Regen stärker versauert. Dagegen weisen Straßenrandböden durch die anthropogenen Beimengungen (siehe oben) in der Regel einen vergleichsweise hohen pH auf. Die Bodenreaktion ist wichtig für Nährstoff- und Schadstoffbindung im Boden. Bei einem pH unter 5,5 werden z. B. viele Spurenmetalle zunehmend pflanzenverfügbar und können über das Bodenwasser verlagert werden (Henninger 2011). Bei alkalischen Bodenreaktionen sind Spurenmetalle und Nährstoffe dagegen fest gebunden und stehen damit den Pflanzen nicht zur Verfügung, so dass es zu Nährstoff-Mangelsituationen kommen kann. Daher wird für Bäume ein schwach saurer Boden empfohlen.

Standortfaktor Stadtklima

Das Klima in der Stadt unterscheidet sich von dem Klima ihrer Umgebung insbesondere durch eine höhere Temperatur. Dieses Phänomen ist bekannt als städtische Wärmeinsel (urban heat island) (z.B. Oke 1973; Kim 1992; Arnfield 2003; Eschenbach und Pfeiffer 2010). Die Temperaturerhöhung in den Städten ist unter anderem bedingt durch die dichte Bebauung mit einem hohen Versiegelungsgrad, die den Strahlungshaushalt und den Wasserhaushalt verändert (z.B. Kim 1992; Henninger 2011; Endlicher 2012). Einerseits wird die Globalstrahlung durch die „städtische Dunstglocke", zu deren Entwicklung unter anderem die Verkehrsemissionen beitragen, abgeschwächt, so dass die direkte Einstrahlung geringer sein kann. Andererseits gibt es an den Straßen kein geschlossenes Kronendach, das eine direkte Strahlung auf den Boden verhindern und so mittels Schattenwurf ein starkes Aufheizen des Bodens verringern könnte (Krieter und Malkus, 1996; Kuttler 2009). Durch die Reflexion, Absorption und Abstrahlung an künstlichen Oberflächen und der erhöhten Rückstrahlung sind die Anteile der diffusen Strahlung sowie der fühlbaren Wärme in der Stadt höher (Kuttler 2009). Innerhalb der Stadt gibt es deutliche Unterschiede in der Lufttemperatur abhängig von der Lage und der Nutzung der Flächen (z.B. Wiesner et al. 2014). In den bebauten oder versiegelten Stadtgebieten sind die Austauschprozesse zwischen Boden, Vegetation und Atmosphäre durch Versiegelung aber auch Verdichtungen gegenüber außerstädtischen Gebieten stark verändert. Die Verdunstung von Wasser (Evaporation und Transpiration), bei der eingestrahlte Energie in latente Energie umgewandelt wird und somit nicht dem fühlbaren Wärmestrom zur Verfügung steht, ist vermindert. Unversiegelte Böden sind dadurch in der Regel in den oberen Schichten kühler als die Böden der versiegelten Standorte. Weiterhin tragen unversiegelte Grünanlagen – in Abhängigkeit von deren Bodenwassergehalten – zu einer geringeren Erwärmung der Lufttemperatur bei (Wiesner et al. 2015,; Eschenbach, et al. 2016). Hinzu kommt, dass die Luftzirkulation vielerorts durch die Bebauung und die Lage und Ausrichtung der Straßenzüge schlecht ausgeprägt ist und einen geringeren Luftaustausch zur Folge hat (Bechtel et al. 2011). Die warme Luft bleibt in den Städten (Kuttler 2009). Nach Kuttler (2009) sind die städtischen Lufttemperaturen durchschnittlich etwa ein bis zwei Grad höher als in der Umgebung. In der Hamburger Innenstadt ist die Jahresmitteltemperatur bis zu 1,1°C höher (Schlünzen et al. 2010; Wiesner 2013; Bechtel et al. 2014; Wiesner et al. 2014) als in der umliegenden ländlichen Umgebung. Diese Überwärmung ist stark von den örtlichen und zeitlichen Bedingungen abhängig. In der Innenstadt ist sie besonders deutlich nachts sowie an Tagen mit keiner oder einer geringen Bewölkung bei gleichzeitig geringen Windgeschwindigkeiten (Wiesner 2013; Wiesner et al. 2014).

Die Temperaturunterschiede spiegeln sich auch in den unterschiedlichen Oberflächentemperaturen wieder. So sind Oberflächentemperaturen von Bäumen auf versiegelten Flächen wärmer als die von Parkbäumen (Leuzinger et al. 2010). Hinzu kommt, dass Straßenbäume teilweise in großer Entfernung zu anderen Bäumen auf freien Flächen gepflanzt werden, auf denen sie mit einer starken Einstrahlung zurechtkommen müssen, die die Transpiration der Bäume beeinflusst. Andere Standorte werden dagegen von hohen Gebäuden beschattet und erhalten kaum direktes Sonnenlicht. Im Allgemeinen sind die Straßenbäume in Bezug auf Temperatur und Einstrahlung einer höheren Belastung ausgesetzt als Parkbäume und Bäume in Wäldern außerhalb der Stadt.

In den Städten ist tagsüber die relative Luftfeuchtigkeit im Sommer niedriger als im Umland (z.B. Hage 1975; Lee 1991; Wittig 2002; Kuttler 2009). Durch die Versiegelung der Flächen und durch das Fehlen der Vegetation gibt es weniger Verdunstung (Eschenbach und Pfeiffer 2010). Dagegen können die Niederschläge in den Städten geringfügig höher als im Umland sein (Wittig 2002). Dieses wird mit der erhöhten Partikelanzahl in der Stadtluft begründet, die als Kondensationskerne fungieren und auf diese Weise die Wolkenbildung und somit die Niederschlagsentwicklung begünstigen. Der Vegetation in der Stadt steht trotz der ggf. höheren Niederschläge oft weniger Wasser zur Verfügung als an natürlichen Standorten, weil das Niederschlagswasser zu einem großen Teil direkt in die Kanalisation abgeleitet wird (Krieter und Malkus 1996; Henninger 2011). Zusätzlich tragen Versiegelung und Verdichtung der Böden zu einem höheren Oberflächenabfluss bei, so dass nur ein Teil der Niederschläge im Boden versickert (Henninger 2011; Endlicher 2012) und in den Wurzelraum der Bäume gelangt. Die Bäume, die das Bodenwasser für ihre Transpiration nutzen, beeinflussen damit auch das lokale Klima und tragen zur Abkühlung durch Transpiration und zur Erhöhung der Luftfeuchtigkeit bei (z.B. Kuttler 2009; Roloff 2013a; FLL 2015; Gillner et al. 2015). Als ein weiterer Aspekt, der den Wasserhaushalt betrifft, ist das Grundwasser zu nennen, das in der Stadt bei der Durchführung von Baumaßnahmen oft abgesenkt (Endlicher 2012) und somit nur für wenige Pflanzen erreichbar ist. Als Folge des Klimawandels werden sich zudem die Lufttemperatur erhöhen sowie das Niederschlagsgeschehen verändern (Rechid et al. 2014; Schlünzen et al. 2010, vgl. dazu auch Kapitel 3.1). Diese Veränderungen werden voraussichtlich eine weitere Herausforderung für den Bestand und die Entwicklung der Stadtbäume darstellen.

Weitere besondere Standortbedingungen

Ein weiterer Aspekt, der das Wachstum der Bäume in der Stadt beeinflusst, ist die Anwendung der Pflegemaßnahmen zugunsten der Verkehrssicherheit. Die Bäume werden in der Regel stärker beschnitten. Hinzu kommt, dass die Bäume mechanisch zum Beispiel durch Anfahren verletzt werden und die Wurzeln durch Grabungen gestört oder gekappt werden können (z.B. Endlicher 2012). Ein Hauptproblem, gerade in Großstädten stellt vor allem der Platzmangel im Straßenraum dar.

Als weitere besondere Standortfaktoren nennt Roloff (2013a und 2013b) Immissionen, Staubbelastung, Kunstlichtbestrahlung, Leckagen von Leitungen und die Rückstrahlung von Gebäuden. Kehr (2013) betont, dass sich die Häufigkeit des Auftretens von Krankheiten und Schädlingen in der Stadt von der im Wald unterscheidet und zudem aus Gründen der Ästhetik und Verkehrssicherheit anders bewertet wird und entsprechend früher Maßnahmen eingeleitet werden.

Durch die vielfältigen Stressfaktoren haben die Stadt- und insbesondere die Straßenbäume eine geringere Lebenserwartung als Bäume an natürlichen Standorten (Clark und Kjelgren 1990; Roloff 2013a; Roloff 2013b); ihre Lebenserwartung beträgt an Straßen nur ca. 25 % ihrer potentiellen Altersspanne (Roloff 2013a). Dadurch können die für die Menschen positiven Funktionen der Stadtbäume eingeschränkt werden, da der Stress eine geringere Leistungsfähigkeit, ein geringeres Wachstum und ein vorzeitigen Absterben der Bäume zur Folge haben kann (z.B. Clark und Kjelgren 1990; Maurel 2001; Rust 2008; Allen et al. 2010).

Stadtbäume sind also einer Vielzahl unterschiedlicher Stressoren ausgesetzt, die deren Wuchsleistung beeinträchtigen und zu Stresssymptomen führen können. An Standorten von Stadtbäumen können und werden diese Stressfaktoren zumeist in Kombination vorliegen. Das Wissen zu den Auswirkungen der anthropogenen standortbedingten Stressfaktoren, zu Schwellenwerten und auch artspezifischen Reaktionen der Bäume sowohl als Einzelfaktoren als auch deren Kombination ist bisher noch sehr eingeschränkt. Im Zuge des Klimawandels werden sich die Standortbedingungen für Stadtbäume weiter verändern. Es ist mit zunehmender Sommertrockenheit und extremeren Niederschlagsereignissen zu rechnen.

Ungeklärt ist bisher, in welchem Ausmaß sich dieser veränderte Bodenwasserhaushalt auf die Vitalität einzelner Baumarten oder -sorten auswirken wird. Insbesondere die Auswirkungen von Trockenperioden und reduzierter Bodenwasserverfügbarkeit auf unterschiedliche Arten und Sorten sollten im Fokus zukünftiger Untersuchungen stehen.

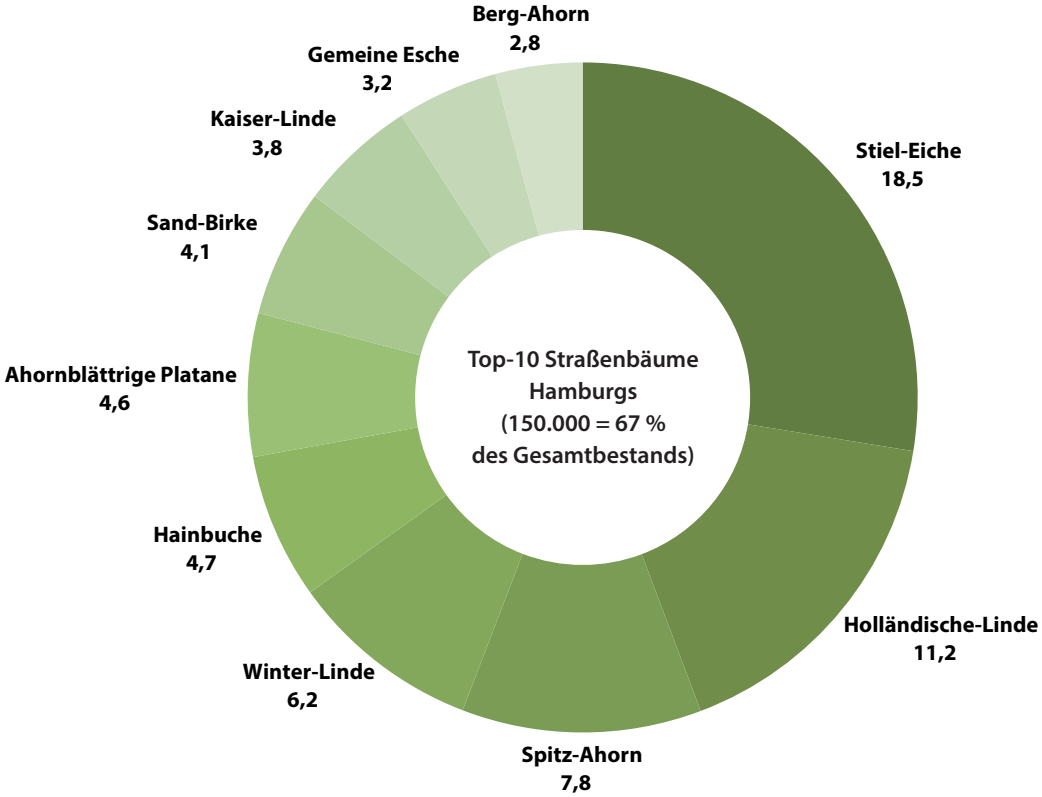


Abb. 3.1: Die 10 häufigsten Hamburger Straßenbaumarten in Prozent. Quelle: HCU 2017; Auswertung Straßenbäume nach Zahlen BUE 2016

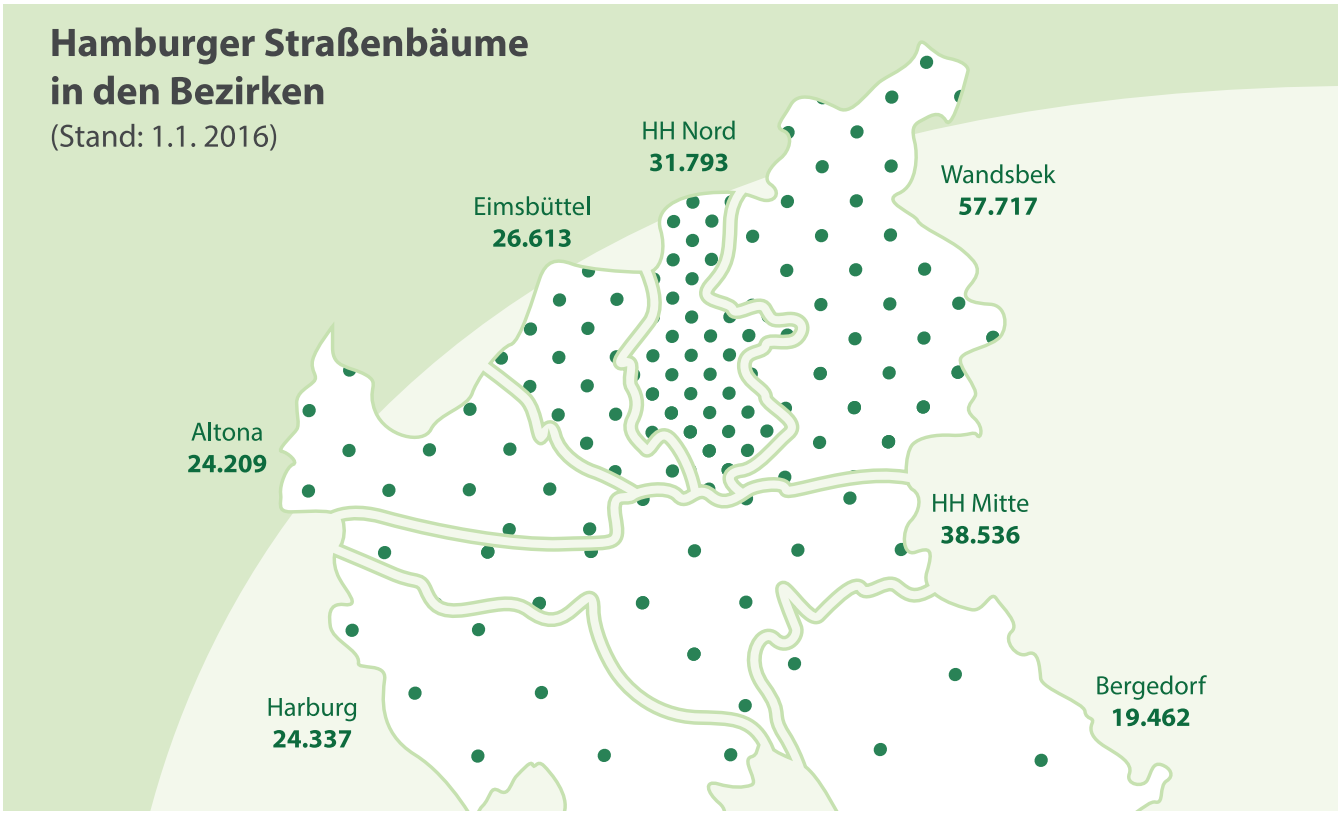


Abb. 3.2: Die Anzahl der Hamburger Straßenbäume in den Bezirken (BUE 2016, Auswertung Straßenbäume)
Quelle: Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung

3. Zukunftsperspektiven von Stadtbäumen

Der Klimawandel bringt für Norddeutschland neben höheren Temperaturen veränderte Niederschlagsmengen und –verteilungen mit sich. Viele regionale Projektionen für die Metropolregion weisen auf eine Abnahme der Sommerniederschläge und eine Zunahme der Winterniederschläge hin (Meinke et al. 2018). Gleichzeitig werden mehr Starkregenereignisse sowohl im Winter als auch im Sommer erwartet. Nicht nur verringerte Niederschlagsmengen führen zu einer Verknappung pflanzenverfügbaren Wassers. Bei Starkregen ist der Anteil oberflächlich abfließenden Wassers erhöht, d.h. es wird ein geringerer Anteil des gesamten Niederschlagswassers in den Boden infiltriert. Höhere Luft- und Blatttemperaturen bewirken eine deutliche Steigerung des Transpirationsverlustes und führen dadurch zu einer rascheren Abnahme des Bodenwassergehaltes. Durch die Auswirkungen des Klimawandels wird sich die bereits heute kritische hydrologische Situation für viele Stadtbäume also weiter zuspitzen. Wie genau einzelne Baumarten auf stadt-typische Einschränkungen im Wurzelraum reagieren, ist daher für die Bewertung der Zukunftsfähigkeit von Baumarten entscheidend. Eine standortgerechte Artenauswahl nach Stress-Reaktionstyp wird wesentlich dazu beitragen, das Mortalitätsrisiko von Bäumen an urbanen Standorten langfristig zu minimieren. Welche Baumarten als zukunftsfähig angesehen werden können, muss dabei getrennt nach hydrologischen Standorttypen entschieden werden. Auf Standorten guter Wasserverfügbarkeit sollte das Spektrum neu zu pflanzender Bäume nicht auf trockenresistente Arten beschränkt werden – z.B. Bergahorn und Winterlinde werden dort den Klimawandel gut überstehen. An hydrologisch sehr problematischen Straßenstandorten wird es allerdings wenig Alternativen zu sehr stressresistenten, z.T. nichtheimischen Baumarten geben, wenn man nicht gänzlich auf die ökologische Leistung eines Baumes an solchen Standorten verzichten möchte. In diesem Zusammenhang sind als Beispiele erfolgreicher und schadloser Einbürgerung nicht-heimischer Baumarten in das Stadtgrün Zerreiche, Scheinakazie und Silberlinde zu nennen, wobei letztere sogar durch die späte Nektarproduktion im Hochsommer eine Nahrungslücke für Hummeln und Bienen schließt (Surholt & Baal 1995) und somit eine stabilisierende Funktion in urbanen Ökosystemen übernimmt.

Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel sind in Richtung Optimierung von Baumstandorten vorzunehmen. Wie kann z.B. an stark versiegelten Standorten ausreichend Regenwasser versickert und im Boden zwischengespeichert werden, um die Wasserverfügbarkeit in Trockenzeiten zu verbessern? Auch kann die Auswahl und Schichtung von bestimmten Substraten dazu beitragen, die Wasser-, Nährstoff- und Luftzufuhr für Bäume zu fördern und damit die Toleranz von Bäumen gegenüber Klimaveränderungen verbessern.

3.1 Klimawandel und Stadtbäume in Hamburg

Aufgrund seiner Meeresnähe im Norddeutschen Tiefland ist Hamburg von einem maritimen Klima geprägt. In den letzten 30 Jahren lag die Durchschnittstemperatur von 9,4 °C über dem deutschen Durchschnitt von 8,9 °C, wohingegen sich die Niederschlagssumme von 793 mm unter dem deutschen Durchschnitt von 818 mm befand.

Weltweit ist die Lufttemperatur in den letzten 100 Jahren um circa 0,7 °C gestiegen, in Hamburg liegt der Unterschied sogar bei 1,0 °C, mit stärker werdendem Trend in den letzten drei Jahrzehnten (von Storch und Claussen 2012). Als Hauptverursacher für diesen Wandel des Klimas werden die Nutzung fossiler Brennstoffe und Landnutzungsveränderungen angesehen, welche zu einem verstärkten Ausstoß der Treibhausgase CO_2, CH_4 und N_2O führen (IPCC 2013).

Klimamodellierungen prognostizieren aufgrund dieser steigenden CO_2-Konzentration auch für den norddeutschen Raum bis zum Ende dieses Jahrhunderts weiteren Temperaturanstieg und Niederschlagsveränderungen (IPCC 2013; Rechid et al. 2014, Meinke et al 2018).

Die unterschiedlichen Simulationen für die Metropolregion zeigen nach Rechid et al. (2014) einen Anstieg der mittleren Jahrestemperatur bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts um etwa 1-2°C und bis zum Ende des Jahrhunderts um etwa 2-3°C an. Nach Meinke et al. (2018) sind gemäß des Norddeutschen Klimaatlas bei Szenarien mit künftigen hohen Treibhausgasemissionen (RCP8.5) auch maximale sommerliche Temperaturzunahmen bis zu 5°C möglich. Bei Zugrundelegung geringerer Emissionsszenarien (z.B. RCP2.6) fallen die erwarteten sommerlichen Temperaturzunahmen deutlich niedriger aus. Bei einer erfolgreichen weltweiten Umsetzung der Klimaschutzmaßnahmen könnte die Erwärmung bis zum Ende des 21. Jahrhundert im Vergleich zum heutigen Temperaturniveau so auf 1°C begrenzt werden. Durch die erwarteten Temperaturänderungen verlängert sich auch die thermische Vegetationsperiode. So könnte sich der thermische Vegetationsbeginn bis Ende des Jahrhunderts in der Hamburger Metropolregion um etwa 2-10 Wochen nach vorne verlagern (Meinke et al. 2018)

Aktuelle Projektionen der Niederschlagsveränderungen für die Metropolregion Hamburg zeigen ein deutlich differenzierteres Bild als noch vor einigen Jahren (von Storch und Claussen 2012). Nach Meinke et al. (2018) sind je nach Kombination der globalen und regionalen Modelle und Ensemble-Simulationen sowohl Zunahmen als auch Abnahmen der jährlichen Niederschlagsumme möglich. Nach Auswertungen des Norddeutschen Klimaatlases sind sowohl jährliche Niederschlagszunahmen um bis zu 30% plausibel wie auch leichte Abnahmen der jährlichen Niederschlagssumme um 8% bis zum Ende des Jahrhunderts. Für den Sommer weisen die meisten Projektionen aber auf Abnahmen der Niederschläge hin, die bis zu 45% betragen kön-

nen (Meinke et al. 2018). Interessant ist, dass an Tagen mit leichten bis mittleren Niederschlagsintensitäten in allen Simulationen von Rechid et al. (2014) eine Abnahme der Niederschlagsmenge projiziert wurde. Während an Tagen mit hohen Niederschlagsmengen eine Zunahme der Niederschläge erwartet wird, was auf die hohe Variabilität der Niederschläge und die Bedeutung auch sommerlicher Starkniederschläge verweist.

Die Zukunft der Windverhältnisse lässt sich im Vergleich schwieriger voraussagen, da Windgeschwindigkeiten und -häufigkeiten unter anderem von Niederschlag, Temperatur und Meeresströmungen abhängen, welche in den verschiedenen Klima-Szenarien stark variieren. Auch bei Nikulin et al. (2011) gibt es starke Schwankungen zwischen den unterschiedlichen Modellen. Es zeigt sich lediglich eine leichte Tendenz zur Zunahme der Stärke der auftretenden Extrem-Ereignisse nördlich des 45° Breitengrades. Bei Schwierz et al. (2010) zeigt sich im Modellzeitraum 2071-2100 nur während des Winterhalbjahres (Oktober-März) ein geringer Anstieg der Windböen in fast ganz Deutschland. Für die Metropolregion Hamburg sind hingegen keinerlei belastbare Tendenzen zu finden (von Storch und Claussen 2012, Meinke et al. 2018).

Die Windproblematik mag in der Stadt durch die gegenüber dem Umland verringerten durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten auf den ersten Blick vernachlässigbar erscheinen, jedoch besitzen Böen in städtischen Straßen höhere Geschwindigkeiten (Kuttler, 2013). Und auch wenn die Modellierung von Wind noch schwierig ist, könnte schon eine leicht ansteigende Tendenz der Windböen in der Zeit von Oktober bis März zu einer stark erhöhten Bruchgefahr von Ästen und ganzen Bäumen führen, besonders wenn durch die prognostizierte Temperaturerhöhung die Vegetationszeit verlängert wird: Der potentiell frühere Blattaustrieb und spätere -abwurf erhöht die Wahrscheinlichkeit der Überschneidung von starken Sturmereignissen und Bäumen im voll- oder halbbelaubten Zustand, welche dem Wind mit ihren Blättern eine größere Angriffsfläche bieten als im unbelaubten Zustand (Koizumi et al. 2010).

Auch Neobiota (gebietsfremde und inversive Arten) wird es durch die längeren Vegetationszeiten mit den milderen Wintern ermöglicht, neue – bislang für sie ungeeignete – Gebiete zu besiedeln und manchmal in Massen großen Schaden an einzelnen Arten anzurichten (Bale et al. 2002; Engesser et al. 2008). Insgesamt ist der Bereich der Schädlingsausbreitung jedoch sehr schwer vorhersehbar, da für die Verbreitungsgebiete von Tieren nicht nur die klimatischen Randbedingungen wichtig sind, sondern auch biologische Aspekte wie Nahrungsverfügbarkeit, Feinde, Konkurrenzarten und die Geschwindigkeit des Lebenszyklus eine wichtige Rolle spielen (Pautasso et al. 2012). Es gibt schon jetzt Schädlingsarten, die von der Erwärmung der letzten Jahre profitiert haben. So breitete sich die Rosskastanien-Miniermotte *(Cameraria ohridella)* erfolgreich in Richtung Norden aus (Gilbert et al. 2005). In Hamburg dürfte das Neobiota-Potential noch wesentlich größer sein als in anderen vergleichbaren deutschen Städten ohne Hafen, da die Intensität des internationalen Handels scheinbar die beste Variable zur Erklärung der Einschleppung von nicht-einheimischen Arten ist (Westphal et al. 2008).

Von künftigen Klimaänderungen sind Böden mit ihren Eigenschaften und Prozessen sowohl direkt, als auch durch indirekte Auswirkungen betroffen (Schickhoff und Eschenbach 2018). Der Bodenwasserhaushalt wird direkt durch Niederschlag und Temperatur beeinflusst, die über Wassernachlieferung und Verdunstung den pflanzenverfügbaren Wasservorrat im Boden steuern. Durch die erwartete Temperaturerhöhung und gleichzeitige Abnahme der Sommerniederschläge sowie der erwarteten Zunahme der Trockentage kann es während der Vegetationsperiode zu einer raschen Reduzierung des Bodenwasserspeichers kommen. In Abhängigkeit von der standortspezifischen Bodeneigenschaften (Bodenart, Lagerungsdichte, nutzbarer Feldkapazität, etc.) kann dies zu Einschränkungen der Wuchsleistung und Vitalität der Vegetation führen (Asseng et al. 2013, Olde Venterink et al. 2002). Insbesondere die Stadtböden mit gestörtem Profil–aufbau, technogenem Substrat, hohen Anteilen von sandigen Substraten und somit geringem Wasserspeichervermögen und geringer Wasserleitfähigkeit sind trockenheitsgefährdet. Während andere naturnähere Stadtböden mit feinerer Bodentextur und z.B. höheren Gehalten organischer Substanz (also mit natürlicherweise höherem Wasserspeichervermögen) weniger trockenheitsgefährdet sind, neigen diese dafür aber ggf. bei toniger Ausprägung zur Stauwasserbildung. Die Beschaffenheit des Bodens und die Dynamik des Bodenwasserhaushaltes sowohl am „natürlichen" Stadtstandort als auch in Pflanzgrubenmaterialien ist also einer der wichtigsten steuernden Faktoren für das Überleben von Stadtbäumen.

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass das System Vegetation/Stadtbaum-Stadtboden durch Verdunstung zu einer Abkühlung am Standort (Schickhoff und Eschenbach 2018) beiträgt und somit zur Abschwächung der städtischen Wärmeinsel und der Klimawandel bedingten Temperaturerhöhung. Dieser Effekt kann aber nur bei guter Evapotranspiration also auch ausreichender Wasserspeicherfähigkeit und Wassernachlieferung des Bodens erfolgen (Wiesner et al. 2014, Eschenbach et al. 2016)

Zur Zeit mehren sich wissenschaftlich fundierte Hinweise, dass in Mitteleuropa eingeschränkte Bodenwasserverfügbarkeit das Wachstum von Bäumen an urbanen Standorten bereits jetzt deutlich limitiert (Böll et al 2014). Aktuelle Untersuchungen an mehreren hundert Bäumen dreier Arten belegen, dass in gemäßigten Breiten das Wachstum von Bäumen in der Stadt im Vergleich zu naturnäheren Standorten im Umland deutlich geringer ist (Pretzsch et al. 2017). Erhöhte innerstädtische Temperaturen könnten zwar grundsätzlich wuchsfördernd wirken - insbesondere infolge der Verlängerung der Vegetationsperiode (Henninger, 2011; Wittig, 2008). Doch werden alle potenziell wuchsfördernden Wirkungen urbaner Faktoren (erhöhte Temperatur, CO_2-Konzentration und Stickstoffeinträge) offensichtlich durch anderweitige limitierende Faktoren in mitteleuropäischen Städten überkompensiert, unter denen verringerte Wasserverfüg-

barkeit infolge der stadtspezifischen Strukturen als besonders plausibel hervortritt. Feuchtigkeit liebende Pflanzen meiden schon längst die Innenstadtbereiche (Henninger 2011). Alte Straßenbäume, deren etablierte, weitläufige Wurzelsysteme später angelegte städtische Infrastrukturen queren, mag diese Problematik weniger zu schaffen machen als neu gepflanzten Bäumen, deren Wurzelraum in alle Richtungen an Tiefbauten wie Schächte, Tiefgaragen, Kanalrohre und Leitungssysteme grenzen kann, die zumeist in Sand bzw. Kies eingebettet sind – hinsichtlich Wasserspeicherung sehr ungünstige Wurzelsubstrate. Im städtischen Raum neu gepflanzte Bäume haben somit immer seltener ausreichend Möglichkeiten, mit ihren Wurzeln günstigere Bodenbereiche zu erschließen, so dass ab einer gewissen Größe des Baumes der Wasser- und Nährstoffbedarf nicht mehr gedeckt werden kann und der Baum frühzeitig unter Vitalitätsverlust leidet und ausgetauscht werden muss. Gillner (2012) und Roloff (2013) empfehlen aus diesem Grund schon jetzt, ungeachtet des Klimawandels, die Trockenstress-Resistenz als eine der Hauptkriterien für die Baumartenwahl im urbanen Raum zu berücksichtigen.

3.2 Strategietypen bei Trockenstress

Durch die zu erwartenden Folgen des Klimawandels (s.o.) werden sich Stresssituationen häufen, in deren Folge das Wachstum von Bäumen an städtischen Standorten noch deutlicher beeinträchtigt sein wird als dies bereits der Fall ist. Das Maß des zu erwartenden Wachstumsrückgangs infolge von Wassermangel wird je nach Art stark variieren, da sich Anpassungen an Trockenstress von Baumart zu Baumart qualitativ und quantitativ unterscheiden. Vermindertes Wachstum per se ist aber noch keine unmittelbare Bedrohung für den Fortbestand von (städtischen) Bäumen: Ein Baum, der seine aus der Photosynthese gewonnene Energie in geeignete Maßnahmen zur Anpassung an Trockenheit investiert und dabei noch in der Lage ist, Wachstums- und Entwicklungsprozesse auf einem gewissen Niveau aufrecht zu erhalten, ist nicht unbedingt von Vitalitätsverlust bedroht. Dies gilt unter den Voraussetzungen, dass trotz verringerten Wachstums der Stressfaktor erfolgreich bewältigt werden kann und dass auch für die Reaktion auf eventuell zusätzlich in Erscheinung tretende Stressoren genügend Reserven bereitstehen. Vitalitätsverlust tritt aber ein, wenn einerseits die Anpassungs-Maßnahmen nicht geeignet sind, die negativen Wirkungen des Stressors dauerhaft abzuwenden, und wenn andererseits diese Maßnahmen mehr energiereiche Substanz kosten, als der Baum durch Photosynthese bereitstellen kann. In diesem Falle werden zur Stressbewältigung Reservestoffe mobilisiert, die ein Baum vornehmlich als (nichtstrukturelle) Kohlenhydrate und Proteine in lebenden Zellen des Stammes (im sog. Holzparenchym) und der Wurzeln speichert. Sie dienen generell der Sicherung bzw. Wiederherstellung der Lebensfunktionen nach Einwirkung von Stress oder nach Überdauerungsphasen (beispielsweise Abwehrreaktionen gegen Krankheiten und gegen Fraßfeinde, Wundverschluss und Reparaturmechanismen, Wiederherstellung der Funktion der Wasserleitbahnen nach Luftembolien, Frühjahrsaustrieb, Austrieb neuer Blätter nach späten Frühjahrsfrösten oder nach starken Fraßschäden etc.). Wird infolge hoher Stressdosis oder multipler Stressoren eine gewisse „kritische Reserve" an Speicherstoffen unterschritten, kann sich ein Baum nicht mehr vollständig vom Stress erholen und das Risiko steigt, sich gegen den nächst einwirkenden Stressor nicht mehr ausreichend zur Wehr setzen zu können – die Folge einer solchen stressbedingten Auszehrung ist daher ein erhöhtes Mortalitätsrisiko (vgl. Bréda et al. 2006, Mitchell et al. 2014, Anderegg et al. 2015, Locosselli et al. 2017). Es stellt sich angesichts des Klimawandels für Stadtbäume also die Frage, für welche Arten der zu erwartende zusätzliche Stress das Mortalitätsrisiko erhöhen kann, und welche Arten in ihrem Reaktionsrepertoire über geeignete Maßnahmen zur Anpassung an die veränderten Bedingungen in der Stadt verfügen.

Als Reaktion auf zunehmende Trockenheit können Bäume die Öffnungsweite ihrer Spaltöffnungen in den Blättern (Stomata) verringern, um weniger Wasser zu verlieren und so den Zeitpunkt hinauszuzögern, ab dem Wassermangel zur Welke der Blätter führt und somit bedrohlich wird. Der Preis dieser Maßnahme ist allerdings, dass die Blätter weniger CO_2 aus der Luft aufnehmen können. Dadurch nimmt die sog. Photorespiration zu, durch die gerade gewonnenes CO_2 und gebundene Energie wieder verloren gehen. Zudem steht weniger CO_2 als Grundbaustein zum photosynthetischen Aufbau energiereicher Verbindungen (Zucker) zur Verfügung, und die durch die Photosysteme absorbierte Lichtenergie kann nicht kontrolliert in den Zuckeraufbau geleitet werden. So entsteht bei CO_2-Mangel in den Blättern (infolge verringerter Spaltöffnungsweiten) eine „Überenergetisierung" in den Kraftwerken der Photosynthese, den Chloroplasten, wodurch unkontrollierte Reaktionen begünstigt werden (v.a. von reaktiven Sauerstoffverbindungen), die den Photosyntheseapparat und schließlich die Zellen schädigen. Folglich müssen Schutzsubstanzen und Enzyme synthetisiert werden, welche die zerstörerischen Auswirkungen des CO_2-Mangels in Grenzen halten. Die **Öffnungsweite der Stomata** (Spaltöffnungen in den Blättern) bei Wassermangel zu verringern ist also ein sehr folgenreicher Eingriff in die Stoff- und Energiebilanz einer Pflanze. Manche Pflanzen schlagen diesen verlustreichen Weg der Wasserersparnis bereits ein, wenn die Bodentrockenheit noch nicht stark ausgeprägt ist. Pflanzenarten aus Gebieten mit regelhaft längeren Trockenperioden reagieren häufig nach diesem **Reaktionstyp,** den man als **pessimistisch** bezeichnen kann (der Fachbegriff wäre näherungsweise isohydrisch), da die Reaktion der Wasserersparnis darauf ausgerichtet ist, einer drohenden Mangelsituation vorzubeugen. Andere Pflanzen hingegen halten die Stomata auch bei zunehmender Trockenheit zunächst geöffnet, erhöhen aber z.B. ihre Saugkraft, wodurch sie auch aus sehr trockenen Böden noch Wasser aufnehmen und ihre Photosyntheseleistung und somit Energieversorgung aufrechterhalten können. Pflanzen dieses Reaktionstyps kann man als **optimistisch** bezeichnen (der Fachbegriff wäre anisohydrisch), da einem Bodenwassermangel nicht vorgebeugt wird, die Mangelsituation quasi als rasch vorübergehend eingestuft wird. Die natürlichen Habitate solcher Pflanzen





Sumpf-Eiche (Quercus palustris) die 2012 an der Ericusspitze in Hamburg gepflanzt wurde, Fotos: Selina Titel, Universität Hamburg

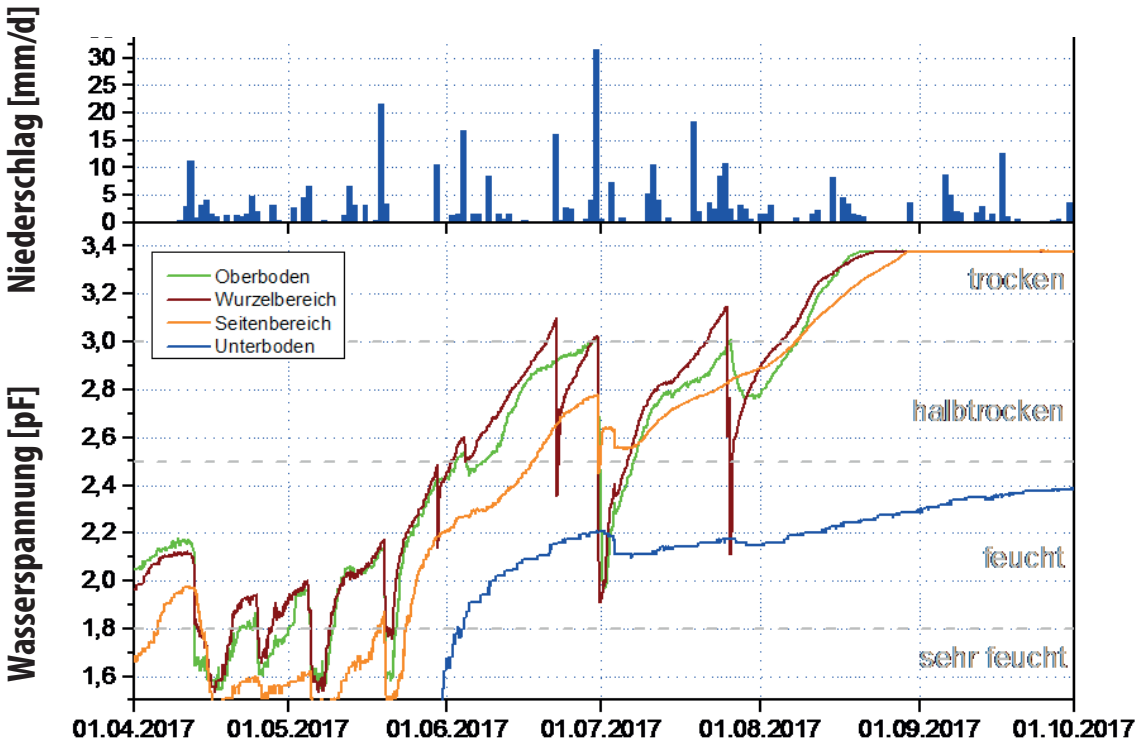


Abb. 3.3: Diagramm zum Feuchteverlauf in vier Linien von April bis September und Niederschlagsverteilung der Sumpf-Eiche (Quercus palustris) die 2012 an der Ericusspitze in Hamburg gepflanzt wurde. Grafik: Universität Hamburg, Institut für Bodenkunde

sind durch regelmäßigere Niederschläge und/oder hydrologisch günstige Standortverhältnisse ausgezeichnet (z.B. hoher Grundwasserspiegel, Ufernähe etc.). Beide Reaktionstypen, zwischen denen es entsprechend der Vielfalt an hydrologischen Standortbedingungen alle Übergangsformen gibt, sind aber grundsätzlich geeignet, Trockenstress erfolgreich zu bewältigen. Welche Ausprägung dieser Reaktionstypen für welche urbanen Standorte in Zukunft geeignet sein wird, lässt sich nicht ohne Kenntnis der hydrologischen Dynamik von städtischen Standorttypen beantworten. Zeitlich und räumlich hoch auflösende Untersuchungen des Bodenwasserhaushaltes an Baumstandorten in Städten sind rar. Daher werden gegenwärtig im Rahmen des SiK-Projektes an zahlreichen Monitoring-Standorten im Hamburger Stadtgebiet Bodenwasserdynamik und physiologische Kennwerte von Bäumen in kontinuierlichen Messverfahren erhoben. Auf diese Weise wird z.B. quantitativ erfasst, in welchem Maße Art und Grad der Versiegelung sowie Bodenbeschaffenheiten für die Wasserversorgung eines Baumes entscheidend sind. Erste Auswertungen zeigen, dass beispielsweise an einem stärker versiegelten Standort im Wurzelbereich eines jungen Baumes trotz der überdurchschnittlichen Niederschläge im Jahr 2017 Wassermangel vorherrschte (Selina Titel 2017, Projektdatensätze). An solchen Standorttypen, an denen Niederschläge während der Vegetationsperiode ganz offenbar nicht nennenswert zur Entspannung des Wasserhaushaltes beitragen können, sind bei Neupflanzungen aller Voraussicht nach pessimistisch reagierende (isohydrische) Baumarten vorzuziehen, da sie ihren Wasserverbrauch frühzeitig eindämmen und somit die an diesem Standort obligat begrenzten Wasserressourcen schonender nutzen. Entscheidend für solch limitierte Standorte ist ferner, unter welchen topografischen Gegebenheiten winterliche Niederschläge die Bodenwasservorräte hinreichend auffüllen können; dies wird in den nächsten Jahren Gegenstand eingehender Betrachtungen der Gesamtdatenlage sein.

Neben der Reaktion der Spaltöffnungen können Pflanzen bei Trockenstress die Aufteilung der durch Photosynthese gewonnen energiereichen Substanzen auf Organe, Gewebe und Prozesse unterschiedlich regulieren (in der Fachsprache **Allokation** genannt). Bei Pflanzen gemäßigter Klimate wird häufig beobachtet, dass sie bei Trockenheit verstärkt in Wurzeln investieren und gleichzeitig das Sprosswachstum reduzieren, wodurch die Wurzeln dem Bodenwasser „hinterherwachsen" und parallel der Wasserverbrauch des Sprosses nicht weiter steigt. In Habitaten ausgeprägter saisonaler Trockenheit kann es hingegen strategisch günstiger sein, auch und gerade dann das Wurzelwachstum besonders zu fördern, wenn keine Bodentrockenheit vorliegt, sondern im Gegenteil ausreichende Wasserversorgung hohe Photosyntheseleistung erlaubt. Im Kontrast zum **„reaktiven" Wachstum der Wurzeln** bei Trockenheit könnte man diese Strategie bei Arten trockener Habitate **„proaktives" Wurzelwachstum** nennen. Das Spektrum der Arten, deren Wurzelwachstum in Abhängigkeit von der Bodenwasserverfügbarkeit untersucht wurde, ist sehr begrenzt und verallgemeinernde Aussagen sind kritisch zu bewerten.

Denn es ist durchaus zu erwarten, dass sich Arten auch innerhalb eines Ökosystems entsprechend der hydrologischen und edaphischen Unterschiede ihrer bevorzugten Standorte in der Wachstumsdynamik der Wurzeln unterscheiden. Sofern sich für Baumarten proaktive Strategien des Wurzelwachstums identifizieren lassen, wird dies als ein wesentlicher Faktor für die Zukunftsfähigkeit an stark versiegelten, von Bausand geprägten Standorten zu bewerten sein.

Veränderungen des Allokationsmusters infolge von Bodentrockenheit sind nicht nur für die Stressresistenz relevant, sondern auch für die Fähigkeit, sich von der Stresswirkung zu erholen. Die Fähigkeit, nach Stresseinwirkung alle Lebensvorgänge wieder auf ein unauffälliges, gesundes Maß zu regulieren – in der Fachsprache Resilienz genannt – ist vor allem von der Verfügbarkeit von energiereichen Speichersubstanzen abhängig, die z.B. als sog. nicht-strukturelle Kohlenhydrate in lebenden Zellen des Holzkörpers (im sog. Holzparenchym) bevorratet werden. Wird bei Trockenstress die Speicherung von Assimilaten stark abgeschwächt oder werden gar Speicherstoffe zur Stressbewältigung herangezogen, kann eine gewisse „kritische Reserve" an Speicherstoffen unterschritten werden mit der Folge eines erhöhten Mortalitätsrisikos (Locosselli et al. 2017). Daher ist angesichts der zu erwartenden erhöhten Stressdosis an urbanen Standorten die artspezifische Resilienz für die Baumauswahl ein bedeutendes Kriterium. Dendrochronologische Untersuchungen bieten die Möglichkeit, langfristige Folgen von Trockenperioden auf Zuwachsraten und somit die Resilienz von Bäumen zu erfassen.

Zusammenfassend lassen sich also folgende Faktoren benennen, die für eine Vitalitätsprognose von Baumarten an urbanen Standorten entscheidend sind:

- Bodenbeschaffenheit und Dynamik des Bodenwasserhaushaltes an urbanen Baumstandorten;
- Reaktionsschwellen von Bäumen in Abhängigkeit von Bodenbeschaffenheit und Bodentrockenheit;
- Artspezifische Reaktionsmuster der Spaltöffnungen auf verringerte Wasserverfügbarkeit;
- Artspezifische Allokationsmuster (insbesondere Wurzeldynamik);
- Artspezifische Resilienz nach Trockenstress.

Übersicht der Monitoring-Standorte



Abb. 3.4: SIK-Monitoringstandorte für etablierte Straßenbäume, Jungbäume und Standorte mit Stressmessung
Kartographie: Selina Titel, Johannes Lauer (HCU), Daten: BUE, Hintergrundkarte: ESRI/HERE. Die Bilder zeigen beispielhafte Standorte.

3.3 Bewertung der Vitalität von Baumarten an Hamburger Straßenstandorten

Für den Kenntnisgewinn hinsichtlich der voran genannten Faktoren werden im Rahmen des Projektes „Stadtbäume im Klimawandel" mehrere methodische Ansätze verfolgt. Das Spektrum reicht von räumlich und zeitlich hoch auflösenden in-situ Untersuchungen an ausgesuchten Straßenbaumstandorten über Retrospektiven der Wirkung von Klimafaktoren auf das Baumwachstum bis hin zu screening-Ansätzen zur Analyse der Stressreaktion von Baumarten:

Die Auswirkung der Dynamik des Bodenwasserhaushaltes auf etablierte Straßenbäume wird an sechs **Monitoring-Standorten** im Hamburger Stadtgebiet untersucht, an denen in kontinuierlichen Messverfahren u.a. die Bodenwassergehalte in mehreren Tiefen und die Wasserflüsse durch die Leitbahnen von Bäumen (der sog. Xylemfluss) analysiert werden. Für die Untersuchungen wurden zwei Baumarten ausgewählt, die sich in ihrer „Stadttauglichkeit" gemäß langjähriger Erfahrungen des Hamburger Baum-Managements deutlich unterscheiden: Die Stieleiche, die sich als Straßenbaum im Hamburger Stadtgebiet in der Vergangenheit an vielen Standorten bewährte (mit 18,6% auch die häufigste Hamburger Straßenbaumart), und der Bergahorn, der sich an vielen Standorten als wenig geeignet erweist (mit 2,8% an Platz 10 der Rangliste der häufigsten Straßenbaumarten in Hamburg). Durch den Vergleich kontrastierender Arten wird bei diesen Monitoring-Untersuchungen u.a. erkundet, ob sich die „Stadttauglichkeit" in der Reaktion eines Baumes auf die hydrologische Situation im Boden widerspiegelt. Über den Xylemfluss lassen sich nämlich nach Verschneidung mit Meteodaten physiologische Reaktionen (insbesondere der Spaltöffnungen in den Blättern) erkennen, die das Erreichen einer kritischen hydrologischen Situation anzeigen. Auf diese Weise lassen sich einerseits Reaktionsmuster auf Bodentrockenheit erfassen, andererseits können Stressschwellen des Bodenwassergehaltes für die jeweilige Art definiert werden.

Mit **dendrochronologischen Methoden** wird anhand eines eigens angelegten Hamburger Stammscheibenarchives die Resilienz von Straßenbäumen untersucht, d.h. in welchem Maße bei verschiedenen Baumarten Trockenperioden zu negativen Nachwirkungen in den Folgejahren geführt haben. Isotopanalysen der entsprechenden Jahresringe werden Aufschluss darüber geben, ob sich das Ausmaß solcher Trockenstressfolgen mit unterschiedlichen Strategien der Wassernutzung in Verbindung bringen lässt. Auf diese Weise werden zwei (womöglich miteinander in kausaler Verbindung stehende) evidenzbasiertes Kriterien für die Bewertung der Trockenheitsstrategie von Baumarten erarbeitet: Maß der Spaltöffnungsreaktion auf Trockenheit und Resilienz gegenüber Trockenperioden.

Das Ziel des Monitorings in dem Projekt SiK ist es, Baumstandorte in Bezug auf ihr Potential für die Zukunft unter Annahme des prognostizierten Klimawandels zu bewerten. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Analyse von Trockenstress für die Bäume, da dieser Aspekt zukünftig von wachsender Bedeutung für Hamburg sein kann (siehe Kapitel 3.1). Die sechs SiK-Monitoringstandorte befinden sich an etablierten Straßenbäumen, die vor über 30 Jahren an urbanen Standorten gepflanzt wurden. Die Bäume sind sowohl an vielbefahrenen Straßen als auch an ruhigen Wohnstraßen in Hamburggelegen. Die Beschaffenheit der Baumscheiben ist unterschiedlich ausgeprägt. Bei drei Monitoringstandorten stehen die Bäume auf klassischen Grünstreifen, bei den übrigen befinden sie sich auf größeren unversiegelten Flächen. Die Hälfte der untersuchten Bäume sind Stiel-Eichen *(Quercus robur L.)*, bei der anderen Hälfte handelt es sich um Berg-Ahorne *(Acer pseudoplatanus L.)*. An jedem Standort wurden jeweils drei Bodenprofile angelegt und bodenphysikalisch und -chemisch charakterisiert. Die Profile wurden jeweils mit Sensoren zur Messung der Bodentemperaturen, des Wassergehalts und der Wasserspannung, sowie mit Vorrichtungen zur Entnahme der Bodenluft ausgestattet. Die Wasserspannung kennzeichnet dabei die Kraft, mit der das vorhandene Wasser in den Bodenporen gebunden ist. Eine hohe Wasserspannung bedeutet damit eine hohe Bindungskraft und geringe Wasserverfügbarkeit für den Baum. Weiterhin wurden in den Wachstumsperioden 2016 und 2017 an den sechs Standorten jeweils bis zu drei Bäume mit Xylemflusssensoren instrumentiert. Ziel der Untersuchungen ist es festzustellen, unter welchen bodenkundlichen Bedingungen die Straßenbäume wachsen und ob sie zeitweilig Anzeichen von Stress zeigen. Daraus soll abgeleitet werden, welche der Standorteigenschaften für Stress vornehmlich verantwortlich sind und mittels Modellierungen festgestellt werden, in wie weit sich die Bedingungen in den nächsten Jahrzehnten verschärfen werden. Da die Auswertungen noch nicht finalisiert sind, behandelt dieses Kapitel vorwiegend die Charakterisierung des Zustands der Böden dieser Stadtbaumstandorte.

Die untersuchten Straßenbaumstandorte weisen relativ hohe Versiegelungsgrade auf, wie sie typisch für Innenstadtstandorte sind. Als Straßenbaumstandorte werden die Baumscheiben einerseits durch die Gehwege, Radwege und Straßen sowie andererseits durch die umliegenden Gebäude begrenzt. Der Anteil der Versiegelung im Bereich des Kronenraums liegt zwischen 30 und 60%. Dabei ist die Versiegelung bei Bäumen auf schmalen Grünstreifen deutlich höher als bei Bäumen auf größeren unversiegelten Flächen. Mit Betrachtung des weiteren Umfeldes (20x20 m), unabhängig von der Größe der unterschiedlichen Baumkronen, sinkt der Grünflächenanteil auf 8 bis 45%. Das macht deutlich, wie sehr Straßenbäume auf die unversiegelten Bodenflächen, auf denen sie stehen – also die Fläche der Baumscheibe - angewiesen sind, da die weitere Umgebung oft stärker versiegelt ist.

Die Versiegelung wirkt sich direkt auf die Infiltration der Niederschläge und somit auf das verfügbare Wasser im Boden aus. Die Straßen sind häufig asphaltiert und lassen somit praktisch keine Infiltration der Niederschläge zu. Gehwege sind mit Platten gepflastert, die Infiltrationsmöglichkeit ist auf die Fugen begrenzt. Hier ist die Beschaffenheit der Fugen entscheidend (siehe auch Bean et al. 2007). Auch wenn eine Infiltration durch

diese stattfindet, kann man generell bei traditionell gepflasterten Oberflächen von einer geringen Infiltration (Wolff 1993, Wolff 1996) sprechen. Die unversiegelten Flächen der Bäume sind oft die einzigen Flächen in direkter Umgebung des Baumes, in denen Niederschlagswasser versickern kann. Doch auch hier haben die Messungen gezeigt, dass an einigen Standorten nur eine niedrige Infiltrationsrate (< 5 cm/h, Einteilung nach Wolff 1993) erreicht wird. Diese Standorte sind unbewachsen und stark trittverdichtet. Dagegen wurden die höchsten Infiltrationsraten (bis 100 cm/h) bei Grünflächen mit hohem Sandanteil im Oberboden und ausgeprägter Grasvegetation erfasst, die in der Regel nicht durch Fußgänger begangen werden. Auch Yang und Zhang (2010) konnten bereits in Studien in Nanjing zeigen, dass die Verdichtung des Bodens die wesentliche Ursache für die schlechte Infiltration in urbanen Räumen ist; dieses konnte durch eigene Untersuchungen im SiK-Projekt auch für Hamburg bestätigt werden. Jedoch waren viele der untersuchten Standorte wegen den hohen Sandgehalten nicht als stark verdichtet zu bewerten.

Gregory et al. (2006) zeigten, dass die Infiltration auf verdichteten Böden im Vergleich zu natürlichen Böden um 70 bis 99% reduziert sein kann und dadurch Starkregenfälle nicht schnell genug infiltrieren können. Doch gerade weil für die Zukunft mehr sommerliche Starkniederschläge (Meinke et al. 2018, Norddeutsches Klimabüro 2015) prognostiziert werden, ist dieser Aspekt gerade in den Städten von hoher Bedeutung. Starkniederschläge führen bei verdichteten und versiegelten Böden zu einem hohen Abfluss auf der Bodenoberfläche. Das kann auch von Bedeutung für die Straßenbäume sein: wenn die Niederschläge nicht schnell genug in den Boden versickern können, kann das Wasser auf angrenzende Flächen oder direkt in die Kanalisation fließen und steht somit dem Baum nicht zur Verfügung. Besonders relevant ist dieser Aspekt, da einerseits erwartet wird, dass die Niederschlagsextrema auch im Sommer zunehmen und andererseits in Perioden mit geringer Niederschlagsintensität eine abnehmende sommerliche Niederschlagsmenge projiziert wurde (Rechid et al. 2014).

Bei den im Kronenbereich der Straßenbäume untersuchten Böden handelt es sich fast ausschließlich um anthropogene Böden, die in der Regel im Rahmen von Baumaßnahmen (z.B. Errichtung von Gebäuden, Straßen, Fußwegen, unterirdischer Leitungsbau) verändert oder aufgebracht wurden. Die für anthropogene Böden typischen scharfen Grenzen der einzelnen Bodenschichten sind bereits farblich deutlich erkennbar, sie unterscheiden sich aber auch in weiteren Merkmalen wie z. B. der Korngrößenverteilung deutlich voneinander. Technogene Substrate wie Ziegelbruchstücke oder Mörtel wurden in einigen der Profile gefunden. Das ist charakteristisch für urbane Standorte mit längerer Nutzungshistorie. Mörtelreste können zu einer Erhöhung des pH-Wertes führen (z. B. Pfeiffer 1985; Weritz 1990, Morel et al. 2017). Die Messungen der pH-Werte im Rahmen dieses Projektes zeigten eine breite Streuung zwischen pH 4,2 und 7,4 mit dem Median bei 6,3 (in CaCl2 gemessen). Insgesamt zeigte sich, dass es entlang der Hamburger Straßen Böden mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften gibt. Nicht alle Bäume sind für einen niedrigen oder einen hohen pH-Wert geeignet (Goss und Schönfeld, 2014), daher ist es wichtig, auch schon bei Pflanzungen darauf zu achten, dass die gewählten Baumarten mit den vor Ort gegebenen pH-Bedingungen zurechtkommen und gegebenenfalls den Boden rechtzeitig z.B. durch Kalkung aufzuarbeiten, um einen baumartspezifischen verträglichen pH-Wert zu erreichen.

Die untersuchten Bodenprofile weisen mit durchschnittlich 83 % einen hohen Sandanteil auf. Da die untersuchten Standorte an Straßen liegen, befinden sich auch im Kronenbereich der Bäume im Untergrund Leitungen, die entsprechend der Vorgaben für den jeweiligen Leitungsbau in Füllsande (i.d.R. Reinsande mit sehr geringem Anteil an Grobboden (<3%)) gebettet sind und somit eine weitere Quelle für Substrate mit hohen Sandanteilen darstellen. Der hohe Sandanteil prägt insbesondere die physikalischen Eigenschaften maßgeblich. So haben Sandböden charakteristischerweise eine gute Durchlüftung, da sie einen hohen Anteil an Grobporen aufweisen. Auch Niederschlagswasser kann generell schnell eindringen und versickert schnell in die Tiefe. Daher besteht nur eine geringe Stauwassergefahr, allerdings ist auch die Wasserhaltefähigkeit gering. Dadurch besteht bei Sandböden im Vergleich zu Böden mit feinerer Bodentextur die Gefahr einer rascheren Austrocknung und einer schnelleren Auswaschung von Nährstoffen.

Auch wenn die Monitoringstandorte mit ihrem hohen Sandanteil grundsätzlich trockenheitsgefährdet sind, zeigte sich bei den Messungen der Wassergehalte und der Wasserspannungen im Messzeitraum von Mai 2016 bis Ende Dezember 2017, dass zwei Standorte ganzjährig eine ausreichend hohe Wasserversorgung aufwiesen. Bei den übrigen vier Standorten wiesen die Messungen dagegen nach, dass die Böden zeitweilig in einen kritischen Wasserversorgungszustand kamen. In den beiden Standorten ohne messbare Austrocknung des Bodens blieb der Boden zwar in allen gemessenen Tiefenstufen (20 cm, 40 cm, 70 cm und 100 cm) ganzjährig feucht (Wasserspannungen unter 1000 hPa), allerdings traten auch hier Schwankungen der Wasserverfügbarkeit im Verlauf der Zeit auf: Der feuchtere der beiden Standorte (Gerichtstraße) zeigt keine Wasserspannungen über 400 hPa, während der andere in der Silbersacktwiete kurzzeitig im Herbst 2017 höhere Wasserspannungen bis zu maximal fast 1500 hPa im Oberboden erreichte; . Zudem war bei dem feuchtesten Standort eine generelle Zunahme der Bodenwassergehalte mit der Tiefe zu erkennen (in 1 m Tiefe ca. 35-38 Vol.-%), wohingegen bei den übrigen Monitoringstandorten die Wassergehalte mit der Tiefe abnahmen. Die Ursache für den unterschiedlichen Tiefenverlauf ist durch die Korngrößenverteilung der Substrate gegeben, da am Standort Gerichtstraße im Unterboden ein verdichteter Lehmsand vorkommt, dagegen weisen die übrigen Standorte im Unterboden überwiegend Reinsande auf. Die Untersuchungen zeigen somit, dass an den zwei Standorten Silbersacktwiete und Gerichtstraße in den Jahren 2016 und 2017 kein Trockenstress für die Bäume aufgetreten ist. Allerdings zeigt sich am Beispiel des Standorts Gerichtstraße, dass weitere

Untersuchungen notwendig sind, um eine Staunässegefahr mit zu geringer Sauerstoffversorgung der Baumwurzeln besser beurteilen zu können, die zukünftig bei prognostizierten zunehmenden Starkregenereignissen (Norddeutsches Klimabüro 2015; Meinke et al. 2018) an Bedeutung gewinnen kann.

Bei den vier Monitoringstandorten, bei denen es Phasen von geringer Wasserverfügbarkeit gab, fielen diese Phasen erwartungsgemäß in die Zeiten mit geringen Niederschlägen und höheren Lufttemperaturen (Herbst 2016, Sommer 2017), traten also in den beiden Untersuchungsjahren nicht zur selben Zeit und Intensität auf. 2016 war der Sommer niederschlagsreich; die Niederschlagssumme für Juni bis August lag mit 284 mm über der 30-jährigem Mittel von 235 mm. Dagegen fielen im September und November mit 105 mm nur etwa die Hälfte der Niederschläge des langjährigen Mittels (284 mm). Im Sommer bis Herbst 2017 war es feuchter als das 30-jährige Mittel, während es in beiden Jahren im Frühjahr im April und Mai trockener war (Niederschlagsdaten vom DWD, 2017).

Die Untersuchung zeigte, dass die Böden in beiden Frühjahren eine für die Bäume ausreichende Wasserversorgung (Wasserspannung <1500 hPa, meist <500hPa) gewährleisten konnten. Erst im Spätsommer 2016 begannen die Böden deutlich trockener zu werden; die Bodenwassergehalte sanken und die Wasserspannungen stiegen deutlich an. Die erfassten Bodenwasserspannungen erreichten die mit den Sensoren maximal messbaren Höchstwerte von 2000 hPa, die in einigen Bodentiefen über mehrere Monate lang bis zur Wiederbefeuchtung zwischen November und Dezember gehalten wurden. Ob die Bodentrockenheit im Spätsommer und Herbst 2016 noch zu Trockenstress bei den Straßenbäumen geführt hat, muss durch die Vitalitätsindikatoren wie Saftflussdynamik noch detailliert betrachtet werden. Die Wiederbefeuchtung sorgte innerhalb eines Monats für eine deutliche Steigung der Wassergehalte und eine Abnahme der Wasserspannung auf unter 500 hPa.

Das Jahr 2017 zeichnete sich durch einen regenreichen Sommer und Herbst aus, im dem die Abstände zwischen stärkeren Niederschlägen häufig sehr kurz waren, so dass auch die Phasen für eine mögliche Austrocknung des Bodens sehr begrenzt waren. Die Bedeutung von Bodentrockenheit konnte in diesen Jahren nur sehr eingeschränkt untersucht werden. Eine kurze Austrocknungsphase trat Ende Juni auf, starke Niederschläge in der ersten Juliwoche führten hier zu einer Wiederbefeuchtung, bevor es im August trotz häufiger Niederschläge zu einer zwei Monate langen Austrocknungsphase des Bodens kam, die wegen den Niederschlägen nicht die gleiche Intensität wie im Vorjahr erreichte. Die Wiederbefeuchtung des Bodens erfolgte 2017 schon im Oktober. Somit lagen die Trockenzeiten in der Mitte und am Ende der Vegetationsperiode, während die Böden in beiden untersuchten Jahren zu Beginn der Vegetationsperiode feucht waren (Beispiel Glacischaussee siehe Abb. 3.5).

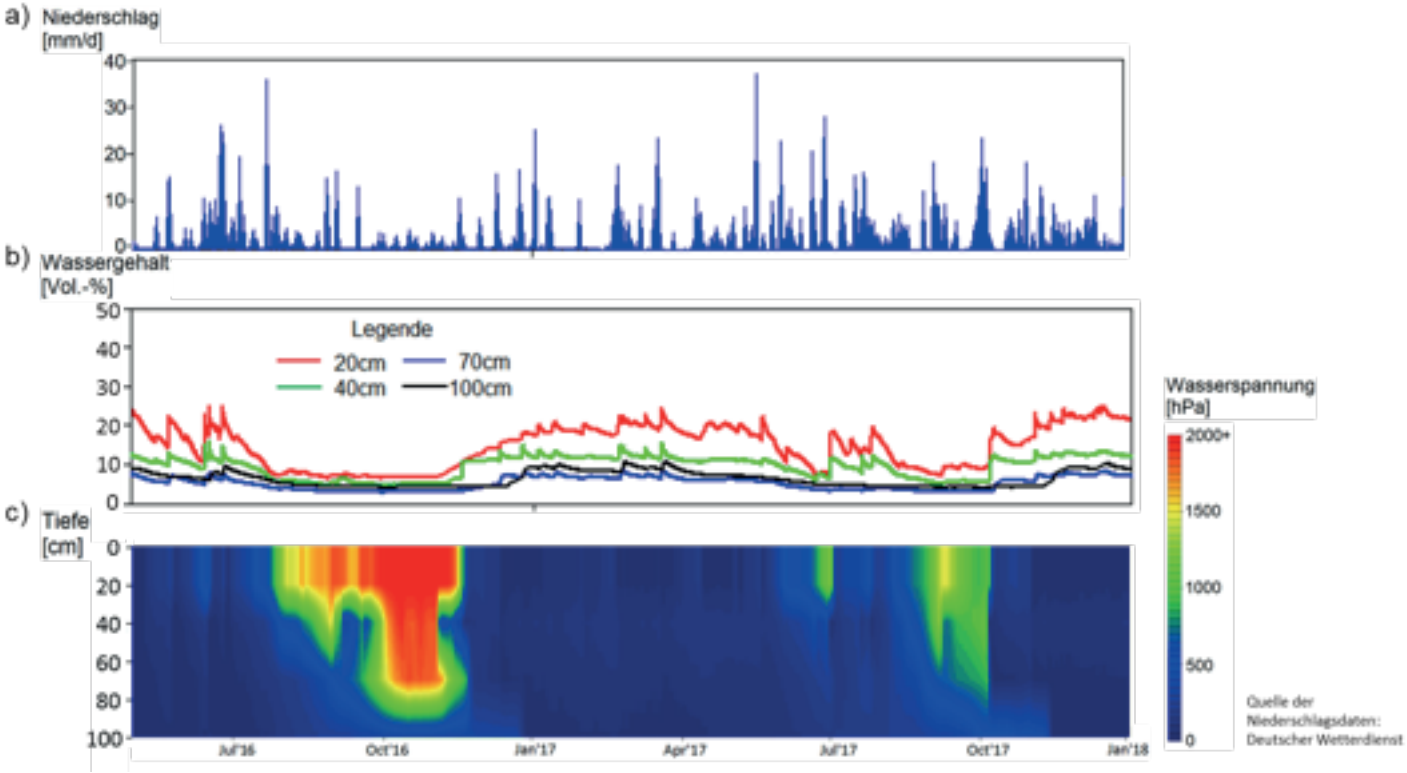


Abb.3.5: Niederschlagsdaten (a), Bodenwassergehalte (b) und Bodenwasserspannungen (c) von Mai 2016 bis Ende Dezember 2017 am Standort Glacischaussee.

Die Versiegelung und Verdichtung spielt nicht nur für die Wasserverfügbarkeit im Boden eine entscheidende Rolle. Auch der Gashaushalt wird erheblich beeinflusst. Bei gut durchlüfteten Böden steht die Bodenluft im intensivem Austausch zur atmosphärischen Luft, so dass Sauerstoff in den Boden eindringen und von den Wurzeln der Bäume ebenso wie von den Bodenorganismen zum Atmen genutzt werden kann, während im Gegenzug das durch die Bodenorganismen und Wurzeln produzierte Kohlenstoffdioxid aus dem Boden entweichen kann. Bei versiegelten oder stärker verdichteten Bodenoberflächen ist dieser Austausch deutlich eingeschränkt bis vollständig unterbunden. In der Folge kann es zu einer Reduzierung des O_2-Gehaltes und zu einer Anreicherung von CO_2 kommen. O_2 wird für die Wurzelatmung benötigt und ist essentiell für deren Wachstum. Es werden Konzentrationen in der Bodenluft von mindestens 10 bis 15% (Blume 1992, Kretschmar 1992, Leh et al. 1989) empfohlen.

Die Erfassung der Bodenluftzusammensetzung an den sechs Standorten hat gezeigt, dass ein deutlicher Jahresgang der Bodenluftzusammensetzung auftritt, bei dem im Winter die höchsten Sauerstoffgehalte und die geringsten Kohlendioxidgehalte auftreten. Dieser Verlauf lässt sich durch die biologischen Umsatzprozesse im Boden erklären, die in den kalten Wintermonaten eingeschränkt sind. Neben diesem annuellen Trend treten deutliche kurzfristige Schwankungen auf, die sich im Wesentlichen durch die Schwankungen der Bodenfeuchte und damit des für den Bodenluftaustausch zur Verfügung stehenden luftgefüllten Porenraums erklären lassen. An den Monitoringstandorten wurden Sauerstoffgehalte festgestellt, die örtlich und kurzzeitig die geforderten 10 % Mindestgehalt unterschritten und zwar bei verdichteten Böden in den untersten Schichten. Im Allgemeinen scheint die O_2-Versorgung an den Monitoringstandorten damit als ausreichend hoch bewertet werden zu können. Ein anderes Bild ergibt sich, wenn die Kohlenstoffdioxidgehalte betrachtet werden. Bei hohen Konzentrationen von CO_2 kann das Wachstum der Wurzeln durch die toxische Wirkung eingeschränkt sein. Es werden daher Höchstwerte von 3% (Leh et al. 1989) oder 5% (Horn 1992) empfohlen. An fünf der sechs Standorte wurden der höhere der beiden Richtwerte zeitweise in den Sommermonaten überschritten. Dabei war die Beziehung zur Bodenverdichtung nicht in allen Fällen eindeutig. An dem Standort mit geringster Verdichtung traten erwartungsgemäß die niedrigsten CO_2-Gehalte auf, bei zwei stärker verdichteten Standorten wurden hohe CO_2-Konzentrationen in der Bodenluft festgestellt. Aber an einem Standort mit nur schwacher Oberbodenverdichtung traten dennoch hohe CO_2-Konzentrationen im Unterboden auf, die Ursachen für diesen Sachverhalt müssen noch geklärt werden.

Aufgrund der erwarteten zunehmenden Starkregenereignisse wird eine gute Belüftung und ein gutes Gasaustauschpotential an vielen Baumstandorten zukünftig von hoher Relevanz sein. Eine hohe Einleitung von Niederschlagswasser mit Ausbildung von Staunässe im Boden wirkt einem Gasaustausch entgegen, und es besteht in der Folge die Gefahr einer ungünstigen Sauerstoffversorgung und zu hoher CO_2-Konzentrationen im Wurzelraum. Zu beachten ist, dass im Rahmen des SiK-Projektes in erster Linie Standorte mit sandigem Substrat untersucht wurden, die im Allgemeinen eine gute Durchlüftung aufweisen. Im Hamburger Stadtgebiet gibt es aber auch viele Standorte mit tonigen und lehmigen Böden, bei denen zu erwarten ist, dass eine eingeschränkte Durchlüftung stärker in Erscheinung tritt, da diese Böden normalerweise einen deutlich geringeren Grobporenraum haben und zusätzlich zu Verdichtung neigen. An diesen Standorten sind Untersuchungen in Form eines Monitorings notwendig, um die Intensität der Gefährdung der Bäume durch ungünstige CO_2- und O_2-Konzentrationen, sowie durch mögliches Stauwasser zu erfassen und zu bewerten. Generell sollte zukünftig neben einer ausreichenden Wasserversorgung auch der Bodengashaushalt bei der Bewertung von Standortbedingungen der Stadtbäume erfasst werden. Zusätzlich wären Untersuchungen zur Wurzelverteilung und –ausbreitung in Abhängigkeit der vorliegenden Substrate notwendig, um den Bäumen unter anderem durch Substratanpassung optimale Wachstumsbedingungen bieten zu können und so zukünftig ein Wurzelwachstum in gewünschten Tiefen (z.B. auch zur Verhinderung oberflächlicher Wurzeln, die zu Schäden an Wegen führen) fördern zu können.

Durch das im Sommer 2016 gestartete Programm zur Überwachung der Wasser- und Luftversorgung im Wurzelraum ausgewählter Alt- und Jungbäume konnte gezeigt werden, dass der Wasserhaushalt einzelner Standorte von mehreren spezifischen Merkmalen geprägt ist (insbesondere Substratverteilung, Verdichtung und Versiegelung), was sich auch in der Wurzelverteilung niederschlägt, dass aber durch die gleichen klimatischen Standortfaktoren Ähnlichkeiten im Zeitverlauf der Wasserverfügbarkeit auftreten. Obwohl der Wetterverlauf beider Jahre nicht gut dazu geeignet war, Trockenheit des Bodens während der Vegetationsperiode zu erfassen, sind die für eine Beurteilung der Bodentrockenheit notwendigen Boden- und Standorteigenschaften erfasst worden und werden in modellgestützte Prognosen einbezogen. Die Messdaten dienen dabei als wichtiges Instrument, um die Modellvorstellungen im Hinblick auf die spezifischen Bedingungen am Straßenrand zu validieren. Mit der Fortsetzung des Monitorings steigt auch die Wahrscheinlichkeit, Zeiträume mit Bodentrockenheit und physiologischen Reaktionen für einzelne Straßenrandbäume erfassen zu können, um die Prozesse auf der Wirkungskette Wetter - Boden - Baum noch besser beschreiben zu können.

Dendrochronologie und Kohlenstoffisotope in Jahresringen

Mit dem Begriff Dendrochronologie werden Methoden bezeichnet, mit denen sich aus Jahresring-Abfolgen in Stammscheiben bzw. Bohrkernen Rückschlüsse auf das Wachstum und den physiologischen Zustand von Bäumen sowie auf Klimafaktoren ziehen lassen. Jeder einzelne Baumring entspricht der Wachstumsleistung eines Jahres unter den gegebenen biotischen und abiotischen Einflüssen seines Standortes.

Verschiedene Individuen ein und derselben Baumart reagieren trotz unterschiedlicher Standorte unter Umständen ähnlich auf klimatische Einflüsse, sodass artenspezifische Unterschiede im Muster der jährlichen Holzbildung erkennbar sind. Beispielsweise besitzt die Traubeneiche *(Quercus petraea)* eine vergleichsweise geringe Korrelation zwischen Jahresringbreiten und Wasserverfügbarkeit, wohingegen z.B. die Strandkiefer *(Pinus pinaster)* stark auf variierende Niederschläge in der Vegetationszeit reagiert (Rozas et al. 2009). Extreme Ereignisse wie der sehr trockene europäische Sommer von 2003 können bei vielen Arten auf vielen verschiedenen Standorten eindeutig als Verringerung des Wachstums nachgewiesen werden (Pichler und Oberhuber 2007; van der Werf et al. 2007). Die relativen Jahresringbreiten solch herausragend trockener Jahre besitzen - genauso wie sehr regenreiche Jahre - einen zuverlässigeren klimatischen Hinweischarakter, da alle Bäume ähnlich darauf reagieren (Esperet et. al. 2004).

Die jährliche Ringbildung eines Baumes hängt jedoch nicht nur vom Niederschlag und der Temperatur seines Standorts ab, sondern ist zusätzlich von zahlreichen anderen genetischen, abiotischen und biotischen Einflüssen und deren Interaktionen geprägt (Gartner et al. 2002). Im Allgemeinen sterben Bäume nicht durch einen Faktor, sondern ein Faktor schwächt die Konstitution und verhindert das Auffüllen der Kohlenstoffressourcen, sodass der gleiche und/oder andere Faktoren immer mehr auf das Individuum einwirken, es belasten und letztendlich zum Tod führen können (z.B. Bréda et al. 2006). Beispiele für diese zusätzlichen Faktoren, die nicht nur in städtischen Gebieten mit ihren speziellen Standortbedingungen und Pflegemaßnahmen auftreten, sind unter anderem Baumschnitt, Schneelast, Wind, UV-Strahlung, Durchwurzelbarkeit des Bodens, Bodenwasserverfügbarkeit, Schadstoffe, Nährstoffe, Lichtkonkurrenz, Parasitismus, Krankheiten und vieles mehr (Schweingruber 1993). Aber auch das Alter des Baumes in der untersuchten Wachstumsperiode spielt eine wichtige Rolle: junge Individuen reagieren im allgemeinen stärker auf klimatische Veränderungen, demzufolge können ihre Jahrringchronologien starke Unregelmäßigkeiten aufweisen, sodass darauf basierende klimatische Rekonstruktionen mit einem entsprechendem Hintergrundrauschen („Noise") behaftet sind (Carrer und Urbinati 2004). Krankheiten sollten in diesem Kontext ebenfalls nicht unterschätzt werden, so wiesen gesunde Spitzahornbäume (Acer platanoides) in Slowenien eine sieben Wochen längere Wachstumsperiode auf als kranke Bäume der gleichen Art (Marion et al. 2007).

Neben der Ringbreite gibt es noch andere aussagekräftige Merkmale des Holzes, z.B. die Holzdichte, anatomische und strukturelle Holzmerkmale wie Zellgröße, Zellulose-Mikrofibrillenwinkel, Zellwanddicke, Zelldurchmesser oder die Harzkanaldichte, aus denen Informationen über die Wuchsbedingungen gewonnen werden können (Wiemann et al. 1998; Wimmer 2002).

Das Verhältnis von schweren Kohlenstoffisotopen (13C) zu leichten (12C) kann für dendroökologische Fragestellungen sehr aussagekräftig sein und wird mit zunehmendem technischem Fortschritt immer leichter handhabbar (Ghosh und Brand 2003). Pflanzenmaterial besitzt grundsätzlich weniger schweren Kohlenstoff (13C) als die Atmosphäre. Dieser Unterschied ist von physikalischen und chemischen Prozessen abhängig und als Fraktionierung bekannt. Das genaue Ausmaß der Fraktionierung ist vom physiologischen Zustand der Pflanze abhängig, und zwar hauptsächlich von der Steuerung der stomatären Leitfähigkeit (gS) und der maximalen Photosyntheserate (Amax) (z.B. Scheidegger et al. 2000; McCarrollandLoader 2004). Durch Trockenstress induzierte Verengungen der Spaltöffnungen führen zu vermehrtem Einbau des schweren 13C in Photosyntheseprodukte (und schließlich in Zellulose). Das 13C/12C-Verhältnis organischen Materials, z.B. von Blättern oder Jahresringen kann anhand von massenspektrometrischen Analysen detektiert werden. Nach Dürren, hohen Temperaturen oder hohen Wasserdampfdruckdefiziten (VPD) sind Veränderungen des 13C/12C-Verhältnisses sehr genau und zeitlich hochauflösend in der Zellulose des Stammes vieler Baumarten nachweisbar (z.B. Barbour et al. 2002). Durch die starke Abhängigkeit des 13C/12C-Signals von der Wasserverfügbarkeit und Photosyntheseleistung eines Baumes ist die C-Isotopensignatur in Kombination mit Klimadaten ein guter Indikator, um physiologische Veränderungen in Bäumen als Reaktion auf variierende Klima- und Standortfaktoren zu detektieren.

Rotbuchen zeigten eine starke Abhängigkeit des Isotopenverhältnisses 13C/12C der Zellulose von der Gesamtniederschlagsmenge in den Monaten Mai, Juni und Juli (Saurer et al. 1997). Auf trockenen Standorten scheint die Wasserverfügbarkeit im Sommer der limitierende Faktor zu sein, sodass die Korrelation viel deutlicher als auf feuchten Standorten zu Tage tritt. Bei guter Wasserverfügbarkeit könnten also andere Faktoren ebenfalls eine limitierende Rolle spielen und regulierend in physiologische Prozesse eingreifen: z.B. Nährstoffverfügbarkeit, Lichtverfügbarkeit oder auch Schädlinge.

13C/12C Isotopenverhältnisse im Blatt, Ast und Stamm können außer von Klimafaktoren auch von einigen anderen Faktoren beeinflusst sein, z.B. von Baumnachbarschaften und Bepflanzungsdichten (Mölder et al. 2011; Warren et al. 2001), vom Baumalter (Steppe et al. 2011) und auch vom Bewölkungsgrad (Hartl-Meier et al. 2014). Auch am Standort Stadt wirken diese Faktoren auf die 13C/12C Isotopenverhältnisse, aber aufgrund der meist schwierigen hydrologischen Bodenverhältnisse ist damit zu rechnen, dass die Lufttemperatur und –feuchte (z.B. Lipp et al. 1991; Latte et al. 2015) sowie die Wasserverfügbarkeit (z.B. Saurer et al. 1995; Lipp et al. 1991) die wichtigsten Einflussgrößen darstellen.

Dendroökologie in der Stadt

Ältere dendroökologische Forschungen an Straßenbäumen in der Stadt unterscheiden oft nicht zwischen einzelnen Arten und fokussierten auf aktuelle Probleme der jeweiligen Zeit. Bei neueren Forschungen liegt der Fokus in den einzelnen Städten auf lokal häufigen Arten. Gillner und Roloff setzten z.B. ihr Augenmerk auf die in Dresden oft angepflanzten Arten (Spitzahorn, Bergahorn, Gewöhnliche Platane, Traubeneiche und Roteiche; Gillner et al. 2014).

Je nach Fragestellung kann die Aussagekraft dendroökologischer Untersuchungen in der Stadt vom standortspezifisch erhöhten Wassermangel profitieren: Die Abhängigkeit der Ringbildung vom Klima ist umso stärker, je trockener der Standort des Baumes ist und gute bzw. schlechte Jahre sind eindeutiger identifizierbar (z.B. Hartl-Meier et al. 2015). Dies ist umso wichtiger, da das Erstarken von anderen Einflussfaktoren wie Nährstoffverfügbarkeit, Baumschnitt u.Ä. zu einer generellen Abnahme des Klimasignals in den Jahresringchronologien im rural-urbanen Gradient führt (Chen et al. 2011). Diese Reduzierung der Signalstärken ist deutlich sichtbar im stärkeren Hintergrundrauschen der Jahresringreihen bei Stadtbäumen (Gillner et al. 2013). Um dennoch in der Stadt Art-charakteristische Klima-Reaktionsmuster identifizieren zu können, werden die Fallzahlen dendrochronologischer Studien vergleichsweise hoch angesetzt. So untersuchten Gillner et al. (2014) bis zu 12 Individuen pro Art, Cedro und Nowak (2006) 20 Straßenbäume pro Standorttyp. Auch in der Stadt hat sich v.a. der Niederschlag im Sommer als limitierender Faktor des Dickenwachstums erwiesen (z.B. Scharnweber et al. 2011; Gillner et al. 2014). In Mitteleuropa erstreckt sich die Hauptzuwachsphase bei Bäumen von Mai bis Juli (z.B. für Rotbuche: Schipka 2002); ab Juli nimmt das Wachstum stark ab, auch wenn viele Bäume danach immer noch Holz bilden, z.B. Spitzahorn in Slovenien von Mitte April bis Mitte September (Marion et al. 2012).

Bei der Analyse der Wirkung von Klimafaktoren auf den Zuwachs muss der Tatsache Rechnung getragen werden, dass die aktuelle Ringbildung auch vom Klima des Vorjahres beeinflusst sein kann (z.B. Scharnweber et al. 2011, Gillner et al. 2014). Die relative Jahresringbreite hängt infolgedessen nicht nur von der aktuellen Photosyntheserate unter den aktuell vorherrschenden Bedingungen ab, sondern auch von den im Vorjahr gebildeten Reservestoffen, die z.B. die Frühholzbildung und die Knospenentfaltung begünstigen und somit besser Ausgangslagen für die photosynthetische Produktion bewirken können.

Durch Betrachtung der 13C/12C Isotopenverhältnisse in den Jahresringen lässt sich die Wirkung von Klimafaktoren auf Bäume noch genauer erfassen (Mölder et al. 2011, Hartl-Meier et al. 2014). Insbesondere Trockenperioden schlagen sich bei vielen Baumarten, die auf Wassermangel mit einer Verengung der Spaltöffnungen zwecks Wasserersparnis reagieren, in einem erhöhtem Anteil des schweren Kohlenstoffisotops nieder (Hartl-Meier et al. 2014). Isotopen-Untersuchungen an Jahresringen von Bäumen in der Stadt sind rar. Die Abhängigkeit der 13C/12C Isotopenverhältnisse von klimatischen Einflüssen ist wie bei den Jahresringbreiten auf hydrologisch problematischeren Standorten stärker sichtbar (Warren et al. 2001). Neben der Bodenwasserverfügbarkeit als Haupteinflussfaktor können aber auch Lufttemperatur und –feuchte einen Einfluss auf das Isotopenverhältnis in der Zellulose haben (z.B. Saurer et al. 1995; Lipp et al. 1991).

Durch die Kombination von Informationen der Jahresringbreiten und der 13C / 12C Isotopenverhältnisse von Jahresringen kann der Einfluss klimatischer Faktoren auf Bäume gut charakterisiert werden (z.B. Gagen et al. 2006), indem physiologischen Reaktionen auf Stressoren und langfristige Folgen dieser Reaktionen für das Wachstum erkennbar werden. Die Anwendung dieser Methodenkombination auf das Hamburger Stammscheibenarchiv eröffnet die Möglichkeit, Einsichten in die physiologischen Verhalten der wichtigsten Baumarten bei klimatischen Extremen unter urbanen Bedingungen zu erhalten. Ausgehend von diesen retrospektiven Analysen können einerseits für die untersuchten Baumarten Vitalitätsprognosen in Zeiten des Klimawandels erstellt werden. Andererseits lassen sich womöglich verallgemeinerbare Reaktionsmuster herauslesen, anhand derer sich die Stadttauglichkeit von Baumarten und –sorten einschätzen ließe, die noch nicht nennenswert im Hamburger Stadtgebiet und somit nicht im Stammscheibenarchiv vertreten sind.



In den Jahren 2016 und 2017 wurden Stammscheiben mehrerer hundert in Hamburg gefällter Straßenbäume für dendrochronologische und Isotopen-Untersuchungen präpariert.

Bisherige Ergebnisse aus dendrochronologischen Untersuchungen an Hamburger Stadtbäumen

Der Stand der dendrochronologischen Untersuchungen im Rahmen des SiK-Projektes – mit dem Abschluss der ersten Untersuchungsphase ist Ende 2018 zu rechnen – bestätigt bereits, dass sich Baumarten an Straßenstandorten mitunter erheblich hinsichtlich Wachstum und Resilienz im Umgang mit Trockenheit unterscheiden. Vor allem die Betrachtung des Wachstumsverhaltens in und nach besonders trockenen Jahren weist auf ein unterschiedliches Wasser- und Reservestoffmanagement verschiedener Arten bei Trockenheit hin. Mithilfe der sogenannten „Superposed Epoch Analysis" (SEA) (Lough und Fritts, 1987) kann anhand der Zuwachsmuster im Bereich mehrerer trockener Jahre der Einfluss von Wassermangel auf das Wachstum und eventuelle Nachwirkungen des Stressors untersucht werden. Einerseits ergeben diese Analysen erste Hinweise auf den Reaktionstypus (siehe 3.2. Strategietypen bei Trockenstress), andererseits tritt anhand des Wachstumsverlaufs nach dem Stressereignis die Resilienz der Art hervor. Die bereits angelaufenen 13C-Isotopenuntersuchungen werden schließlich konkretere Aussagen über die physiologischen Hintergründe der unterschiedlichen Reaktionstypen ermöglichen.

Die dendrochronologischen Untersuchungen an 23 Scheinakazien *(Robinia pseudoacaia)* aus dem Hamburger Stadtgebiet zeigten für diese Art einen Wachstumsrückgang in sehr trockenen Jahren, gefolgt von einer schnellen Erholung bereits im ersten Folgejahr. Der Wachstumseinbruch bei Trockenheit lässt sich womöglich mit verringerten Spaltöffnungsweiten erklären, infolgedessen die Photosyntheseleistung und somit das Wachstum durch CO_2-Mangel limitiert wurden (sichere Aussagen zum Reaktionstyp werden nach den Isotopanalysen möglich sein). Es ist auch denkbar, dass eine stärkere Förderung des Wurzelwachstums zum verringerten Stammzuwachs beitrug. Welcher Art der Reaktionstyp auf Trockenheit auch sein mag, so wirkt er einer nachhaltigen Beeinträchtigung der Vitalität erfolgreich entgegen, denn der Holzzuwachs – als Indikator für die Ausgewogenheit des Energiehaushaltes – ist in den auf die Trockenheit folgenden Jahren nicht beeinträchtigt. Deutlich wird: Die untersuchten Scheinakazien verfügen über eine gute Resilienz, also die Fähigkeit, nach Trockenstress alle Lebensvorgänge wieder auf ein unauffälliges, gesundes Maß zu regulieren.

Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse an 26 Bergahornbäumen *(Acer pseudoplatanus)*. Ihr relatives Wachstum in trockenen Jahren weist keinen erkennbaren Rückgang auf. Die Bäume dieser Art scheinen auch bei extremer Trockenheit die Spaltöffnungen geöffnet zu lassen und die Photosyntheseleistung auf einem hohen Niveau aufrecht zu erhalten (auch hier werden sicherere Aussagen zum Reaktionstyp nach den Isotopanalysen möglich sein). Auf die Trockenphase folgt aber alsdann ein Wachstumseinbruch, der sich über vier Jahre nach dem Trockenereignis erstreckt. Daher kann von einer schlechten Resilienz dieser Art ausgegangen werden.

Die Ergebnisse für die Stieleiche (Quercus robur, 63 untersuchte Bäume aus dem Hamburger Stadtgebiet) ähneln denen für die Scheinakazie: Auch hier ist ein Wachstumsrückgang im Trockenjahr (pessimistisches Verhalten) gefolgt von einer schnellen Erholung bereits im ersten Folgejahr (gute Resilienz) festzustellen.

Betrachtet man Untergruppen der untersuchten Bäume, ergibt sich ein differenzierteres Bild bezüglich des Einflusses von Baumstandort und Baumalter auf das Wachstum. Der Vergleich von Bäume an Standorten mit einem hohen Versiegelungsgrad im Umfeld des Baumes und einer sehr kleinen unbegrünten Baumscheibe mit Bäumen auf eher unversiegelten Standorten zeigt deutliche Unterschiede im Wachstumsverlauf während und nach einer Trockenperiode. Die Stieleichen an den wenig versiegelten Standorten zeigen lediglich einen geringen Wachstumseinbruch im Trockenjahr mit einer schnellen Erholung bereits im ersten Folgejahr. Dahingegen werden die Bäume an den urbanen Standorten sichtlich mehr von der Trockenheit beeinträchtigt: Ihr Wachstum während der Trockenperiode bricht extrem ein (um das mehr als Fünffache im Vergleich zu den „ruralen" Bäumen), was auf eine unzureichende Wasserverfügbarkeit an diesen Standorten schließen lässt. Zwar erholen sich auch diese Eichen bereits im ersten Jahr nach der Trockenphase wieder, doch in den darauffolgenden Jahren liegen die Zuwachsraten weiterhin unter dem Durchschnitt. Auch der Vergleich von verschiedenen Altersgruppen der Stileichen zeigt Unterschiede in der Reaktion auf Trockenheit: Während das Wachstum der älteren Bäume (über 80 Jahre alt) von der Trockenperiode nahezu unberührt bleibt, zeigt sich bei den jungen Bäumen (unter 40 Jahre alt) eine deutliche Reaktion. Im Jahr der Trockenheit selbst geht das Wachstum gering zurück, im darauffolgenden Jahr bricht es dann extrem ein und erholt sich erst im fünften Jahr nach der Trockenheit wieder vollständig. Es ist davon auszugehen, dass die alten Bäume durch ihr tieferreichendes, weitläufigeres Wurzelwerk auch dann noch Zugang zu Wasser haben, wenn die jungen Bäume, die noch nicht ausreichend am Standort etabliert sind, bereits unter Trockenstress leiden.

Auf Grundlage der vollständigen dendrochronologischen Befunde, die inklusive der Isotopenverhältnisse der Jahresringe zum Ende des Jahres 2018 vorliegen, können zu folgenden Baumarten des Hamburger Stadtgebietes Aussagen zu Reaktionsmustern und Resilienz bei klimatischen Extremen getroffen werden (in Klammern Anzahl der untersuchten Bäume / Segmente): Quercus robur (63 / 189), Robinia pseudoacacia (23 / 69), Acer pseudoplatanus (26 / 78), Acer platanoides (29 / 87), Tilia cordata (15 / 45), Tilia vulgaris (16 / 48), Tilia tomentosa (5 / 15), Prunus avium (29 / 87), Prunus padus (6 / 18), Carpinus betulus (32 / 96). Auf derselben Datengrundlage werden sich womöglich Reaktionsmuster als Kriterium für die Stadttauglichkeit von Baumarten generalisieren lassen.

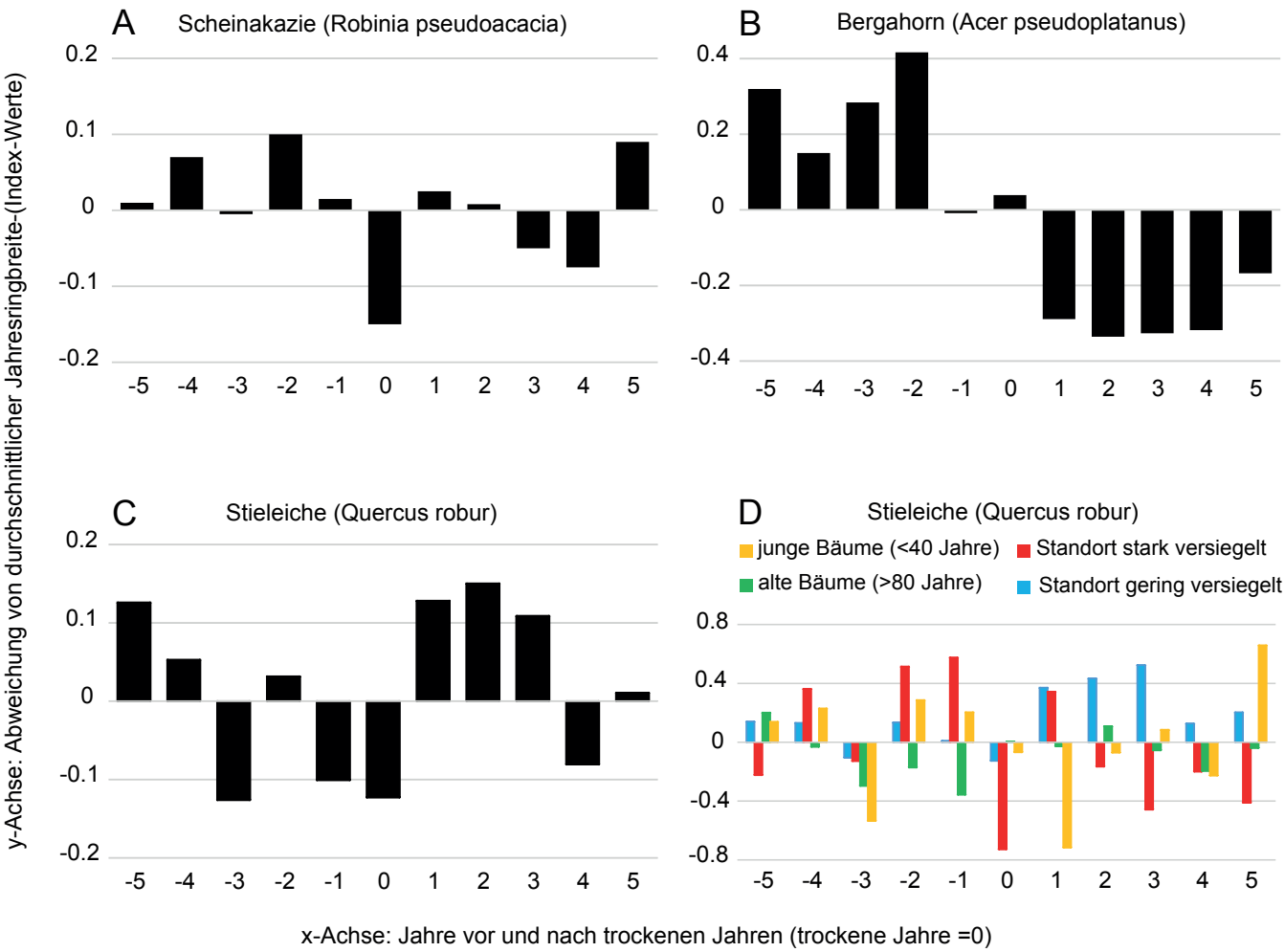


Abb 3.6: Auswirkung von Trockenheit auf den Jahresringzuwachs bei Hamburger Stadtbäumen.

Darstellung der dendrochronologischen Befunde nach "superposed epoch analysis".
Anzahl der untersuchten Bäume: Scheinakazie 23, Bergahorn 26, Stieleiche 63.
Identifizierung trockener Jahre über den "self calibrating Palmer Drought Severety Index ".



Altbaumbestand in Hamburg Wellingsbüttel. Foto: Johannes Lauer, HCU Hamburg

4. Anpassungsstrategien und Anpassungsmaßnahmen bei Stadtbäumen in Hamburg

Strategien und Maßnahmen für den Umgang mit Stadtbäumen können dazu beitragen den Bestand an Bäumen in unseren Städten trotz des Klimawandels langfristig zu erhalten. Die Anpassung an zunehmende Trockenperioden und Stürme sowie wärmere Temperaturen bedarf einerseits der Identifizierung bzgl. Stadttauglichkeit bewährter, aber auch neuer Baumarten und -sorten, die womöglich bislang im Stadtbild kaum vertreten und unter Umständen sogar nicht heimisch sind. Andererseits können Verbesserungen der hydrologischen und edaphischen Rahmenbedingungen an den Standorten dazu beitragen, die Vulnerabilität von Stadtbäumen gegenüber klimatischen Änderungen zu verringern. In Anpassungsstrategien und -programmen der deutschen Bundesländer sowie einzelner Städte werden bisher kaum Anpassungsmaßnahmen für Stadtbaumbestände genannt. Eher werden dort die positiven Funktionen der Stadtbäume für das Mikroklima und den urbanen Wasserhaushalt hervorgehoben (z.B. MKULNV NRW 2011; MU Niedersachsen 2012), u.a. auch in der Deutschen Anpassungsstrategie zur Anpassung an den Klimawandel (DAS) (Deutsche Bundesregierung 2008). In Empfehlungen zur Anpassung von Städten an Klimaveränderungen wird Bäumen aufgrund ihrer Schatten spendenden und kühlenden Eigenschaften eine besondere Bedeutung bei der Minderung der innerstädtischer Hitze zugesprochen. Zentrale Maßnahmen zur Anpassung von Städten an Klimaveränderungen sind deshalb der Erhalt und die Schaffung von Frei- bzw. Grünflächen und insbesondere das Pflanzen von Stadtbäumen (BBSR 2015; MKULNV NRW 2011; MORO Klamis 2011; Rößler 2015; Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin 2011), aber auch der Erhalt und Schutz von Altbäumen. Zudem können Baumpflanzungen zur Reduzierung von Überschwemmungen durch Starkregenereignisse beitragen, indem sie überschüssiges Regenwasser in ihren Pflanzgruben zwischenspeichern und später verdunsten. Sie sind damit – zumal an versiegelten Standorten – maßgeblich für den „natürlichen" Wasserkreislauf in der Stadt (z.B. Asadian 2010; Asadian und Weiler 2009; Keim et al. 2006). Hier spielen Ansätze der multifunktionalen Flächennutzungen sowie der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung, die Bäume mit berücksichtigen, eine zentrale Rolle. Damit wird ein naturnaher Wasserkreislauf unterstützt, der bei erwarteten zunehmenden Starkregenereignissen oder Trockenperioden immer wichtiger wird (BBSR 2015, S. 33f.).

Für den Umgang mit Stadtbäumen lassen sich drei Strategien unterscheiden (vgl. Böll et al. 2014; BBSR 2015; MORO Klamis 2011; Roloff 2013; Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin 2011):

- Der Erhalt und Schutz von Altbäumen: Hintergrund dieser ersten Strategie ist, dass sich Altbäume bereits als sehr widerstandsfähig gegenüber Trockenperioden, Starkregen oder Stürmen erwiesen haben. Bäume, die nach etwa 40 oder mehr Jahren an urbanen Standorten gut entwickelt und vital sind, haben dadurch bewiesen, dass sie mit ihren Wurzelsystemen erfolgreich weitläufige Bodenbereiche und damit entfernt gelegene Wasser- und Nährstoffressourcen erschließen konnten und dadurch zugleich im Untergrund gut verankert sind. Zudem haben Bäume erst ab einem gewissen Kronenvolumen eine nennenswert positive stadtklimatische Wirkung: Sie spenden sehr viel mehr Schatten als Jungbäume und tragen durch ihr enormes Verdunstungspotential erheblich zur Verbesserung des Mikroklimas in Wohnquartieren und Straßenzügen bei. Angesichts modernen Tiefbaus, Lückenbebauung und Versiegelung - häufig verbunden mit dem Austausch von Boden durch Füllsand – gerät die langfristige Etablierung eines neu gepflanzten Baumes immer mehr zum Glücksfall, dem durch hohe Einstufung der Schutzwürdigkeit etablierter Bäume Rechnung getragen werden muss.

- Die Anpassung der Auswahl an Baumarten oder -sorten: Diese zweite Strategie umfasst die Suche nach und die Pflanzung von robusten Baumarten und Baumsorten, die stadtspezifischen Stressoren mit geeigneten Anpassungsreaktionen begegnen. Dabei hilft eine hohe Vielfalt und genetische Diversität von neu gepflanzten Baumarten/-sorten, die Vulnerabilität des Baumbestandes einer Stadt gering zu halten. Berücksichtigt werden sollte bei dieser Strategie die erwiesene oder potenzielle Bedeutung der jeweiligen Baumart für ökosystemare Funktionen und Leistungen.

- Die Verbesserung des Standorts der Stadtbäume: Diese dritte Strategie verfolgt die (Weiter)Entwicklung von Baumscheiben und Pflanzgruben sowie die Optimierung der Substratzusammensetzung im Wurzelraum der Stadtbäume. Zentrale Aspekte sind hierbei die Schaffung eines gut durchwurzelbaren Bodenraumes sowie eine ausreichende Versorgung mit Luft, Wasser und Nährstoffen.

Während sich die erste Strategie für den Erhalt und Schutz der Altbäume in Städten auszeichnet und insbesondere bei Straßenplanungs- und Bauverfahren zum Tragen kommt, beziehen sich die anderen beiden Strategien besonders auf die Pflanzung und Entwicklung von Jungbäumen. Bestandsbäume stehen in der Regel seit vielen Jahren an einem Standort, der rückwirkend schwer verändert werden kann. Aber auch Pflanzgrubenrenovierungen bieten Möglichkeiten, die Wuchsbedingungen für die Bäume zu verbessern (Embrém et al. 2009).

Maßnahmentypen zur Stadtbaumentwicklung

	Umgang mit Altbäumen	Baumartenwahl bei Neupflanzungen	Verbesserung des Standorts
Maßnahmen	Effektive Schutzmaßnahmen bei Bautätigkeiten im Umfeld von Altbäumen	Zahl der Neu- und Nachpflanzungen erhöhen	Pflanzgruben vergrößern: Wurzelraum sollte etwa so groß sein wie die Krone des ausgewachsenen Baumes; 1,5 m tief, 12 m3 Volumen; -Baumscheibe mind. 6 m2 (gemäß FLL 2015)
		Auswahl klimarobuster Baumarten und –sorten (siehe Zukunftsbaumliste)	Ggf. Wurzelgräben anlegen
		Artenreiche Pflanzungen	Bodensubstrate mit guter Luft-, Wasser- und Nährstoffversorgung auswählen
			Verbesserung der Wasserversorgung durch Regenwasserzufuhr prüfen
	Zusammenarbeit von Verkehrsplanung und Landschaftsplanung in Straßenplanungsverfahren		
	Sensibilisierung von Verkehrs- und Tiefbauern für den Schutz der Stadtbäume		
	Monitoring und begleitende Untersuchung zur Prüfung der Effektivität der Maßnahmen im Zusammenhang mit Krankheiten und Schädlingen, Entwicklung von Abwehrstrategien und deren Berücksichtigung in der fortlaufenden Baumpflege		

Tabelle 4.1: Maßnahmentypen zur Stadtbaumentwicklung

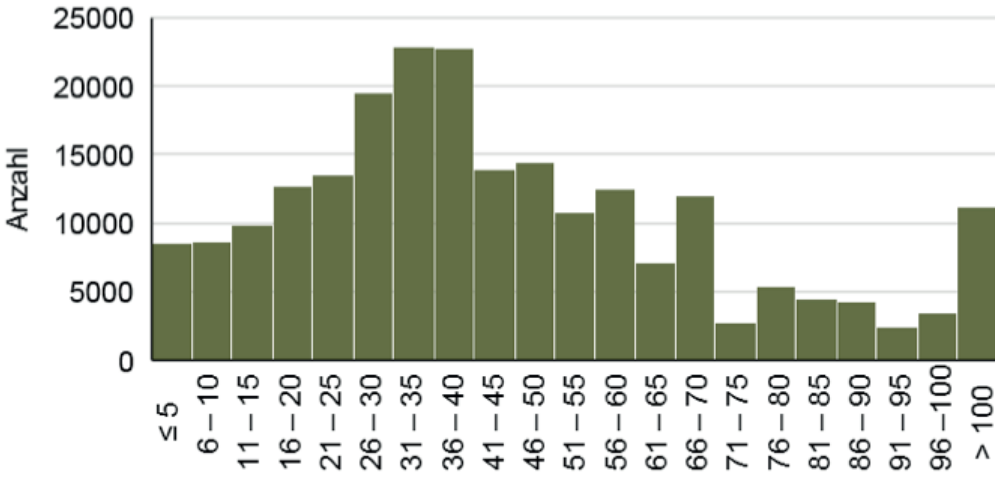
4.1 Umgang mit Altbäumen

Der Bestand an Bäumen innerhalb des Stadtgebiets von Hamburg verteilt sich zunächst auf öffentliche und private Grundstücke und innerhalb der öffentlichen Grundstücke wiederum auf Waldflächen, Parks und Erholungsflächen sowie straßenbegleitenden Flächen. Hier werden nur die Bäume betrachtet, die auf den letztgenannten Flächen wachsen und für die durch ein seit 1998 betriebenes Straßenbaumkataster detaillierte Informationen vorliegen. In dem Kataster sind (Auszug 2016) rund 225.000 Bäume erfasst. Das durchschnittliche Alter aller Bäume beträgt 44,8 Jahre, der Median 38 Jahre, wobei als Alter die Lebensdauer am Standort seit der Pflanzung betrachtet wird. Zu diesem Zeitpunkt weisen die Bäume oft schon ein Alter von bis zu 15 Jahren auf. Auch wenn dieses Durchschnittsalter erstmal für potentiell lang lebende Bäume gering erscheint, muss betont werden, dass Hamburg für eine Stadt einen relativ hohen Altbaumbestand hat. So gibt es beispielsweise 11.339 Straßenbäume, die älter als 100 Jahre sind. Parkbäume und Bäume auf privaten Flächen sind dabei nicht mitgezählt.

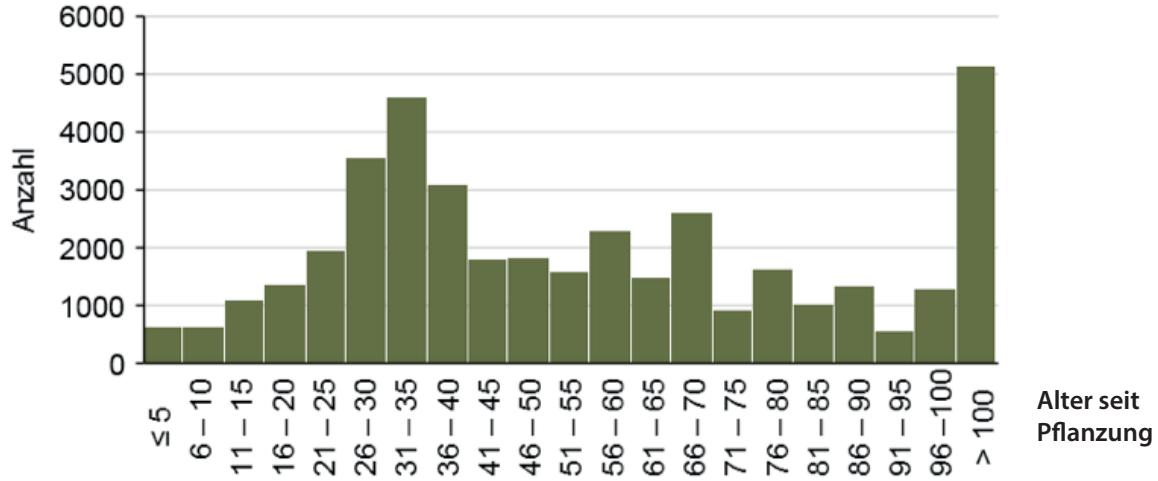
Bei der Altersverteilung ist deutlich zu sehen, dass die Anzahl der Bäume nicht kontinuierlich mit dem Alter seit der Pflanzung zurückgeht. Anstelle dessen steigt die Anzahl der Bäume mit zunehmendem Alter zunächst an und erreicht in der Altersklasse 31-36 Jahre (am Standort gepflanzt) ihr Maximum, bevor die Anzahl der Bäume mit zunehmendem Alter abnimmt. Das zeigt, dass früher – besonders im Zeitraum von vor 25-45 Jahren - mehr Bäume gepflanzt wurden als heute.

Betrachtet man die Altersverteilung der 10 häufigsten Arten der Hamburger Straßenbäume nach dem Straßenbaumkataster (BUE, 2016) – Stiel-Eiche, Holländische Linde, Spitz-Ahorn, Winter-Linde, Hainbuche, Ahornblättrige Platane, Sand-Birke, Kaiser-Linde, Gemeine Esche und Berg-Ahorn – zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Baumarten. So gibt es bei den Stiel-Eichen (siehe Abbildung 4.1 mitte) auch Exemplare, die älter als 200 Jahre sind, während bei anderen Baumarten wie zum Beispiel der Ahornblättrigen Platane (siehe Abbildung 4.1 unten) nur sehr wenige Bäume vor mehr als 50 Jahre gepflanzt wurden.

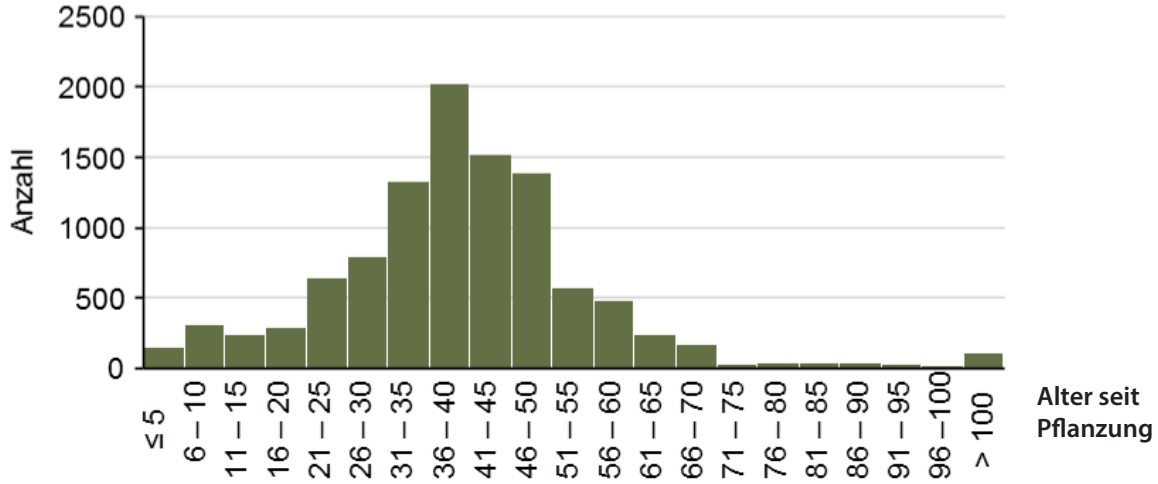
Wenn man jedoch Bedeutung und Zukunftsaussichten von Bäumen betrachtet, müssen vitale Straßenbäume schon ab einem Alter von 40 Jahren als besonders schützenswert gelten, denn diese Bäume haben damit bereits ihre Zukunftsfähigkeit aufgezeigt. Knapp die Hälfte der Hamburger Straßenbäume ist über 40 Jahre alt und besitzt das Potenzial, zunehmende Probleme mit Baumkrankheiten, Baumschädlingen, Schadstoffen und den sich abzeichnenden Folgen des Klimawandels zu bewältigen. Der Schutz dieses bereits etablierten Baumbestands ist deshalb ein zentraler Aspekt nachhaltiger Stadtentwicklung, die Umwelt-, Grün-, Sozial- und Gesundheitspolitik verknüpfen muss.



Alterverteilung aller Bäume aus dem Straßenbaumkataster (2016)



Alterverteilung der Stiel-Eichen (Quercur robur) aus dem Straßenbaumkataster (2016)



Alterverteilung der Platanen (Platanus acerfolia) aus dem Straßenbaumkataster (2016)

Abbildung 4.1: Altersverteilung im Jahr 2016 aller Bäume, (oben) der Stiel-Eichen (Mitte) und der Platanen (unten). Grafik IfB auf Grundlage des Straßenbaumkatasters (BUE 2016)

Die vielfältige Bedeutung der Bäume und damit auch ihr Wert lassen sich neben dem Alter der Bäume auch an deren Größe und Vitalität festmachen. Es sind vor allem die großen Bäume, die aufgrund ihrer ausgebildeten Krone zu einer Dämpfung der sommerlichen Hitze beitragen, die zum Verweilen im Schatten einladen und die den in der Stadt lebenden Tieren einen Lebens- und Nahrungsraum anbieten können. Wie die Untersuchungen von Thomsen (2017) am Beispiel von großen Stieleichen am Straßenrand des Borgwegs gezeigt haben (Kronenradien 13 – 18 m), sind diese Bäume in der Lage mit ihrem ausgedehnten Wurzelsystem Wasservorräte zu erschließen, die in Zeiten des Feuchtemangels im Boden für eine ausreichende Verdunstung sorgen können. Da die Bäume aufgrund der erreichten Größe zeigen, dass sie sich den z. T. widrigen Standortbedingungen soweit angepasst haben, dass ein Wachstum, in kritischen Phasen wenigstens ein Überleben sichergestellt ist, sollte sich der Schutz des vorhandenen Baumbestands besonders auf diese Bäume konzentrieren.

Hinsichtlich der Kronengröße werden Bäume von FLL (2015) in drei Klassen eingeteilt:

- 1. Ordnung (große Bäume)
  mit Wuchshöhen bis ca. 40 m und oberirdischem Raumbedarf bis über 4000 m³,
- 2. Ordnung (mittelgroße Bäume)
  mit Wuchshöhen bis ca. 20 m und oberirdischem Raumbedarf bis über 1500 m³,
- 3. Ordnung (kleine Bäume)
  mit Wuchshöhen über 10 (bis 15) m und oberirdischem Raumbedarf bis über 1000 m³.

Bei der Visualisierung des Straßenbaumkatasters werden folgende Größenklassen des Kronendurchmessers unterschieden:

a) ≤ 2 m,
b) 2 bis 5 m,
c) 5 - 10 m,
d) 10 - 15 m,
e) 15 - 20 m und
f) > 20 m.

Hier werden die Klassen d) – f) (BUE) betrachtet, also Bäume mit einem Kronendurchmesser von mindestens 10 m als Beispiel für eine Baumklasse, die auch unabhängig vom Baumalter einen bevorzugten Schutz im Rahmen der Stadtplanung benötigen. Deren zahlenmäßiger Anteil beträgt 39,2 %, sie tragen aber zu 73,4 % zur Gesamtkronenfläche aller erfassten Straßenbäume bei (Abbildung 4.2). Dabei ist wiederum der höchste Anteil in der Klasse 10 – 15 m Kronendurchmesser zu finden. Da die Funktion der Bäume genau genommen nicht von der Kronenfläche, sondern von dem Volumen der Krone und dem Blattflächenindex abhängig ist, wird der Wert der Bäume bei Reduktion auf die Kronenfläche im Grundsatz unterschätzt. Dies bedeutet, dass der Beitrag der Straßenbäume mit ≥ 10 m Kronendurchmesser zu den Ökosystemleistungen vermutlich deutlich über 73,4 % liegt, hier aber nicht genauer angegeben werden kann.

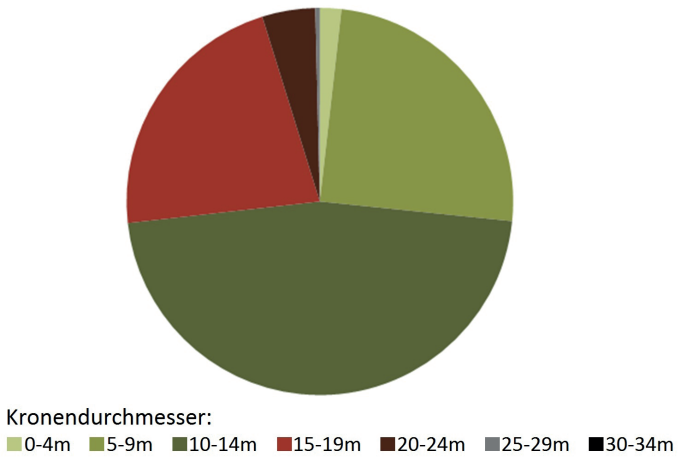


Abbildung 4.2: Anteil der Größenklassen in m an der Kronenfläche aller Straßenbäume in Hamburg. Grafik IfB auf Grundlage des Straßenbaumkatasters (BUE 2016)

Die am Straßenrand in Hamburg gepflanzten Baumarten weisen ein unterschiedlich schnelles Wachstum auf, d.h. sie erreichen die Größenklasse ≥ 10 m Kronendurchmesser auch bei günstigen Bedingungen unterschiedlich schnell. Während die Ahornblättrige Platane relativ schnell wächst und nach etwa 35 Jahren am Standort (1980 gepflanzt) bereits einen Kronendurchmesser von 11,5 m aufweist (Abbildung 4.3), haben gleichalte Sand-Birken und Hainbuche mit im Mittel 6,9 m deutlich geringere Kronendurchmesser. Die im Jahr 1950 gepflanzten Bäume haben abgesehen von den Hainbuchen und Sand-Birken im Mittel die Klasse der großen Bäume (≥ 10 m Kronendurchmesser) erreicht (Abbildung 4.4).

Bei der Betrachtung der Kronengröße ist allerdings immer zu bedenken, dass sich die Angaben auf die Hamburger Straßenbäume beziehen, von denen sehr viele so dicht an Straßen und Gebäuden stehen, dass sie regelmäßig beschnitten werden müssen und dadurch nicht die potentiell mögliche Größe erreichen können. Deshalb bedürfen häufig auch ‚kleinere' Bäume schon eines besonderen Schutzes, z.B. bei den Maßnahmen zum Straßenumbau und in weiteren Planungen zur Stadtentwicklung

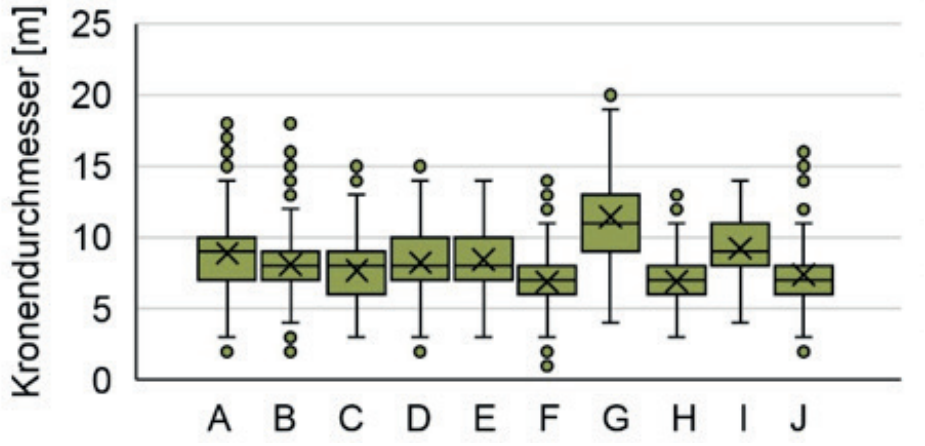


Abbildung 4.3: Verteilung der Kronendurchmesser bei 1980 gepflanzten Bäumen im Jahr 2016.

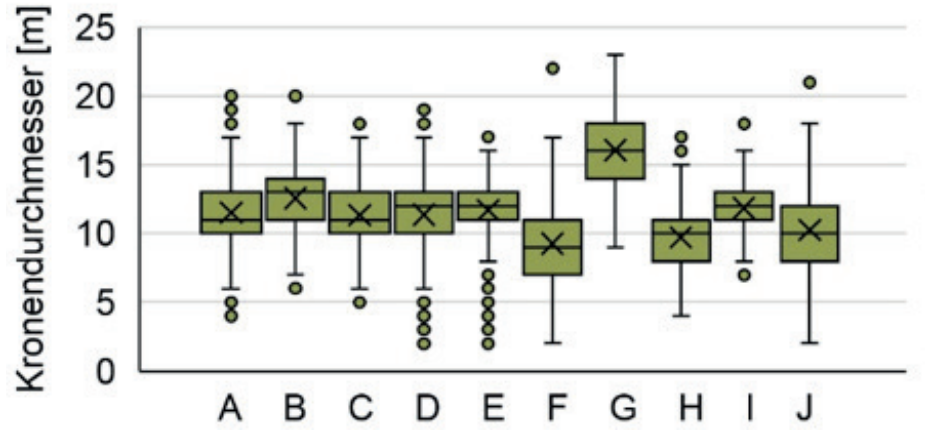


Abbildung 4.4: Verteilung der Kronendurchmesser bei 1950 gepflanzten Bäumen im Jahr 2016

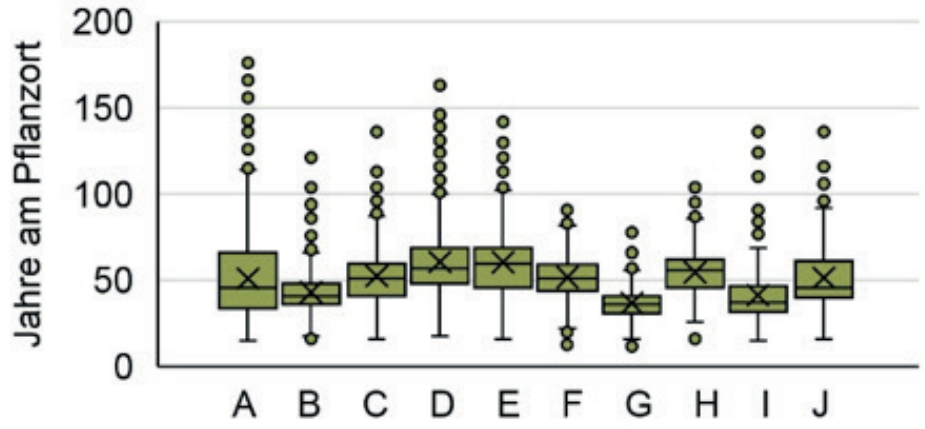


Abbildung 4.5: Verteilung der Wuchszeit am Standort, bei dem der Kronendurchmesser von 10 m erreicht wurde

Abbildungen oben: Grafik lfB auf Grundlage des Straßenbaumkatasters (BUE 2016)

Wenn betrachtet wird, wie lange die einzelnen Baumarten am Straßenrand stehen, bis sie einen Kronendurchmesser von 10 m erreichen, so ergibt sich folgende Reihenfolge anhand des Medianwerte (Abbildung 4.7):

Platane (Platanus acerfolia, 36 a) < **Kaiserlinde** (Tilia vulgaris 'Pallida', 37 a) < **Spitzahorn** (Acer platanoides, 41 a) < **Stieleiche** (Quercus robur, 46 a) = **Esche** (Fraxinus excelsior, 46 a) < **Bergahorn** (Acer pseudoplatanus, 51 a) = **Hainbuche** (Carpinus betulus, 51 a) < **Sand-Birke** (Betula pendula, 56 a) < **Sommerlinde** (Tilia vulgaris und intermedia, 57 a) < **Winterlinde** (Tilia cordata, 60 a)

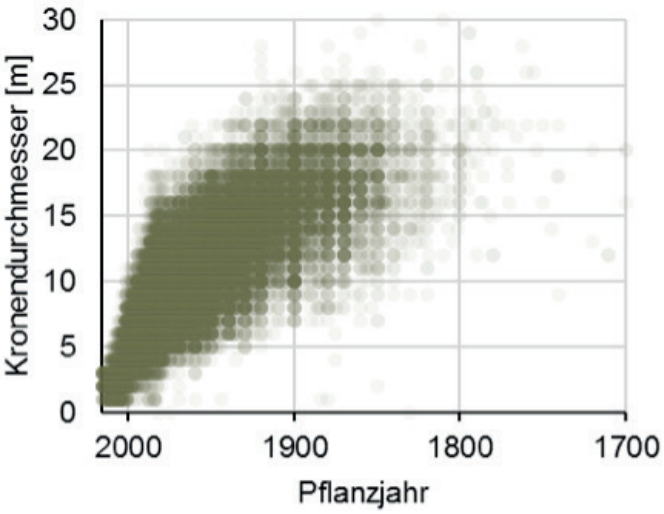
Die folgenden Baumarten sind in den drei Abbildungen jeweils dargestellt:

A Stiel-Eiche
B Spitz-Ahorn
C Berg-Ahorn
D Holländische Linde
E Winter-Linde
F Hainbuche
G Ahornblättrige Platane
H Sand-Bike,
I Kaiserlinde
J Gemeine Esche

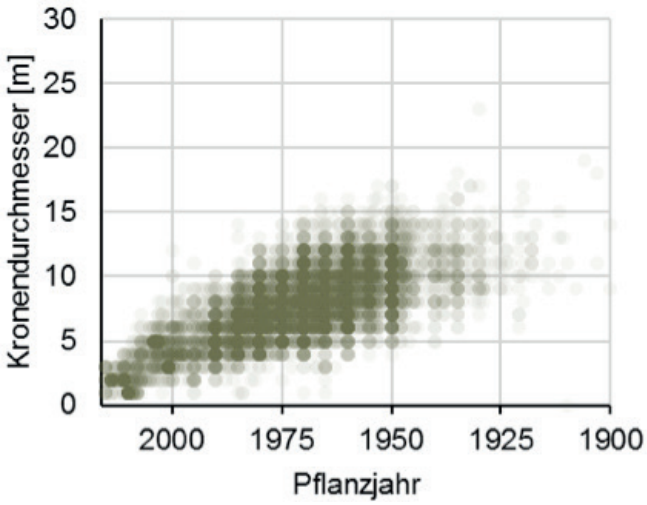
Abbildung 4.8 verdeutlicht die Entwicklung der Kronendurchmesser ausgewählter Baumarten im Einzelnen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Arten unterschiedliche Lebenserwartungen haben, es z.B. über 200jährige Eichen gibt aber kaum Sandbirken oder Hainbuchen mit einem Alter von über 100 Jahren. Zudem ist die Breitenentwicklung der Krone artspezifisch verschieden. Bei den Stieleichen erreichen einzelne Bäume bereits 16 Jahre nach der Pflanzung den Kronendurchmesser von 10 m, aber auch über 100jährige Eichen können noch darunter liegen.

Sandbirken und Hainbuchen haben miteinander vergleichbare Wachstumraten am Straßenrand und verbleiben im Mittel immer unterhalb der 10-m-Kronendurchmesserklasse. Dagegen zeigen Ahornblättrige Platanen ein schnelles Wachstum und können auch Kronendurchmesser von über 15 m nach etwa 50 Jahren nach der Pflanzung am Standort erreichen.

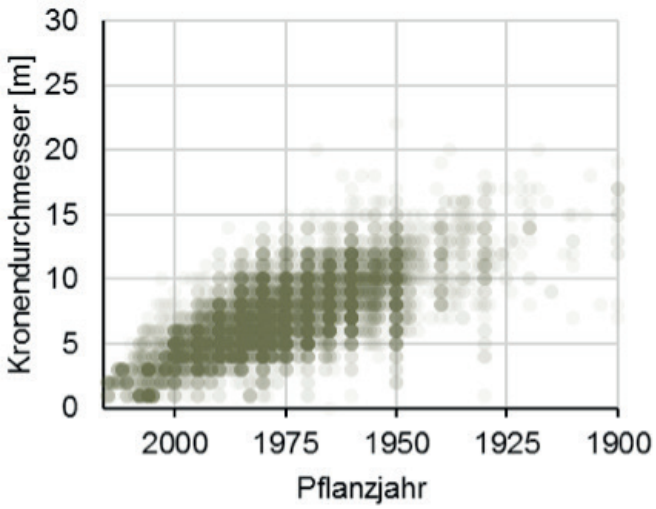
Stieleiche *(Quercus robur)*



Hängebirken *(Betula pendula)*



Hainbuchen *(Carpinus betulus)*



Ahornblättrigen Platanen
(Platanus x hispanica)

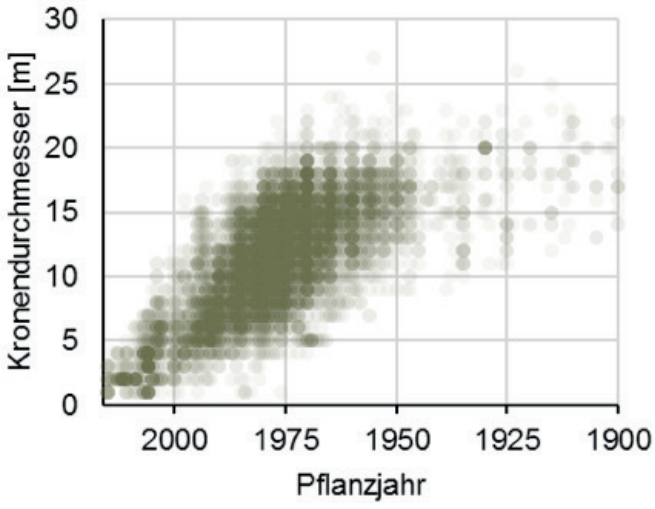


Abbildung 4.6: Entwicklung der Kronendurchmesser bei Stieleichen (Quercus robur), Hängebirken (Betula pendula), Hainbuchen (Carpinus betulus) und Ahornblättrigen Platanen (Platanus x hispanica). Quelle: IfB basierend auf Daten des Straßenbaumkatasters (BUE 2016)

Der Schutz des Baumbestandes in der Stadt Hamburg ist generell geregelt, insbesondere durch das Hamburger Naturschutzgesetz und die untergesetzliche Baumschutzverordnung, die Bäume mit über 25 cm Stammdurchmesser (in Brusthöhe) unter einen besonderen Schutz stellt (FHH 2010). Auf Basis der Verordnungen hat die Umweltverwaltung der Stadt „Arbeitshinweise zum Vollzug der Baumschutzverordnung" (FHH 2017) erstellt. Im Grundsatz gelten in Hamburg von daher eine Reihe von Verboten im Stamm- und Kronenbereich der Bäume (z.B. Beschädigungsverbot für Wurzeln, Verdichtungs-, Verschmutzungs- und Versiegelungsverbot für den Boden, Verbot zur Errichtungen baulicher Anlage, Verbot des Abgrabens, der Ausschachtung und der Aufschüttung). Ähnliche Regelungen werden auch in anderen Städten umgesetzt (z.B. Landeshauptstadt Hannover (2015), Landeshauptstadt München (2013).

In Bezug auf die Straßenbäume treten vielfältige Nutzungskonflikte auf, die dennoch oft zu Lasten der bestehenden Bäume entschieden werden. Die Durchsetzung eines Verdichtungsverbots auf den unversiegelten Baumscheiben gegenüber den Interessen der Städter ist praktisch unmöglich, da die Flächen traditionell betreten, mit Zweirädern befahren, zum Abstellen von Mülleimern oder auch zum Parken von PKW gebraucht werden. Die Sicherstellung des Wasser- und Luftaustauschs im Bereich der Baumscheibe kann daher nur konstruktiv sichergestellt werden, indem z. B. Bügel das Parken in der Nähe des Stamms ausschließen, Kantsteine Fahr- und Gehwiderstände aufbauen und die Verwendung grober Substrate den Wasser- und Luftaustausch auch bei verdichtender Nutzung ermöglichen.

Wesentliche Konfliktfelder treten bei Baumaßnahmen im Straßenprofil auf, bei denen in unterschiedlicher Weise in den Wurzel- und Kronenraum von Bestandsbäumen eingegriffen wird. Da es sich um Bäume handelt, die auf öffentlichen und dem Verkehr gewidmeten Flächen stehen, sind die Träger der Straßenbaulast von der Pflicht befreit, Ausnahmeanträge zu den Festsetzungen der Baumschutzverordnung beantragen zu müssen. Allerdings ist bei der Planung eine Beteiligung der für den Baumschutz zuständigen Stellen notwendig und deren Stellungnahme mit abzuwägen. Auch gilt die Befreiung von den Festsetzungen der Baumschutzverordnung nicht für private Baumaßnahmen und für Unternehmen, die Leitungen im Straßenraum besitzen oder verlegen wollen.

Das Regelwerk und die administrativen Umsetzungsmaßnahmen stellen zwar weitgehend sicher, dass auch im öffentlichen Raum stehende Bäume vor Schädigungen bewahrt werden. Dazu tragen auch die regelmäßige Überwachung des Baumbestands und die Pflege des Baumkatasters erheblich bei. Zu einem vorsorgenden Schutz von Straßenbäumen gehört aber auch eine zukünftige Vermeidung von Rohr- und Kabeltrassen im Nahbereich der Stämme bzw. des durchwurzelten Bodens, was durch eine bevorzugte Verlegung im Fahrbahnbereich erreicht werden könnte. Insbesondere Fußwege und Grünstreifen, in denen zurzeit zahlreiche Trassen verlegt sind, sollten aus Sicht des Schutzes von Altbäumen in Zukunft planerisch von Trassen freigehalten werden. Denn bei der Verlegung von Leitungstrassen im Gehwegbereich in unmittelbarer Nähe von Altbäumen lässt es sich nicht vermeiden, dass Wurzeln in erheblichem Umfang geschädigt werden (Der Anteil durch Trassierung geschädigter Wurzeln verringert sich schon rein rechnerisch mit dem Quadrat der Entfernung der Trasse vom Baum). Dass zur Realisierung dieser Forderungen eine häufigere Inanspruchnahme der Fahrbahnen für Reparatur und Verlegung von Leitungen mit allen Konsequenzen für den Verkehrsfluss notwendig ist, sollte durch die Vorteile, die die Altbäume auch bei der künftigen Klimaentwicklung für die Stadtbewohner bieten, leicht wieder ausgeglichen werden.

4.2 Auswahl von Baumarten und Baumsorten

Mit der Frage nach klimaangepassten Baumarten und -sorten haben sich bereits verschiedene Projekte, Verbände und Institute beschäftigt (z.B. das Projekt „Stadt- und Straßenbäume im Klimawandel" der Stadt Jena, das Projekt „Stadtgrün 2021" oder das Projekt „Alleen der Zukunft" des Forschungsverbundes INKA-BB in der Region Berlin-Brandenburg). In dem Projekt „Stadtgrün 2021" der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau werden derzeit etwa zwanzig ausgewählte Baumarten auf ihre Eignung als „zukunftsträchtige Stadtbäume" getestet. Die Auswahl der Baumarten erfolgte dabei unter Berücksichtigung der natürlichen Standortansprüche, Trockenstress-, Hitzestress-, Frost- und Spätfrosttoleranz sowie der Anfälligkeit für Schädlinge und Krankheitserreger. Zudem sind städtebauliche Aspekte, z.B. Wuchsform und Erscheinungsbild, berücksichtigt worden (Böll et al. 2014). Das Ziel des Jenaer Projekts „Stadt- und Straßenbäume im Klimawandel" ist es, die künftigen Lebensbedingungen der Jenaer Stadt- und Straßenbäume zu skizzieren und Baumarten zu identifizieren, die mit den zukünftigen Klimabedingungen besser zurechtkommen. Darauf aufbauend wurden Baumartenempfehlungen für Stadt- und Straßenbäume erarbeitet (Knopf 2015). Daneben gibt es Erkenntnisse der Straßenbaumtests der Gartenamtsleiterkonferenz (GALK), die u.a. Aussagen zu Wuchs und Phänologie von unterschiedlichen Baumarten und -sorten an Straßenstandorten in Regionen mit unterschiedlichen Klimaausprägungen zulassen (GALK 2015).

In den vergangenen Jahren ist auch der Befall von Stadtbäumen mit Krankheiten und Schädlingen drastisch angestiegen, was wohl der Globalisierung, aber auch den erhöhten Durchschnittstemperaturen geschuldet ist. Standardlösungen gibt es keine, es müssen vielmehr verschiedene Maßnahmen ineinander greifen. Grundsätzlich spielt hier die angestrebte Artenvielfalt in den Städten eine wichtige Rolle, da sich Krankheiten und Schädlingen in Monostrukturen rasch in der Stadt ausbreiten können. Die Auswahl verschiedener, regional gut geeignete Baumarten und entsprechende Entscheidungshilfen, wie die GALK-Straßenbaumliste mit langjährigen Erfahrungen aus den unterschiedlichsten Kommunen, gewinnen damit an Bedeutung.

Wissenschaftliche Arbeiten zur Reaktion von Stadtbäumen auf Klimafaktoren umfassen insbesondere Baumringanalysen im Hinblick auf Zuwachsleistungen in Abhängigkeit von Temperatur und Niederschlag (vgl. Kapitel 3). Nach der KLAM (KlimaArtenMatrix) (Roloff 2013,), die u.a. auf den Ergebnissen der Arbeit von Gillner et al. (2014) aufbaut, gelten bei Klimaveränderungen, besonders im Hinblick auf Trockentoleranz und Winterhärte, folgende Baumarten als besonders geeignet für urbane Standorte: Feld-Ahorn, Grau-Erle, Zitter-Pappel, Vogel-Kirsche, Gemeine Robinie, Ginkgo, Virginische Hopfenbuche oder Zerreiche (Roloff 2013.). Die Trockenheitstoleranz von Baumarten stellt bei der Anpassung an den Klimawandel ein zentrales Auswahlkriterium für Stadtbäume dar (Böll et al. 2014; Gillner 2012; Roloff 2013, vgl. auch Kapitel 3). Insbesondere dann, wenn kommunale Finanzmittel für die Bewässerung von Bäumen nicht sichergestellt sind, gilt es, Baumarten oder -sorten zu pflanzen, die bei länger anhaltenden Trockenperioden keinen Vitalitätsverlust erleiden (Rößler 2015; Roloff 2013).

Für die angestrebten Vitalitätsprognosen an Hamburger Straßenstandorten werden im Rahmen des SiK-Projektes ebenfalls dendrochronologische Untersuchungsmethoden an Stadtbäumen herangezogen. Neben der daraus ableitbaren Abhängigkeit der Wuchsleistung von klimatischen Faktoren und von Standortgegebenheiten wird durch die zusätzlichen Analysen der Kohlenstoffisotope erkennbar, welcher Reaktionstyp auf Trockenstress an Stadtstandorten eine Art charakterisiert (vgl. Kapitel 3.3). So wird einerseits in der Retrospektive der untersuchten Straßenbäume ersichtlich, wie stark eine Art in trockenen Jahren Wachstumseinbußen erlitt und wie schnell sie sich in den Folgejahren von diesem Stress erholte, d.h. welches Maß an **Resilienz** sie im Hinblick auf Trockenstress auszeichnet. Andererseits zeigen die Isotopenanalysen, welcher **Reaktionstyp der Spaltöffnungen** – von optimistisch bis pessimistisch (s. Kapitel 3.2 und 3.3) – mit welchem Maß an Resilienz in Verbindung steht.

Angesichts des zunehmenden Wassermangels in der Stadt folgt eine erste Vitalitätsprognose einzelner Baumarten der Hypothese, dass sich insbesondere solche Bäume an Straßenstandorten bewähren werden, die sich rasch von Trockenstress erholen, auch (oder sogar gerade wenn?) die Wachstumseinbußen während eines trockenen Jahres erheblich waren. Auf Basis des aktuellen Kenntnisstandes zeichnet sich ab, dass Baumarten des pessimistischen Reaktionstyps dieses Kriterium erfüllen. Für die bessere Stadttauglichkeit pessimistisch reagierender Baumarten spricht auch die Befundlage aus dem Bodenwasser-Monitoring: An urbanen Standorten junger Bäume vermochten selbst sehr hohe Sommerniederschläge (wie im Jahr 2017) den angespannten Wasserhaushalt nicht hinlänglich zu entspannen. Es scheint also plausibel, dass es strategisch günstiger für einen Straßenbaum ist, durch Verringerung der Öffnungsweiten der Stomata (Spaltöffnungen in den Blättern) die Wasserreserven im Boden zu schonen, statt das photosynthetische Produktionsniveau aufrecht zu erhalten, um in andere Stressstrategien investieren zu können (wie z.B. Synthese von Substanzen zum Schutz gegen Dehydrierung und ihre Folgen).

Neben der Reaktion der Spaltöffnungen spielt für einen unkritischen Wasserhaushalt bei begrenzten Bodenwasser verfügbarkeit die Ausdehnung des Wurzelsystems eine bedeutende Rolle. Baumarten, deren Wurzelwachstum auf hydrologisch schwierigen Substraten wie Sanden besonders dann ausgeprägt ist, wenn ausreichende Wasserversorgung hohe Photosyntheseleistung erlaubt (sog. **„proaktives" Wurzelwachstum,** vgl. Kapitel 3), werden an stark urban geprägten Standorten bessere Chancen haben, sich ein ausreichendes Bodenvolumen für einen nachhaltigen Vitalitätserhalt zu erschließen.

Aussagen zum Reaktionstyps der Spaltöffnungen und zur Resilienz von Baumarten lassen sich retrospektiv aus den erwähnten dendrochronologische Untersuchungsmethoden gepaart mit meteorologischen Daten und Analysen der Kohlenstoffisotope gewinnen. Das Spektrum der Untersuchungen bleibt aber auf das im Stadtgebiet übliche Sortiment von Baumarten beschränkt. Testpflanzungen „neuer" Arten und Sorten an Straßenstandorten, wie sie z.B. von der GALK realisiert werden, geben zwar Aufschluss über sich äußerlich manifestierende Aspekte der Straßentauglichkeit. Um aber Vitalitätsprognosen unter veränderten Klimabedingungen mechanistisch begründen zu können, sind weitere methodische Ansätze zu empfehlen, mit denen Reaktionstypen im Hinblick auf Resilienz, Regulation der Spaltöffnungen und Wurzelwachstumsstrategie erfasst werden können.

Im Rahmen des SiK-Projektes wurden neben den Untersuchungen an Straßenbäumen in einer **Pilotstudie an zwei- bis dreijährigen Sämlingen** Reaktionsschwellen in Abhängigkeit von Bodenbeschaffenheit und Bodentrockenheit durch porometrische Untersuchungen der Spaltöffnungsreaktionen im Freiland untersucht. Die Arten wurden so ausgewählt, dass sie nach bisherigem Kenntnisstand (aus Literatur und Erfahrungsstand des Hamburger Baum-Mangements) das Spektrum der Trockenresistenz von eher „gering" bis eher „stark" reichte (z.B. Bergahorn, Spitzahorn, Stieleiche, Zerreiche). Bei den im Feldexperiment verwirklichten stark kontrastierenden Bodenbeschaffenheiten (Sand vs. Lehm) ließ sich anhand der in den Sommermonaten gemessenen Spaltöffnungsreaktionen erkennen, dass an Trockenheit angepasste Arten auf sandigem Boden die Spaltöffnungsweiten deutlich reduzierten. Als wenig angepasst geltende Arten zeigten zwischen lehmigen und sandigen Standorten keine Unterschiede des Öffnungszustandes ihrer Stomata. Die vergleichsweise arbeitsintensiven porometrischen Untersuchungen wurden begleitet von Analysen der Kohlenstoffisotope in den Pflanzenorganen. Auf Grundlage bisheriger Ergebnisse lässt sich zeigen, dass auch mit der zeitsparenden und logistisch wenig aufwendigen Methode der Isotopenanalyse der Reaktionstyp der Spaltöffnungen mit hinlänglicher Sicherheit bestimmt werden kann.

Die bisherigen analytischen Befunde aus den SiK-Projektaktivitäten (Dendrochronologische Studien an Stadtbäumen, Monitoring-Standorte, Pilotstudie) führen zu einem ersten **Proof of Concept:** Spaltöffnungsreaktionen des „pessimistischen" Typus

vermitteln eine angemessene Anpassung an Situationen verringerter Wasserverfügbarkeit urbaner Prägung (geringes Wasserhaltevermögen des Substrates, keine Enstpannung des Wasserhaushaltes durch Sommerniederschläge); Die Reaktionstypen treten bei sehr jungen Pflanzen an sandigen im Vergleich zu lehmigen Standortbedingungen deutlich hervor; Durch Analyse der stabilen Kohlenstoffisotope lassen sich artspezifische Reaktionstsypen mit einiger Sicherheit erfassen.

Die Feldversuche mit kontrastierenden Bodenbeschaffenheiten wurden auch für die Fragestellung herangezogen, ob sich durch parallele Isotopuntersuchungen an Wurzeln, Sprossen und Blättern die Verteilung der Photosyntheseprodukte auf die Pflanzenorgane, sprich das **Allokationsverhalten** von Baumarten charakterisieren lässt. Erste Befunde lassen vermuten, dass es womöglich kein für alle Arten geltendes Reaktionsmuster darstellt, dass unter trockenen Bedingungen das Wurzelwachstum gefördert wird. Vielmehr deutet sich an, dass gerade als empfindlicher gegen Trockenheit geltende Arten erst bei geringer Wasserverfügbarkeit vermehrt in Wurzlwachstum investieren, während als gut trockenheits-verträglich geltende Arten in sandigem Substrat auch dann in Wurzeln investieren, wenn ausreichend Wasser verfügbar ist. Wenn sich diese Befunde durch weitere Untersuchungen und auch an anderen Arten bestätigen, so ist dies für die Artenauswahl von großer Bedeutung, da die effektive Durchwurzelung bzw. Überwindung bisweilen mächtiger Schichten technogener Substrate an Straßenstandorten für die Erschließung tiefer gelegener oder weiter entfernter Wasserressourcen und somit für die Überdauerung von Trockenheit entscheidend sein kann.

Es müssen womöglich nicht bei jeder Baumart die genannten Eigenschaften (Typ der Staltöffnungsreaktion, Resilienz, Strategie des Wurzelwachstums), die über die Toleranz gegenüber klimabeeinflussten Stressoren in der Stadt entscheiden, experimentell noch erfasst werden. In einigen Fällen können diese Informationen auch aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen herausgelesen werden. Durch Literaturrecherchen ließen sich aus einer vorläufigen Liste von 50 für Hamburg relevanten Baumarten (s.u.) für 15 Arten die Reaktionstypen der Spaltöffnungen näherungsweise bestimmen; zu 10 Arten ließen sich vage Aussagen zur Resilienz ableiten; und zu 16 Arten ließen sich Informationen zum Wurzelwachstum finden (nicht jedoch im Vergleich unterschiedlicher Substrateigenschaften). Angesichts der geringen „Ausbeute" an verwertbaren Informationen ist zu empfehlen, unter annähernd standardisierten Bedingungen belastbare Datensätze zu den genannten Eigenschaften für alle zukünftig als Straßenbaum in Frage kommenden Baumarten und sorten zu generieren. Auf der experimentellen Grundlage der SiK-Pilotstudie bietet sich an, unter Ägide des Stadtbaum-Managements der Stadt Hamburg und der Universitätsinstitute in Zusammenarbeit mit Baumschulen und deren Verbänden ein standardisiertes Test-Verfahren zu entwickeln, um Typen der Spaltöffnungsreaktion auf hydrologische Bodeneigenschaften und -situationen zu identifizieren. Entsprechende on-farm Experimente an Baumschulen und an bodenhydrologisch dokumentierten Straßenstandorten könnten auch dazu genutzt werden, um Methoden zu etablieren, mit denen eine standardisierte Analyse der Dynamik des Wurzelwachstums zu testender Baumarten und -sorten möglich ist (z.B. mithilfe von Minirhizotronen).

Wissenschaftlich fundierte Bewertungen von Baumarten hinsichtlich Resilienz nach Trockenstress können außer in der dendrochronologischen Retrospektive auch auf Basis der Analyse von Allokationsmustern und Kohlenstoffbudgets der Organe vorgenommen werden. Hierzu ist geplant, methodische Ansätze auszuarbeiten, die mit einem möglichst geringen apparativen Aufwand verbunden sind und sich somit als screening-Verfahren eignen. Hinsichtlich der Analyse der Allokationsmuster ist aber die Anwendungsreife eines screening-Verfahrens noch weiter entfernt als bei den anderen Kriterien.

Neben den hier ausgeführten physiologischen Kriterien für die Stadttauglichkeit von Baumarten im Klimawandel sind noch zahlreiche weitere Aspekte von entscheidender Bedeutung, wenn es darum geht, für einen bestimmten Standort in einer Stadt den richtigen Baum auszuwählen. Im Rahmen des SiK-Projektes wird ein Kriterien-Katalog für die Auswahl und Pflanzung von unterschiedlichen Baumarten und -sorten entwickelt. Aufbauend auf Recherchen von Zukunftsbaumlisten anderer Städte und Baumschulen sowie einem Fachworkshop „Eine Zukunftsbaumliste für Hamburg" (am 12.05.2017) wurden gemeinsam mit Vertretern der Hamburger Bezirksämter, mit Baumkontrolleuren und mit Baumschul- sowie Baumpflegefirmen Kriterien für die Auswahl von Baumarten/-sorten diskutiert und weiterentwickelt. Ergebnis ist ein Kriterien-Katalog „Zukunftsbaumkriterien - Anwendung auf ausgewählte Baumarten", der Bewertungsmerkmale der Rubriken „Eignung für Straßenstandorte", „Toleranz gegenüber klimabeeinflussten Stressoren", „Substratansprüche", „ökologische Funktion" und „klimatische Funktion" umfasst. In den Rubriken „Toleranz gegenüber klimabeeinflussten Stressoren" und „Substratansprüche" sind spezifizierte Wertungs-Kriterien aufgeführt, die wesentliche Forschungsansätze und -ergebnisse des SIK-Projektes aufgreifen (s. Tab. xxx). Für 50 Baumarten, die entweder im Hamburger Stadtgebiet als Straßenbäume vertreten sind oder die als Kandidaten für zukünftige Pflanzungen gehandelt werden, wurden die Felder dieses Kriterienkatalogs bereits exemplarisch gefüllt, sofern nach einschlägigen Recherchen Informationen dazu vorlagen. Sowohl die Artenliste als auch die Kriterien und deren Bewertung für einzelne Baumarten werden kontinuierlich fortgeführt und aktualisiert, wofür jährliche Treffen der beteiligten Akteure und anderer Experten vorgesehen sind. Zu vielen Baumarten liegen hinsichtlich der Kriterien, die notwendig sind, um fundierte Aussagen zu Vitalitätsaussichten an Hamburger Straßenstandorten unter veränderten Klimabedingungen machen zu können, keine Daten vor; und auch noch aufwendigere Recherchen, welche die „graue" wissenschaftlichen Literatur einbeziehen würden, werden das Gros der Wissenslücken nicht schließen. Für die richtige Auswahl von stadttauglichen Bäumen, die umso verlässlicher ist, je mehr sie auf Einsichten in Mechanismen der Stressbewältigung basiert, müssen standardisierte Analyseverfahren auf potenzielle Straßenbäume angewendet werden.

Short-List vorhandener oder geeigneter Baumarten und -sorten in Hamburg (vorläufig)

Wissenschaftlicher Artenname	Deutscher Name
Acer buergerianum	Dreispitz-Ahorn
Acer platanoides	Spitzahorn
Acer platanoides	Spitzahorn (Columnare)
Acer platanoides	Spitzahorn (Greenspire)
Acer platanoides	Spitzahorn (Royal Red)
Acer platanoides	Spitzahorn (Schwedleri)
Acer pseudoplatanus	Bergahorn
Acer rubrum	Rotahorn
Acer rubrum	Rotahorn (Armstrong)
Alnus x spaethii	Purpur-Erle
Amelanchier lamarckii	Kupfer-Felsenbirne
Betula pendula	Hängebirke
Carpinus betulus	Hainbuche
Carpinus betulus	Hainbuche (Fastigiata)
Celtis australis	Südlicher Zürgelbaum
Corylus colurna	Baum-Hasel
Crataegus x lavallei	Apfeldorn (Carrierei)
Fraxinus excelsior	Gemeine Esche
Fraxinus ornus	Blumen-Esche
Fraxinus pennsylvanica	Rot-Esche (Summit)
Ginkgo biloba	Ginkgo
Gleditsia triacanthos	Amerikanische Gleditschie
Liquidambar styraciflua	Amerikanischer Amberbaum
Ostrya carpinifolia	Hopfenbuche
Parrotia persica	Persischer Eisenholzbaum
Platanus x hispanica	Ahornblättrige Platane
Prunus avium	Vogelkirsche
Prunus maackii	Amur-Traubenkirsche
Prunus padus	Traubenkirsche
Prunus sargentii	Berg-Kirsche
Prunus serrulata	Japanische Blütenkirsche
Prunus `Umineko´	Zierkirsche‚Umineko‘
Quercus cerris	Zerreiche
Quercus frainetto	Ungarische Eiche
Quercus palustris	Sumpf-Eiche
Quercus robur	Stieleiche
Quercus rubra	Rot-Eiche
Robinia pseudoacacia	Gemeine Robinie
Sophora japonica	Japanischer Schnurbaum
Sorbus intermedia	Schwedische Mehlbeere
Sorbus x thuringiaca	Thüringische Mehlbeere
Tilia cordata	Winter-Linde
Tilia x europaea	Holländische Linde
Tilia tomentosa	Silberlinde
Ulmus‚Columella‘	Säulenulme
Ulmus laevis	Flatterulme

Tabelle 4.2: Vorläufige short-list von Baumarten und -sorten, die in Hamburg bereits als Straßenbäume vertreten sind oder für bestimmte Standorttypen als Kandidaten in Frage kommen. Zu diesen Arten wurden die Felder des Kriterienkatalogs ausgefüllt, sofern Informationen aus unterschiedlichsten Quellen vorlagen.

Kriterien-Katalog für die Auswahl und Pflanzung von unterschiedlichen Baumarten und -sorten

Eignung für Straßenstandorte (vgl. GALK)/ Wuchseigenschaften	Höhe
	Breite
	Wuchsform / Kronenform
	Wurzeltyp [Flachwurzler, Tiefwurzler etc.]
	Fruchtfall
	Lichtanspruch
	Lichtdurchlässigkeit / Leaf Area Index
	Schnittverträglichkeit
	Neigung zu Totholzbildung
	Eignung für Straßenstandorte, [Bemerkungsfeld, GALK Straßenbaumtest]
	Eignung für Straßenstandorte, [Bemerkungsfeld, Erfahrungen der Hamburger Bezirke]
Toleranz gegenüber klimabeeinflussten Stressoren	Trockenheitstoleranz (nach KLAM)
	Typ der Spaltöffnungsreaktion auf Bodentrockenheit, [optimistisch - intermediär - pessimistisch] [SIK]
	Resilienz gegenüber Trockenperioden [+, +/-, -] [SIK]
	Anfälligkeit für hydraulic failure [Embolie]
	Strategie des Wurzelwachstums zur Vermeidung von Trockenstress, [proaktiv - reaktiv] [SIK]
	Windfestigkeit, [Bemerkungsfeld, Erfahrungen der Hamburger Bezirke]
	Temperatur- und Strahlungsbedarf, [Ellenberg Lichtzahl (L) und Temperaturzahl (T)]
	Toleranz gegenüber Staunässe, [Fachliteratur zu natürlichen Standorten]
	Frosttoleranz / Winterhärte [nach KLAM]
	Befallsanfälligkeit für Krankheiten und Schädlinge [Erfahrungen Hamburger Bezirke, Dokumentation der BUE]
Substratansprüche	Boden-pH-Wert
	Salztoleranz
	Toleranz gegenüber Verdichtung
	Staunässe-Toleranz
	Unterirdischer Platzbedarf
	Tiefgründigkeit
Ökologische Funktionen	Bestäubungsart [Bienenweide ?]
	Nektarien [auch extrafloral]
	Oberflächenstrukturen [Feinstaubfilterung]
	Akzeptanz bei heimischer Fauna
	Herkunft
Klimatische Funktionen	Be-/Verschattungspotenzial [Herleitung über Kronenform und Lichtdurchlässigkeit; Leaf Area Index (LAI)]
	Verdunstungspotenzial [Herleitung über LAI und Kronenform]

Tabelle 4.3: Kriterien-Katalog für die Auswahl und Pflanzung von unterschiedlichen Baumarten und -sorten

4.3 Anpassung von Baumstandorten

Für Stadtbäume, die bereits mit den urbanen Stressfaktoren der Bodenverdichtung, Platzmangel sowie einem hohen Versiegelungsgrad konfrontiert sind, stellen die prognostizierten Klimaveränderungen eine zusätzliche Belastung dar. Trockenstress kann besonders für Jungbäume, die mit ihren Wurzeln noch keine tiefer liegenden Wasserquellen erschlossen haben, eine Gefahr darstellen. Höhere Lufttemperaturen erhöhen den Wasserbedarf und begünstigen darüberhinaus die Ausbreitung von Krankheiten und Schädlingen. Eine besondere Gefahr für die Verkehrssicherheit stellen zudem von Stürmen umgeworfene Bäume oder abgebrochene Äste dar. Ob und in welcher Intensität sich die Windverhältnisse in Norddeutschland verändern werden, ist derzeit allerdings noch nicht belegt. Demnach müssen Strategien und Maßnahmen (weiter)entwickelt werden, die den Erhalt der Stadtbäume in Zeiten des Klimawandels gewährleisten.

Unabhängig von der Baumart/-sorte gelten angemessene Wuchsbedingungen als Grundvoraussetzung für die Vitalität und damit für die Anpassungsfähigkeit eines Stadtbaumes gegenüber Trockenheit, Sturmereignissen, Krankheiten und Schädlingen. Dies bedeutet als Mindeststandard eine ausreichend große Pflanzgrube sowie einen entsprechenden Wurzelraum (ca. 1,50 m tief und 12 m^3). Dazu gehört auch eine ausreichend große Baumscheibe (mind. 6 m^2) (FLL 2015). Die Gestaltung von Pflanzgruben, deren an der DIN-Norm „DIN 18916 – Vegetationstechnik im Landschaftsbau; Pflanze und Pflanzarbeiten“ sowie an den „FLL-Empfehlungen für Baumpflanzungen – Teil 1 und 2“ orientieren (ebd.). Dabei gilt die Faustregel, dass der Wurzelraum etwa so groß sein sollte wie die Krone des ausgewachsenen Baumes. Neben einer aktiven Baumscheibengestaltung, die den Baum vor anderen Nutzungstypen im engen Straßenraum schützt, z.B. vor dem Abstellen von Mülltonnen oder Fahrrädern (Foto S. 47) und zu einer verbesserten Infiltration von Niederschlagswasser beitragen kann, stellen Wurzelgräben eine Verbesserung von Baumstandorten dar. Städte wie München oder Stockholm bauen Wurzelgräben bei denen mehrere Baumstandorte unterirdisch über Gräben mit überbaubarem Substrat verbunden werden, soweit dies von den räumlichen Rahmenbedingungen möglich ist, standardmäßig bei allen neuen Baumstandorten. Ebenso tragen Bodensubstrate, die eine gute Luft-, Nährstoff- und Wasserversorgung gewährleisten, zu einer guten Vitalität von Stadtbäumen bei (z.B. Embrén et al. 2008; FLL 2015; MORO Klamis 2011; Rößler 2015; Wilhelm 2017). Stellschrauben zur Verbesserung der Pflanzstandorte als Anpassung an Klimaveränderungen sind deren Berücksichtigung in der Straßenplanung. Geregelt wird dabei die Gestaltung der Pflanzgrube und des Wurzelraumes, die Gestaltung der Baumscheibe sowie die Auswahl und Zusammensetzung des Pflanzsubstrats. Dabei ist zu berücksichtigen, dass in verdichteten innerstädtischen Quartieren und Straßenzügen in der Regel kein Platz für große Pflanzgruben und bepflanzte Baumscheiben zur Verfügung steht. Die Stadt München nimmt hier mit der Einführung und konsequenten Anwendung der Verwaltungsvorschrift „Zusätzliche Technische Vorschriften für die Herstellung und Anwendung verbesserter Vegetationstragschichten ZTV-Vegetationstragschichten“ (ZTV-Vegtra-Mü; aus 2016) eine federführende Rolle ein, die die Wuchsbedingungen besonders im Neubau für die nächsten Jahrzehnte sehr positiv beeinflussen wird. (Wilhelm, 2017b). Festsetzungen in Bebauungsplänen sind in dieser Detailtiefe nicht üblich, sondern beschränken sich meistens auf Baumarten oder ähnliches.

Seit dem Ende der 1980er Jahre wurde die Zusammensetzung von Pflanzsubstraten untersucht und weiterentwickelt, um die Versorgung von Stadtbäumen mit Sauerstoff, Wasser und Nährstoffen zu verbessern (z.B. Krieter 1986; Krieter 1996). Die Verwendung dieser Pflanzsubstrate ist in der Zwischenzeit als Standard in Empfehlungen zu Baumpflanzungen (z.B. FLL 2015) aufgenommen worden. Zudem wurden neue vegetations- und bautechnische Verfahren getestet und umgesetzt (z.B. grobporige Wurzelmedien, Belüftung der Wurzelräume), um Wurzeln zu lenken und den Wurzelraum der Stadtbäume zu verbessern (Embrén et al. 2008). Bei der Entwicklung von Klimaanpassungsmaßnahmen für Stadtbäume kann auf diese Erkenntnisse aufgebaut werden.

Eine neue Dimension erhält die Frage der Verbesserung der Wasserverfügbarkeit der Bäume aufgrund von zunehmendem Trockenheit. Hierzu gibt es erste Ansätze, die eine Anpassung von Baumstandorten mit Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung vorsehen, z.B. in der Stadt Stockholm (Embrén et al. 2008; Embrém et al. 2009). Seitens der Siedlungswasserwirtschaft wird bereits in vielen Städten (z.B. München, Potsdam, Helsinki, Melbourne, Toronto) Regenwasser in Baumstandorte eingeleitet. Hier stehen bisher allerdings Anforderungen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung im Vordergrund, die Potenziale und auch Risiken dieser Maßnahmen für die Bäume werden derzeit nur unzureichend berücksichtigt. Dieser Bericht verfolgt daher das Ziel, Möglichkeiten und Grenzen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung an Baumstandorten auch aus „Sicht der Bäume" darzustellen und zu diskutieren. Offene weiter zu untersuchende Fragestellungen bleiben hierbei neben den wasserwirtschaftlichen Belangen, wie die Bäume selbst mit diesen veränderten Randbedingungen in den Pflanzgruben langfristig umgehen können. Steht mit den neuen Pflanzgrubenmodellen in Trockenzeiten wirklich mehr Wasser im Untergrund zur Verfügung, so dass der Trockenstress der Bäume reduziert werden kann? Kommt der Baum mit dem höheren Wasserangebot in Regenzeiten zurecht, oder kommt es zu einer zu stark verminderten Belüftung? Wie gehen die Bäume mit den aus den Straßenabwässern eingetragenen Schadstoffbelastungen - insbesondere auch Salzbelastungen - um? Kommt es hier zu Schädigungen? Welche Baumarten und -sorten eignen sich für den Einsatz in den hier beschriebenen Pflanzgruben besser, welche sollte man eher meiden? Hierbei sind besonders auch neue Erkenntnisse zu den langfristigen Perspektiven wichtig, will man nicht zu häufig geschädigte Bäume austauschen sondern wirklich Standortbedingungen schaffen, die auch für die Bäume selbst die Perspektive für eine langes (Stadt-)Leben schaffen.





Nutzungsdruck an Baumstandorten in der Shanghaiallee (Positivbeispiel) und am Steindamm (Negativbeispiel) im Vergleich

4.3.1 Planerische und technische Möglichkeiten der Regenwassereinleitung an Baumstandorten

Baumstandorte im Straßenraum sind – trotz der Fortschritte bei der Standardsetzung für Baumstandorte durch die FLL-Richtlinie – sehr häufig dadurch gekennzeichnet, dass die Fläche der Baumscheibe in der Regel sehr klein, versiegelt oder verdichtet ist. Eine natürliche Versickerung von Niederschlagswasser ist an diesen Standorten dadurch erheblich eingeschränkt. Hinzu kommt, dass besonders junge Straßenbäume durch Klimaveränderungen zusätzlich von Trockenstress betroffen sein werden, weil sie stärker als Altbäume auf Wasserquellen in den oberen Bodenschichten angewiesen sind. Ihr Wurzelsystem reicht in den ersten Jahren noch nicht bis zu den tieferen Wasserquellen. Es stellt sich daher die Frage, ob eine gezielte Zufuhr von Niederschlagswasser helfen kann, dass die Bäume Trockenperioden besser überstehen. Konkrete Fragen sind: Wie kann Wasser in Zeiten mit viel Niederschlag gespeichert werden und den Bäumen in Zeiten mit wenig Niederschlag zur Verfügung gestellt werden? Nicht zuletzt sind hierbei neben diesem Aspekt der Wassermengen auch Fragen der Wasserqualität grundlegend, um Potenziale und Risiken dieser Maßnahmen für den Baum bewerten zu können.

Um diese Fragen einzuordnen ist es notwendig zu sehen, dass es in der Regenwasserbewirtschaftung in dem letzten Jahrzehnt unter dem Stichwort „dezentrale naturnahe Regenwasserbewirtschaftung" ein Umdenken gegeben hat und die ausschließliche und systematische schnelle Ableitung des Regenwassers durch Kanäle besonders auch im urbanen Raum in Frage gestellt ist. Eine „dezentrale naturnahe Regenwasserbewirtschaftung bedeutet, dass Niederschläge grundsätzlich dort, wo sie anfallen, erfasst und – soweit möglich – an Ort und Stelle durch geeignete Anlagen wieder dem natürlichen Wasserkreislauf zugeführt werden." (FHH 2006, S. 6). Dies kann durch eine Speicherung, Verdunstung, Ableitung und Versickerung über Rinnen, Mulden, Tiefbeete, Gründächer oder wasserdurchlässige Flächen erfolgen (ebd.; Kruse 2015, Mahabadi 2012, Andresen/Dickhaut, 2015). Dabei ergeben sich Anforderungen an die Qualität des Regenwasserabflusses, denn Niederschlagswasser von Straßen oder Parkplätzen kann erheblich mit Schadstoffen belastet sein. Die Richtlinie der Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) „DWA-A 138 – Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von

Niederschlagswasser“ (DWA 2005) gibt Hinweise, wann eine Reinigung des Regenwasserabflusses notwendig ist, bevor es in der Fläche versickert werden darf. Bausteine der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung sind demnach Verdunstung, Versickerung, Rückhalt, Abfluss, Speicherung, Nutzung, Drosselung, Reinigung und Wartung (Kruse 2015), die je nach Baumstandort auch bei der Baumscheiben- und Pflanzgrubengestaltung miteinander kombiniert und umgesetzt werden können. Belastetes Niederschlagswasser, das über eine normale Parkplatzfläche oder einem Gehweg in eine Pflanzgrube geleitet wird, zu versickern und ggf. auch Bäume mit diesem Wasser zu bewässern, muss demnach nicht zwingend ein Ausschlusskriterium sein. Bei belastertem Niederschlagswasser von stark befahrenen Hauptstraßen gilt dies ohne Vorreinigung möglicherweise jedoch schon (vgl. DWA 138; Tabelle 4.4). Das Spektrum der entwickelten Techniken der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung bietet zudem die Möglichkeit, Einstaumengen zu regulieren oder die Wasserqualität durch Filter zu verbessern, so dass es zu einer verbesserten und kontrollierten Wasserzufuhr für den Baum kommen kann.

Drei Möglichkeiten die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung an Baumstandorten miteinander zu kombinieren sind (vgl. Embrén et al. 2008; Embrém et al. 2009):

- wasserdurchlässige Baumscheiben und Beläge oder eine gezielte Einleitung von Niederschlagswasser in die Pflanzgrube, um eine Versickerung von Niederschlagswasser in den Wurzelraum zu fördern,
- große Pflanzgruben, die mehr Wurzelraum bieten und dadurch eine verbesserte Versickerung sowie ein größeres Wasser-speichervolumen ermöglichen und
- eine Substratzusammensetzung, die eine gute Wasserspeicherung in der Pflanzgrube unterstützt.

Aufbauend auf diesen Überlegungen lassen sich für die Einleitung und Versickerung von Niederschlagswasser drei Pflanzgrubentypen unterscheiden (vgl. dazu die folgende Tab. 4.3.2). Zentrales Unterscheidungsmerkmal der drei Pflanzgrubentypen ist dabei, ob das Regenwasser:

- oberirdisch über die Baumscheibe in die Pflanzgrube eingeleitet wird,
- unterirdisch über spezielle Luft- und Wasserschächte in die Pflanzgrube gelangt oder über
- Tiefbeete bzw. Mulden temporär eingestaut wird, bis es in den Wurzelraum versickert.

Es gibt bereits verschiedene Städte – nationale wie internationale –, die im Rahmen der Veränderung der Regenwasserbewirtschaftung und zur Unterstützung dezentraler Kreisläufe Regenwasser in Baumstandorte versickern, z.B. unter dem Namen „Stormwater Tree Pit“ in Washington D.C. oder “Raingarden Tree Pit” in Melbourne (Biber 2017; City of Melbourne 2015; Embrém et al. 2009; Embrén et al. 2008; Embrém et al. 2009; Schröder ohne Jahr; United States Environmental Protection Agency 2013, S.18; Wilhelm 2017). Zu einem Vergleich der Pflanzgrubensysteme der Städte Melbourne, Toronto, New York City und Stockholm vgl. hierzu auch die Arbeiten von Biber (2016, 2017). Meistens erfolgt dies hier im Hinblick auf die Versickerungsmöglichkeiten an Baumstandorten, um Regenwasser bei Starkregen dezentral abzuleiten und die Sielnetze zu entlasten. In Tabelle 4.4 werden die Städte und Varianten der dezentralen Regenwasserversickerung an Baumstandorten dargestellt und mit im Folgenden beschriebenen Pflanzgrubentypen verglichen. Dabei wird auch dargestellt, inwiefern in diesen Städten den Belangen und Anforderungen der Bäume an die Pflanzgrubengestaltung und Methode der Regenwasserversickerung Rechnung getragen wird.

Dabei sind folgende Parameter bei der Pflanzgrubengestaltung mit Maßnahmen der dezentralen Regenwasserversickerung relevant: die Gestaltung und der Substrattyp der Baumscheibe, die Zusammensetzung und der Schichtaufbau des Substrats, die Herkunft und Belastung des Regenabflusses, die Menge des eingeleiteten Wassers sowie die Unterscheidung von Neupflanzungen und Bestandsbäumen. Im Folgenden werden die Besonderheiten der Pflanzgrubentypen näher dargestellt.

Typ 1) Pflanzgruben mit oberirdischem Wasserzufluss

Der Pflanzgrubentyp 1 zeichnet sich dadurch aus, dass das Niederschlagswasser oberirdisch gezielt über die Oberfläche (z. B. Gehweg) in eine offene oder wasserdurchlässige Baumscheibe geleitet wird. Die Baumscheibe wird hier mit einem wasserdurchlässigen Substrat gestaltet. Auch ist es möglich, die Baumscheibe als Baumrost, d.h. einem über der Baumscheibe liegendem Gitter, zu gestalten oder mit Bodendeckern zu bepflanzen (Abb. 4.7). Bei diesem Pflanzengrubentyp erfolgt kein Einstau des Wassers im Wurzelraum, da es über den Wurzelbereich und das Pflanzsubstrat versickert und über Drainagerohre abgeleitet werden kann.

Typ 2) Pflanzgruben mit unterirdischem Wasserzufluss

Der Pflanzgrubentyp 2 zeichnet sich durch einen unterirdischen Zufluss von Regenwasser aus. Über einen Bewässerungsschacht oder Rohre gelangt Regenwasser von der Oberfläche in die Pflanzgrube (vgl. Abb. 4.8). Der Schacht kann dabei mit einem Filtersystem ausgestattet werden. So kann grundsätzlich auch mit Schadstoffen belastetes Wasser von Parkplätzen oder Straßen in die Pflanzgrube geleitet werden und im Wurzelraum versickern. Hierbei kann die Baumscheibe fast komplett versiegelt sein. Eine bepflanzte oder offene Baumscheibe ist also für die Wasserzufuhr nicht unbedingt erforderlich.

Dieser Typ 2 wurde im Projekt SIK durch Carmen Biber im Rahmen einer HCU-Masterthesis näher untersucht (siehe Biber, 2016 und 2017). Hierbei wurden die Erfahrungen besonders aus Melbourne, Stockholm und New-York analysiert und unter Berücksichtigung z.B. der deutschen Normen von DWA und FLL ein detaillierterer Vorschlag für die Ausgestaltung einer Baumgrube entwickelt. Dieser ist in der Abb. 4.11 zu erkennen

Unterscheidung von Pflanzgrubentypen nach Einleitung und Einstau von Regenwasser

Typ	Zufluss des Wassers	Einstau des Wassers	Varianten	Reinigung Regenabfluss	Beispielstädte	Chancen	Risiken
Typ 1	oberirdisch	ohne	A: ohne Begrünung B: mit Begrünung	Variante B: ja	Osnabrück Washington D.C. Melbourne	Ergänzende Niederschlagsinfiltration an versiegelten Baum-Standorten Aufwertung des Straßenraumes Dezentrale Niederschlagsversickerung	Infiltration von Schadstoffen und Streusalz
Typ 2	unterirdisch	ohne	A: mit Filter B: ohne Filter	Variante B: ja	Osnabrück Stockholm	Ergänzende Niederschlags-infiltration an versiegelten Baum-Standorten Dezentrale Niederschlagsversickerung	Infiltration von Schadstoffen und Streusalz
Typ 3	oberirdisch	max. 24 h (Mulde oder Tief beet)	Keine Varianten	ja	New York City München	Ergänzende Niederschlagsinfiltration an versiegelten Baum-Standorten Aufwertung des Straßenraumes Dezentrale Niederschlags-versickerung	Infiltration von Schadstoffen und Streusalz Staunässe
Typ 4	unterirdisch	dauerhaft	A: manuelle Bewässerung B: autom. Bewässerung	ja		gezielte Wasserspeicherung in Regenzeiten gezielte Wasserversorgung in Trockenzeiten	nicht bekannt

Tabelle 4.4: Unterscheidung von Pflanzgrubentypen nach Einleitung und Einstau von Regenwasser, Quelle: HCU (2016)

Typ 3) Pflanzgruben mit oberirdischem Wasserzufluss und Einstau

Bäume können Teil von Tiefbeeten und Mulden sein, die der Versickerung von Niederschlagswasser dienen. Dabei wird Niederschlagswasser oberirdisch in die Pflanzgrube geleitet, was den Pflanzgrubentyp 3 auszeichnet (vgl. Abb. 4.9). Besonders ist hierbei, dass das Wasser bei starken oder länger andauernden Regenfällen in den bepflanzten Mulden oder Tiefbeeten eingestaut wird. Mulden und bepflanzte Tiefbeete sind als Maßnahme der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung bereits bekannt, die gezielte Verbesserung der Wasserverfügbarkeit der Bäume wurde hierbei allerdings noch nicht diskutiert (z. B. FHH 2006). Dabei ist zu berücksichtigen, dass Staunässe in der Regel zu einem Sauerstoffmangel der Bäume im Wurzelraum führt. Bei diesem Pflanzgrubentyp ist deshalb die Auswahl von Baumarten relevant, die Sauerstoffarmut im Wurzelraum oder auch Staunässe tolerieren können. Folglich sind diese Aspekte bei diesem Pflanzgrubentyp und den damit einhergehenden Chancen, aber besonders auch Risiken für den Baum kritisch zu prüfen.

In Pflanzgruben, die als Versickerungsmulde konzipiert sind, in der es durchaus zu Staunässe kommen kann, können Baumarten, die dieses tolerieren gewählt werden. Dazu gehören z.B. *Ulmus laevis, Ulmus minor, Quercus robur (oder neophytisch: Quercus palustris)*.

Typ 4) Pflanzgruben mit Zisterne zur Bewässerung

Ergänzend zu den drei oben beschriebenen Pflanzgrubentypen könnte auch eine Zisterne zur Speicherung von Regenwasser in Zeiten mit hohen Niederschlagsmengen dazu beitragen, die Wasserversorgung von Stadtbäumen in Trockenzeiten zu verbessern (vgl. Abb. 4.10). Dabei könnte das Regenwasser von Gehwegen über einen Einlauf mit Filter in ein unterirdisch angelegtes Speicherbecken geleitet werden. Es würde dort zwischengespeichert werden, bis es in Trockenperioden zur Baumbewässerung genutzt wird. Dies kann beispielsweise über spezielle Pumpen erfolgen.

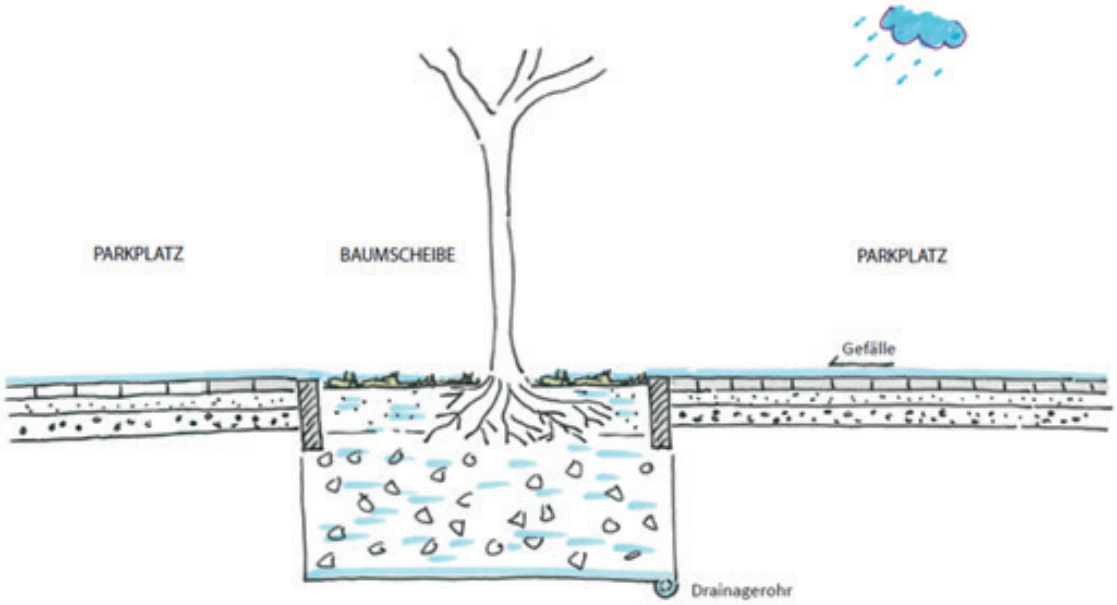


Abb. 4.7: Typ 1 – Pflanzgrube mit oberirdischem Wasserzufluss und bepflanzter Baumscheibe (für tolerierbare Regenabflüsse gemäß DWA-A 138) Zeichnung: Elke Kruse

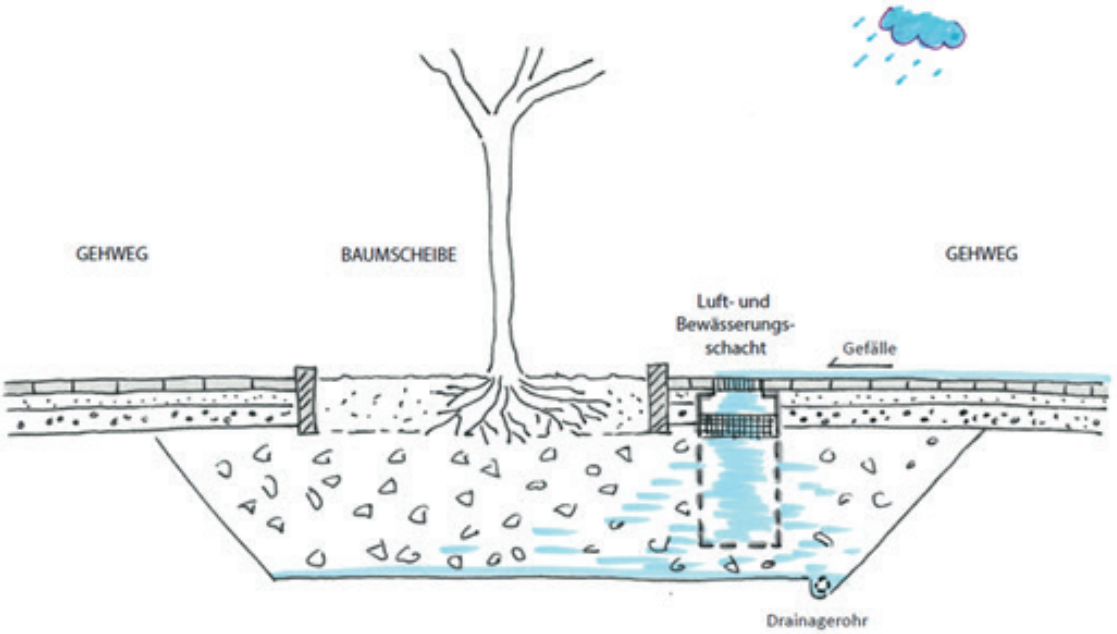


Abb. 4.8: Typ 2 – Pflanzgrube mit unterirdischem Wasserzufluss ohne Filter (für unbedenkliche Regenabflüsse gemäß DWA-A 138) (dieses Modell ist in Abb. 4.3.10 nach Bieber 2017 weiter konkretisiert). Zeichnung: Elke Kruse

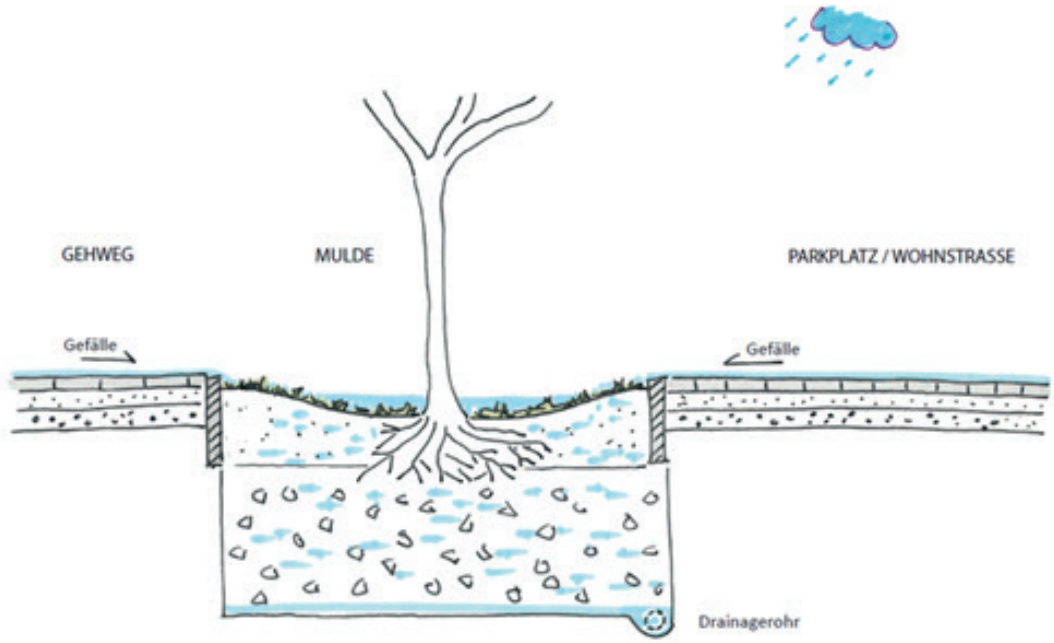


Abb. 4.9: Typ 3 - Pflanzgrube mit Wasserversickerung im Tiefbeet (für tolerierbare Regenabflüsse gemäß DWA-A 138)
Zeichnung: Elke Kruse

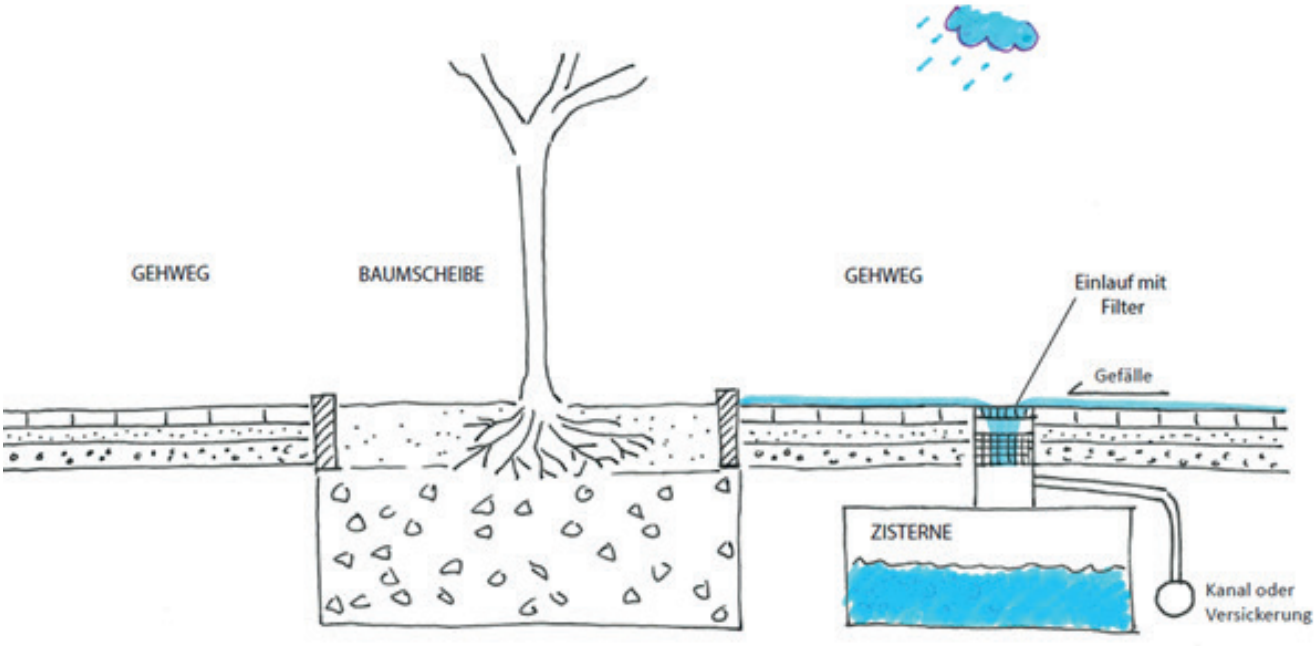


Abb. 4.10: Typ 4 - Pflanzgrube mit Zisterne zur Bewässerung
Zeichnung: Elke Kruse





Pflanzgruben Typ 3 – Kombination aus Regenwasserversickerungsmulden mit Randsteinöffnungen (Pfeile) und Baumstandorten in München (Foto: Wolfgang Dickhaut 2017, links) und Typ 1 in Kombination mit Typ 3 – Tiefbeete mit Regenwasserabfluss in New York City (Foto: Elke Kruse 2015, rechts)





Pflanzgrube Typ 2 – Überbaubare Baumstandorte in Stockholm (Fotos: Carmen Biber 2016)

Diese systematische Darstellung zeigt, dass das Spektrum der Pflanzgrubengestaltung zur Einleitung von Regenwasser groß ist. Zwei zentrale Fragen aus Sicht des Baumes sind dabei besonders relevant: Schädigung durch Schadstoffe und/oder Staunässe. Es wird deutlich, dass je nach Nutzung und Beschaffenheit der Fläche, über die Regenwasser in die Pflanzgrube geleitet wird, Reinigungsmöglichkeiten existieren, damit das zu versickernde Wasser keine Grundwasserschädigung herbeiführt und dass ggf. der Baum durch den Eintrag von Schadstoffen keine Schädigung erfährt. Seitens der Siedlungswasserwirtschaft gibt es Normen (z.B. DWA-A 138), die hierzu Hinweise geben. Hierbei sind allerdings bisher nicht explizit Anforderungen der Bäume an die Qualität des Regenwassers untersucht worden. Allerdings können mit den Möglichkeiten der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung der Einstau, die Versickerung sowie die Ableitung des Regenwassers in der Pflanzgrube geregelt und gesteuert werden, so dass Staunässe vermieden werden kann.

Im Rahmen des SIK-Projektes wurden Experten aus den o.g. Städten hinsichtlich Erfahrungen oder Untersuchungen mit der Verträglichkeit der Einleitung von Regenwasser für die Bäume befragt. Deutlich wurde, dass es bisher noch keine wirklich systematischen Evaluierungen zu dem Thema gibt, da die Bauweisen überall noch sehr neu sind. Über diese Befragung konnten jedoch erste Einschätzungen zusammengetragen werden, die im Folgenden dokumentiert und dargestellt werden

München: In München können zwei Fälle der Regenwassereinleitung unterschieden werden:

- Regenwasser wird in München von den Geh- und Radwegen grundsätzlich in die Baumgräben geleitet. Hier sind keine Probleme erkennbar, da dort im Winter nicht mit Salz gestreut wird.
- Regenwasser wird von der Straße in den Baumgraben entwässert, diesen Fall gibt es in München mittlerweile in einigen Bereichen (vgl.Foto S. 52 oben links). Hier wird die Salzproblematik nicht ausgeschlossen, Untersuchungen gibt es nicht. Bisher gibt es aber noch keine negativen Erfahrungen, allerdings sind die Beobachtungszeiträume auch noch nicht lang. An einer Straße gab es an Ulmen Salzschäden. Unklar ist, ob es durch den Salzeintrag über das Wasser oder durch das Aufwirbeln der Fahrzeuge entstanden ist. Hierzu sollen Untersuchungen gemacht werden.

An einem weiteren Standort kam es zu Totalausfällen von Linden, die mit einer anderen Baumart nachgepflanzt wurden. Ein möglicher Zusammenhang mit Salzfrachten oder Sauerstoffmangel aufgrund der Wassereinleitungen wurde nicht untersucht.

Stockholm: Die Gespräche von Carmen Biber in 2016 und 2017 mit den Fachexperten in Stockholm dokumentieren die Erkenntnis, dass es den Bäumen grundsätzlich gut geht. Auch die Beobachtungen der Kronen mit den Blättern und der Stammumfänge haben das gezeigt, die einen Zuwachs über die Jahre gezeigt haben. Bäume zeigen im Sommer zwar teilweise Nekrosen, diese sind jedoch im Herbst wieder verschwunden, da das Wurzelwerk der Bäume groß und leistungsfähig sei, um trotz der Salze im Boden Nährstoffe und Wasser aufzunehmen (Biber 2017, vgl. Fotos S. 52 unten).

New York City: In New York City liegen noch keine Erfahrungen mit der Verträglichkeit der Bäume in den oben dargestellten Baumgrubensystemen vor (siehe Foto s. 52 oben rechts) (Larson 2017).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es bereits einige Ansätze zur Pflanzgrubenoptimierung durch Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung gibt und diese national und international in die Praxis umgesetzt worden sind. Bei vielen dieser Ansätze der oben vorgestellten Städte steht bisher allerdings die Versickerung von Regenwasser und nicht die Verbesserung der Wasserverfügbarkeit der Stadtbäume im Vordergrund. Fragen zur Wasserqualität und deren Folgen für die Bäume werden hier nicht thematisiert. Aufbauend auf diesen Darstellungen und der ersten Untergliederung von Pflanzgrubentypen bedarf es folglich einer Weiterentwicklung von Pflanzgrubenmodellen, die zu einer besseren Wasserverfügbarkeit der Stadtbäume bei zunehmendem Trockenstress beitragen können.

4.3.2 Umsetzungspotenziale der Regenwasserbewirtschaftung an beispielhaften Baumstandorten in Hamburg

Die städtebauliche Struktur Hamburgs ist durch verdichtete Innenstadtbereiche, Wohnviertel mit Blockrandbebauung oder Zeilenbebauung sowie in den Randbereichen durch Einfami-

lienhaus und Gewerbegebiete gekennzeichnet. Je nach Ausprägung dieser Stadtstrukturtypen hat ein Baum mehr oder weniger Platz im Straßenraum. Auch auf der Ebene der Straßenräume selbst gibt es unterschiedliche städtebauliche Typen, die jeweils durchaus auch jeweils typisch für unterschiedliche Stadtstrukturtypen sind. So ist beispielsweise der Versiegelungsgrad in innerstädtischen Wohn- und Geschäftsstraßen deutlich höher als in Wohnstraßen der Einzel-, Reihen- oder Zeilenbebauung. In hoch verdichteten und versiegelten Stadtstrukturen ist in der Regel die Infiltration des Niederschlagswassers in die Pflanzgrube erheblich eingeschränkter als in Stadtstrukturen, in denen versiegelte Bereiche durch Grünflächen oder wasserdurchlässige Beläge durchbrochen werden (vgl. auch die Übersicht „Wirkungsfaktoren im Straßenraum in Abhängigkeit vom Stadtstrukturtyp" im Anhang).

Darauf aufbauend ergeben sich zwischen den Stadtstrukturtypen **(**siehe Tab. 6.1) hinsichtlich einer Einleitung von Regenwasser deutliche Unterschiede. So sind bei 01 Kleinteilige freistehende Einzelwohnbebauung und 02 Reihenhausbebauung i.d.R. private Freiflächen vorhanden, über die eine Versickerung von Regenwasser stattfinden kann. Dadurch ist der Bedarf nach zusätzlichen Versickerungsmöglichkeiten gering und die Wasserverfügbarkeit für die Bäume grundsätzlich besser. Bei dem Strukturtyp 03 Zeilenbebauung und 05 Solitäre Punktbebauung sind große halböffentliche Abstandsflächen zwischen der Bebauung vorhanden, über die Niederschlagswasser versickern kann. Darüber hinaus besteht durch die Ausrichtung der Gebäude orthogonal zur Straße ein hohes Potential für eine Regenwassereinleitung über die Dachflächen in die Pflanzgruben, da so ohne größeren baulichen Aufwand von beiden Dachseiten Regenwasser in Richtung Baumstandorte abgeleitet werden kann. Weiterhin kennzeichnet den zuletzt genannten Strukturtyp Neubauten mit Flachdächern (z.T. mit Gründächern), welche je Ausgestaltung der Entwässerung auch ein großes Potential an wirksamer Dachfläche aufweisen. Auch beim Stadtstrukturtyp 07 Geschäfts-, Büro-, und Verwaltungsgebiete ist das Potential an wirksamer Dachfläche vergleichsweise hoch, da die Baukörper oftmals große Dimensionen aufweisen. Die Strukturtypen 04 Blockbebauung, 06 Innenstadtbebauung, 07 Geschäfts-, Büro-, und Verwaltungsgebiete und 08 Gewerbe- und Industriegebiete sind dagegen auf den Grundstücken und insbesondere im Straßenraum durch einen hohen Versiegelungsgrad sowie durch sehr kleine Baumscheiben geprägt, wodurch die natürliche Versorgung der Bäume mit Niederschlagswasser erheblich eingeschränkt ist. Bei diesen Stadtstrukturen ist daher der Bedarf nach einer zusätzlichen Wasserzufuhr und einer verbesserten Wasserverfügbarkeit für die Bäume hoch, so dass besonders hier eine dezentrale Regenwassereinleitung an den Baumstandorten geprüft werden sollte.

Im Folgenden werden deshalb Möglichkeiten und Grenzen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung an Baumstandorten in typischen Straßenräumen in Hamburg veranschaulicht. Anhand von konkreten Baumstandorten in der Silbersacktwiete/Wohnstraße in der Blockrandbebauung (Beispiel A) und am Steindamm/Quartiersstraße in der Innenstadtbebauung (Beispiel B) werden die stadtstrukturellen Besonderheiten mit den planerisch-technischen Voraussetzungen einer Pflanzgrube sowie mit einer wasserwirtschaftlichen Betrachtung kombiniert, um Aussagen zu Wasserspeichervermögen einer Pflanzgrube, anfallende Wassermengen bei unterschiedlichen Regenereignissen, Versickerungspotenzial und planerischen sowie rechtlichen Rahmenbedingungen treffen zu können.

Einleitung von Niederschlagswasser der Dachflächen in Baumstandorte

Für die Untersuchungen und Berechnungen im Rahmen der beiden Beispielräume wurde vorab festgelegt, aus Qualitätsgründen auf die Einleitung des Regenwassers der angrenzenden Dachflächen zu fokussieren. Diese Festlegung resultiert aus der kritischen Einschätzung vieler Baumexperten, dass die Einleitung von Niederschlagswasser über Gehwege, Parkplätze oder Straßen aufgrund der hohen Schadstoffkonzentrationen – insbesondere Salze - möglichst vermieden werden muss. Anhand der beiden exemplarischen Baumstandorte in typischen Stadtstrukturen Hamburgs wird in den folgenden Abschnitten die Niederschlagseinleitung über die Dachfläche der angrenzenden Gebäude auf der Grundlage der Regenreihen Hamburgs (FHH 2003), fundierter wasserwirtschaftlicher Berechnungsgrundlagen (DIN EN 12056_3, DIN 1986-100), der Versickerungspotenzialkarte Hamburgs (FHH 2013) sowie planerisch-technische Grundlagen der Pflanzgrubengestaltung (FLL 2010, FLL 2015) veranschaulicht.

Grundlage für die Bewertung ist das im Rahmen des SIK-Projektes durch Biber (2016 und 2017) entwickelte Pflanzgrubenmodell, (vgl. Abb. 4.11). Es orientiert sich an dem Pflanzgruben-Konzept der Stadt Stockholm. Die Besonderheit an diesem Pflanzgrubenmodell ist, dass Niederschlagswasser vom Dach der angrenzenden Gebäude über die Regenrohre unterirdisch unter dem Gehweg in die Pflanzgrube geleitet wird. Auf diese Weise können Fragen der Barrierefreiheit oder Vereisung offener Rohre auf dem Gehweg umgangen werden. In der Pflanzgrube wird ein überbaubares Substrat verwendet, das sich aus groben Granitsteinen als Struktureinheit in Kombination mit einem Feinsandgemisch zusammensetzt. Auf diese Weise soll hier das Wasserspeichervolumen erhöht werden. Das Pflanzgrubenmodell entspricht hier demnach dem oben dargestellten Pflanzgrubentyp 2a – „Pflanzgrube mit unterirdischem Wasserzufluss ohne Filter (für unbedenkliche Regenabflüsse gemäß DWA-A 138)". Am Boden der Baumgrube wird Wasser in einem ca. 10- max. 20 cm Bereich gespeichert, um in Trockenzeiten für längere Zeit Wasser zu bevorraten. Ebenso werden die einzelnen Baumgruben durch Wurzelgräben miteinander verbunden, um den Wurzelraum für den Baum zu vergrößern.

Bei der Umsetzung dieses Pflanzgrubenmodells sind

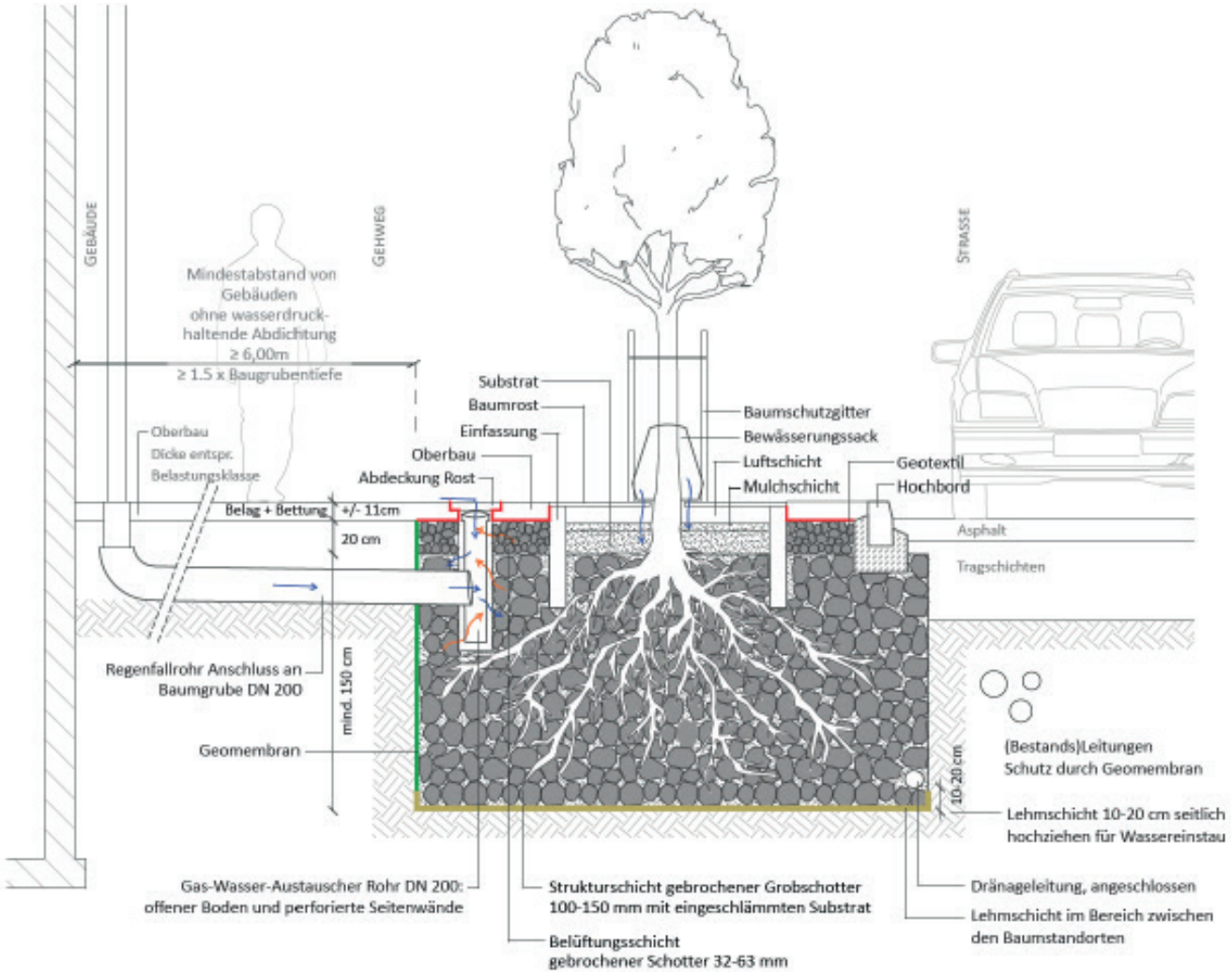


Abb. 4.11: Schnitt-Ansicht Baumgrubensystem für Stadtbäume
Quelle: Biber (2017, S. 14)

weitere Rahmenbedingungen zu bedenken:

Umsetzung im Bestand: Für eine Umsetzung dieser Variante im Bestand ist es sinnvoll, die dafür notwenigen baulichen Maßnahmen möglichst gering zu halten. Daher bietet es sich an, nur solches Niederschlagswasser zu nutzen, das bereits über straßenseitige Dachrinnen abgeleitet wird. Diese Dachrinnen können verhältnismäßig einfach durch weitere Rinnen, die zum Baumstandort führen, ergänzt werden. Zu berücksichtigen ist dabei zusätzlich, dass ein Mindestabstand von 6 m zwischen Baumstandort und Gebäudefundament eingehalten wird (DWA-A 138).

Straßen mit hohem Nutzungsdruck: In Straßen mit einem hohen Nutzungsdruck sind diese Rinnen möglichst unterirdisch, also unterhalb der Gehwege zu installieren, um eine Verschmutzung des einzuleitenden Wassers zu verhindern und auch die Stolpergefahr für Passanten zu vermindern. In Stadtstrukturen mit weniger Nutzungsdruck kann auch über eine oberirdische Weiterleitung nachgedacht werden. Immer zu beachten ist jedoch die mögliche Belastung des Wassers durch Streusalz auf Gehwegen im Winter, welches den Vorteil der unbelasteten Wasser vom Dach wieder aufheben könnte.

Versickerungspotenzial: Grundsätzlich zu beachten sind außerdem die Unterschiede im Versickerungspotential des sich unterhalb des Pflanzgruben befindlichen Bodens. Selbst bei dicht nebeneinanderliegenden Baumstandorten kann dieses stark variieren. Nach der FLL (2015) soll der durchlässige Baugrund unterhalb der Pflanzgrube eine Stärke von 0,5m aufweisen. Da eine Pflanzgrube außerdem eine Mindesttiefe von 1,5 m haben soll, ergibt sich daraus eine versickerungsfähige Tiefe des Bodens von mindestens 2m.

Rechtliche Rahmenbedingungen: Die Einleitung von Niederschlagswasser von privaten Flächen (Dächer) in öffentliche Baumstandorte ist in Hamburg rechtlich derzeit nicht möglich. Straßenseitige Einleitung wäre hingegen möglich, weil von öffentlichem Grund in öffentliche Baumscheiben eingeleitet wird (WHG 2009, § 58 Einleiten von Abwasser in öffentliche Abwasseranlagen).

Methodisches Vorgehen:
Daten- und Berechnungsgrundlagen

Die Analyse und Bewertung der Chancen und Risiken der dachseitigen Regenwassereinleitung für eine verbesserte Wasserzufuhr an Baumstandorten basiert auf Daten- und Berechnungsgrundlagen unterschiedlicher Fachbereiche. So werden Grundlagen der Stadt- und Landschaftsplanung mit denen der Bodenkunde und Wasserwirtschaft kombiniert. Die einzelnen Komponenten werden in einem gesonderten Bericht beschrieben (Dickhaut et al. 2018).

Beispiel A: Silbersacktwiete

Die Wohnstraße ist durch eine hohe Versiegelung gekennzeichnet. Dies führt zu einer eingeschränkten natürlichen Infiltration von Niederschlagswasser. Die Baumscheibe ist zwar offen und für die dichte Bebauung verhältnismäßig groß, dennoch wird sie als Fahrradstellplatz zweckentfremdet. Hier gilt es daher, die Fläche durch eine aktive Baumscheibengestaltung aufzuwerten und vor anderen Nutzungen zu schützen. Beispielsweise kann die Baumscheibe aktiv bepflanzt werden und durch Bügel oder Poller von den Parkflächen abgegrenzt werden. Daneben kann eine ergänzende Regenwassereinleitung über die Dachflächen eine Verbesserung der Wasserversorgung und damit eine Aufwertung des Baumstandortes bedeuten. Das Versickerungspotenzial kann an diesem Standort als gut bewertet werden, so dass keine Gefahr der Stauung von Niederschlagswasser in der Pflanzgrube zu befürchten ist.

Die wasserwirtschaftliche Maximalberechnung zeigt, dass an beiden Standorten die einleitbare Niederschlagsmenge von der Straße größer ist als von den anliegenden Dachflächen. Die Niederschlagseinleitung von den angrenzenden Dachflächen könnte sowohl bei einem 15-minütigem als auch bei einem 30-minütigem Regenereignis aus einer mengenmäßigen Betrachtung in den Baumstandort geleitet werden, ohne hier das Fassungsvolumen der Baumgrube zu überschreiten. Sowohl aus dieser qualitativen Überlegung als auch der quantitativen Berechnung kann an diesen beiden Baumstandorten die Variante der Niederschlagseinleitung von den Dachflächen als ein Ansatz einer ergänzenden Wasserversorgung für die Bäume gesehen werden. Ergänzt werden kann die Maßnahme hier mit einer gezielten Substratzusammensetzung, die das Speichervolumen in der Pflanzgrube erhöht, oder einer Vergrößerung der Pflanzgruben, z.B. durch Wurzelgräben.

Die beiden hier dargestellten Baumstandorte sind Bestandsstandorte, an denen eine Sanierung der Pflanzgruben unwahrscheinlich ist. Die beiden Baumstandorte können aber als typisches Beispiel für stark versiegelte Wohnstraßen in der Blockrandbebauung betrachtet werden und Anreiz für die Neugestaltung von Baumstandorten in ähnlichen Bebauungsstrukturen gesehen werden.

Beispiel B: Steindamm

Die hier dargestellten Baumstandorte zeigen typische Bestandsstandorte in innerstädtischen Quartiersstraßen. Derzeit ist in diesem Abschnitt des Steindamms eine Sanierung der Baumstandorte zwar unwahrscheinlich. Diese Veranschaulichung von Maßnahmen kann aber eine grundsätzliche Einschätzung geben, wie Baumstandorte in stark verdichteten Bebauungsstrukturen, die durch einen hohen Nutzungsdruck gekennzeichnet sind, aufgewertet werden könnten .

In diesem stark versiegelten Straßenraum kann die Einleitung von Niederschlagswasser über die Dachflächen zu einer besseren Wasserversorgung der Bäume beitragen. Dafür ist jedoch entscheidend, dass das verwendete Substrat ausreichend viel Wasser speichern kann, ohne dass eine Stauwirkung erfolgt. Hier ist folglich eine Substratzusammensetzung notwendig, die beiden Anforderungen gerecht wird. Darüber hinaus ist das Versickerungspotenzial an Standort B nicht ausreichend. In Verbindung mit der in der wasserwirtschaftlichen Maximalbetrachtung ermittelten großen Menge an einzuleitendem Wasser ist die Gefahr der Staunässe stark erhöht und bei einer Kombination von Regenwassermanagement und Baumstandorten unbedingt zu berücksichtigen.

Die wasserwirtschaftliche Maximalbetrachtung zeigt weiterhin, dass an beiden Standorten die einleitbare Menge an Regenwasser vom Dach größer ist, als die von der Straße. Somit würde die dachseitige Einleitung für die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung einen wichtigen Beitrag leisten können. Allerdings übersteigen die Mengen beider Varianten das Fassungsvermögen der Baumgruben deutlich. Somit könnte diese Variante nur durch die Verwendung eines anderen Substrats, einer Rigole oder den Anschluss der Dachflächen an mehrere Baumstandorte eine baumverträgliche Versickerung des Niederschlagswassers sowie eine verbesserte Wasserverfügbarkeit für die Bäume ermöglichen. Die relevanten Voraussetzungen sind zudem nur teilweise erfüllt, da am Standort B die geforderte versickerungsfähige Tiefe nicht gegeben ist.

Insgesamt kann an diesen Standorten die Kombination von Regenwassermanagement und Baumstandorten für beide Seite einen wichtigen Beitrag leisten, ist jedoch aus beiden Perspektiven mit offenen Fragen zur Umsetzbarkeit verknüpft.

Die hier dargestellten Baumstandorte zeigen typische Bestandsstandorte in innerstädtischen Quartiersstraßen. Derzeit ist in diesem Abschnitt des Steindamms eine Sanierung der Baumstandorte zwar unwahrscheinlich. Dennoch kann diese Veranschaulichung von Maßnahmen einen Impuls geben, wie Baumstandorte in stark verdichteten Bebauungsstrukturen, die durch einen hohen Nutzungsdruck gekennzeichnet sind, aufgewertet werden könnten.

4.3.3 Chancen und Risiken der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung an Baumstandorten – Zusammenfassung

Aufbauend auf den Darstellungen zu anfallenden Wassermengen, die in Baumstandorte als ergänzende Wasserzufuhr geleitet





Straßenraum Steindamm (links), Straßenraum Silbersacktwiete (rechts) Quelle: HCU Hamburg

werden könnten, werden in diesem Abschnitt die Chancen und Risiken der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung in Pflanzgruben zusammengefasst. Dabei wird auf die Unterschiede einer Niederschlagseinleitung von Dachflächen und von Straßenflächen eingegangen. Ebenso werden die Chancen und Risiken im Zusammenhang mit den im Anhang I beschriebenen Stadtstrukturtypen dargestellt.

Chancen: Besonders in hochverdichteten und versiegelten Straßenzügen, z.B. in den Stadtstrukturtypen 04, Blockrandbebauung, 06 Innenstadtbebauung, 07Büro- und Verwaltungsgebiet sowie 08 Gewerbegebiet, ist die Wasserzufuhr über die Baumscheibe erheblich eingeschränkt. Niederschlagswasser, das von anliegenden Dachflächen über Regenrohre sowie Rohren unter dem Gehweg in die Pflanzgrube geleitet wird, kann an diesen Standorten eine ergänzende Wasserzufuhr bei hohem Versiegelungsgrad bedeuten. Unter Berücksichtigung des Klimawandels mit der Tendenz zu mehr Trockenperioden und verringerter Bodenwasserverfügbarkeit besonders für Jungbäume sollte die dezentrale Regenwasserversickerung an Baumstandorten daher weiterentwickelt und erprobt werden. Daneben stellt die Maßnahme einen bedeutenden Baustein einer dezentralen Regenwasserversickerung vor Ort dar und kann Probleme durch Stark-regenereignisse abmildern. Die Berechnungen haben gezeigt, dass die anfallenden Wassermengen gut kalkulierbar sind und die anfallenden Wassermengen der Dachflächen technisch und mengenmäßig in ein oder mehrere Baumstandorte des Straßenraumes geleitet werden können, ohne ein Problem der Staunässe zu verursachen. In Kombination mit einer Aufwertung der Baumstandorte über eine gezielte Auswahl des Substrats sowie der Bau von Wurzelgräben ergeben sich weitere Chancen für eine verbesserte Wasserversorgung sowie für das Wurzelwachstum der Bäume.

Risiken:
Als ein Risiko bei der Niederschlagseinleitung an Baumstandorten ist eine zu große anfallende Wassermenge zu sehen, die an einigen der untersuchten Baumstandorten bei längeren Regenereignissen zu berücksichtigen ist.

Daraus resultiert ein erhebliches Risiko für die betroffenen Bäume, weil u.a. die Sauerstoffversorgung der Wurzeln in wassergesättigten Böden abreißt und erhebliche Vitalitätseinbußen, im Extremfall das Absterben verursachen kann. Die letzten Sturmereignisse in Hamburg haben zudem gezeigt, dass selbst vitale Bäume in durchnässten Böden nicht mehr ausreichend Halt fanden und samt Wurzelteller aus den Pflanzgruben kippten.

Daneben entstehen wasserbauliche Probleme, wenn bei bestimmten Regenereignissen die Wassermengen das Fassungsvermögen der Pflanzgrube deutlich übersteigen, Das Pflanzgrubenvolumen kann die Wassermengen vom Dach und von der Straße nicht aufnehmen, so dass mehrere Baumstandorte an eine Dachfläche angebunden sein müssten. Eine weitere Komponente des Risikos bei einer Vernässung des Baumstandortes ist das Maß des Versickerungspotenzials, das nicht bei jedem der untersuchten Baumstandorte ausreichend ist und Staunässe begünstigt.

Darüber hinaus ist bei den hier herangezogenen exemplarischen Baumstandorten haufig der Mindestabstand von 6 m zwischen Gebäude und Baumstandort nicht gegeben, um eine Vernässung des Gebäudefundaments zu vermeiden. Beim Neubau und Neugestaltung von Straßenraumen oder Wohngebieten kann diesem Aspekt allerdings leicht Rechnung getragen werden. Ein weiterer Aspekt, der nicht direkt ein Risiko für den Baum darstellt, aber eine Restriktion bei der Umsetzung der Maßnahme ist, basiert auf den rechtlichen Grundlagen, die durch das HmbAwG vorgegeben werden. Die Einleitung von Regenwasser von privaten Flachen in öffentliche Baumstandorte ist danach derzeit rechtlich nicht moglich.

4.4 Kritische Reflexion zu Pflanzsubstraten

Nach der Pflanzung von Straßenbäumen setzt sich der zukünftige Wurzelraum aus Substraten von dreierlei Herkunft zusammen: a) der Wurzelballen mit Boden von der Baumschule, b) das spezifische Baumsubstrat, mit dem die Pflanzgrube verfüllt wurde und c) der anstehende Boden (Ober- und Unterboden, auch Tragschichten und Unterbau) außerhalb der Pflanzgrube. Die Größe und Gestaltung der Pflanzgrube wurde von der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL) geregelt, dies richtet sich danach, ob der anstehende Boden für die Pflanzung geeignet oder ungeeignet ist (FLL 2010). Dabei zählen als ungeeignet sehr saure oder alkalische Böden, verunreinigte Böden, zur Verdichtung neigende Füllböden und heterogene Auftragsböden. Bei ungeeigneten Böden wird eine Pflanzgrube von mind. 12 m3, 1,5 m Tiefe und einer Baumscheibe von 6 m2 empfohlen (FLL 2010). Die einzusetzenden Pflanzsubstrate werden unterschieden in ihrer Verwendung für Bauweise 1 (offen, nicht überbaubare Pflanzgrube) bzw. für Bauweise 2 (überbaute Pflanzgrube), wobei beide Substrate strukturstabil sein sollen, d.h., dass insbesondere bei Erschütterungen keine Sackungsverdichtungen auftreten sollen. Die Substrate für beide Bauweisen sollen einen guten (Bauweise 1) bis ausreichenden (Bauweise 2) Wasser- und Lufthaushalt sicherstellen (FLL 2015). Außer den Anforderungen an die chemischen Eigenschaften (pH, Salzgehalt, Anteil an Dünger und organischer Substanz) werden für beide Bauweisen spezifische Spannweiten der Zusammensetzungen der Korngrößen (Kornsummenbänder) formuliert, die in beiden Fällen eine weite Staffelung der Fraktionen mit 17 – 56 Masse-% (Bauweise 1) bzw. 25 – 56 % (Bauweise 2) Grobkorn fordern. An bodenhydrologischen Anforderungen wird eine Wasserhaltekapazität im eingebauten Zustand von mindestens 25 Vol. % sowie ein dabei zu erzielender Luftgehalt von mindestens 10 Vol. % festgelegt. Soweit der Luftgehalt geringer ist, wird eine Luftkapazität bei feuchten Böden (Wasserspannung von pF 1.8) von mindestens 15 Vol. % gefordert.

Die formulierten Ziele und Anforderungen für die Baumsubstrate kennzeichnen den generellen Zielkonflikt: Einerseits soll ein Wurzelraum mit ausreichenden Wasser- und Luftspeichereigenschaften hergestellt werden, der andererseits aber wiederum eine dauerhafte Lagestabilität aufweisen soll. Während zum Erreichen des ersten Ziels insbesondere steinfreie, schwach- bis mittellehmige oder schluffige Substrate geeignet sind (LAGA 2015), werden für das zweite Ziel erhöhte Anteile von Grobkorn gefordert (FLL 2010).

In der Einbaupraxis kann das erzielte bodenphysikalische Ergebnis einen guten Kompromiss beider Ziele entsprechen, aufgrund der Nähe der Korngrößenanforderungen der Baumsubstrate zu solchen Materialien, die eine hohe Raumdichte und entsprechend geringe Porosität aufweisen können, kann bei erhöhter Verdichtungsenergie jedoch auch ein sehr schlecht belüfteter Boden (Luftkapazität < 5 Vol. %) entstehen. Zwar wird die Verdichtung auch für die Bauweise 2 mit < 95 % der optimalen Dichte des Proctorversuuchs (DPr) festlegt (ZTV-Vegtra-Mü 2016), allerdings ist die Kontrolle der Verdichtung nach dem Einbau in den engen Pflanzgruben schwierig. Insofern besteht bei mit den bisherigen Anforderungen an die Substrate die Gefahr einer begrenzten Luftversorgung im Wurzelraum, die bei Einleitung zusätzlichen Wassers verschärft werden kann. Es bleibt Aufgabe weiterer Untersuchungen zur Wurzelverteilung und zum Gashaushalt, in welchem Maße mit unterschiedlichen Baumsubstraten die übergeordneten Ziele am besten zu erreichen sind.

Hinzu kommt, dass die Beurteilung, ob es sich im vorgesehenen Pflanzgrubenbereich um „heterogene Auftragsböden" handelt, die dort anstehenden Böden also nach FLL (2010) als ungeeignet gelten und gegen die Baumsubstrate auszutauschen sind, im Einzelfall zur unnötigen Beseitigung von hinsichtlich der Wasserversorgungs- und Nährstoffeigenschaften durchaus günstigen anstehenden Böden führt.

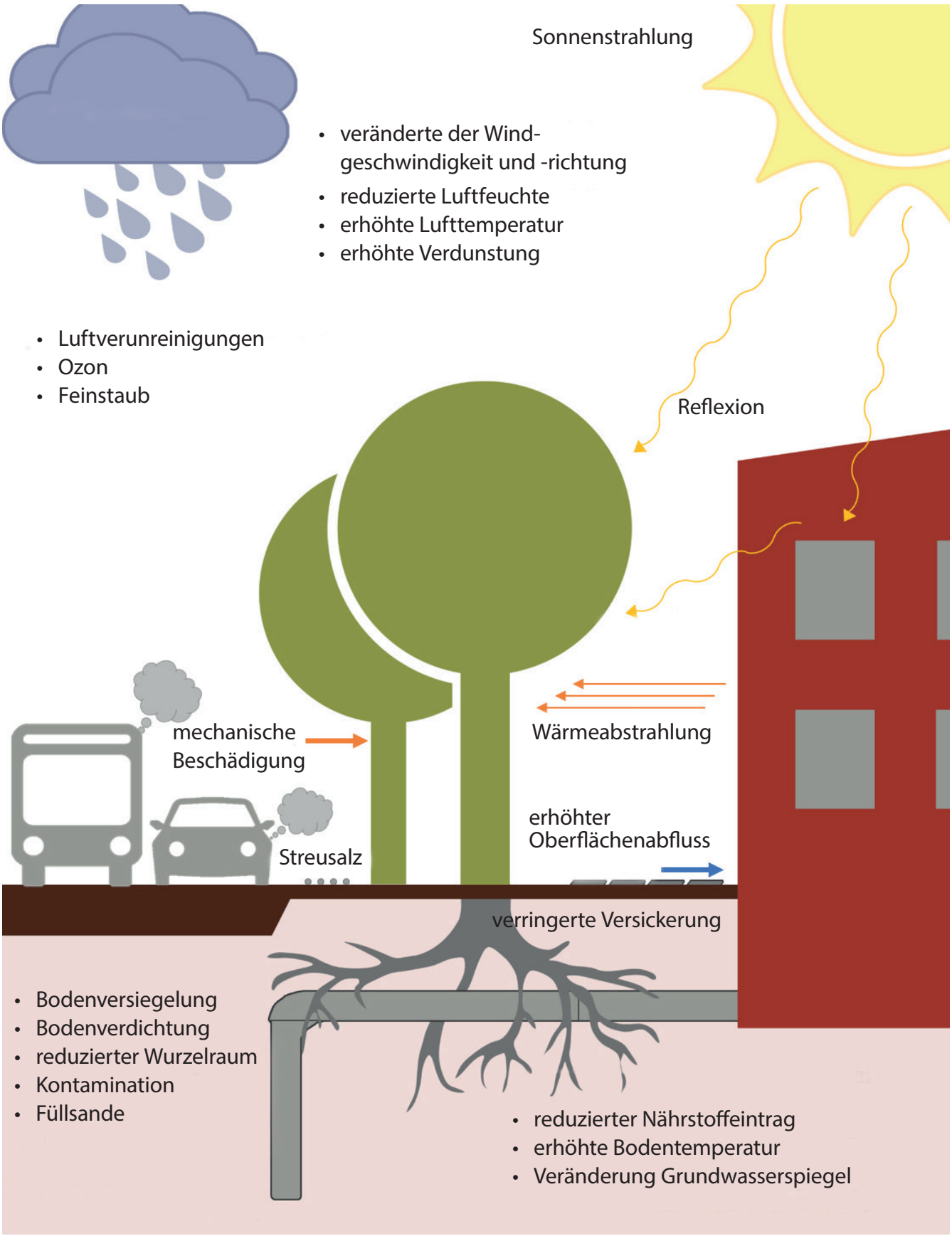


Abb. 5.1: Stadtspezifische Faktoren an Baumstandorten im städtischen Straßenraum

5.1 Klimafolgenindikatoren für Stadtbäume

Der Zustand von Stadtbäumen hängt von vielen verschiedenen Einflussfaktoren ab, denn Stadtbäume sind komplexen Bedingungen und Stressoren ausgesetzt (vgl. Kapitel 2). Dies sind beispielsweise der Bebauungsgrad, der Versiegelungsgrad, die Beschaffenheit des Untergrunds, die Nährstoffkonzentration im Boden oder die Bodenfeuchte. Daneben sind Störungen durch Kabel-, Rohr- und Straßenbauarbeiten als Belastungsfaktoren für Stadtbäume zu nennen. Daher kann die Frage, wie sich Klimaveränderungen auf einen Baum auswirken, nicht ohne weiteres beantwortet werden (z.B. Roloff 2013; Böll et al. 2014). Ebenso ist es unter Berücksichtigung dieser komplexen Wirkungszusammenhänge besonders schwierig, Indikatoren zu entwickeln, die den Einfluss von Klimaveränderungen auf den Hamburger Baumbestand aufzeigen. Dennoch könnten Klimafolgenindikatoren dazu beitragen, die einzelnen Wirkfaktoren zu strukturieren, zu dokumentieren und darzustellen sowie Trends abzuleiten.

Umweltindikatoren stellen einen wesentlichen Bestandteil der Umweltbeobachtung, -dokumentation und -bewertung dar. Als berechnete Kenngröße oder Kennzahl eignen sie sich für die Ermittlung des Ist-Zustands der Umwelt oder von Trends der Umweltqualität, um Handlungserfordernisse zur Zielerreichung bestimmen und Prioritäten bei der Entwicklung und der Umsetzung von Maßnahmen festlegen zu können. Indikatoren tragen insbesondere auch zur gesellschaftlichen Akzeptanz für umweltbezogene Maßnahmenprogramme sowie zur Überprüfung und Evaluierung des aktuellen Maßnahmeneinsatzes bei (Hain und Schönthaler 2004, S. 143 ff.; Jänicke und Zieschank 2004, S. 41; Müller und Wiggering 2004). Für die Sensibilisierung der Bevölkerung oder auch von Politikern für ein Themenfeld werden häufig auch Indikatoren definiert, die einen politischen Symbolcharakter haben (vgl. Jänicke und Zieschank 2004). Des Weiteren sollten Indikatoren aussagekräftig sowie repräsentativ sein (Jessel und Tobias 2002). Damit unterliegt die Entwicklung und Auswahl von geeigneten Indikatoren unterschiedlichen Anforderungen. Sie müssen einerseits beobachtbar, berechenbar und aussagekräftig sein, andererseits sollten sie auch gut kommunizierbar und politisch relevant gelten.

Eine Herausforderung bei der Entwicklung von Klimafolgenindikatoren für Stadtbäume liegt in den Belastungsfaktoren begründet, von denen die Bäume in der Stadt beeinflusst werden. Als Indikatoren bzw. Zeigerwerte für den Einfluss von Klimaveränderungen auf Bäume werden derzeit insbesondere phänologische Beobachtungen diskutiert (z.B. Chmielewski und Rötzer 2001). Dabei wird beispielsweise ein Zusammenhang zwischen der Lufttemperatur im Frühjahr und dem Beginn des Knospenaustriebs, der Blätterbildung oder des Blütenaustriebs von Bäumen festgestellt. Insgesamt wird die globale Erwärmung mit großer Wahrscheinlichkeit zu Veränderungen der Vegetationsperiode von Bäumen führen, die besonders auf einen früheren Beginn dieser Phase zurückzuführen ist (ebd.). Daneben ist die Analyse von Baumringen eine bedeutende Grundlage für die Definition von Indikatoren, die den Einfluss von Klimaveränderungen auf Bäume darstellen können. Beispielsweise werden Jahresringe als Indikatoren für Schadensereignisse und als Archiv der Baumlebensgeschichte von Stadtbäumen verwendet (z.B. Bonn 2006). Sie zeigen den Radialzuwachs im Vergleich mit bestimmten klimatischen Parametern auf und geben damit u.a. auch Hinweise auf die Sensitivität einzelner Baumarten gegenüber Klimaveränderungen (z.B. Gillner et al. 2014; Zhang 2015, vgl. auch Kapitel 4). Dahinter verbergen sich allerdings häufig sehr umfassende und zeitaufwändige Untersuchungen. Darüber hinaus ist das Vorkommen von Baumschädlingen und -krankheiten Teil der Diskussion in Wissenschaft und Praxis. In den letzten Jahren treten zunehmend neue Krankheiten und Schädlinge an Stadtbäumen auf, die u.a. auch auf Klimaveränderungen zurückgeführt werden können. Beispielsweise wird diskutiert, dass die Rußrindenkrankheit des Ahorns, die Massaria-Krankheit der Platane, das Vorkommen des Schwammspinners oder die Verbreitung des Eichenprozessionsspinners unmittelbar mit Trockenstress und hohen Temperaturen zusammenhängen (z.B. Kehr 2012).

5.1.1. Klimafolgenindikatoren auf internationaler und nationaler Ebene

Aufbauend auf dem PSR-Modell (Pressure-State-Response) der OECD (Organization of Economic Cooperation and Development 1994; 2001) hat die European Environmental Agency (EEA) das DPSIR-Modell (Driving-Forces-Pressure-State-Impact-Response) entwickelt (EEA 1999). Die Weiterentwicklung des Indikatoren-Modells ermöglicht es, Wechselwirkungen zwischen der Umwelt und Gesellschaft zu beobachten und nachzuweisen (EEA 1999, S. 6). Das DPSIR-Modell kann dabei als Werkzeug für die Strukturierung und Analyse von ökologischen, ökonomischen und sozialen Belangen und Zusammenhängen gesehen werden (z.B. Bell 2012; Müller und Wiggering 2004; Omann et al. 2009; Spangenberg et al. 2009), z.B. für den Einfluss des Klimawandels auf den Handlungsbereich Biodiversität (Omann et al. 2009).

Das DPSIR-System basiert auf fünf Indikatoren-Typen (vgl. Abb. 5.2): Driving Forces bzw. die treibenden Kräfte können beispielsweise städtebauliche und ökonomische Aktivitäten oder Lebensstile sein, z.B. der demographische Wandel. Mit dem Pressures-Indikator werden Belastungen, z.B. Stoffeinträge oder Treibhausgas-Emissionen, in die Umwelt beschrieben. State-Indikatoren beschreiben den Zustand der Umwelt, z.B. eine Stoffkonzentration oder die Lufttemperatur. Impact-Indikatoren umfassen die Wirkungen und Einflüsse von etwas auf die Umwelt oder den Menschen. Dies können beispielsweise Veränderungen der Wasserqualität, der Verlust von Biodiversität oder gesundheitliche Belastungen sein. Response-Indikatoren beschreiben wiederum die Reaktionen der Gesellschaft auf diese Veränderungen. Dies sind beispielweise die umweltpolitischen Maßnahmen und Instrumente. Die Wirkung der Maßnahmen kann wiederum einen Einfluss auf die Punkte Pressures, State und Impact haben (vgl. Bosch & Partner 2010; EEA 1999; Jänicke und Zieschank 2004; UBA 2011).

5. Umsetzungsinstrumente und Zuständigkeiten

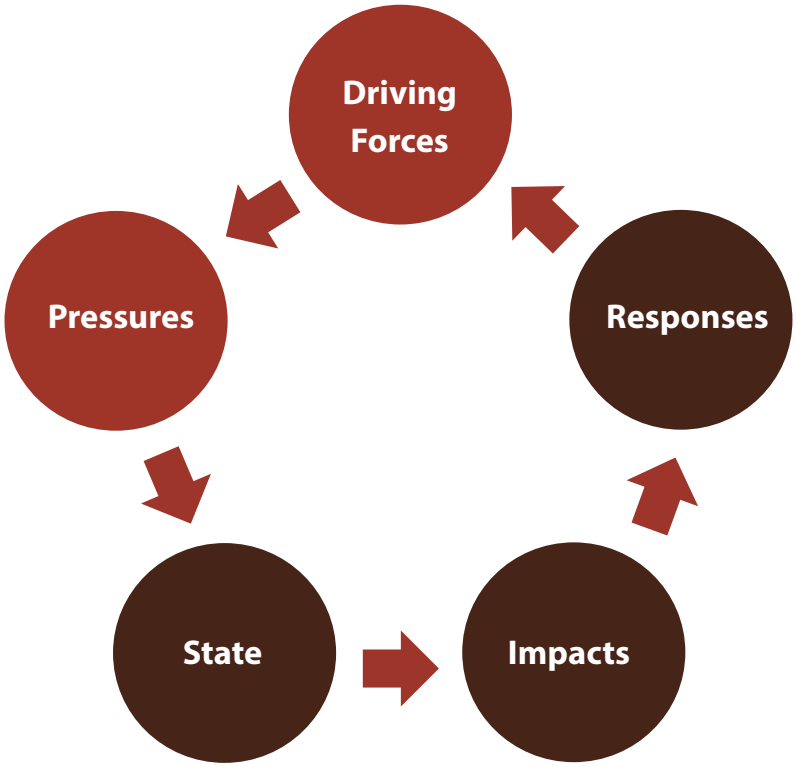


Abb. 5.2: DPSIR-System (eigene Darstellung nach EEA 1999, S. 6, UBA 2011a)

Es gibt auf der internationalen und nationalen Ebene Monitoring-Programme und Indikatoren-Sets, die eine Bewertung des Klimawandels auf verschiedene Handlungsbereiche, wie z.B. Gesundheit, Naturschutz oder Wasserwirtschaft, zulassen (EEA 2012; Europäische Union 2015). Einige von diesen Ansätzen werden im Folgenden dargestellt. Zusammenfassend lässt sich dabei allerdings festhalten, dass es derzeit weder auf internationaler noch auf nationaler Ebene Indikatoren gibt, die den Einfluss von Klimaveränderungen auf Stadtbäume erfassen.

Europa: Auf europäischer Ebene beschreibt die Europäische Umweltagentur (EEA 2012, S. 30f.) Indikatoren zur Beobachtung von Klimaveränderungen sowie deren Auswirkungen auf unterschiedliche Handlungssektoren. Indikatoren sind danach z.B. die Lufttemperatur, das Niederschlagsgeschehen, Niederschlagsextreme, Binnenhochwasser, Hitzewellen, Stürme und Sturmflut-Ereignisse oder Waldbrände. Im Handlungssektor Terrestrische Ökosysteme und Biodiversität werden beispielsweise Indikatoren wie Pflanzenphänologie oder die Veränderung von Artenzusammensetzungen genannt (EEA 2012, S. 28). Zu Bäumen und insbesondere zu Straßenbäumen gibt es hierbei keine Indikatoren. Die Indikatoren der Europäischen Union zur Nachhaltigen Entwicklung in Europa thematisieren zwar den Klimawandel in Form des Treibhausgasanstiegs (CO_2-Emissionen), der Einfluss von Klimaveränderungen auf einzelne Handlungssektoren bleibt hier allerdings unberücksichtigt (Europäische Union 2015, S. 199).

Deutschland: In Deutschland hat die BLAG KliNa (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft „Klima, Energie, Mobilität – Nachhaltigkeit") der Umweltministerkonferenz (UMK) im Jahr 2004 die Umweltbezogenen Nachhaltigkeitsindikatoren formuliert. Die sogenannten UMK-Indikatoren dienen der Bewertung der Nachhaltigen Entwicklung in Deutschland (BLAG KliNA 2014). Einen Bezug zum Klimawandel oder zu Bäumen weisen die UMK-Indikatoren „Klimawandel und Vegetationsentwicklung (Beginn der Apfelblüte und Dauer der Vegetationsperiode)" und „Waldzustand" auf (ebd., 13f.). Als Grundlage für die Veränderung der Dauer der Vegetationsperiode wird „die Zeitspanne zwischen dem (relativ frühen) Blühbeginn der Salweide und der Blattverfärbung der Stieleiche als phänologischer Zeiger für den Eintritt des Spätherbstes" beobachtet und dokumentiert (LIKI 2015a). Mit Hilfe des Indikators „Waldzustand" wird der Anteil der geschädigten Bäume in Deutschland erfasst. Der Kronenzustand der Bäume dient dabei als Zeiger für den Vitalitätszustand der Wälder. Die wichtigsten Analysekriterien sind dabei der Nadel-/Blattverlust sowie die Vergilbung der Blattorgane. Bei einer länderübergreifenden Interpretation des Indikators sind regional unterschiedliche Baumartenzusammensetzungen, Bodenverhältnisse, Altersstrukturen und klimatische Einflüsse zu beachten (LIKI 2015b).

Auf Bundesebene wurden darüber hinaus Indikatoren für die Deutsche Strategie zur Anpassung an den Klimawandel (DAS) (Deutsche Bundesregierung 2008) entwickelt. Sie orientieren sich an den Handlungsfeldern der DAS: Menschliche Gesundheit, Bauwesen, Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz, Boden, Biologische Vielfalt, Landwirtschaft, Wald- und Forstwirtschaft, Fischerei, Energiewirtschaft, Finanzwirtschaft, Verkehr und Verkehrsinfrastruktur, Industrie und Gewerbe, Tourismuswirtschaft, Raum-, Regional- und Bauleitplanung und Bevölkerungsschutz (Bosch & Partner 2010). Für das Handlungsfeld Wald- und Forstwirtschaft wurden z.B. folgende Indikatoren vorgeschlagen (UBA 2011b, S. 118): Baumartenzusammensetzung in Naturwaldreservaten, Holzzuwachs, Waldbrandgefährdung und Waldbrand sowie Waldzustand. Zudem wurden Response-Indikatoren für das Handlungsfeld Wald- und Forstwirtschaft vorgeschlagen (UBA 2011b, S. 118): Forstliche Information zum Thema Anpassung, Mischbestände, Investitionen in den Waldumbau, Schädlingsbekämpfung im Wald. Deutlich wird, dass sich diese Indikatoren-Vorschläge auf Waldstandorte konzentrieren. Sie eignen sich nicht für Stadtbäume, bei denen sich der Einfluss von Klimaveränderungen ganz anders zeigt (vgl. Kapitel 3).

Hamburg: Die Stadt Hamburg hat ebenso wie andere Bundesländer einen Indikatoren-Katalog erstellt, der Aussagen zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf verschiedene Handlungsbereiche ermöglicht (z.B. Wasserwirtschaft, Boden, Naturschutz, Menschliche Gesundheit, Landwirtschaft). Hier gibt es im Handlungsfeld Landwirtschaft den Impact-Indikator „Vegetationsbeginn", der phänologische Daten von Bäumen in Hamburg erfasst. Der Indikator stellt das Eintrittsdatum der Apfel- und Forsythienblüte dar. Ebenso wird hiermit der thermische Vegetationsbeginn erfasst. Damit ist das erste Aufkommen von mindestens 6 aufeinanderfolgenden Tagen mit einer durchschnittlichen Lufttemperatur von über 5°C gemeint (FHH 2015). Indikatoren zum Einfluss von Klimaveränderungen auf Stadtbäume gibt es derzeit noch nicht (FHH 2012b; FHH 2015b, FHH 2015). Ergänzt wird das Hamburger Klimafolgen-Monitoring durch den Norddeutschen Klimamonitor des Norddeutschen Klimabüros und des Deutschen Wetterdienstes, der State-Indikatoren für Norddeutschland darstellt und auf regionalen Messstationen in Norddeutschland basiert (Meinke et al. 2014; Norddeutsches Klimabüro und Deutscher Wetterdienst 2017).

5.1.2 Klimafolgenindikatoren für die Stadtbäume in Hamburg

Die Fragestellung, wie die Stadtbäume auf den Klimawandel reagieren, ist für die Stadt Hamburg bedeutsam. Bereits heute sind Schädigungen der Stadtbäume aufgrund klimatischer Veränderungen (z.B. vermehrte Trockenperioden, Hitzebelastung oder Stürme) zu beobachten, z.B. vermehrte Sturmschäden, zunehmend auftretende wärmeliebende Krankheiten, Schäden durch Trockenstress. Das Hamburger Straßenbaumkataster gibt dazu erste Hinweise, ohne dass diese Veränderungen zuverlässig dem Klimawandel zuzuordnen sind. Um mögliche Indikatoren für das Themenfeld „Stadtbäume im Klimawandel" zu definieren, dienen folgende Fragestellungen und die nachfolgende Tabelle (Tab. 5.1) mit Überlegungen zu denkbaren Klimafolgenindikatoren:

1. Wie verändert sich das Klima in der Stadt Hamburg? (Zustand, State-Indikatoren: z.B. Temperatur, Niederschlagsgeschehen)
2. Welche Auswirkungen haben die Klimaänderungen auf den Bestand der Straßenbäume in der Stadt Hamburg? (Auswirkungen, Impact-Indikatoren: z.B. Zustand Straßenbäume)
3. Trifft die Stadt Hamburg Maßnahmen zum Umgang mit Stadtbäumen im Klimawandel? (Antwort, Response-Indikatoren: z.B. Auswahl neuer Arten/Sorten für Straßenbäume, Verbesserung der Wuchsbedingungen)

Für die Entwicklung von Vorschlägen von Klimafolgenindikatoren für die Stadtbäume in Hamburg wurden aufbauend auf dieser Übersicht Experteninterviews mit Mitarbeitern und Baumkontrolleuren der Bezirksämter in Hamburg geführt, um Beobachtungen zu erfassen und in die Indikatorenentwicklung aufzunehmen. Ergänzend dazu wurden in einem Fachworkshop „Klimafolgenindikatoren für Stadtbäume" (am 22.02.2016) gemeinsam mit Vertretern aus Wissenschaft und Verwaltung die Wirkungszusammenhänge zwischen klimatischen Veränderungen, städtische Standortbedingungen und dem Zustand des Hamburger Baumbestands diskutiert und die oben dargestellten Indikatoren-Beispiele hinsichtlich ihrer möglichen Eignung als Klimafolgenindikatoren für Stadtbäume bewertet. Zudem wurden Daten des Hamburger Straßenbaumkatasters ausgewertet und hinsichtlich ihrer Aussagekraft sowie Eignung als Grundlage für einen Indikator überprüft. Der Fokus lag dabei auf den Indikationsfeldern „Sturmschäden", „Trockenschäden" sowie „Krankheiten und Schädlinge", die sich im Fachworkshop als für Hamburg besonders relevant erwiesen haben und im Hinblick auf Klimaveränderungen als besonders aussagekräftig bewertet worden sind. Ergebnis der Datenanalyse im Rahmen des SIK-Projektes ist, dass sich die Daten grundsätzlich für die Beobachtung des Zustands der Stadtbäume im Rahmen eines Klimafolgenmonitorings eignen. Eine zentrale Erkenntnis dabei ist allerdings, dass die Eingabefelder für die Dokumentation im Straßenbaumkataster auf die Baumkontrollen zur Verkehrssicherheit hin ausgerichtet sind. Sie müssten durch weitere Eingabefelder ergänzt werden, damit die Daten als Grundlage für einen Indikator „Sturmschäden bei Stadtbäumen" oder „Vorkommen von Krankheiten und Schädlinge" herangezogen werden können.

Folglich besteht weiterhin umfassender Forschungs- und Monitoringbedarf zu den Wirkungszusammenhängen zwischen dem regionalen Klima, den urbanen Standortfaktoren sowie dem davon abhängigen Zustand der Bäume in Hamburg. Klimafolgenindikatoren können dabei helfen, den Zustand der Stadtbäume im Vergleich mit tatsächlich gemessenen Klimaparametern in Hamburg zu bewerten. Hierzu bedarf es eines Ausbaus und der Weiterentwicklung des Klimanetzes im Stadtgebiet. Eine Erweiterung der Datenfelder im Baumkataster würde diesen Weg unterstützen.

Indikatorentypen für Stadtbäume im Klimawandel (Beispiele)	
State-Indikator	Anzahl Hitzetage
	Anzahl der Tropennächte
	Lufttemperatur
	Niederschlagsgeschehen
	Anzahl der Starkregenereignisse
	Anzahl und Länge der Trockenperioden
	Anzahl Sturmereignisse
	Windintensität
Impact-Indikator	Zustand Straßenbäume (Baumkronenzuwachs, vertrocknete Triebe)
	Anzahl der Bäume mit klima-/wärmebedingten Schädlingen
	Sturmschäden bei Stadtbäumen
	Vorkommen des Eichenprozessionsspinners
	Vorkommen von Krankheiten und Schädlingen
	Sturmschäden bei Stadtbäumen
Response-Indikator	Neupflanzungen von Stadtbäumen
	Anzahl Pflanzung von klimarobusten Arten/Sorten (vgl. Klimaartenmatrix, GALK-Listen)
	Artendiversität im Stadtbaumbestand
	Investitionen in Pflanzung von klimarobusten Arten/Sorten
	Investitionen in klimaangepasste Wuchsbedingungen
	Information zum Thema „Stadtbäume im Klimawandel"

Tabelle 5.1: Indikatoren-Typen State, Impact und Response für Stadtbäume im Klimawandel. Quelle: Mareike Fellmer, 2017

Aufbauend auf diese Überlegungen und auf der Grundlage der oben genannten Experteninterviews sowie der Datenanalyse des Hamburger Straßenbaumkatasters wurden die folgenden Vorschläge für Klimafolgenindikatoren für Stadtbäume im Rahmen des SIK-Projektes entwickelt und im Anhang dieses Entwicklungskonzeptes umfassend ausgeführt (vgl. Anhang II). Im Austausch mit den Partnern aus der Umweltbehörde und den Hamburger Bezirken ist dabei auch deutlich geworden, dass die hier genannten Indikatorenvorschläge aufgrund der oben dargestellten Komplexität des Indikationsfelds im Hinblick auf ihre Aussagekraft kritisch zu sehen sind. Ebenso wird eine umfassendere Datenanalyse und -dokumentation derzeit vor dem Hintergrund des erforderten Zeitaufwands und knapper Personalressourcen kritisch eingeschätzt. Die Indikatorenvorschläge sind daher als weiterzuentwickelnde Vorschläge zu verstehen, die aufgrund der hier dargestellten Gründe noch keine Umsetzungsreife erlangt haben.

I**mpact-Indikatoren:**

- Sturmschäden bei Stadtbäumen
- Vorkommen des Eichenprozessionsspinners
- Vorkommen von Krankheiten und Schädlingen
- Trockenschäden (derzeit noch in der Diskussion und noch nicht in Form des Indikatoren-Kennblatts konkretisiert)

Response-Indikatoren:

- Neupflanzungen und Fällungen von Stadtbäumen
- Artendiversität im Stadtbaumbestand

Als Orientierung für die Darstellung der Indikatoren-Vorschläge in den Indikatoren-Kennblättern dienten die Indikatoren-Kennblätter des Hamburger Klimafolgen-Monitorings der Stadt Hamburg (FHH 2017), da diese mit Indikatoren-Beschreibungen auf Bundes- und Landesebene kompatibel sind.

Der Galk Straßenbaumtest II für Allee- und Straßenbäume – Beispiele für Hamburg





Abb. 5.3: Beispiele aus dem GALK-Straßenbaumtest II für Allee- und Straßenbäume. Quelle: GALK Straßenbaumtest 2 à, http://strassenbaumtest.galk.de/

5.2 GALK-Straßenbaumtest

Neben dem Hamburger Straßenbaumkataster liefern die GALK-Straßenbaumtests Erkenntnisse, die zur Entwicklung von Klimafolgenindikatoren für Stadtbäume beitragen könnten. Bereits seit dem Jahr 1995 erfolgt auf Initiative des Arbeitskreises Stadtbäume der Deutschen Gartenamtsleiterkonferenz (GALK) ein Stadtbaum-Monitoring in deutschen Städten. An diesen GALK-Straßenbaumtests beteiligen sich bislang die Städte Berlin, Dresden, Frankfurt, Hamburg, Heilbronn, Köln, München, Münster, Nürnberg, Osnabrück, Rostock, Stuttgart, Basel und Wien.

Die Versuchsbäume der GALK-Straßenbaumtests werden in den Teilnehmerstädten des "Arbeitskreises Stadtbäume" aufgepflanzt und wachsen damit unter den verschiedenen klimatischen Bedingungen des gesamten Bundesgebiets. Seit Winter 2004/2005 läuft ein zweiter Straßenbaumtest, in dem weitere 40 Baumarten und Baumsorten untersucht werden sollen. Bisher sind bundesweit 33 der 40 ausgewählten Baumarten und Baumsorten an 150 Standorten mit insgesamt rund 2.000 Exemplaren gepflanzt worden. Hamburg nimmt seit 2005 am GALK-Straßenbaumtest teil und ist inzwischen mit 400 Bäumen auf 27 Standorten im GALK-Test vertreten. An ausgewählten Exemplaren dieser Versuchsbäume werden nun im Rahmen des SiK zusätzliche bodenkundliche Untersuchungen und Stressmessungen vorgenommen; überwiegend an Arten und Sorten, die mit den prognostizierten Klimaveränderung besser zurecht kommen sollen.

Die Versuchsbäume werden jährlich Mitte August bonitiert. Nach fünf Jahren erfolgt dann eine erste Gesamtauswertung. Die Bonitierung berücksichtigt u.a. die nachfolgenden Parameter: Neben dem Gesamteindruck werden das Anwachsen, die Kronenform (säulenförmig, rundkronig, kegelförmig) und Kronendichte (locker, mittel, dicht), der Blütenbesatz, Fruchtfall, Blattaustrieb, Blattfall und Blattschäden dokumentiert. Bei den Wuchseigenschaften werden der Stammumfang in 1 m Höhe, die Wuchsform (straff, aufrecht, überhängend, hängend) sowie der Terminal- und Triebzuwachs erfasst bzw. geschätzt. Besonderes Augenmerk gilt dem Befall mit Schädlingen, dem Auftreten von Krankheiten sowie Frost-, Hitze- und Trockenheitsschäden. Weiterhin werden der Pflegeaufwand, z.B. das Wässern, der Schnittaufwand, insbesondere der Lichtraumprofilschnitt, oder – falls erforderlich – das Stäben, das Auftreten von Windbruch, Wurzelausläufern oder Dornen, Fruchtfall und Honigtauabsonderungen aufgenommen. Die GALK-Straßenbaumtests bieten dabei auch Möglichkeiten, den Einfluss von Klimaveränderungen auf die Bäume zu erfassen und langfristig zu dokumentieren. Sie stellen damit eine wichtige Grundlage für die Entwicklung von Klimafolgenindikatoren dar (Doobe 2015).

Für die Koordination hat die Umweltbehörde mit Hilfe eines geografischen Informationssystems (GIS) sämtliche Untersuchungsstandorte mit den dort eingesetzten Methoden dokumentiert, die so mit zusätzlichen Hintergrundinformationen wie Klimadaten verschnitten werden können. Abb. 5.3 zeigt Beispiele aus dem GALK-Straßenbaumtest II für Allee- und Straßenbäume für ein Gewerbegebiet und einen Standort in der Bramfelder Straße. Es werden auch Straßenbauprojekte berücksichtigt, bei denen die Stadt in großen Stückzahlen neue Sorten pflanzt und neue Wege bei der Baumgrubengestaltung und der Regenwassernutzung erproben wird.

Diese praxisorientierte Langzeitbeobachtung der Bäume bildet zudem eine wesentliche Grundlage für die Fortschreibung der GALK-Straßenbaumliste, die inzwischen mehr als 170 Baumarten/Baumsorten umfasst. Hier fließen die fachlichen Erfahrungen aus den inzwischen 19 Teilnehmerstädten des AK Stadtbäume in die Bewertung ein, inwieweit sich die gelisteten Baumarten und Sorten für die Verwendung im Straßenraum eignen. Regionale und örtliche Erfahrungen sowie Besonderheiten von Klima, Boden und andere Einflüsse oder Belastungen können dabei zu abweichenden Beurteilungen führen. In der Praxis hat auch die Vermehrungweise entscheidenden Einfluss auf die mittel- und langfristige Entwicklung der Bäume und somit auch auf die Pflegeintensität in deren späterer Unterhaltung. Deshalb fließt die arten- und sortenspezifische Vermehrung in den Baumschulen (vgl. Wilhelm 2017b) als ein weiteres Kriterium in die Straßenbaumtests und die Bewertung in der Straßenbaumliste ein.

5.3 Standort und Bodenindikatoren

Den Standort- und Bodeneigenschaften sollte sowohl bei der Anlage von Pflanzungen als auch im Rahmen der Überwachung der Vitalität von Straßenbäumen (z. B. GALK-Straßenbaumtest) mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden (siehe auch Benk 2015). Wenigstens sollten einfache Untersuchungen erfolgen. Als Indikatoren zur Kennzeichnung des Standorts sind dabei insbesondere zu nennen:

- Anteil an versiegelter Fläche in der Kronenprojektionsfläche (%)
- Größe der Baumscheibe (m^2) und Beschaffenheit (Bewuchs, Verdichtungsspuren)
- Infiltrationsfähigkeit des Oberbodens (nach DIN 19682-7)
- Wasserdurchlässigkeit im eingebauten Zustand (nach FLL 2010; Anhang A2)
- Aktuelle Wurzelverteilung im Bodenprofil (Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005)

In Proben aus den Substraten des Wurzelraums:

- Korngrößenverteilung (nach DIN ISO 11277)
- Trockenrohdichte (nach EN ISO 11272)
- Wasserrückhaltevermögens in den Stufen 0, 6 kPa und 1,5 MPa zur Ableitung der Luftkapazität, der Feldkapazität und der nutzbaren Feldkapazität (nach DIN ISO 11274)
- pH (nach DIN ISO 10390 in $CaCl_2$ und H_2O)
- elektrische Leitfähigkeit (nach DIN ISO 11265)
- Anteil an organischem Kohlenstoff und Gesamtkohlenstoff (nach ISO 10964)
- ggf. effektive Kationenaustauschkapazität (nach ISO 11260) und austauschbare Ionen

Umsetzungsinstrumente für (klima)robuste Baumstandorte am Beispiel der Stadt München





Regenwasserversickerungsmulden und Baumstandorte in München (Fotos: Mareike Fellmer 2017)

Die Stadt München gestaltet ihre Baumstandorte seit einigen Jahren nach der „ZTV-Vegtra-Mü – Zusätzliche Technische Vorschriften für die Herstellung und Anwendung verbesserter Vegetationstragschichten". Danach ist die Baumscheibe eines Baumstandortes 24 m^2 groß als offene Bodenfläche und 1,5 m tief zu gestalten. Soweit es nicht möglich ist die 24m^2 große Fläche als offene Bodenfläche zu erstellen, kann ein Teil der Pflanzgrube als überbaute Fläche gestaltet werden. Dafür wird ein überbaubares Substrat verwendet. Mit dem Ziel den Wurzelraum unter Verkehrsflächen zu erweitern, gibt die ZTV-Vegtra-Mü zudem konkrete Planungshinweise für die Gestaltung von Baumgräben (Landeshauptstadt München 2016). Als verbindliches Regelwerk findet die ZTV-Vegtra-Mü bei der (Neu)gestaltung von Straßenräumen und Baumstandorten konsequent Anwendung.

Handlungsempfehlung: In Form einer **Handlungsempfehlung** hat die Stadt München eine eigene „Straßenbaumliste" (Beurteilung von Baumarten für die Verwendung im städtischen Straßenraum) für die Auswahl von Baumarten- und -sorten für neue Baumstandorte erstellt (Landeshauptstadt München 2007). Diese dient bei Straßenplanungsverfahren und der Neugestaltung von Baumstandorten als Orientierung, welche Straßenbaumarten gut geeignet sind. Grundlage sind die Erfahrungen des Baureferats/Gartenbau der Landeshauptstadt München, die GALK-Straßenbaumtests sowie selbst durchgeführte Straßenbaumtests. Weiterführend bietet zur Auswahl von Straßenbäumen für konkrete Straßenräume zudem der „Leitfaden zur Verwendung von Straßenbäumen in München" Orientierung (Landeshauptstadt München 2012). Damit stehen den Verkehrs- und Landschaftsplanern umfassende Hinweise zur Auswahl von Straßenbäumen zur Verfügung.

Im Zuge von Straßenplanungsverfahren mit der Neupflanzung von Bäumen kommt die sogenannte **„Baumkommission"** im Baureferat der Landeshauptstadt München zusammen. Darin beraten Vertreter unterschiedlicher Fachabteilungen der Münchner Verwaltung gemeinsam, welche Baumarten an den jeweiligen Standorten gepflanzt werden sollen. In der informell zusammengesetzten Baumkommission werden Wissen und Erfahrungen zu bestimmten Baumarten- und -sorten sowie zur Gestaltung von Baumstandorten ausgetauscht. Zudem wird bei den unterschiedlichen Fachabteilungen das Bewusstsein für die Anforderungen unterschiedlicher Baumarten an den Straßenraum gefördert (Wilhelm 2017a).

Niederschlagseinleitung an Baumstandorten

In Neubaugebieten in München wird ein Großteil der Pflanzgruben als Versickerungsmulde entsprechend des in Kapitel 4.3 dargestellten Pflanzgrubentyps 3 konzipiert. Die Geh- und Radwege in Wohngebieten verlaufen hier abschüssig zu den Baumstandorten und Regenwasser von diesen Flächen wird in die Pflanzgrube geleitet. Da in München die Gehwege nicht mit Streusalz gestreut werden, gibt es hier nach Angabe eines Mitarbeiters des Baureferats keine Schädigungen der Bäume durch Salze. Aber nicht nur Gehwegflächen werden in die Baumstandorte entwässert, auch Straßen. Bisher liegen noch nicht genügend Erfahrungen über längere Zeiträume vor, um die Auswirkung der Niederschlagseinleitung von Straßen auf den Zustand der Bäume beurteilen zu können. Zwar sind vereinzelt Salzschäden beobachtet worden, ob diese durch den Salzeintrag über das Wasser oder durch das Aufwirbeln von Salzwasser durch Fahrzeuge entstanden ist, ist derzeit aber noch nicht untersucht worden.

5.4 Umsetzungsinstrumente

Für die Umsetzung von Maßnahmen zum Umgang mit Stadtbäumen in Zeiten des Klimawandels kann auf verschiedene Instrumente zurückgegriffen werden. Grundsätzlich können dabei formelle, informelle und ökonomische Instrumente unterschieden werden. Während sich die formellen Instrumente durch rechtliche und verbindliche Regelungsformen auszeichnen (z.B. Gesetze, Festsetzungen in Bebauungsplänen), sind die informellen Instrumente durch Verfahren und Methoden gekennzeichnet, die sich durch die Selbstbindung der Beteiligten auszeichnen (z.B. Entwicklungskonzepte, Leitbilder, Netzwerke, Mediationsverfahren). Ökonomische Instrumente umfassen wiederum positive oder negative Verhaltensanreize (z.B. Abgaben, Gebühren, Zertifikate, Förderprogramme) (z.B. Danielzyk 2005, Danielzyk und Knieling 2011; Fröhlich et al. 2011; Priebs 1998; Schempp und Oßenbrügge 2015). Daneben sind weitere Systematisierungen von Instrumenten möglich, deren Instrumententypen sich in der Regel den drei oben genannten zuordnen lassen. Davoudi (2009, S. 14) unterscheidet beispielsweise die folgenden fünf Instrumentengruppen, die exakten Aufschluss über die Art des Instruments geben: „strategies and plans, regulatory measures, resource mobilisation, and consultation and collaborative practice." Für den Umgang mit Stadtbäumen lassen sich darauf aufbauend folgende Instrumententypen und -beispiele beschreiben:

Gesetze und Vorgaben zählen zu den formellen Instrumenten. Dazu gehören rechtlich geregelte Verfahren und Festsetzungen, die auf Gesetzen und Plänen basieren. Gesetze und Verordnungen legen dabei die Aufgaben, Zuständigkeiten, Verfahrensschritte und ggf. die zu beteiligenden Akteure fest, z.B. bei der rechtlich geregelten Öffentlichkeitsbeteiligung in formellen Planverfahren (z.B. bei Planfeststellungsverfahren) (z.B. Danielzyk 2005; Priebs 1998; Selle 2000). Grundsätzlich besteht für den Schutz und die Pflanzung von Bäumen als zentrale formelle Festsetzungsmöglichkeit das Gebot des Erhalts von Bäumen sowie der Art und der Anzahl zu pflanzender Bäume in Bebauungsplänen. §9(1) Nr. 25 BauGB macht Angaben zu Festsetzungsmöglichkeiten für Bäume: „Im Bebauungsplan können aus städtebaulichen Gründen festgesetzt werden […] für einzelne Flächen oder für ein Bebauungsplangebiet oder Teile davon sowie für Teile baulicher Anlagen mit Ausnahme der für landwirtschaftliche Nutzungen oder Wald festgesetzten Flächen

- das Anpflanzen von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen,
- Bindungen für Bepflanzungen und für die Erhaltung von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen sowie von Gewässern."

Beispiele für eine Anwendung dieser Festsetzungsmöglichkeiten sind z.B. HmbGVBl. (2013, S. 536):

- „Für festgesetzte Baum-, Strauch- und Heckenpflanzungen sind standortgerechte, einheimische Laubgehölze zu verwenden. Die Bäume müssen einen Stammumfang von mindestens 18 cm, in 1 m Höhe über dem Erdboden gemessen, aufweisen. Je Baum ist eine offene Vegetationsfläche von mindestens 12 m^2 vorzusehen."
- „Für die festgesetzten Bäume sind bei Abgang Ersatzpflanzungen vorzunehmen. Außerhalb der öffentlichen Straßenverkehrsflächen sind Geländeaufhöhungen oder Abgrabungen im Kronenbereich dieser Bäume unzulässig."
- „In den reinen Wohngebieten sind auf jeder Baufläche mindestens drei großkronige Bäume zu pflanzen und zu erhalten."

Dabei stellt sich die Frage, inwiefern von Städten und Kommunen Gebrauch von dieser Regelung gemacht wird und welche Möglichkeiten es gibt, auch Anpassungsoptionen für Stadtbäume mit den bestehenden Festsetzungsmöglichkeiten zu verankern.

Pläne und Strategien können einen formellen oder informellen Charakter haben (Davoudi 2009). Strategien, z.B. kommunale Anpassungsstrategien, haben in der Regel keine formelle Bindungswirkung. Bebauungspläne oder Straßenbaupläne stellen hingegen eine formelle Grundlage für die Straßenraumgestaltung und einer darin verankerte Gestaltung von Baumstandorten dar. Daneben kann die Gestaltung von Baumstandorten durch informelle Pläne, Strategien und Konzepte in die Straßenraumplanung eingebracht werden. Dies kann z.B. über die Integration von Baum-Konzepten in die Straßenbauplanung erfolgen. Dabei können auch klimaangepasste Baumarten oder Pflanzgruben in eine Planung eingebracht werden.

Positive und negative **Anreize und Förderprogramme** können den ökonomischen Instrumenten zugeordnet werden. Ihre Wirkungsweise zeichnet sich dabei durch eine Verhaltensdeterminierung über Anreize finanzieller Art aus. Sie richten sich folglich an Privatpersonen oder Akteure der Privatwirtschaft (Braun und Giraud 2009; Ottitsch and Krott 2005; Schempp und Oßenbrügge 2015). Sie umfassen Abgaben, Subventionen, Förderprogramme und Zertifikate (Braun und Giraud 2009, S. 178). Die Motivation, um finanzielle Förderprogramme, z.B. zur energetischen Sanierung von Gebäuden, in Anspruch zu nehmen, ist dabei insbesondere von der Höhe der Förderungssumme sowie von dem Nutzen der jeweiligen Klimaanpassungsmaßnahme abhängig (Schempp und Oßenbrügge 2015). Anreizinstrumente für Maßnahmen zur Pflanzung und Pflege von Bäumen sind bereits entwickelt worden und werden von Städten und Kommunen umgesetzt. Dies ist z.B. die Hamburger Aktion „Mein Baum. Meine Stadt", durch die die Pflanzung neuer Bäume durch Gelder privater Akteure angeregt wird. Eine ähnliche Spendenkampagne „Stadtbäume für Berlin" gibt es in Berlin. Die Stadt Berlin sieht zudem Baumpatenschaften als eine Maßnahme zum Umgang mit Stadtbäumen im Zuge von Klimaveränderungen. Danach könnten von Anwohnern angelegte, bepflanzte und gepflegte Baumscheiben gegen Bodenverdichtung und Austrocknung des Bodens schützen und damit Trockenstress bei dem Stadtbäumen vorbeugen. Auch die Bewässerung während heißer Sommertage und Trockenperioden könnte von den



Abb. 5.4: Auswahl von Handlungsleitfäden zum Thema Stadtbäume im Klimawandel, Quelle: Johannes Lauer, Icons nach www.flaticon.com

Baumpaten übernommen werden. Baumpatenschaften sollten daher gezielt gefördert werden (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin 2011). Bei diesen Instrumenten liegt der Anreiz allerdings weniger in einem finanziellen Vorteil für den Spender oder Baumpaten. Eher kann hier das Bedürfnis etwas Gutes zu tun oder das eigene Lebensumfeld aktiv mitzugestalten als Handlungsmotiv gesehen werden. Ein weiterer Anknüpfungspunkt für den Umgang mit Trockenheit stellt das Instrument der gesplitteten Abwassergebühr dar, das einen finanziellen Anreiz schafft, Niederschlagswasser auf dem eigenen Grundstück zu versickern (vgl. Schempp und Oßenbrügge 2015). Die Umsetzung von Baumstandorten mit der Möglichkeit zur Regenwasserversickerung könnten mit Hilfe der gesplitteten Abwassergebühr auf Privatgrundstücken gefördert werden.

Handlungsempfehlungen, wie z.B. informelle Leitfäden, Handbücher und Hinweise, zeichnen sich durch ihren informellen Charakter aus und sind folglich nicht bindend. Sie dienen als Handlungsorientierung für die Verwaltung, für Planer, für Privatpersonen oder Akteure aus der Privatwirtschaft. Ziel der Handlungsempfehlungen ist es, den Ablauf von Verfahren oder die Umsetzung von Maßnahmen zu verbessern, indem Informationen zu den Maßnahmen oder zum Umsetzungsprozess dargestellt werden (Danielzyk und Knieling 2011). Für die Auswahl von klimaangepassten Baumarten ist hier z.B. das Instrument der „Zukunftsbaumliste" zu nennen (z.B. die Zukunftsbaumliste Düsseldorf), in der Baumarten nach ihrer Toleranz gegenüber Klimaveränderungen bewertet werden. Denkbar sind auch Handbücher oder Wissensdokumente zur klimaangepassten Gestaltung von Pflanzgruben und Baumscheiben (vgl. hier z.B. das Wissensdokument "Hinweise für eine wassersensible Straßenraumgestaltung" der Stadt Hamburg, FHH 2015a). Hierbei sind zudem die bereits einschlägigen Empfehlungen der DWA und der FLL zur Pflanzung von Bäumen zu nennen (DWA 2005, FLL 2015), die ggf. durch Erkenntnisse zum Umgang mit Stadtbäumen in Zeiten des Klimawandels ergänzt werden können.

Die Instrumente der **Kommunikation und Koordination** zielen vordergründig auf Wissensaustausch, Verständigung und Vermittlung. Dabei kann zwischen Information, Beteiligung und Kooperation unterschieden werden (Selle 2000). Damit ist ein breites Spektrum von Verfahren und Methoden gemeint, die sich durch eine freiwillige Beteiligung und Selbstbindung auszeichnen. Dazu zählen beispielsweise Bildungsangebote, Exkursionen, Beteiligungsworkshops, Entwicklungskonzepte, Netzwerke und Mediationsverfahren sowie lokale Partnerschaften zwischen staatlichen und nicht-staatlichen Institutionen (Danielzyk und Knieling 2011; Ottitsch and Krott 2005). Darauf kann für den Umgang mit Stadtbäumen zurückgegriffen werden. Beispielsweise hat der Arbeitskreis Stadtbäume seinen Straßen-

baumtest in einer neuen Online-Version (http://strassenbaumtest.galk.de/) im Internet veröffentlicht. Auf interaktiven Karten kann hier der Internetbesucher auf alle verfügbaren Angaben der Teilnehmerstädte zugreifen. Hier sind Fotos und Pflanzpläne der Baumstandorte einzusehen und erlauben einen konkreten Eindruck der Testsituation vor Ort (Doobe 2015). Daneben wird der Förderung von bürgerschaftlichem Engagement für den Erhalt und die Pflege von Stadtbäumen auf privaten Flächen eine bedeutende Rolle zugesprochen. Dabei gilt es, Eigentümer und Bewohner als Umsetzungspartner zum Schutz von Stadtbäumen vor Trockenstress zu aktivieren, z.B. durch die sommerliche Bewässerung in Trockenzeiten (vgl. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin 2011).

Demnach steht der Umsetzung von Strategien und Maßnahmen zum Umgang mit Stadtbäumen in Zeiten des Klimawandels ein breites Spektrum von Umsetzungsinstrumenten zur Verfügung. Das bedeutet auch, dass keine neuen Instrumente entwickelt werden müssen. Hingegen können bestehende Instrumente weiterentwickelt werden oder Maßnahmen in bestehende Instrumente integriert werden.

5.5 Zuständigkeiten und Zusammenarbeit

Der Umgang mit Stadtbäumen in der aktuellen Planungspraxis in Hamburg und die Berücksichtigung des Klimawandels

Anpassungsoptionen zum Umgang mit Stadtbäumen im Klimawandel sind zwar bereits im Bewusstsein der Politik und Verwaltung angekommen, es gibt derzeit aber noch keine konkreten Strategien und Maßnahmen, um mit dem Bestand der Hamburger Straßenbäume im Klimawandel umzugehen.(Die Informationen in diesem Kapitel basieren auf qualitativen Experteninterviews mit Mitarbeitern der Hamburger Verwaltung, vgl. dazu Anhang I).

Die Verantwortung für die Anpassung des Stadtbaumbestandes liegt im Wesentlichen bei den zuständigen Behörden und Ämtern des Stadtbaummanagements, deren Organisation in Hamburg in Abb. 5.5 dargestellt wird. Zum Stadtbaummanagement zählen Aufgaben der Pflanzung, Entwicklung, Pflege und Unterhaltung von Baumstandorten. Strategische und das gesamte Stadtgebiet betreffende Aufgaben werden dabei von der Behörde für Umwelt und Energie wahrgenommen. Die Ausführung und konkrete Planung und Umsetzung von Schutz- und Pflegemaßnahmen erfolgt durch die Stadtgrünämter der sieben Bezirksämter. Die Baumkontrolleure, die den Stadtgrünämtern zugeordnet sind, erfüllen die Aufgaben der Kontrolle und Dokumentation des Zustands der Straßenbäume im Hamburger Straßenbaumkataster. Ein Baumkontrolleur ist dabei für ca. 10.000 Bäume zuständig.

Neben den verantwortlichen Stellen des Stadtbaummanagements tragen aber viele weitere Fachbereiche, Behörden, Verbände, Unternehmen sowie Privatpersonen dazu bei, den Bestand der Stadtbäume in Hamburg in Zeiten des Klimawandels langfristig zu erhalten. Beispielsweise werden Festsetzungen in Bebauungsplänen von den Stadtplanungsämtern der Bezirke festgelegt. Insbesondere bei der Straßenplanung wird die Größe und Art eines Baumstandorts festgelegt. In Hamburg ist hierfür der Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) zuständig. Wie in vielen Planungsverfahren kommt es hier auf die Beteiligung und Berücksichtigung der Belange des Stadtgrüns an, um angemessene Baumstandorte im Straßenraum zu schaffen. Dies erfolgt derzeit vereinzelt durch die informelle Beteiligung bei Ortsterminen, über Anfragen zum Baumbestand in dem zu überplanenden Straßenraum oder über Baum-Konzepte, die bei der Erstellung der Planunterlagen aufgenommen werden. Im sogenannten Verschickungsverfahren der Planunterlagen haben die Grünämter die Möglichkeit, eine formelle Stellungnahme abzugeben. Bei der Ausführungsplanung ist wieder eine informelle Beteiligung möglich. Demnach ist eine enge Abstimmung zwischen Verkehrsplanern, Straßenplanern, Tiefbauplanern, Planungsbüros, Ausführungsfirmen und Stadtgrünämtern erforderlich, um klimaangepasste Baumstandorte zu schaffen. Dabei sind die folgenden Aspekte relevant: die Auswahl der Baumarten und -sorten, die Zusammensetzung und Schichtung des Substrats sowie die Gestaltung der Pflanzgrube und Baumscheibe:

- Bei der Identifizierung klimaangepasster Straßenbaumarten und -sorten beteiligt sich die Stadt Hamburg an den GALK-Straßenbaumtests (vgl. Doobe 2015). Es gibt derzeit aber noch keine Baumliste für Hamburg zur Verwendung von Baumarten, die als besonders klimaangepasst gelten oder die beispielsweise von der KlimaArtenMatrix (Roloff 2013) als besonders trockentolerant oder winterhart bezeichnet werden.

- Bei der Verwendung von Pflanzsubstraten orientieren sich die zuständigen Grünämter der Bezirksämter in Hamburg im Wesentlichen an den Empfehlungen der FLL (vgl. FLL 2015). Bei der Neugestaltung von Pflanzgruben werden hier beispielsweise Pflanzsubstrate entsprechend den Empfehlungen der FFL-Richtlinie (FLL 2015) verwendet.

- Bei der Gestaltung der Pflanzgrube und der Baumscheibe gelten in Hamburg die Empfehlungen der FLL (2015) als Orientierung. Dabei muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass nur in den seltensten Fällen auch der dafür erforderliche Platz im Straßenraum zur Verfügung steht. Bei einer Neugestaltung eines Straßenraumes oder bei der Entwicklung von Neubaugebieten besteht hierfür grundsätzlich die Möglichkeit.

Folglich bestehen in Hamburg Anknüpfungspunkte für eine erfolgreiche Umsetzung von Maßnahmen zum Erhalt der Stadtbäume bei Klimaveränderungen. Entscheidend ist dabei eine enge Zusammenarbeit der verschiedenen Fachbehörden und Fachplaner, um eine angemessene Berücksichtigung der Stadtbäume sowohl bei der Planung als auch bei der Ausführung der Straßenraumplanung zu erreichen.

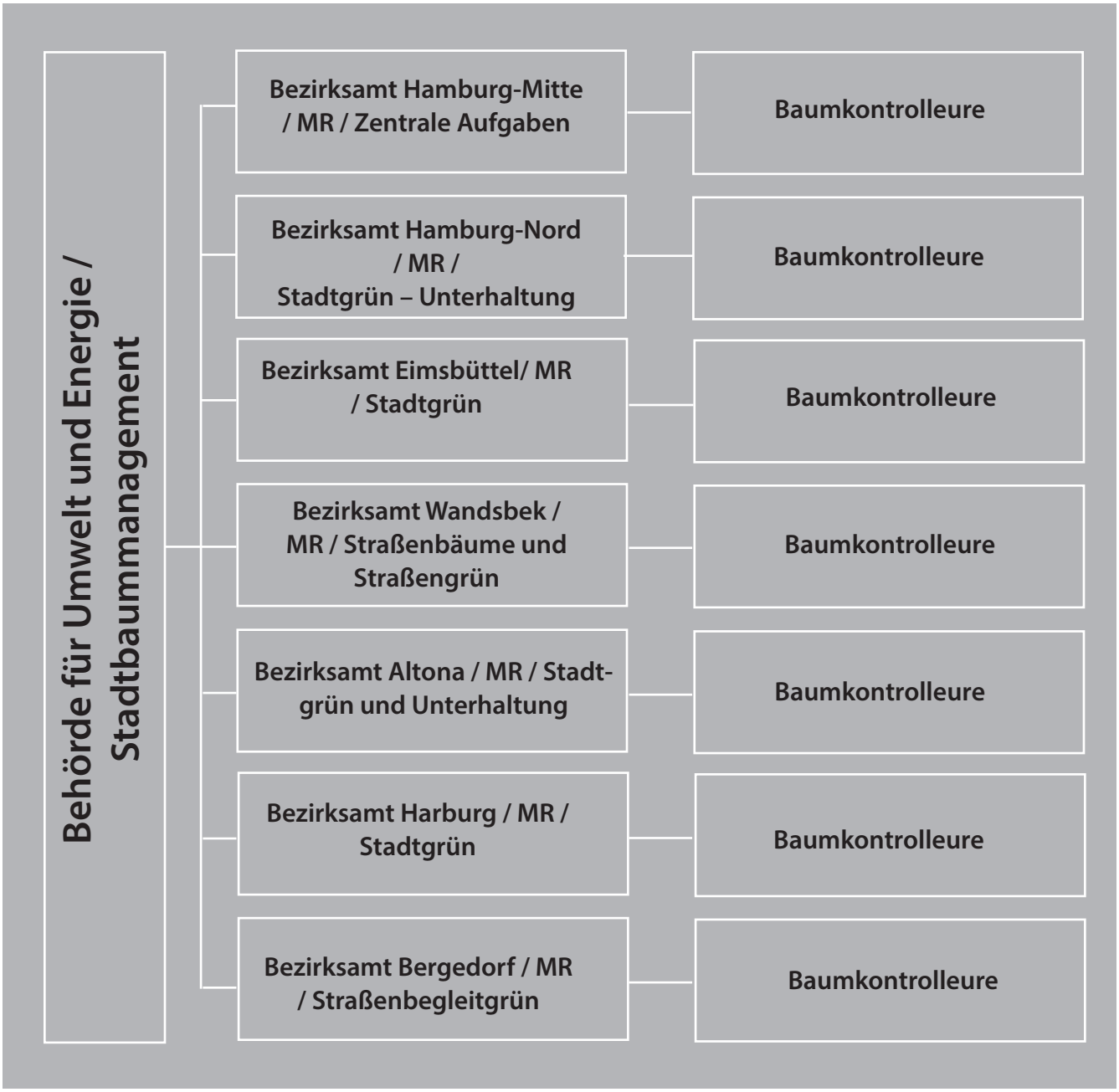


Abb. 5.5: Organisation des Stadtbaummanagements in Hamburg. (MR = Fachamt Management des öffentlichen Raumes)

Wie in Kapitel 2 beschrieben ist die Entwicklung in der Stadt Hamburg durch eine Vielzahl von Bauvorhaben gekennzeichnet. Neben dem Wohnungsbauprogramm mit einer Nachverdichtung von Freiflächen und dem Bau neuer Wohngebäude werden Straßen derzeit zu Lasten von Baumstandorten und zu Gunsten von Busbeschleunigungs- sowie Fahrradspuren umgebaut. Hierbei gilt es, den Stellenwert gut angepasster Bäume als besonders anpassungsfähig an den Klimawandel hervorzuheben und deren Anforderungen an den Straßenraum in der Planung und im Bau der Straßen konsequent umzusetzen. Nur wenn die Bäume angemessene Baumstandorte behalten bzw. bekommen, kann der Baumbestand mit seinen wertvollen Funktionen für Stadt und Stadtgesellschaft in Zeiten des Klimawandels erhalten werden. In der Zusammenarbeit zwischen Verkehrs- und Landschaftsplanern bedarf es deshalb einer intensiven Auseinandersetzung über den Verbrauch von Flächen, über den Stellenwert unterschiedlicher Nutzungen für die Zukunftsperspektive der Stadt Hamburg und über die Möglichkeiten, die Nutzungsinteressen bei Erhalt und Schutz des Baumbestandes in Einklang zu bringen. Kapitel 4 sowie die Baumstandort-Steckbriefe im Anhang beschreiben Lösungsansätze, um mit diesen Herausforderungen umzugehen. Dies sind eine aktive Baumscheibengestaltung, die Umsetzung von Wurzelgräben, eine gezielte Substratauswahl (z.B. überbaubare Substrate nach FLL) oder die ergänzende Niederschlagsversickerung an Baumstandorten.



Hoher Nutzungsdruck für den Altbaumbestand am Borgweg, Foto: Gerhard Doobe, BUE Hamburg

Im Rahmen des SIK-Projektes wurden dazu konkrete Straßenplanungsverfahren untersucht (vgl. Bachelor-Arbeiten von Annika Winkelmann und Mareike Oldörp). Ergebnis dabei ist, dass es durchaus gelingen kann, angemessen große und für den Straßenraum attraktive Baumstandorte umzusetzen (vgl. Fotos s. 72). Erkenntnis ist dabei allerdings auch, dass es nicht einfach ist, die vielen Nutzungsinteressen innerhalb eines engen Straßenraumes in Einklang zu bringen und die Flächenbedarfe beispielsweise des Fahrradverkehrs, des Autoverkehrs und der Bäume häufig direkt gegeneinanderstehen (z. B. Parkplatz oder Baum?). Deutlich wurde dabei aber auch, dass sich viele Bürgerinnen und Bürger für den Erhalt des Baumbestandes einsetzen und die Belange der Bäume häufig erst sehr spät in die Planungen einfließen. Konkrete Empfehlungen für zukünftige Straßenplanungsvorhaben sind laut Winkelmann (2016: 78 ff.) Standortverbesserungen:

Voruntersuchungen zur Lage der Wurzeln könnten zum Planungsbeginn mögliche Alternativen prüfen, bei denen Straßenbäume weniger beeinträchtigt werden. Dies sollte als verbindliche Vorgabe bereits vor dem Entwurf und dem Verschickungsverfahren geschehen, damit in der Prüfung der Alternativen ein möglichst großer Spielraum vorhanden ist. Eine Möglichkeit sei die Bündelung der Ver- und Entsorgungsanlagen in den Straßennebenflächen, wodurch mehr unterirdischer Raum geschaffen werden kann. Für die bessere Berücksichtigung von Straßenbäumen allgemein und auch ihrer Standortbedingungen in der Straßenbauplanung sei es sinnvoll über den gesamten Planungsprozess einen internen Ansprechpartner mit dem notwendigen Fachwissen beim LSBG anzustellen.

„Besonders gut zu integrieren sind Standortverbesserungen bei Straßenbauplanungen, die auch eine städtebauliche bzw. freiraumplanerische Zielsetzung haben, wie es bei der Fuhlsbüttler Straße und der Osterstraße der Fall war. Die Straßenbäume und ihre Baumscheiben können eine wichtige Rolle spielen, um eine angestrebte Aufwertung der Aufenthaltsqualität im Straßenraum umzusetzen. Dadurch werden die Straßenbäume in den Fokus der Planung gerückt, weshalb entsprechende Maßnahmen zur Verbesserung ihrer Standortsituation mit in die Planung eingebracht werden können. Die Nebenflächen von Straßenräumen bieten ein großes Potential für eine Aufwertung des gesamten öffentlichen Raumes in der Stadt (vgl. Interview Tradowsky). So sollten bei Stadtstraßen auch immer die Gestaltung der Nebenflächen eine Rolle spielen und nicht nur verkehrliche Belange in die Planung aufgenommen werden. Damit wird auch die Chance vergrößert, dass Straßenbäume in den Planungen berücksichtigt werden" (Winkelmann 2016: 78-79).

Best-Practice: Straßenplanungsverfahren in der Osterstraße





Straßenraumsituation in der Osterstraße, Fotos: Annika Winkelmann

Ziel der Erneuerung der Osterstraße ist es, die Verkehrsströme neu zu gestalten und so mehr Raum für den Radverkehr und für Fußgänger zu gewinnen. Der Fokus liegt auf der Neugestaltung der Straßennebenflächen, wobei der Straßenbaumbestand durch mehr Stadtgrün aufgewertet werden soll. Um sicherzustellen, dass verkehrstechnische Belange als auch Grün- und Gestaltungsaspekte in der Planung von Beginn an ausreichend berücksichtigt werden, hat das Bezirksamt Eimsbüttel Verkehrsplaner (ARGUS) und Freiraumplaner (SBI Beratende Ingenieure für Bau - Verkehr - Vermessung) für die Planung der Osterstraße beauftragt (vgl. Winkelmann 2016: 61 ff.).

Planungsinstrumente

Die Planung der Freiräume erfolgt u.a. über Lagepläne, die von der Planungsgemeinschaft aufgestellt werden. In diesen sind die Neupflanzungen, die Bestandsbäume sowie die Fällungen von Straßenbäumen verzeichnet. Außerdem sind in den Plänen die neu geplanten Baumscheiben als Grünflächen sowie begehbaren Baumscheiben dargestellt. In diesen Lageplänen sind auch die tatsächlichen (Kronen-)Größen der Bestandsbäume berücksichtigt. Die gemeinsame Betrachtung der verkehrlichen sowie frei- und grünplanerischen Aspekte in einem Plan kann vorteilhaft sein, da so die Straßenbäume immer zusammen mit den anderen Belangen vor Augen sind. Arten für die Neupflanzungen von Straßenbäumen sind nicht in den Lageplänen verzeichnet, da dafür ein spezielles Baumkonzept entwickelt wurde. Dieses bildet zum einen den Bestand an Straßenbaumarten in der Osterstraße ab und zum anderen die Verteilung der für die Neupflanzungen genutzten Arten (vgl. Winkelmann 2016: 62 ff.).

Verfahren

„Auch für die Osterstraße erfolgte die Genehmigung über das Verschickungsverfahren. Dabei wurden die Belange der Straßenbäume schon im Vorfeld mit der Abteilung Stadtgrün des Bezirksamtes Eimsbüttel abgestimmt, wodurch in der 1. Verschickung keine Stellungnahmen dazu erfolgten (vgl. Interview Tradowsky; Interview Voß). Da dies auch für viele weitere Belange galt, war eine zweite Verschickung nicht notwendig (vgl. ebd.).

Ein Beteiligungsprozess fand auch für die Stadtraumerneuerung Osterstraße statt, wofür zu verschiedenen Zeitpunkten der Planung Veranstaltungen für die Grundeigentümer, die Gewerbetreibenden und die Anwohner stattfanden (vgl. ebd.). In der Bürgerbeteiligung wurde auch der Wunsch nach dem Erhalt sowie der Erweiterung des Straßenbaumbestandes der Osterstraße deutlich (vgl. Bezirksamt Eimsbüttel 2014, hamburg.de).

Wie in Kapitel 6.2 zum Beispiel Fuhlsbüttler Straße soll auch für die Planung der Stadtraumerneuerung Osterstraße der Entscheidungsprozess in der Planung dargestellt werden.

In der Planung der Osterstraße gibt es ebenfalls einen fortlaufenden Abstimmungsprozess zwischen den planenden Büros und den zuständigen Abteilungen des Bezirksamtes (vgl. Interview Tradowsky). Der Bereich Bau und Unterhaltung der Abteilung Stadtgrün wurde für die Planung beratend hinzugezogen, damit die Planer von den Erfahrungswerten des Bezirks profitieren können (vgl. Interview Meier). Die Abstimmung erfolgt dabei so, dass die Planer entsprechende Vorschläge erarbeiten und dem Bezirksamt vorstellen. Diese Vorschläge werden gemeinschaftlich diskutiert und daraufhin vom Bezirk bestätigt oder es werden noch Änderungen gefordert (vgl. Interview Meier; Interview Tradowsky). Von Seiten des Bezirksamts werden ebenfalls Anregungen in die Planung eingebracht, welche ebenso diskutiert werden, wie die Vorschläge der Planer (vgl. ebd.). Die gesamte Planung sowie die Bauausführung werden zusätzlich durch einen Baumgutachter im Auftrag des Bezirksamts begleitet (vgl. ebd.)“ (vgl. Winkelmann 2016: 62 ff.).

6. Entwicklungsstrategie und Ziele für die künftige Entwicklung der Stadtbäume in Hamburg

Fazit und Ausblick

Bäume konkurrieren mit allen Baumaßnahmen in der wachsenden und sich verdichtenden Stadt: Erhaltungsmanagement von Straßen, Radwegeausbau, Busbeschleunigungsstrecken, U-Bahn-Streckenausbau sowie der Ausbau der Versorgungstrassen (Wasser, Gas, Internet, Strom, etc.) und die kompakte Bebauung - 10.000 neue Wohnungen pro Jahr - nimmt der Stadt Hamburg ihre Freiräume, auch am Straßenrand.

Der Verlust an Bäumen wird weiter zunehmen. Solange sich noch Ersatzstandorte für die Nachpflanzung finden, wird dies in den Bilanzen nur verzögert dargestellt. Übersehen wird in einer solchen Bilanzierung der Tausch wertvoller Altbäume (i.d.R. älter als 50 Jahre) gegen Neupflanzungen – und damit ein einschneidender Qualitätsverlust – sowohl mit Blick auf die Wohlfahrtswirkung, als auch aus ökologischer und stadtklimatischer Sicht.

Die Ergebnisse im Projekt „Stadtbäume im Klimawandel" bilden hier einen Brückenkopf. Sie zeigen, dass gerade die Altbäume unsere Klimaspezialisten sind. Ihren Wurzelraum werden heutige Neupflanzungen an Straßen nicht mehr erreichen. Vor diesem Hintergrund muss die Stadt Hamburg und die Politik ihre Stadtentwicklungsziele mit Rücksicht auf die Bedeutung des eindrucksvollen Hamburger Baumbestand in Augenhöhe mit allen anderen berechtigten Interessen betrachten. Dies betrifft sowohl langwierige Planungsprozesse – wo will die Stadt z.B. mit ihrer Verkehrsplanung hin – als auch kurzfristige Entscheidungen bei lokalen Umbauplanungen. Trotz grundsätzlicher Zustimmung für Bäume in einer für seine Bürger lebenswerten Stadt, sind die Bäume bei diesen Einzelabwägungen zu oft Verlierer und werden gefällt.

Der Schutz des Altbaumbestands ist ein zentraler Aspekt nachhaltiger Stadtentwicklung, die Umwelt-, Grün-, Sozial- und Gesundheitspolitik verknüpfen muss. Die Mehrzahl der Deutschen lebt in Städten und erwartet ein gute Daseinsvorsorge bei Mobilitätangeboten (ÖPNV, Fahrrad, PKW), aber auch Naturräume, saubere Luft und wenig Lärm. Gerade die Bäume sind im Kontext der Stadtnatur bedeutsam für die Lebensqualität in Städten und das Verständnis für Natur. Bäume sind im Alltag unmittelbar erlebbar, da sie Kühlung, Windschutz und Schatten spenden und die Jahreszeiten in die Stadt holen. Zudem bilden sie Trittsteine für ein grünes Verbundsystem für z.B. Insekten oder Fledermäuse.

Wenn wir zukünftig also nicht mehr um die Existenzberechtigung von Bäumen in der Stadt streiten müssten, könnten wir uns wieder stärker mit den ebenfalls wachsenden Problemen mit Baumkrankheiten, Baumschädlingen, Folgen des Winterdienstes, dem Verlust „natürlicher" Böden und den sich abzeichnenden Folgen des Klimawandels befassen.



Abb. 6.1: Übersicht der für die Steckbriefe ausgewählten SIK-Baumstandorte. Quelle: HCU, Hintergrundkarte: ESRI/HERE

Die folgenden Standorte stehen beispielhaft für die untersuchten Monitoring-Standorte im Hamburger Stadtgebiet:

1. Steindamm
2. Stresemannstraße / Neuer Pferdemarkt
3. Silbersacktwiete
4. Eiffestraße
5. Borgweg

Folgende Parameter sind aus Sicht der Botanik dafür entscheidend:

1. Infiltrationsparameter

a) Fläche der Baumscheibe
b) unversieglte Flächen in 40 m Radius,
c) Versiegelungsintensität (z.B. Sandfugen?)
d) Grundwasserstand

2. Bodentyp

Versickerungseigenschaften, Wasser-Speichereigenschaften, Schichtung ...

3. Baumart

Reaktionstyp im Hinblick auf Bodentrockenheit (pessimistische/optimistische stomatäre Reaktion, reaktive/proaktive Wurzelentwicklung)

4. Regenwassereinleitung

Potenzielle Standortverbesserung durch Regenwassereinleitung sollte m.E. bewertet werden, und zwar bei Standorten mit geringen Infiltrationsflächen und mit tiefer anstehendem Grundwasser. Dabei sollte die zu kalkulierende einleitbare Menge nicht zu einer üppigen Vervielfachung der flächenbezogenen Wassereinträge führen, sondern vielleicht zu einer Verdopplung oder Verdreifachung der flächenbezogenen Niederschlagseinträge (mm). Dabei muss Drainierung bei wenig durchlässigen Böden/Schichten bedacht werden.

I. Steckbriefe von ausgewählten Baumstandorten

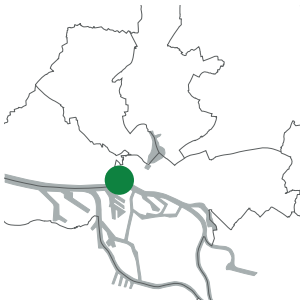
Die städtebauliche Struktur Hamburgs ist durch verdichtete Innenstadtbereiche, Wohnviertel mit Blockrandbebauung oder Zeilenbebauung sowie in den Randbereichen durch Einfamilienhaus und Gewerbegebiete gekennzeichnet. Je nach Stadtstrukturtyp hat ein Baum mehr oder weniger Platz im Straßenraum. Auch ist der Versiegelungsgrad in innerstädtischen Wohn- und Geschäftsstraßen deutlich höher als in Wohnstraßen der Einzel-, Reihen- oder Zeilenbebauung. In hoch verdichteten und versiegelten Stadtstrukturen ist folglich die Infiltration des Niederschlagswassers in die Pflanzgrube erheblich eingeschränkter als in Stadtstrukturen, in denen versiegelte Bereiche durch Grünflächen oder wasserdurchlässige Beläge durchbrochen werden. Die folgende Übersicht zeigt eine Kategorisierung typischer Stadtstrukturtypen in Hamburg im Hinblick auf die Parameter Bauweise, Verdichtung, Versiegelungsgrad, Durchlüftung und Abwärme auf. Die Übersicht in Tab. 6.1 basiert auf einer qualitativen Analyse von unterschiedlichen Baumstandorten in neun typischen Stadtstrukturtypen in Hamburg:

Darauf aufbauend ergeben sich zwischen den Stadtstrukturtypen hinsichtlich einer ergänzenden Einleitung von Regenwasser deutliche Unterschiede. So sind bei 01 Kleinteilige freistehende Einzelwohnbebauung und 02 Reihenhausbebauung i.d.R. private Freiflächen vorhanden, über die eine Versickerung von Regenwasser ebenfalls stattfinden kann. Dadurch ist der Bedarf nach zusätzlichen Versickerungsmöglichkeiten gering und die Wasserverfügbarkeit für die Bäume grundsätzlich besser. Bei dem Strukturtyp 03 Zeilenbebauung sind große halböffentliche Abstandsflächen zwischen der Bebauung vorhanden, über die Niederschlagswasser versickern kann. Darüber hinaus besteht durch die Ausrichtung der Gebäude orthogonal zur Straße ein hohes Potential, da so ohne größeren baulichen Aufwand von beiden Dachseiten Regenwasser in Richtung Baumstandorte abgeleitet werden kann. Ähnlich verhält es sich beim Stadtstrukturtyp 05 Solitäre Punktbebauung. Die oftmals durch eine Wohnnutzung geprägte Bebauung weist ebenfalls größere private Grünflächen auf. Weiterhin kennzeichnet sich der Strukturtyp durch Neubauten mit Flachdächern (z.T. mit Gründächern), welche je Ausgestaltung der Entwässerung auch ein großes Potential an wirksamer Dachfläche aufweisen. Auch beim Stadtstrukturtyp 07 Geschäfts-, Büro-, und Verwaltungsgebiete ist das Potential an wirksamer Dachfläche vergleichsweise hoch, da die Baukörper oftmals große Dimensionen aufweisen. Die Strukturtypen 04 Blockbebauung, 06 Innenstadtbebauung, 07 Geschäfts-, Büro-, und Verwaltungsgebiete und 08 Gewerbe- und Industriegebiete sind dagegen auf den Grundstücken und insbesondere im Straßenraum durch einen hohen Versiegelungsgrad sowie durch sehr kleine Baumscheiben geprägt, wodurch die natürliche Versorgung der Bäume mit Niederschlagswasser erheblich eingeschränkt ist. Bei diesen Stadtstrukturen ist daher der Bedarf nach einer zusätzlichen Wasserzufuhr und einer verbesserten Wasserverfügbarkeit für die Bäume hoch, so dass besonders hier eine dezentrale Regenwassereinleitung an den Baumstandorten geprüft werden sollte. Im Folgenden werden die Steckbriefe von ausgewählten Baumstandorten dargestellt (vgl. Übersicht in Abb. 6.1). Sie unterscheiden sich neben ihrem Stadtstrukturtyp auch hinsichtlich der Infiltrationsparameter, dem Bodentyp, in der Baumart oder beim Thema Regenwassereinleitung.

Stadtstrukturtyp	Bauweise (offen, geschlossen, kompakt)	Verdichtung (gering, mittel, hoch)	Versiegelung (gering, mittel, hoch)	Durchlüftung (gut, mittel, eingeschränkt)
Einzelhausbebauung	offen	gering	gering	gut
Reihenhausbebauung	geschlossen	gering	mittel	mittel
Zeilenbebauung	offen	gering	mittel	gut
Blockrandbebauung	kompakt	hoch	hoch	eingeschränkt
Solitäre Punkthausbebauung	offen	mittel	mittel	mittel
Innenstadtbebauung	kompakt	hoch	hoch	eingeschränkt
Büro- und Verwaltungsgebiet	kompakt	hoch	hoch	eingeschränkt
Gewerbe- und Industriegebiet	kompakt	hoch	hoch	eingeschränkt
Verkehrsinseln	--	hoch	hoch	mittel

Tabelle 6.1: Übersicht zu den Wirkungsfaktoren im Straßenraum in Abhängigkeit vom Stadtstrukturtyp

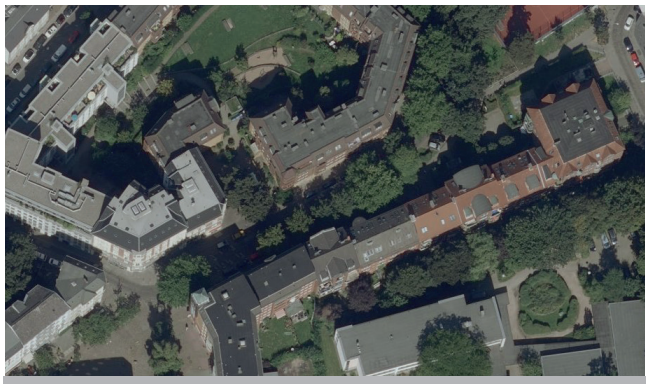
Silbersacktwiete 7/9



Standorttyp: Bestand
Bezirk / Stadtteil: Altona / Altona-Altstadt
Zuständigkeit: Bezirk

Straßenraumtyp: Wohnstraße
Fahrstreifen: 1
Straßenausrichtung: Südwest-Nordost

Besonderheiten: Einbahnstraße



Luftbild



Verortung Straßenbaumstandorte



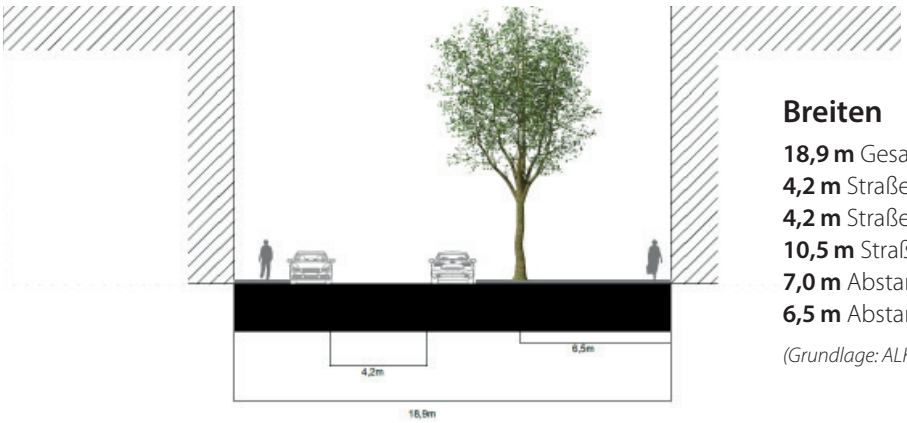
Straßenraum

Versiegelung:
Stark, nur durch Baumstandorte aufgebrochen

Belüftung:
Eingeschränkt aufgrund der geschlossenen und hohen Bebauung sowie der Straßenausrichtung

Belichtung:
Eingeschränkt aufgrund hoher Bebauung und geringer Straßenbreite

Nutzungen:
Wohnen, Fußgänger, starker Parkdruck, fließender Verkehr



Straßenquerschnitt

Breiten

18,9 m Gesamter Straßenraum
4,2 m Straßenfläche
4,2 m Straßennebenfläche Nord
10,5 m Straßennebenfläche Süd
7,0 m Abstand Gebäude / Baumscheibe Standort A
6,5 m Abstand Gebäude / Baumscheibe Standort B

(Grundlage: ALKIS)

Blockrandbebauung

Wasserverfügbarkeit

Infiltration von Niederschlägen: potentiell durch den unbewachsenen Grünstreifen möglich (7,2 cm/h) und durch das Pflaster bedingt möglich; wegen starker Versiegelung (70% im Kronenbereich; 85% im 5 m Umkreis) und verdichteter Oberfläche Run-off möglich

nFK bis 1 m Tiefe: ca. 110 mm

Grundwasserabstand: >10 m



Standort: A
Hausnummer: 7

Baum-ID: 100002921
Baumart: *Acer Pseudo-platanus* / Berg-Ahorn

Pflanzjahr: 1980

Kronendurchmesser: 8 m
Stammumfang: 86 cm



Standort: A
Hausnummer: 9

Baum-ID: 100002923
Baumart: *Acer Pseudo-platanus* / Berg-Ahorn

Pflanzjahr: 1981

Kronendurchmesser: 8 m
Stammumfang: 87 cm

Vitalität
Entsprechend der zuständigen Baumkontrolleure ist die Baumart Bergahorn für verdichete Straßenräume nicht gut geeignet. Demnach liegt die Vitalität der beiden Bäume bei 2. Die Wasser- und Nährstoffversorgung ist aufgrund des beengten und versiegelten Standortes nicht sehr gut. Der Baum stehe in einer Baumscheibe mit Erde, aber durch Belaufen und teilweise befahren, Müll abladen und sonstiges (z. B. Hunde) ist der Standort mittlerweile sehr versiegelt.

Bodenbelag Gehweg: Gehwegplatten
Bodenbelag Straße: Geschlossene Asphaltdecke

Ausmaß Baumscheibe: 1,5 m x unbegrenzt
Gestaltung Baumscheibe: Offen, leicht passiv begrünt

Besonderheiten Baumscheibe: Verbundene Baumscheiben, Baumschutzbügel als Fahrradabstellplatz genutzt

Versickerungspotenzial: Möglich (> 5m)
Keller: Vorhanden
Dachrinne: Straßenseite: Vorhanden
Dachform: Satteldach

Bodenbelag Gehweg: Gehwegplatten
Bodenbelag Straße: Geschlossene Asphaltdecke

Ausmaß Baumscheibe: 2 m x unbegrenzt
Gestaltung Baumscheibe: Offen, leicht passiv begrünt

Besonderheiten Baumscheibe: Verbundene Baumscheiben, Baumschutzbügel als Fahrradabstellplatz genutzt

Versickerungspotenzial: Wahrscheinlich (2 - 5m)
Keller: Vorhanden
Dachrinne: Straßenseite: Vorhanden
Dachform: Zwerchdach





Baumscheiben an der Silbersacktwiete

Silbersacktwiete

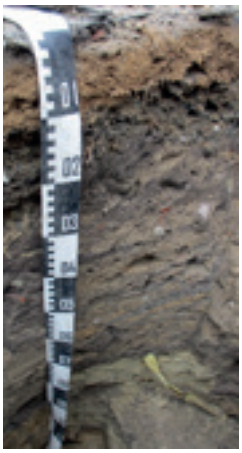
Ergebnisse bodenanalytischer Untersuchungen

Die Böden am Standort Silbersacktwiete sind technogene Böden. Unter dem Grünstreifen wurden Leitungen verlegt, deren Einbau den Bodenaufbau beeinflusst hat. Die Böden sind sehr sandreich und haben einen Skelettanteil von 17%. Es herrschen als Bodenarten Reinsande vor. Die Humusgehalte sind gering; sie liegen überwiegend zwischen 1,5 und 0,1 Prozent. Die Lagerungsdichte beträgt durchschnittlich 1,66 g/cm^3.

Bodenchemie: Die pH-Werte betragen an der Oberfläche etwa 6 und erhöhen sich bis 1 m Tiefe auf pH 7. Die Schadstoffbelastung mit Spurenmetallen und Salzen ist gering.

Monitoring: Die Messungen der Wassergehalte und Wasserspannungen von Mai 2016 bis Ende April 2017 zeigen keine Austrocknung des Bodens. Die Bodenwassergehalte reduzierten sich zwar im Spätsommer, doch die Wasserspannung blieb überwiegend niedrig (< pF 3,1).

Der Boden war im Messzeitraum ausreichend feucht, sodass kein Trockenstress der Bäume durch Wassermangel im Boden zu erwarten war.



Bodenprofil von der Silbersacktwiete.
Foto: Institut für Bodenkunde, UHH

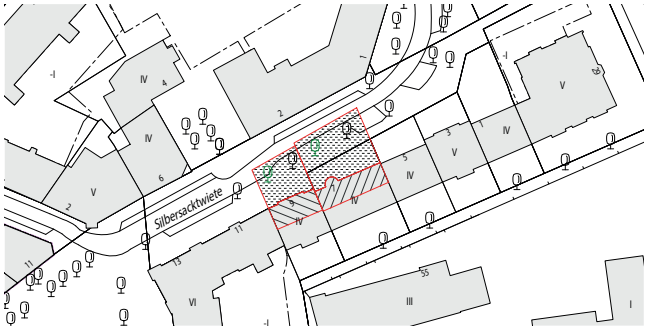


Visualisierung Ergebnisse der Potenzialanalyse (Darstellung: Zamna Rodríguez Castillejos)

Potenzialanalyse –Einleitung Niederschlagswasser vom Dach

Im Rahmen dieser Potenzialanalyse erfolgte eine Maximalbetrachtung des Volumens an einleitbarem Niederschlagswasser in die betrachteten Baumstandorte. Dabei wurde der Variante der straßenseitigen Einleitung die Variante der dachseitigen Einleitung gegenübergestellt. Die dachseitige Variante ist baulich deutlich aufwändiger und bisher in Hamburg rechtlich auch noch nicht möglich. Für den Straßenbaum ist sie jedoch aufgrund der geringeren Schadstoffbelastung des eingeleiteten Niederschlagswassers verträglicher.

Somit sollen die Rahmenbedingungen sowie das Potenzial für eine ergänzende und baumverträgliche Wasserzufuhr durch die Versickerung von Niederschlagswasser an Baumstandorten veranschaulicht sowie offene Fragen, die mit dieser Maßnahme verbunden sind, dargestellt werden.



Vergleich Wirksame Fläche Dach und Strasse

Wirksame Straßen- und Dachfläche

Relevante Grundlagen

FLL 2015: Substratbeschaffenheit, Mindesttiefe des durchlässigen Baugrunds unter der Pflanzgrubensohle

DWA 138: Mindestabstand zu unterkellerten Gebäuden, notwendige versickerungsfähige Tiefe an Standorten der Niederschlagswassereinleitung

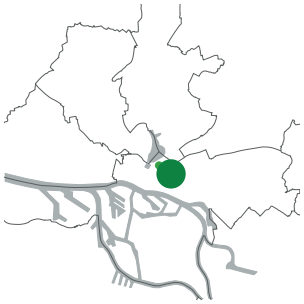
Ergebnisse

Die Wohnstraße ist durch eine hohe Versiegelung gekennzeichnet. Dies führt zu einer eingeschränkten natürlichen Infiltration von Niederschlagswasser. Die Baumscheibe ist zwar offen und für die dichte Bebauung verhältnismäßig groß, dennoch wird sie als Fahrradstellplatz zweckentfremdet. Hier gilt es daher, die Fläche durch eine aktive Baumscheibengestaltung aufzuwerten und vor anderen Nutzungen zu schützen. Beispielsweise kann die Baumscheibe aktiv bepflanzt werden und durch Bügel oder Poller von den Parkflächen abgegrenzt werden. Daneben kann eine ergänzende Regenwassereinleitung über die Dachflächen eine Verbesserung der Wasserversorgung und damit eine Aufwertung des Baumstandortes bedeuten. Das Versickerungspotenzial kann an diesem Standort als gut bewertet werden, so dass keine Gefahr der Stauung von Niederschlagswasser in der Pflanzgrube zu befürchten ist.

Die wasserwirtschaftliche Maximalberechnung zeigt, dass an beiden Standorten die einleitbare Niederschlagsmenge von der Straße größer ist als von den anliegenden Dachflächen. Die Niederschlagseinleitung von den angrenzenden Dachflächen könnte sowohl bei einem 15-minütigem als auch bei einem 30-minütigem Regenereignis aus einer mengenmäßigen Betrachtung in den Baumstandort geleitet werden ohne hier das Fassungsvolumen der Baumgrube zu überschreiten. Auch bei einer Niederschlagseinleitung von der Straßenfläche würde das Niederschlagswasser bei einem 15-minütigem Regenereignis aus einer quantitativen Betrachtungsweise in die Pflanzgrube geleitet werden können und hier die Wasserversorgung des Baumes verbessern. Bei einem 30-minütigem Regenereignis ist zu beachten, dass die Niederschlagsmenge das Fassungsvolumen der Baumstandorte übersteigt. Bei der Niederschlagseinleitung über die Straßenflächen ist zudem zu bedenken, dass die Schadstoffkonzentration im Niederschlagswasser zu einer Schädigung der Bäume führen könnte und müsste zunächst geprüft werden. Sowohl aus dieser qualitativen Überlegung als auch der quantitativen Berechnung kann an diesen beiden Baumstandorten die Variante der Niederschlagseinleitung von den Dachflächen als ein Ansatz einer ergänzenden Wasserversorgung für die Bäume gesehen werden. Ergänzt werden kann die Maßnahme hier mit einer gezielten Substratzusammensetzung, die das Speichervolumen in der Pflanzgrube erhöht, oder einer Vergrößerung der Pflanzgruben, z.B. durch Wurzelgräben.

Die beiden hier dargestellten Baumstandorte sind Bestandsstandorte, an denen eine Sanierung der Pflanzgruben unwahrscheinlich ist. Die beiden Baumstandorte können aber als typisches Beispiel für stark versiegelte Wohnstraßen in der Blockrandbebauung betrachtet werden und Anreiz für die Neugestaltung von Baumstandorten in ähnlichen Bebauungsstrukturen gesehen werden.

Steindamm 8/9



Standorttyp: Bestand
Bezirk / Stadtteil: Hamburg-Mitte / St. Georg
Zuständigkeit: Bezirk

Straßenraumtyp: Quartiersstraße
Fahrstreifen: 1
Straßenausrichtung: Südwest-Nordost

Besonderheiten: Einbahnstraße



Luftbild



Verortung Straßenbaumstandorte



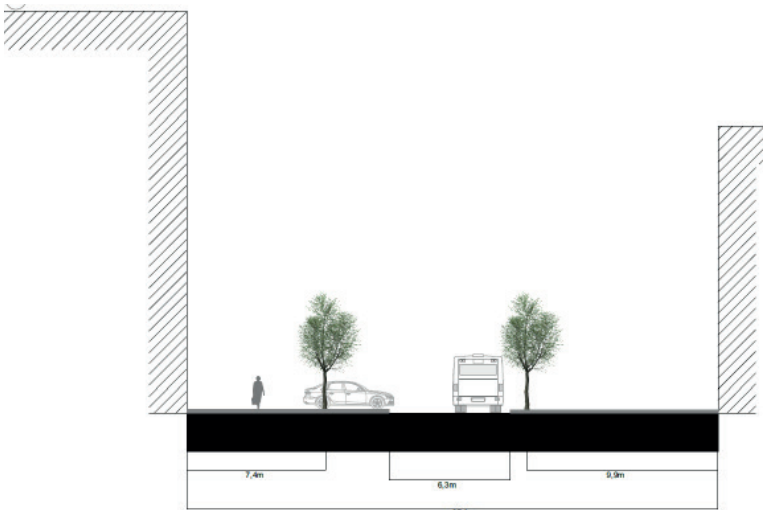
Straßenraum

Versiegelung:
Stark, nur durch Bäume aufgebrochen

Belüftung:
Eingeschränkt aufgrund dichter und hoher Bebauung sowie der Straßenausrichtung

Belichtung:
Stark eingeschränkt aufgrund hoher Bebauung und geringer Straßenbreite

Nutzungen:
Wohnen, Einzelhandel und Gastronomie mit Außennutzung, Fußgänger, hoher Parkdruck, fließender Verkehr, zeitweilig tarker Lieferverkehr



Straßenquerschnitt

Breiten

27,8 m Gesamter Straßenraum
6,1 m Straßenfläche
10,8 m Straßennebenfläche Nord
10,9 m Straßennebenfläche Süd
9,9 m Abstand Gebäude / Baumscheibe Standort A
7,4 m Abstand Gebäude / Baumscheibe Standort B

(Grundlage: ALKIS)

Innenstadtbebauung

Wasserverfügbarkeit

Infiltration von Niederschlägen: potentiell durch das Baumrost und Pflaster bedingt möglich; hoher Run-off durch starke Versiegelung möglich; keine offene Bodenoberfläche im Umkreis des Baumes gegeben

Grundwasserabstand: ca. 10 m



Standort: A
Hausnummer: 8

Baum-ID: 100048010
Baumart: *Corylus colurna* / Baumhasel

Pflanzjahr: 2000

Kronendurchmesser: 3 m
Stammumfang: 53 cm



Standort: A
Hausnummer: 9

Baum-ID: 100048011
Baumart: *Corylus colurna* / Baumhasel

Pflanzjahr: 2000

Kronendurchmesser: 3 m
Stammumfang: 55 cm

Vitalität

Nach Einschätzung der zuständigen Baumkontrolleure ist die Baumart Baumhasel grundsätzlich als Straßenbaum geeignet. Allerdings sind die hier betrachteten Baumstandorte als Extremstandorte zu bewerten, da die Baumscheiben als Abstellflächen zweckentfremdet werden. Die beiden Bäume sind demnach hohen Belastungen durch Verdichtung und Verletzungsgefahr durch Fahrzeuge oder Mülltonnen ausgesetzt. Die Baumscheiben sind...meisten Bäume in dieser Straße liegt zwischen 0-1. Der Zustand von 2-3 Bäumen ist darüber hinaus durch Schäden an der Rinde gekennzeichnet, die durch das Anstellen von Gegenständen entstanden sind (vgl. Foto...). Durch Baumroste sind sie zwar vor parkenden Autos geschützt, zusätzlich wird in den Bamscheiben aber jegliche Art von Flüssigkeit entsorgt, die die Bäume zusätzlich schädigt.



Bodenbelag Gehweg: Kleinteilige Pflasterung
Bodenbelag Straße: Kopfsteinpflaster mit Fugenverguss

Ausmaß Baumscheibe: 2,0 m x 2,0 m
Gestaltung Baumscheibe: Offen mit Baumrost

Besonderheiten Baumscheibe: Vermüllung, Abstellfläche für Mülltonnen, Fahrräder und Rollcontainer

Versickerungspotenzial: Wahrscheinlich (2-5m)
Keller: Vorhanden
Dachrinne: Straßenseite: Vorhanden
Dachform: Mansardendach

Bodenbelag Gehweg: Kleinteilige Pflasterung
Bodenbelag Straße: Kopfsteinpflaster mit Fugenverguss

Ausmaß Baumscheibe: 2,0 m x 2,0 m
Gestaltung Baumscheibe: Offen mit Baumrost

Besonderheiten Baumscheibe: Aktuell Abstell-/Lagerfläche einer Baustelle

Versickerungspotenzial: Eingeschränkt (1-2m)
Keller: Vorhanden
Dachrinne: Straßenseite: Vorhanden
Dachform: Satteldach mit Gauben





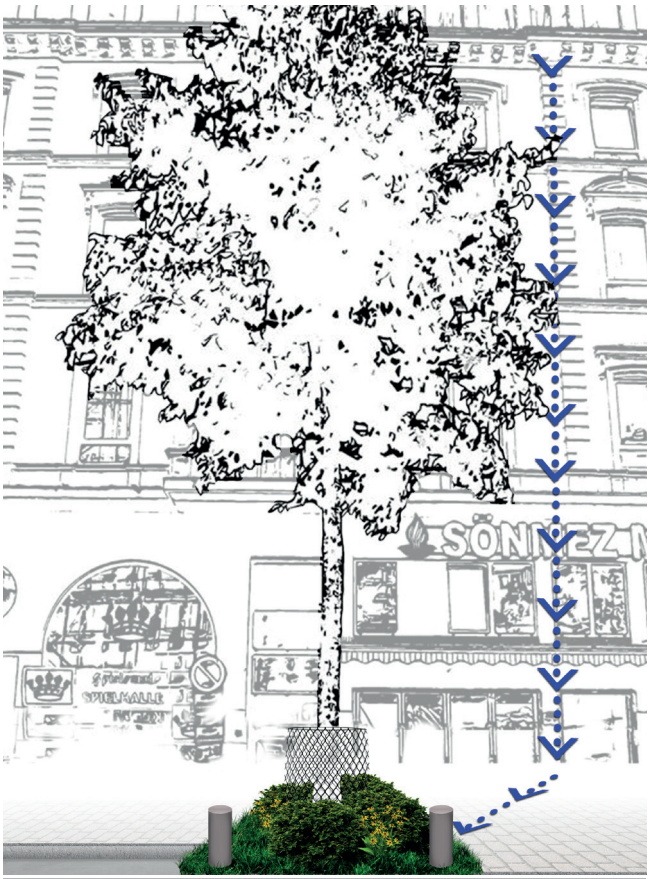
Nutzungsdruck auf der Baumscheibe am Steindamm (Foto: Annika Winkelmann)

Potenzialanalyse – Empfehlungen zur Integration von Nutzungsinteressen

In diesem Teil des Steindamms sind viele Nutzungsinteressen miteinander zu vereinbaren, wie die Bestandsanalyse zeigt. Dies hat auch Auswirkungen auf die Baumstandorte, was im Steindamm bereits bei der Gestaltung der Baumscheiben berücksichtigt wurde. Diese sind mit Baumrosten abgedeckt, die ein ständiges Betreten oder Abstellen von Gegenständen auf ihnen verhindern. Gleichzeitig ist so ein Wasser- und Gasaustausch noch möglich. Allerdings zeigen sich an den Standorten auch die typischen Schwierigkeiten mit Baumrosten. Dies äußert sich besonders durch eine Vermüllung der Baumscheiben, welche durch die Roste schwer zu entfernen ist. Außerdem werden die Baumroste als zusätzliche Abstellflächen genutzt und können einfach befahren werden, wodurch es bereits am Standort B zu Schäden am Baum gekommen ist.

Eine Alternative zu den Baumrosten bietet die aktive Gestaltung der Baumscheibe in Verbindung mit einer möglichst hohen Einfassung der Baumscheiben. Beispiele für solche Maßnahmen wurden bereits in Kapitel 4.3 sowie im Best-Practice-Fallbeispiel „Straßenplanungsverfahren in der Osterstraße" aufgezeigt. Auch für den Steindamm ist eine solche Gestaltung denkbar (siehe Abb. unten). Dadurch kann zusätzlich die Aufenthaltsqualität in der Straße erhöht werden. Es ist jedoch zu beachten, dass bei einer großzügigen Gestaltung der Baumscheiben Konflikte mit den anderen Nutzungen enstehen können. Die Flächen der Baumscheiben werden, wie in der Bestandanalyse gezeigt, oftmals als Abstellflächen beispielweise für Müllcontainer oder für Waren bei der Anlieferung genutzt. Diese Möglichkeit würde durch eine Gestaltung verloren gehen.

Die hier ebenfalls diskutierte Regenwassereinleitung ist trotz hoher Baumscheibeneinfassungen mithilfe der in Kapitel 4.3 dargestellten Variante der Pflanzgrubengestaltung immer noch möglich, da diese die Einleitung des Regenwassers nicht in die Baumscheibe, sondern unterirdisch unter dem Gehweg in die Pflanzgrube vorsieht.



Visualisierung der Potenzialanalyse am Steindamm
(Darstellung: HCU)

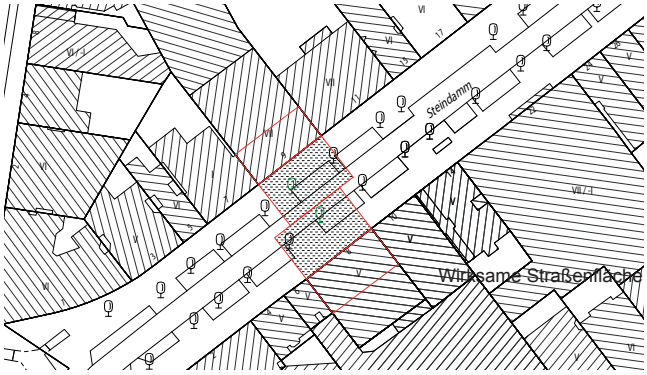


Nutzungsdruck am Steindamm
(Foto: Annika Winkelmann)

Potenzialanalyse – Einleitung von Niederschlagswasser vom Dach

Im Rahmen dieser Potenzialanalyse erfolgte eine Maximalbetrachtung des Volumens an einleitbarem Niederschlagswasser in die betrachteten Baumstandorte. Dabei wurde der Variante der straßenseitigen Einleitung die Variante der dachseitigen Einleitung gegenübergestellt. Die dachseitige Variante ist baulich deutlich aufwändiger und bisher in Hamburg rechtlich auch noch nicht möglich. Für den Straßenbaum ist sie jedoch aufgrund der geringeren Schadstoffbelastung des eingeleiteten Niederschlagswassers verträglicher.

Somit sollen die Rahmenbedingungen sowie das Potenzial für eine ergänzende und baumverträgliche Wasserzufuhr durch die Versickerung von Niederschlagswasser an Baumstandorten veranschaulicht sowie offene Fragen, die mit dieser Maßnahme verbunden sind, dargestellt werden.



Vergleich Wirksame Fläche Dach und Strasse

Wirksame Straßen- und Dachfläche

Relevante Grundlagen

FLL 2015:
Substratbeschaffenheit, Mindesttiefe des durchlässigen Baugrunds unter der Pflanzgrubensohle

DWA 138:
Mindestabstand zu unterkellerten Gebäuden, notwendige versickerungsfähige Tiefe an Standorten der Niederschlags wassereinleitung

Ergebnisse

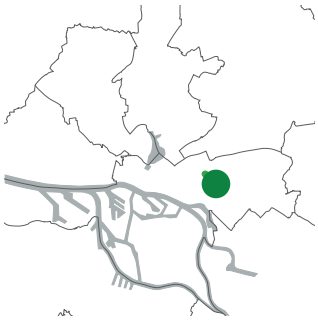
In diesem stark versiegelten Straßenraum kann die Einleitung von Niederschlagswasser über die Dachflächen zu einer besseren Wasserversorgung der Bäume beitragen. Dafür ist jedoch entscheidend, dass das verwendete Substrat ausreichend viel Wasser speichern kann, ohne dass eine Stauwirkung erfolgt. Hier ist folglich eine Substratzusammensetzung notwendig, die beiden Anforderungen gerecht wird. Darüber hinaus ist das Versickerungspotenzial an Standort B nicht ausreichend. In Verbindung mit der in der wasserwirtschaftlichen Maximalbetrachtung ermittelten großen Menge an einzuleitendem Wasser ist die Gefahr der Staunässe stark erhöht und bei einer Kombination von Regenwassermanagement und Baumstandorten unbedingt zu berücksichtigen.

Die wasserwirtschaftliche Maximalbetrachtung zeigt weiterhin, dass an beiden Standorten die einleitbare Menge an Regenwasser vom Dach größer ist, als die von der Straße. Somit würde die dachseitige Einleitung für die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung einen wichtigen Beitrag leisten können. Allerdings übersteigen die Mengen beider Varianten das Fassungsvermögen der Baumgruben deutlich. Somit könnte diese Variante nur durch die Verwendung eines anderen Substrats, einer Rigole oder den Anschluss der Dachflächen an mehrere Baumstandorte eine baumverträgliche Versickerung des Niederschlagswasser sowie ein verbesserte Wasserverfügbarkeit für die Bäume ermöglichen. Die relevanten Voraussetzungen sind zudem nur teilweise erfüllt, da am Standort B die geforderte versickerungsfähige Tiefe nicht gegeben ist.

Insgesamt kann an diesen Standorten die Kombination von Regenwassermanagement und Baumstandorten für beide Seite einen wichtigen Beitrag leisten, ist jedoch aus beiden Perspektiven mit offenen Fragen zur Umsetzbarkeit verknüpft.

Die hier dargestellten Baumstandorte zeigen typische Bestandsstandorte in innerstädtischen Quartiersstraßen. Derzeit ist in diesem Abschnitt des Steindamms eine Sanierung der Baumstandorte zwar unwahrscheinlich. Dennoch kann diese Veranschaulichung von Maßnahmen einen Impuls geben, wie Baumstandorte in stark verdichteten Bebauungsstrukturen, die durch einen hohen Nutzungsdruck gekennzeichnet sind, aufgewertet werden könnten.

Eiffestraße 664



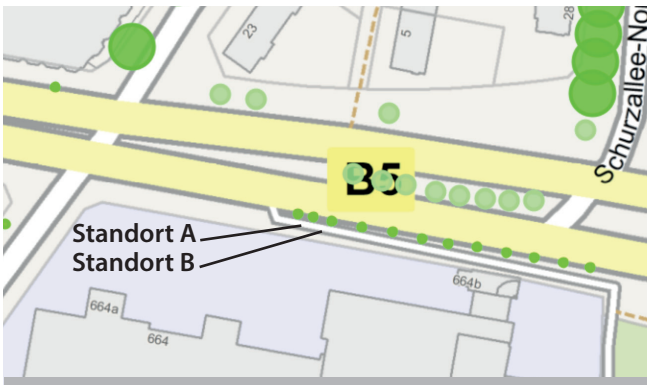
Standorttyp: Neupflanzung
Bezirk: / Stadtteil: Hamburg Mitte / Hamm
Zuständigkeit: LSBG

Straßenraumtyp: Verbindungsstraße
Fahrstreifen: 6 (incl. 2 Abbieger)
Straßenausrichtung: West-Ost

Besonderheiten: Bundesstraße 5; 47.000 Kfz / 24h



Luftbild



Verortung Straßenbaumstandorte



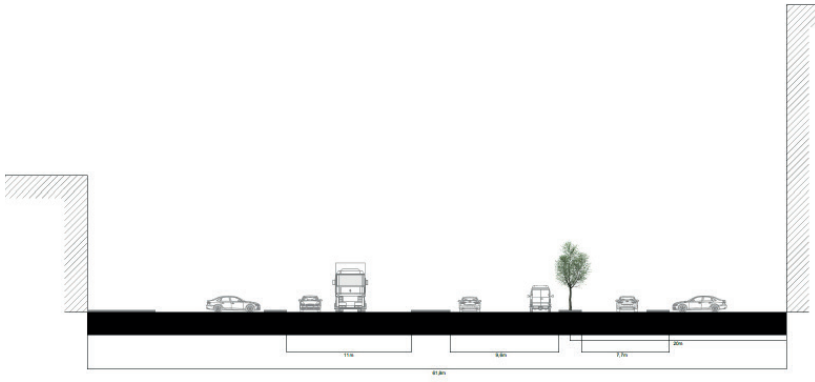
Straßenraum

Versiegelung:
Stark, nur durch schmale Grünstreifen mit Baumstandorten aufgebrochen

Belüftung:
Gut aufgrund der Straßenbreite und der Straßenausrichtung

Belichtung:
Gut aufgrund des Abstands zur Bebauung

Nutzungen:
Wohnen, großflächiger Einzelhandel und Gewerbe, wenig Fußgänger, ruhender Verkehr, starker fließender Verkehr



Straßenquerschnitt

Breiten

61,8 m Gesamter Straßenraum
28,3 m Straßenfläche
11 m Nord
9,6 m Mitte
7,7 m Süd
11,5 m Straßennebenfläche Nord
12,2 m Straßennebenfläche Süd
3,4 m Grünstreifen Straßenmitte
30 m Abstand Gebäude / Baumscheibe Standort A
30 m Abstand Gebäude / Baumscheibe Standort B

(Grundlage: ALKIS)

Büro- und Verwaltungsgebiet

Wasserverfügbarkeit

Infiltration von Niederschlägen: potentiell im grasbewachsenem Grünstreifen gut, durch das Gehwegpflaster bedingt möglich und straßenseitig durch die Asphaltdecke nicht möglich

Unversiegelte Fläche: 100% im Kronenbereich; 60% bei 5 m Umkreis

Grundwasserabstand: ca. 5,7 m



Standort: A
Hausnummer: 664

Baum-ID: 100383621
Baumart: *Quercus robur/* Stiel-Eiche

Pflanzjahr: 2016

Kronendurchmesser: 2 m
Stammumfang: 20 cm



Standort: B
Hausnummer: 664

Baum-ID: 100378299
Baumart: *Quercus robur/* Stiel-Eiche

Pflanzjahr: 2014

Kronendurchmesser: 2 m
Stammumfang: 20 cm

Bodenbelag Gehweg: Gehwegplatten
Bodenbelag Straße: Geschlossene Asphaltdecke

Ausmaß Baumscheibe: 2 m x 102 m
Gestaltung Baumscheibe: Offen, aktiv begrünt

Besonderheiten Baumscheibe: Grünstreifen, durch Geländer zum Gehweg abgetrennt

Bodenbelag Gehweg: Gehwegplatten
Bodenbelag Straße: Geschlossene Asphaltdecke

Ausmaß Baumscheibe: 2 m x 102 m
Gestaltung Baumscheibe: Offen, aktiv begrünt

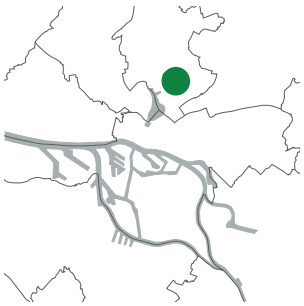
Besonderheiten Baumscheibe: Grünstreifen, hohe Einfassung durch Geländer zum Gehweg abgetrennt





Baumscheiben an der Eiffestraße (Fotos: Johannes Lauer)

Borgweg 2



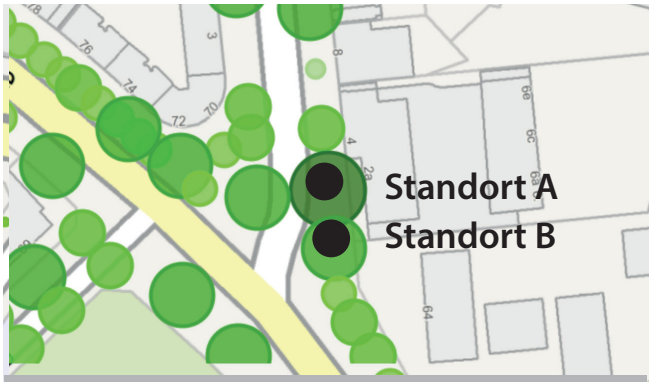
Standorttyp: Bestand
Bezirk: / Stadtteil: Hamburg Nord / Winterhude
Zuständigkeit: Bezirk

Straßenraumtyp: Verbindungsstraße
Fahrstreifen: 3 (incl. 1 Abbieger)
Straßenausrichtung: Nord-Süd

Besonderheiten: Überbreite der Fahrbahn



Luftbild



Verortung Straßenbaumstandorte



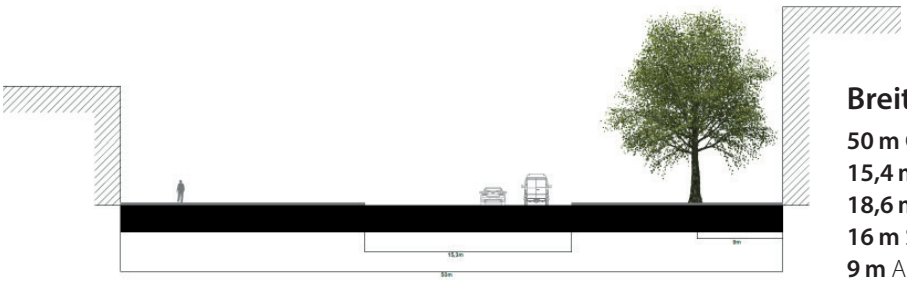
Straßenraum

Versiegelung:
Stark, nur durch großzügige Baumstandorten aufgebrochen

Belüftung:
Gut aufgrund der Straßenbreite und der Lage an der Kreuzung

Belichtung:
Gut aufgrund des Abstands zur Bebauung sowie der Straßenausrichtung

Nutzungen:
Wohnen, Fußgänger, ruhender Verkehr, fließender Verkehr



Straßenquerschnitt

Breiten

50 m Gesamter Straßenraum
15,4 m Straßenfläche
18,6 m Straßennebenfläche Nord
16 m Straßennebenfläche Süd
9 m Abstand Gebäude / Baumscheibe Standort A
12,2 m Abstand Gebäude / Baumscheibe Standort B

(Grundlage: ALKIS)

Verkehrsinseln

Wasserverfügbarkeit

Infiltration von Niederschlägen: potentiell durch die große Grasfläche mit 34,0 cm/h gut und durch das Gehwegpflaster bedingt möglich

Unversiegelte Fläche: 30% im Kronenbereich; 40% bei 5 m Umkreis

Grundwasserabstand: ca. 5,7 m



Standort: A
Hausnummer: 2

Baum-ID: 400013723
Baumart: *Quercus robur*/ Stiel-Eiche

Pflanzjahr: 1914

Kronendurchmesser: 14 m
Stammumfang: 193 cm

Bodenbelag Gehweg: Gehwegplatten
Bodenbelag Straße: Geschlossene Asphaltdecke

Ausmaß Baumscheibe: ca. 32 qm
Gestaltung Baumscheibe: Offen, aktiv begrünt

Besonderheiten Baumscheibe: keine



Standort: B
Hausnummer: 2

Baum-ID: 400013724
Baumart: *Quercus robur*/ Stiel-Eiche

Pflanzjahr: 1886

Kronendurchmesser: 18 m
Stammumfang: 285 cm

Bodenbelag Gehweg: Gehwegplatten
Bodenbelag Straße: Geschlossene Asphaltdecke

Ausmaß Baumscheibe: Unbegrenzt
Gestaltung Baumscheibe: Offen, aktiv begrünt

Besonderheiten Baumscheibe: Kleine Grünfläche, Holzpflöcke, Schalkasten





Baumscheiben am Borgweg (Fotos: Johannes Lauer)

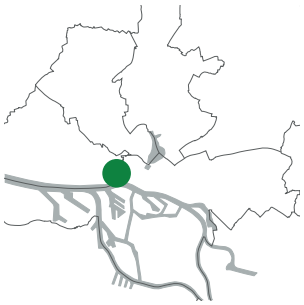
Ergebnisse bodenanalytischer Untersuchungen

Die Böden am Standort Borgweg sind technogene Böden, die eine hohe kleinräumige Heterogenität aufweisen. Die Böden sind sehr sandreich. Es herrschen als Bodenarten Reinsande und Lehmsande vor.

Bodenchemie: Die pH-Werte sind niedrig (ca. pH 4,2 6,0). Die Schadstoffbelastung mit Spurenmetallen und Salzen ist gering.

Monitoring: Die Messungen der Wassergehalte und Wasserspannungen von Mai 2016 bis Ende April 2017 zeigen eine Austrocknung des Oberbodens im Herbst 2016 (Ende Juli bin November). Die Wiederbefeuchtung ereignete sich im November/Dezember 2016. Die Frühjahre war ausreichend feucht, sodass in diesen Zeiträumen kein Trockenstress der Bäume durch Wassermangel im Boden zu erwarten war.

Stresemannstraße



Standorttyp: Bestand
Bezirk: / Stadtteil: Hamburg Mitte / St. Pauli
Zuständigkeit: LSBG

Straßenraumtyp: Verbindungsstraße
Fahrstreifen: 6 (incl. Busspur)
Straßenausrichtung: Nordwest-Südost

Besonderheiten: Bundesstraße 4; 28.000 Kfz / 24h



Luftbild



Verortung Straßenbaumstandorte



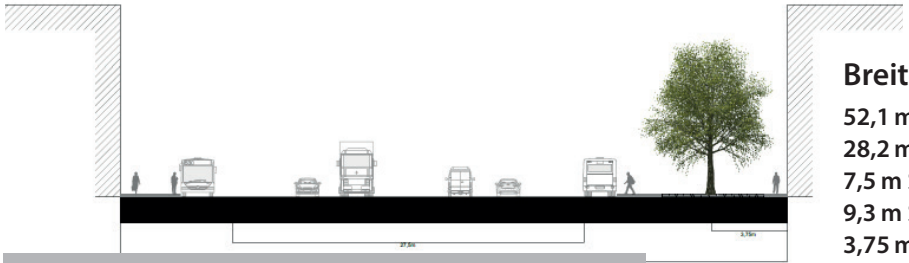
Straßenraum

Versiegelung:
Stark, nur durch Baumstandort aufgebrochen

Belüftung:
Gut aufgrund der Straßenbreite

Belichtung:
Eingeschränkt aufgrund hoher Bebauung und des geringen Abstands zur Bebauung

Nutzungen:
Wohnen, Einzelhandel und Gastronomie mit Außennutzung, Fußgänger, ruhender Verkehr, stark fließender Verkehr



Straßenquerschnitt

Breiten

52,1 m Gesamter Straßenraum
28,2 m Straßenfläche
7,5 m Straßennebenfläche Nord
9,3 m Straßennebenfläche Süd
3,75 m Abstand Gebäude / Baumscheibe Standort A
3,75 m Abstand Gebäude / Baumscheibe Standort B

(Grundlage: ALKIS)

Innenstadtbebauung

Wasserverfügbarkeit

Infiltration von Niederschlägen: potentiell durch die große Baumscheibe und Pflaster möglich, aber hoher Run-off wegen verdichteter Oberfläche der Baumscheibe, die eine langsame Infiltration (2,7 cm/h) zur Folge hat, und wegen starker Versiegelung (50% der Fläche im Kronenbereich; 60% im 5 m Umkreis) gegeben

nFK bis 1 m Tiefe: ca. 125 mm

Grundwasserabstand: ca. 3,7 m



Standort: A
Hausnummer: 3
(Straße: Bei der Schilleroper)

Baum-ID: 100003532
Baumart: *Acer pseudo-platanus* / Berg-Ahorn

Pflanzjahr: 1969

Kronendurchmesser: 7 m
Stammumfang: 111 cm

Bodenbelag Gehweg: Gehwegplatten
Bodenbelag Straße: Geschlossene Asphaltdecke

Ausmaß Baumscheibe: 4,2 - 7 m x 13,0 - 15,0 m
Gestaltung Baumscheibe: Offen, aktiv begrünt

Besonderheiten Baumscheibe: Große Baumscheibe mit mehreren Bäumen, Schaltkasten, oberflächliche Wurzeln



Standort: B
Hausnummer: 3
(Straße: Bei der Schilleroper)

Baum-ID: 100003533
Baumart: *Acer pseudo-platanus* / Berg-Ahorn

Pflanzjahr: 1975

Kronendurchmesser: 7 m
Stammumfang: 101 cm

Bodenbelag Gehweg: Gehwegplatten
Bodenbelag Straße: Geschlossene Asphaltdecke

Ausmaß Baumscheibe: 4,2 - 7 m x 13,0 - 15,0 m
Gestaltung Baumscheibe: Offen, aktiv begrünt

Besonderheiten Baumscheibe: Große Baumscheibe mit mehreren Bäumen, Schaltkasten, oberflächliche Wurzeln





Baumscheiben an der Stresemannstraße (Fotos: Annika Winkelmann)

Ergebnisse bodenanalytischer Untersuchungen

Die Böden am Standort Stresemannstraße sind technogene Böden, die eine hohe kleinräumige Heterogenität aufweisen. Diese ist insbesondere durch den Leitungsbau bedingt. Die Böden sind sehr sandreich. Es herrschen als Bodenarten Reinsande und Lehmsande vor. Die Humusgehalte nehmen mit der Tiefe ab und liegen zwischen 4,0 und 0,1 Prozent. Die Lagerungsdichte beträgt durchschnittlich 1,58 g/cm^3.

Bodenchemie: Die pH-Werte betragen an der Oberfläche etwa 5 und nehmen mit der Tiefe zu. In einem Meter Tiefe wurden Werte zwischen pH 6,3 und 7,4 gemessen. Die Schadstoffbelastung mit Spurenmetallen und Salzen ist gering.

Monitoring: Die Messungen der Wassergehalte und Wasserspannungen von Mai 2016 bis Ende April 2017 zeigen eine Austrocknung des Oberbodens im Herbst 2016 (Ende Juli bis November). Die Wiederbefeuchtung ereignete sich im November/Dezember 2016.

Die Frühjahre war ausreichend feucht, sodass in diesen Zeiträumen kein Trockenstress der Bäume durch Wassermangel im Boden zu erwarten war.



Bodenprofil von Profil 3 in der Stresemannstraße.
Foto: Institut für Bodenkunde, UHH

Aktive Baumscheibengestaltung

Der Jungbaum an der Stresemannstraße ist durch angrenzende Gastronomie und Einkaufsmöglichkeiten, aber auch durch Fußgänger, Radfahrer oder das Abstellen von Gegenständen am Baum und auf der Baumscheibe einem hohen Nutzungsdruck ausgesetzt. Durch die aktive Gestaltung der Baumscheibe mit einer Begrünung durch Grasflächen, Sträucher und Blumen im Bereich um den Stamm sowie eine schützende Sitzbank am Rand des Gehweges könnte der Nutzungsdruck verringert und die Vialität des Baumes verbessert werden.



Situation an der Stresemannstraße (Foto: Annika WInkelmann)



Visualisierung Ergebnisse der Potenzialanalyse (Darstellung: HCU)

Vorgeschläge "Klimafolgenindikatoren für Stadtbäume"

Hintergrund

Dies gilt besonders, wenn andere Schaderreger oder ungünstige Standortbedingungen hinzukommen, wie dies bei Straßenbäumen im städtischen Bereich häufig der Fall ist. Durch die sich jetzt bereits abzeichnenden klimatischen Veränderungen mit zunehmendem Trockenstress im Sommer und insgesamt steigenden Durchschnittstemperaturen (eindrucksvolle Beispiele sind die Jahre 2003, 2006, 2010) sowie häufiger auftretenden Extremwetterereignissen wird die Stresssituation der Stadtbäume noch verstärkt (Rust und Roloff 2008). Das macht sie anfällig für bisher kaum in Erscheinung getretene (z.B. Prachtkäfer), aber auch einwandernde (z.B. Wollige Napfschildlaus) oder eingeschleppte Schädlinge (z.B. Asiatischer Citrusbockkäfer) und verschiedene Pilz- und bakterielle Erkrankungen, insbesondere Gefäßmykosen (Kehr und Rust 2007; Tomiczek und Perny 2005).

Es zeichnet sich schon jetzt ab, dass etliche klassische Stadtbaumarten in unseren Breiten den künftigen Anforderungen nicht mehr an allen Standorten gewachsen sein werden (Roloff et al. 2008), da sie den ästhetischen Ansprüchen an einen Straßenbaum nicht mehr genügen (beispielsweise Kastanienminiermotte an Aesculus hippocastaneum), zu einer Gefährdung werden (z.B. Bruchproblematik durch Massaria-Erkrankung an Platanen) oder gänzlich ausfallen (beispielsweise Eschentriebsterben bei heimischen Fraxinus-Arten) (vgl. Böll et al. 2014, 3 „Stadtbäume unter Stress – Projekt „Stadtgrün2021").

Massaria

Die Platane prägt das Stadtbild seit vielen Jahrzehnten und gilt als robuste, industriefeste Baumart. Ein Absterben der Platanen durch die Massaria-Krankheit, die durch den Pilz Splanchnonema platani hervorgerufen wird, ist nicht zu befürchten, aber die teilweise erheblichen Mehrkosten in der Pflege bedeuten eine zusätzliche Belastung für die Kommunen. Massaria tritt in Deutschland seit Mitte der 1980er Jahre auf und ist besonders häufig bei Platanen auf versiegelten innerstädtischen Stadtorten zu beobachten. Folglich wird von Baumexperten empfohlen, Platanen nicht mehr an heißen, versiegelten sowie trockenen Standorten zu pflanzen (Roloff 2013, S. 221). Heute hat sich der Schlauchpilz flächendeckend in Deutschland ausgebreitet. Hohe Temperaturen und geringe Niederschlagsmengen in der Vegetationsperiode, insbesondere auch akute Trockenheit, führen zur Vermehrung des Schlauchpilzes. Das maritime Klima in Hamburg ist vermutlich ein Grund für die überschaubare Situation in der Hansestadt (FHH 2018: http://www.hamburg.de/baumkrankheiten/5587518/baumkrankheiten-massaria/).

Von einem Befall mit Massaria sind in der Regel ältere Bäume (40 – 70 Jahre) betroffen. Erste Symptome sind dabei Rindenverfärbungen der Äste (zunächst rosa, später nach dem Erscheinen der Fruchtkörper und Sporen schwarz und rußartig). Die Massaria-Krankheit führt bei dem befallenen Baum dazu, dass die Totholzbildung beschleunigt wird. Dabei können nicht nur Feinäste sondern auch Starkäste innerhalb weniger Monaten absterben und brechen. Dieser rapide Holzabbau erfordert in der Baumkontrolle verkürzte Kontrollintervalle, um die Verkehrssicherheit zu gewährleisten. Dies führt folglich zu Mehrkosten in der Baumkontrolle und Baumpflege (ebd.).

Wollige Napfschildlaus

Die wollige Napfschildlaus (Pulvinaria regalis) befällt insbesondere Baumarten wie Linde, Ahorn und Rosskastanie. Aber auch andere Baumarten und Sträucher können betroffen sein. So treten verwandte Pulvinaria-Arten auch bei Hortensien, Magnolien, Stechpalmen oder Kamelien auf. Die Napfschildlaus bringt eine Generation im Jahr hervor. Die Weibchen legen im Frühjahr im Bereich des Stammes und Ästen mehrere hundert Eier, die in sogenannte Eisäcke hineingelegt werden. Auf den Eisäcken sitzt als braunes Schild das tote Weibchen, das nach der Eiablage stirbt. Aus dem Eisack schlüpfen im Mai/Juni die Larven der Laus, die wiederum die Blätter besiedeln. Die Laus schädigt hier ihre Wirtspflanzen durch den Entzug von Pflanzensaft. Da der Saft der Leitungsbahnen viel Zucker enthält, den die Läuse nicht verwerten, scheiden die Tiere als Kot klebrigen Honigtau aus. Der herunterfallende Honigtau verklebt andere Blätter und unter den Bäumen wachsende Pflanzen, sowie dort parkende Autos. Auf dem Honigtau wächst häufig ein Rußstaupilz, der sich von dem Honigtau ernährt und bewirkt, dass sich die Blätter schwarz verfärben. Vor dem Laubfall im Herbst besiedeln die Larven dünne Zweige auf denen sie überwintern. Für die Pflanzen ist der Pilz unschädlich, beeinträchtigt sie aber indirekt, indem er die Blätter schattiert. Durch den Saftentzug der wolligen Napfschildlaus kommt es bei starkem Befall zu einer Schwächung des Baums und besonders bei jährlich wiederkehrendem Befall sind auch nachhaltige Schäden möglich (FHH 2018: http://www.hamburg.de/pflanzenschutz/wollige-napfschildlaus/).

	Vorschlag Indikator **„Gefährdung durch Krankheiten und Schädlinge“**
Indikator-Typ:	IMPACT Indikator
Handlungsfeld:	Menschliche Gesundheit, Landschaftsplanung, Naturschutz
Indikationsfeld:	Einschränkung der Vitalität sowie Absterben der betroffenen Stadtbäume.
Definition:	Anzahl der Stadtbäume, die in einem Jahr von einer Krankheit oder einem Schädling befallen sind. Dafür werden die Bäume aufgenommen, an denen die spezifischen Schäden durch die jeweilige Schädlingsart beobachtet und im Hamburger Straßenbaumkataster dokumentiert wurden.
Berechnungsgrundlage:	Summe der Stadtbäume, die pro Jahr von einer bestimmten Krankheit oder einem Schädling befallen sind (N1-Nx/a).
Datenquelle:	Hamburger Straßenbaumkataster (Erweiterung durch eine Ausführungshilfe durch eine Liste aller bekannten und für Hamburg relevanten Krankheiten und Schädlinge in der Dokumentation des Straßenbaumkatasters).
Bedeutung des Indikators:	Immer wieder werden in Hamburg neue Krankheiten und Schädlinge bei den Stadtbäumen beobachtet. Zum Teil sind dies wärmeliebende Krankheiten und Schädlinge, die sich in warmen Klimazonen und bei höheren Temperaturen wohlfühlen. Viele Krankheiten und Schädlinge treten dabei allerdings nur temporär und bei einzelnen Baumarten auf. Grundsätzlich stellt aber die Anzahl der durch Krankheiten und Schädlinge betroffenen Bäume einen möglichen Klimafolgenindikator dar. Dabei kann die Kombination mit Daten zur Lufttemperaturen Aufschluss über die Verbindung zwischen dem Auftreten bestimmter Krankheitsbilder sowie Temperaturveränderungen geben.
Hinweise:	Im Rahmen des SIK-Projektes wurde eine Analyse der Einträge im Hamburger Straßenbaumkataster zum Vorkommen von Krankheiten und Schädlingen im durchgeführt. Dies erfolgte mit besonderem Fokus auf drei Krankheiten und Schädlinge: Eichenprozessionsspinner/Eiche; Massaria/Platane; Wollige Napfschildlaus/Linde, Ahorn und Rosskastanie. Derzeit lassen sich allerdings keine eindeutigen Trends des Vorkommens dieser Krankheiten und Schädlinge abbilden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zwischen dem Vorkommen von Krankheiten und Schädlingen noch mit vielen Unsicherheiten behaftet sind. Z.B. sind Bäume, die durch Bautätigkeiten geschädigt wurden, häufig viel anfälliger für das Vorkommen von Krankheiten oder den Befall durch Schädlinge als gesunde Bäume. Auch ist derzeit nicht eindeutig bewiesen, ob sich die Krankheiten durch klimatische Veränderungen stärker ausbreiten als bisher. Im Falle der meisten Krankheitsbilder muss zudem noch nachgewiesen werden, dass ein direkter Zusammenhang zwischen höheren Temperaturen und der Verbreitung der jeweiligen Krankheit bzw. des Schädlings besteht.
Weiterführende Informationen:	FHH: http://www.hamburg.de/baumkrankheiten/5587518/baumkrankheiten-massaria/ FHH: http://www.hamburg.de/pflanzenschutz/wollige-napfschildlaus/

	Vorschlag Indikator **„Gefährdung durch Eichenprozessionsspinner“**
Indikator-Typ:	IMPACT Indikator
Handlungsfeld:	Menschliche Gesundheit, Landschaftsplanung, Naturschutz,
Indikationsfeld:	Einschränkung der Vitalität der betroffenen Stadtbäume, gesundheitliche Auswirkungen von aerogenen Stoffen (Verbreitung über die Luft).
Definition:	Anzahl der Stadtbäume, die in einem Jahr von dem Eichenprozessionsspinner befallen sind. Dafür werden die Bäume aufgenommen, an denen die spezifischen Schäden durch die jeweilige Schädlingsart beobachtet und im Hamburger Straßenbaumkataster dokumentiert wurden.
Berechnungsgrundlage:	Summe der Stadtbäume, die pro Jahr von dem Eichenprozessionsspinner befallen sind (N/a).
Datenquelle:	Hamburger Straßenbaumkataster
Bedeutung des Indikators:	Eine klimabedingte Erhöhung der Lufttemperatur kann einen Einfluss auf die Verbreitung von Schädlingen haben. Der Eichenprozessionsspinner (Thaumetopoea processionea L.) ist ein in Deutschland lebender Nachtfalter. Er gehört zu den wärmeliebende Schadinsekten, die Raupen ernähren sich von Eichenblättern und die Eier werden bevorzugt auf von der Sonne aufgewärmten Blättern abgelegt. Das Vorkommen des Eichenprozessionsspinners hat in Deutschland in den letzten 15 bis 20 Jahren stetig zugenommen.
Hinweise:	Die Raupen des Eichenprozessionsspinners bilden ab dem dritten Larvenstadium feine Brennhaare, die sich durch Widerhaken in der menschlichen Haut festhaken können. Ebenso geht eine dauerhafte Gefährdung von den in den Bäumen befindlichen Nestern aus. Auch können die Brennhaare verweht und eingeatmet werden. Neben einer mechanischen Reizung der Haut und der Schleimhäute der Atemwege und Augen kann es durch die Haare zu toxischen und allergischen Reaktionen kommen. Der Eichenprozessionsspinner hat darüber hinaus ein Schädigungspotenzial für die betroffenen Eichen. Als Folge eines starken, mehrmaligen Fraßes der Raupen des Eichenprozessionsspinners können vermehrt Bäume absterben. Ist die Vitalität der Stadtbäume durch zunehmende extreme Witterungsverhältnisse, z.B. Starkregen, Trockenperioden oder Stürme, zusätzlich beeinträchtigt, sind sie besonders anfällig für Schädlinge. Es gibt Hinweise, dass trockene und warme Sommer die Entwicklung und Ausbreitung des Eichenprozessionsspinners fördern. Die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge sind allerdings noch mit vielen Unsicherheiten behaftet. Umso wichtiger ist es, das Vorkommen des Schädlings mit den State-Indikatoren „Niederschlagsgeschehen“ und „Lufttemperatur“ zu vergleichen.
Weiterführende Informationen:	https://www.umweltbundesamt.de/ge-i-4-das-indikator#textpart-1 https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/Skript_365.pdf http://www.bfr.bund.de/cm/343/oekologische-schaeden-gesundheitliche-gefahren-und-massnahmen-zur-eindaemmung-des-eichenprozessionsspinners.pdf https://www.hlnug.de/themen/nachhaltigkeit-indikatoren/indikatorensysteme/klimafolgenindikatoren-hessen/waldschaeden-durch-insekten.html

	Vorschlag Indikator **„Sturmschäden bei Stadtbäumen“**
Indikator-Typ:	IMPACT Indikator
Handlungsfeld:	Landschaftsplanung, Naturschutz, Menschliche Gesundheit, Verkehr
Indikationsfeld:	Windbruch und Astausbrüche bei Stadtbäumen, Gefährdung der menschlichen Gesundheit durch umstürzende Bäume, Betroffenheit der Verkehrsinfrastruktur durch umgestürzte Bäume.
Definition:	Anzahl der Straßenbäume, die durch ein bestimmtes Sturmereignis von Windbruch oder Astausbrüchen betroffen waren.
Berechnungsgrundlage:	Summe der Straßenbäume pro Jahr (N/a), die durch ein bestimmtes Sturmereignis von Windbruch oder Astausbrüchen betroffen waren.
Datenquelle:	Hamburger Straßenbaumkataster (Erweiterung: Klick-Feld Windbruch und Astausbruch mit Eingabefeld zur Datumsangabe des Sturmereignisses)
Bedeutung des Indikators:	Durch den Klimawandel wird sich voraussichtlich das Windgeschehen in Hamburg verändern. Besonders Bäume sind von extremen Sturmereignissen (Definition Sturmtag: Tage, an denen die maximale Windgeschwindigkeit 62 km/h (Beaufort-Skala 8 = stürmischer Wind) überschreitet (Vmax > 62 km/h), (Norddeutscher-Klimamonitor) betroffen, in dem sie komplett vom Wind umgeworfen werden oder größere Äste ausbrechen. Die Bäume sind hier selbst erheblich von den Sturmereignissen betroffen, sie werden aber gleichzeitig zur Gefahr für die menschliche Gesundheit oder können die Verkehrsinfrastruktur erheblich beeinträchtigen. Daher ist es für die zukünftige Planung von Baumstandorten relevant, ob ggf. mehr windfeste Baumarten gepflanzt werden müssen oder die Pflanzgruben für eine bessere Standfestigkeit der Bäume angepasst werden müssen.
Hinweise:	Derzeit bestehen Unsicherheiten, inwiefern Stürme bedingt durch den Klimawandel überhaut häufiger und/oder stärker werden. Zudem wirken sich Stürme in einer Stadt oft lokal sehr unterschiedlich aus. Stadtbäume sind grundsätzlich anfälliger für Windbruch oder Astausbrüche durch Stürme, wenn sie bereits krank oder in ihrer Vitalität bspw. durch Baumaßnahmen beeinträchtigt sind. Um die Sturmschäden bei Stadtbäumen klarer bestimmten Windereignissen zuordnen zu können, wäre ein Ausbau des Klimamessnetzes in der Stadt Hamburg wünschenswert. Ebenso könnten Daten zu den Einsatzzahlen der Feuerwehr aufgrund umgestürzter Bäume die Bewertung dieses Indikators erheblich verbessern. Derartige Datenquellen stehen laut der Hamburger Feuerwehr derzeit allerdings nicht zur Verfügung.

	Vorschlag Indikator **„Artendiversität im Straßenbaumbestand“**
Indikator-Typ:	RESPONSE Indikator
Handlungsfeld:	Naturschutz, Biodiversität, Landschaftsplanung
Indikationsfeld:	Betroffenheit bestimmter Stadtbaumarten durch klimabedingte Witterungsextreme, Betroffenheit bestimmter Stadtbaumarten durch Krankheiten und Schädlinge, Bedeutung einzelner Stadtbaumarten hinsichtlich ihrer ökologischen und klimatischen Funktion im Stadtraum.
Definition:	Anzahl der Straßenbaumarten im Straßenbaumbestand Hamburgs.
Berechnungsgrundlage:	Summe der Straßenbaumarten in Hamburg pro Jahr (N/a).
Datenquelle:	Hamburger Straßenbaumkataster
Bedeutung des Indikators:	Aufgrund der zu erwartenden Klimaveränderungen in Hamburg sind zunehmend bestimmte Baumarten von Trockenstress oder durch Krankheiten und Schädlinge betroffen. Wärmeliebende Schaderreger breiten sich bei höheren Lufttemperaturen aus und befallen geschwächte Bäume. In den letzten Jahren sind dadurch bestimmte Baumarten betroffen gewesen, z.B. Miniermotte bei Kastanien, Massaria bei Platanen, Eschentriebsterben, Wollige Napfschildlaus bei Linde, Ahorn und Kastanie. Der Bergahorn verträgt wiederum höhere Lufttemperaturen nicht gut. Wenn eine dieser Baumarten eine Hauptbaumart in Hamburg darstellt, bedeutet dies, dass ein großer Anteil des Hamburger Baumbestandes erkrankt. Um dies vorzubeugen, ist es wichtig, viele verschiedene Baumarten zu pflanzen, so dass im Falle eines Krankheitsbildes nur ein kleiner Anteil des Baumbestandes betroffen ist. Artendiversität erhöht folglich die Resilienz des Hamburger Baumbestandes gegenüber klimabedingten Stressoren. Gleichzeitig erhöht sich aufgrund der ökologischen und klimatischen Funktion unterschiedlicher Baumarten die Biodiversität im Stadtraum.
Hinweise:	Die Verbreitung von Pilzerkrankungen und Schädlingen wird über Transportwege der globalisierten Gesellschaft begünstigt. Derzeit gibt es zwar Hinweise, dass sich bestimmte wärmeliebende Schadinsekten durch klimabedingte höhere Lufttemperaturen vermehrt auch in Norddeutschland ausbreiten, die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge deren Ausbreitung sind allerdings komplex. Die Wahrscheinlichkeit des Befalls von Bäumen mit diesen Krankheiten und Schädlingen hängt wiederum von ihrer Grundverfassung ab. Eine eingeschränkte Vitalität eines Baumes, bspw. durch eine Schädigung durch eine Baumaßnahme, macht ihn anfällig für Krankheiten und Schädlinge.

	Vorschlag Indikator **„Neupflanzungen und Fällungen von Stadtbäumen“**
Indikator-Typ:	RESPONSE Indikator
Handlungsfeld:	Landschaftsplanung, Naturschutz, Menschliche Gesundheit, Wasserwirtschaft
Indikationsfeld:	Hitzebelastung sensibler Bevölkerungsgruppen – Verbesserung des Mikroklimas und Wohlbefindens in verdichteten Stadtquartieren, Schäden durch Starkregen - Abmilderung der Auswirkungen von Starkregenereignissen, Betroffenheit Flora und Fauna - Erhöhung des Stadtgrüns sowie Biodiversität.
Definition:	Anzahl der Straßenbäume, die in einem Jahr in Hamburg neu gepflanzt worden sind und Anzahl der Straßenbäume nach Altersklassen unterteilt, die in einem Jahr aufgrund unterschiedlicher Gründe gefällt worden sind.
Berechnungsgrundlage:	Summe der Straßenbäume (N/a), die in einem Jahr auf öffentlichen Flächen neu gepflanzt worden sind im Verhältnis zu der Summe der Straßenbäume nach Altersklassen unterteilt (I – V), die in einem Jahr auf öffentlichen Flächen aufgrund unterschiedlicher Fällgründe (N1-Nx/a) gefällt worden sind.
Datenquelle:	Hamburger Straßenbaumkataster
Bedeutung des Indikators:	Stadtbäume tragen mit ihren Funktionen der Verschattung und Verdunstung wesentlich zu einem verbesserten Mikroklima gerade in stark verdichteten Stadtquartieren bei. An heißen Sommertagen kommt es hier zu einer erheblichen Hitzebelastung, von der besonders Kinder und ältere Menschen betroffen sind. Auch mildern Stadtbäume negative Auswirkungen von Starkregenereignissen ab, in dem sie Regenwasser mit ihren Kronen abfangen und über ihre Wurzelbereiche langsam in den Untergrund weiterleiten. Sie unterstützen damit den lokalen Wasserkreislauf. Die Neupflanzung von Stadtbäumen stellt danach eine zentrale Maßnahme zur Anpassung an Klimaveränderungen dar. Im Hinblick auf die Fällungen sind die Fällgründe besonders wichtig. Hier gilt es insbesondere Altbäume mit ihrem außerordentlichen ökologischen und klimatischen Wert aufgrund von Bautätigkeiten und Veränderungen der Verkehrsführung vor Fällungen zu schützen und damit nachhaltig zu erhalten.
Hinweise:	Die Anzahl der Neupflanzungen muss über diesen Indikator hinaus differenzierter betrachtet werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sehr wichtig ist, dem einzelnen neugepflanzten Baum im Straßenraum ausreichend Platz zur Verfügung zu stellen bzw. zu sichern. In vielen Straßenräumen ist so wenig Platz vorhanden, dass das Wurzelwachstum eines neugepflanzten Baumes erheblich eingeschränkt sein würde.

Literatur und Leitfäden

Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Aufl. Schweizerbart´sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

Ainsworth, E.A. und Long, S.P. (2005): What have we learned from 15 years of free-air CO_2 enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO_2. New Phytologist 165 (2): 351-372.

Allen, C.D.; Macalady, A.K.; Chenchouni, H. et al. (2010): A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. Forest Ecology and Management 259 (4): 660-684.

Altieri, S.; Mereu, S.; Cherubini, P. et al. (2015): Tree-ring carbon and oxygen isotopes indicate different water use strategies in three Mediterranean shrubs at Capo Caccia (Sardinia, Italy). Trees 29: 1593-1603.

Anderegg, A.R.L.; Berry, J.A. und Field, C.B. (2012): Linking definitions, mechanisms, and modeling of drought-induced tree death. Trends in Plant Science 17 (12): 693-700.

Anderegg, William R L; Hicke, Jeffrey A.; Fisher, Rosie A.; Allen, Craig D.; Aukema, Juliann; Bentz, Barbara et al. (2015): Tree mortality from drought, insects, and their interactions in a changing climate. The New phytologist 208 (3), pp. 674-683.

Andresen, S.; Dickhaut, W. (2015): Integriertes Regenwassermanagement in Hamburg: Veränderungsnotwendigkeiten und Handlungsoptionen für Planung und Verwaltung. Abschlussbericht HCU Hamburg und RISA-AG Stadt- und Landschaftsplanung, HafenCity Universität Hamburg.

Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (2015) Statistische Ämter der Länder. Stand 08.06.2018, www.ugrdl.de/g_tab_54.htm

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: 1-26. DOI: 10.1002/joc.859.

Asadian, Y. (2010): Rainfall interception in an urban environment. MA Thesis University of British Columbia. Vancouver.

Asadian, Y. und Weiler, M. (2009): A New Approach in Measuring Rainfall Interception by Urban Trees in Coastal British Columbia. Water Quality Research Journal of Canada 44 (1): 16-25.

Bale, J.S.; Masters, G.J.; Hodkinson, I.D. et al. (2002): Herbivory in Global Climate Change Research: Direct Effects of Rising Temperature on Insect Herbivores. Global Change Biology 8 (1): 1–16.

Barbour, M.M.; Walcroft, A.S. und Farquhar, G.D. (2002): Seasonal variation in d13C and d18O of cellulose from growth rings of Pinus radiata. Plant, Cell and Environment 25: 1483-1499.

Battipaglia, G.; Marzaioli, F.; Lubritto, C. et al. (2010): Traffic pollution affects tree-ring width and isotopic composition of Pinus pinea. Science of the Total Environment 408: 586-593.

Battipaglia, G.; Saurer, M.; Cherubini, P. et al. (2008): Tree rings indicate drought resistance of a native (Abies alba Mill.) and a nonnative (Picea abies (L.) Karst.) species co-occurring at a dry site in Southern Italy. Forest Ecology and Management 257: 820-828.

BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung) (2015): Überflutungs- und Hitzevorsorge durch die Stadtentwicklung. Strategien und Maßnahmen zum Regenwassermanagement gegen urbane Sturzfluten und überhitzte Städte. Bonn.

Bean, E. Z., Hunt, W. F., & Bidelspach, D. A. (2007). Field survey of permeable pavement surface infiltration rates. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 133(3), 249-255.

Bechtel, B.; Langkamp, T.; Ament, F. et al. (2011). Towards an urban roughness parameterisation using interferometric SAR data taking the Metropolitan Region of Hamburg as an example. Meteorologische Zeitschrift, 20(1): 29-37.

Bechtel, B.; Wiesner, S. und Zakšek, K. (2014). Estimation of dense time series of urban air temperatures from multitemporal geostationary satellite data. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 7: 4129-4137.

Bell, S. (2012): DPSIR = A Problem Structuring Method? An exploration from the "Imagine" approach. In: European Journal of Operational Research (222): 350-360.

Benden, J.; Broesi, R; Illgen, M.; Leinweber, U.; Lennartz, G.; Scheid, C.; Schmitt, T. G. (2017): Multifunktionale Retentionsflächen

Benk, J. A. (2015): Ein Baum braucht Boden! Bodenschutz 20 (4): 120-122.

BLAG KliNa (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft „Klima, Energie, Mobilität – Nachhaltigkeit“) (2010): 3. Erfahrungsbericht 2010 zu umweltbezogenen Nachhaltigkeitsindikatoren der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Klima, Energie, Mobilität – Nachhaltigkeit.

BLAG KliNA (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft „Klima, Energie, Mobilität – Nachhaltigkeit“) (2014): 5. Erfahrungsbericht 2014 zu umweltbezogenen Nachhaltigkeitsindikatoren. Online unter: http://www.lanuv.nrw.de/liki-newsletter/freidok/Endfassung5EB_TechnischerBericht_e42.pdf (Abfrage am 10.04.2015).

Blume, H.-P. (Hrsg.) (1992): Handbuch des Bodenschutzes. Bodenökologie und -belastung; vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. 2. Auflage. Landsberg/ Lech

Böll, S.; Schönfeld, P.; Körber, K. et al. (2014): Stadtbäume unter Stress. Projekt »Stadtgrün 2021« untersucht Stadtbäume im Zeichen des Klimawandels. LWF aktuell 98/2014: 4-8.

Bonn, S. (2006): Jahrringe als Indikatoren für Schadensereignisse und als Archiv der Baumlebensgeschichte von Stadtbäumen. Forst und Holz 61: 366-368.

Bosch & Partner (2010): Erstellung eines Indikatorenkonzepts für die Deutsche Anpassungsstrategie (DAS). Schlussbericht. Im Auftrag des Umweltbundesamts. München.

Brasseur, Guy; Jacob, Daniela; Schuck-Zöller, Susanne (Eds.) (2017): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin: Springer Spektrum.

Braun, D. und Giraud, O. (2009): Politikinstrumente im Kontext von Staat, Markt und Governance. In: Schubert, K. und Bandelow, N.C (Hrsg.): Lehrbuch der Politikfeldanalyse 2.0, München.

Bréda, N.; Huc, R.; Granier, A. et al. (2006): Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. Annals of Forest Science 63 (6): 625-644.

Brune, M. (2016): Urban trees under climate change. Potential impacts of dry spells and heat waves in three German regions in the 2050s. Report 24. Climate Service Center Germany, Hamburg.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2015): Grün in der Stadt – für eine lebenswerte Zukunft. Grünbuch Stadtgrün. Berlin. (http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Broschueren/gruenbuch_stadtgruen_broschuere_bf.pdf)

Carrer, M. und Urbinati, C. (2004): Age-dependent tree-ring growth response to climate in Larix decidua and Pinus cembra. Ecology 85 (3): 730–40.

Cedro, A. und Nowak, G. (2006): Effects of climatic conditions on annual tree ring growth of the Platanus x hispanica 'Acerifolia' und urban conditions of Szczecin. Dendrobiology 55: 11-17.

Cernusak, L. A.; Winter, K. und Turner, B.L. (2009): Physiological and isotopic (δ13C and δ18O) responses of three tropical tree species to water and nutrient availability. Plant, Cell & Environment 32 (10): 1441–55.

Chen, Z.; He, X.; Cui, M. et al. (2011): The effect of anthropogenic activities on the reduction of urban tree sensitivity to climatic change: dendrochronological evidence from Chinese pine in Shenyang city. Trees 25: 393-405.

Chmielewski, F. M. (2007): Folgen des Klimawandels für Land- und Forstwirtschaft. In: Endlicher, W. und Gerstengarbe, F.W. (Hrsg.): Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblick. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V., Potsdam: 75-85.

Chmielewski, F.M. und Rötzer, T. (2001): Response of tree phenology to climate change across Europe. Agricultural and Forest Meteorology 108: 101–112.

Christensen, J.H.; Hewitson, B.; Busuioc, A. et al. (2007): Regional Climate Projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., Qin, D., Manning,M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. und Miller, H.L. (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

City of Melbourne (2013): Tree Pit Bio-Retention Type in Bluestone Paving. Melbourne.

City of Melbourne (2015): Raingarden tree pit program. Melbourne. Online unter: http://urbanwater.melbourne.vic.gov.au/wp-content/uploads/2015/02/Urban-Water_Raingarden-tree-pit-program.pdf (Abfrage am 15.11.2015).

City of Portland (Bureau of Environmental Services) (2010): 2010 Stormwater Management Facility Monitoring Report. Sustainable Stormwater Management Program. Portland.

Clark, J.R. und Kjelgren, R. (1990): Water as a limiting factor in the development of urban trees. Journal of Arboriculture 16 (8): 203-208.

Danielzyk, R. (2005): Informelle Planung. In: ARL (Akademie für Raumforschung und Landesplanung) (Hrsg.): Handwörterbuch der Raumordnung. Verlag der ARL, Hannover: 465–469.

Danielzyk, R. und Knieling, J. (2011): Informelle Planungsansätze. In: ARL (Akademie für Raumforschung und Landesplanung) (Hrsg.): Grundriss der Raumordnung und Raumentwicklung. Verlag der ARL, Hannover: 473–498.

Davoudi, S. (2009): Framing the Role of Spatial Planning in Climate Change. Global Urban Research Unit. (Electronic Working Paper, 43).

Dawson, T.E. und Siegwolf, R.T.W. (2007): Stable isotopes as indicators of ecological change. Chapter 3: Extracting climatic information from stable isotopes in tree rings. Elsevier Inc. London, Amsterdam, Oxford, Burlington, San Diego.

Deutsche Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen. Berlin.

Doobe, G. (2015): Vermerk zum Baummonitoring. GALK-Straßenbaumtests vom 19.11.2015.

Dorendorf, J.; Wilken, A.; Eschenbach, A. et al. (2015): Urban-induced changes in tree leaf litter accelerate decomposition. Ecological Processes 4 (1): 1-16. doi:10.1186/s13717-014-0026-5.

Dües, G. (1987): Untersuchungen zu den Bindungsformen und ökologisch wirksamen Fraktionen ausgewählter toxischer Schwermetalle in ihrer Tiefenverteilung in Hamburger Böden. Dissertation. Universität Hamburg. Verein zur Förderung der Bodenkunde in Hamburg (Hrsg.): Hamburger Bodenkundliche Arbeiten. Band 9. Hamburg.

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) (2005): Arbeitsblatt DWA-A 138. Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. Hennef.

DWD (Deutscher Wetterdienst): Online unter: www.dwd.de/klimadaten (Abfrage am 19.11.2015).

Eamus, D. (1991): The interaction of rising CO_2 and temperatures with water use efficiency. Plant, Cell & Environment 14 (8): 843–852.

Eckstein, D.; Breyne, A.; Aniol, R.W. et al. (1981): Dendroklimatologische Untersuchungen zur Entwicklung von Straßenbäumen. Forstwissenschaftliches Zentralblatt 100 (1): 381-396.

EEA (European Environment Agency) (1999): Environmental indicators – Typology and overview. Technical Report No. 25. Kopenhagen.

EEA (European Environment Agency) (2012): Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. An indicator-based report. EEA Report No 12. Kopenhagen.

Ehrhardt, J. (2015): Roadside trees in Hamburg: Growth and vitality of Tilia x vulgaris (H.) and Acer platanoides (L.) along urban to rural gradients. Dissertation, Universität Hamburg, Hamburg.

Embrém, B.; Alvem, B.M.; Stahl, Ö. et al. (2009): Pflanzgruben in der Stadt Stockholm. Ein Handbuch. Stockholm.

Embrén, B.: The Stockholm Solution – Ten Years of Experience of Urban Tree Planning and Management Combined with Local Storm Water Management. Stockholm.

Embrén, B.; Bennerscheidt, C.; Stahl, Ö. et al. (2008): Optimierung von Baumstandorten: Stockholmer Lösung: Wurzelräume schaffen und Regenwasser nutzen, Konfliktpotenziale zwischen Baum und Kanal entschärfen. In: wasserwirtschaft wassertechnik (wwt) (7-8): 38–43.

Endlicher, W. (2012): Einführung in die Stadtökologie. Eugen Ulmer KG, Stuttgart (Hohenheim).

Engesser, R.; Forster, B.; Meier, F. et al. (2008): Forstliche Schadorganismen im Zeichen des Klimawandels | Effects of climate change on forest pests and diseases. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 159 (10): 344–351.

Eschenbach A, Wiesner S, Gröngröft A. (2016): Bedeutung der Bodenfeuchte für die Klimafunktion von Böden in einem urbanen Raum, Bodenschutz- Erhaltung, Nutzung und Wiederherstellung von Böden. Bodenschutz 21 (4).

Eschenbach, A.; Pfeiffer, E.-M. (2010): Expertise zur Entwicklung eines Handlungskonzeptes "Bodenschutz und Klimafolgen in Hamburg". Für: Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (BSU) Hamburg.

Esper, J.; Treydte, K.; Frank, D.C.; Gärtner, H. und Büntgen, U. (2004): Temperaturvariationen und Jahrringe| Temperature variation and tree rings. Schweizerische Zeitschrift fur Forstwesen 155 (6): 213–221.

Europäische Union (2015): Sustainable development in the European Union. 2015 monitoring report of the EU Sustainable Development Strategy. Eurostat Statistical books. Luxembourg.

Farquhar, G.D.; Ehleringer, J.R. und Hubick, K.T. (1989): Carbon Isotope Discrimination and Photosynthesis. Annual Review of Plant Biology 40 (1): 503-537.

FHH – Freie und Hansestadt Hamburg (2018): Bäume sind Zeitzeugen. Online unter: https://www.hamburg.de/baeume/geschichte/.

FHH – Freie und Hansestadt Hamburg (2017): Arbeitshinweise zum Vollzug der Baumschutzverordnung und der dabei zu beachtenden artenscutzrechtlichen Bestimmungen. erstellt durch die Behörde für Umwelt und Energie, Amt für Naturschutz, Grünplanung und Energie, Abteilung Naturschutz, 46 Seiten, Stand 1.2.2017.

FHH – Freie und Hansestadt Hamburg. Behörde für Umwelt und Energie (2017): Klimafolgen-Monitoring – Wie entwickelt sich das Klima? Online unter: http://www.hamburg.de/klimafolgen-monitoring/ (Abfrage am 08.12.2017)

FHH – Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie (2015): Klimafolgen-Monitoring für die Freie und Hansestadt Hamburg. Abschlussbericht November 2015.

FHH – Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation (2015): Hamburger Regelwerke für Planung und Entwurf von Stadtstraßen [ReStra]. Wissensdokument "Hinweise für eine wassersensible Straßenraumgestaltung".

FHH – Freie und Hansestadt Hamburg. Behörde für Umwelt und Energie (2015): Gesamtübersicht aller mit Daten unterlegten Klimafolgen – Indikatoren Stand 2015. Hamburg. Online unter: http://www.hamburg.de/contentblob/6642006/c07478f9361e4fbb33465ef496536bf2/data/d-kfm-gesamtuebersicht-impact-indikatoren.pdf (Abfrage am 08.12.2017)

FHH – Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (2012): Streusalzmonitoring 2007-2011 Bericht. Hamburg. http://www.hamburg.de/contentblob/3909866/data/streusalz-monitoring-bericht.pdf (Abfrage am 3.11.2015).

FHH – Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (2012): Klimafolgenmonitoring Hamburg. Sachstandsbericht 2012. Hamburg. (unveröffentlicht)

FHH – Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (2012): Bodenformengesellschaften in der Freien und Hansestadt Hamburg.

FHH – Freie und Hansestadt Hamburg (2010): Verordnung zum Schutz des Baumbestandes und der Hecken in der Freien und Hansestadt Hamburg; (Baumschutzverordnung) vom 17. September 1948 mit Änderungen vom 11. Mai 2010. HmbBL I 791-i

FHH – Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt) (2006): Dezentrale naturnahe Regenwasserbewirtschaftung. Ein Leitfaden für Planer, Architekten, Ingenieure und Bauunternehmer.

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V (FLL) (2010): Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau: Empfehlungen für Baumpflanzungen, Teil 2 – Standortvorbereitungen für Neupflanzungen; Pflanzgruben und Wurzelraumerweiterung, Bauweisen und Substrate. Bonn

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V (FLL) (2015): Empfehlungen für Baumpflanzungen, Teil 1: Planung, Pflanzarbeiten, Pflege. FLL, 2. Ausgabe, Bonn.

Friedrich, M.; Remmele, S.; Kromer, B. et al. (2004): The 12,460-year Hohenheim oak and pine tree-ring chronology from central Europe—a unique annual record for radiocarbon calibration and paleoenvironment reconstructions. Radiocarbon 46 (3): 1111–22.

Fritts, H. C. (1976): Tree rings and climate. 567 S. Academic, San Diego, Calif.

Fröhlich, J.; Knieling, J.; Schaerffer, M. et al. (2011): Instrumente der regionalen Raumordnung und Raumentwicklung zur Anpassung an den Klimawandel. HafenCity Universität Hamburg. Neopolis Working Papers: Urban and Regional Studies, no 10. Hamburg.

GALK (Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz e.V.) (2015): GALK-Straßenbaumliste des Arbeitskreises Stadtbäume. Frankfurt am Main.

García-Suárez, A.M.; Butler, C.J. und Baillie, M.G.L. (2009): Climate Signal in Tree-Ring Chronologies in a Temperate Climate: A Multi-Species Approach. Dendrochronologia 27 (3): 183–198.

Gartner, B. L.; Aloni, R.;Funada, R. et al. (2002): Clues for dendrochronology from studies of wood structure and function. Dendrochronologia 20 (1): 53–61.

Gemeinde Lilienthal: Merkblatt zur Versickerung von Oberflächenwasser. Vorgaben für die Planung von privaten Bauvorhaben. Lilienthal.

GEO-NET Umweltconsulting GmbH und Gross, G. (2012): Stadtklimatische Bestandsaufnahme und Bewertung für das Landschaftsprogramm Hamburg: Klimaanalyse und Klimawandelszenario 2050. Hannover (http://www.hamburg.de/contentblob/3957522/data/gutachten-stadtklima.pdf)

Ghosh, O. und Brand, W.A. (2003): Stable isotope ratio mass spectrometry in global climate change research. International Journal of Mass Spectrometry 228: 1-33.

Gilbert, M.; Guichard, S.; Freise, J. et al. (2005): Forecasting Cameraria Ohridella Invasion Dynamics in Recently Invaded Countries: From Validation to Prediction: A Priori Prediction of Invasion Dynamics. Journal of Applied Ecology 42 (5): 805–813.

Gillner, S; Vogt, J.; Tharang, A. et al. (2015): Mikroklimatische Wirkung von Straßenbäumen - Effektive Kühler. Gartendesign 02: 33-36.

Gillner, S. (2012): Stadtbäume im Klimawandel - Dendrochronologische und physiologische Untersuchungen zur Identifikation der Trockenstressempfindlichkeit häufig verwendeter Stadtbaumarten in Dresden. Dissertation. TU Dresden, Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften. Dresden.

Gillner, S.; Bräuning, A. und Roloff, A.(2014): Dendrochronological analysis of urban trees: climatic response and impact of drought on frequently used tree species. Trees 28 (4): 1079–1093.

Gillner, S.; Korn, S. und Roloff, A. (2015): Leaf-Gas Exchange of five tree species at urban stree sites. Arboriculture & Urban Forestry 41 (3): 113-124.

Gillner, S.; Vogt, J. und Roloff, A. (2013): Climatic response and impact of drought on oaks at urban and forest sites. Urban Forestry & Urban Greening 12: 597-605.

Goss, J. und Schönfeld, P. (2014): Straßenbaumarten und ihre Ansprüche an den pH-Wert. PROBAUM 2/2014, Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Abteilung Landespflege (Hrsg.). S. 11-14. https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/landespflege/dateien/baeume_phwert.pdf (abgerufen am 6.03.2018).

Gras, B.; Jaeger, C. und Sievers, S. (2000): Gehalte an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Oberböden Hamburgs. Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung – Z. Umweltchem. Ökotox. 12 (2): 75-82.

Gregory, A.J.; Atkins, J.P.; Burdon, D. et al. (2013): A problem structuring method for ecosystem-based management: The DPSIR modelling process. In: European Journal of Operational Research (227): 558–569.

Gregory, J. H., Dukes, M. D., Jones, P. H., & Miller, G. L. (2006): Effect of urban soil compaction on infiltration rate. Journal of soil and water conservation, 61(3), 117-124.

Greinert, A. (2015): The heterogeneity of urban soils in the light of their properties. J Soils Sediments 15: 1725-1737. DOI: 10.1007/s11368-014-1054-6.

Hage, K.D. (1975): Urban-Rural Humidity Differences. Journal of Applied Meteorology 14: 1277-1283.

Hain, B. und Schönthaler, K. (2004): Naturwissenschaftliche Anforderungen an Umweltindikatoren. In: Wiggering, Hubert; Müller, Felix (Hrsg.): Umweltziele und Indikatoren. Wissenschaftliche Anforderungen an ihre Festlegung und Fallbeispiele. Springer, Berlin Heidelberg: 141–162.

HamAbwG (2001): Hamburgisches Abwassergesetz in der Fassung vom 24. Juni 2001. In: HmbGVBl. 2001, S. 258, Hamburg.

Hartl-Meier, C.; Zang, C.; Büntgen, U. et al. (2014): Uniform climate sensitivity in tree-ring stable isotopes across species and sites in a mid-latitude temperate forest. Tree Physiology 35(1): 4-15.

Henninger, S. (Hrsg.) (2011): Stadtökologie: Bausteine des Ökosystems Stadt. Verlag Ferdinand Schöningh GmbH & Co. KG, Paderborn.

HmbGVBl. (2013): Bebauungsplan Ohlsdorf 36, Landesbetrieb Geoinfrmation und Vermessung, Freie und Hansestadt Hamburg, S. 536. Abrufbar unter: http://daten-hamburg.de/infrastruktur_bauen_wohnen/bebauungsplaene/pdfs/bplan/Ohlsdorf26.pdf.

Hoffmann, A.; Gruehn, D. (2010): Bedeutung von Freiräumen und Grünflächen in deutschen Groß- und Mittelstädten für den Wert von Grundstücken und Immobilien', LLP-report 015.

Horn, R. (1992): Böden als Pflanzenstandorte. In: Blume, H.-P (Hrsg.), 1992: Handbuch des Bodenschutzes. 2. Auflage. Ecomed Verlagsgesellschaft mbH, Landsberg/Lech.

http://www.norddeutscher-klimamonitor.de/klima/1986-2015/jahr/durchschnittliche-temperatur/norddeutschland/e-obs-14-0.html (Abfrage am 08.12.2017)

Hultine, K. R.; Marshall, J.D. (2000): Altitude Trends in Conifer Leaf Morphology and Stable Carbon Isotope Composition. Oecologia 123 (1): 32–40.

IPCC Fifth Assessment Report: The Physical Science Basis. (2013): Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sao Paolo, Dehli, Mexico City: Cambridge University Press. Online unter: www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf (Abfrage am 20.09.2015).

Jänicke, M.; Zieschank, R. (2004): Zielbildung und Indikatoren in der Umweltpolitik. In: Wiggering H. und Müller, F. (Hrsg.): Umweltziele und Indikatoren. Wissenschaftliche Anforderungen an ihre Festlegung und Fallbeispiele. Springer, Berlin Heidelberg: 39–62.

Jessel, B.; Tobias, K. (2002): Ökologisch orientierte Planung: Eine Einführung in Theorien, Daten und Methoden. Ulmer, Stuttgart.

Kane, J. M.; Kolb, Z.E. (2010): Importance of Resin Ducts in Reducing Ponderosa Pine Mortality from Bark Beetle Attack. Oecologia 164 (3): 601–9.

Kasielske, T.; Buch, C. (2011): Urbane Böden im Ruhrgebiet. Online-Veröff. Bochumer Bot. Ver. 3 (7): 67-96. Online unter: http://www.researchgate.net/profile/Till_Kasielke/publication/273141337_Urbane_Bden_im_Ruhrgebiet/links/54f9dab40cf25371374ffc9e.pdf (Abfrage am 30.10.2015).

Keenan, T.F.; Hollinger, D.Y.; Bohrer, G. et al. (2013): Increase in forest water-use efficiency as atmospheric carbon dioxide concentrations rise. Nature 499 (7458): 324–327.

Kehr, R. (2012): Immer wieder neue Krankheiten an Bäumen. Vortrag bei den 19. Kasseler Gartenbautagen 2012. 52. Fachtagung des Vereins ehemaliger Gartenbauschüler Kassel-Oberzwehren.

Kehr, R. (2013): Wichtige Krankheiten und Schädlinge an Stadtbäumen. In: Roloff, A.: Bäume in der Stadt. Eugen Ulmer KG, Stuttgart (Hohenheim): 202-233.

Keim, R.F., Skaugset, A., Weiler, M. (2006): Storage of water on vegetation under simulated rainfall of varying intensity. Advances in Water Resources 29 (7): 974–986.

Kim, H.H. (1992): Urban heat island. International Journal of Remote Sensing 13 (12): 2319–2336.

KLIMZUG-NORD Verbund (Hrsg.) 2014: Kursbuch Klimaanpassung – Handlungsoptionen für die Metropolregion Hamburg. Hamburg.

Knopf, D. (2015): Stadtgrün im Klimawandel. Aspekte der Anpassung „grüner Infrastruktur". Vortrag am 28.07.2015 in Erfurt.

Koizumi, A.; Motoyama, J.; Sawata, K. et al. (2010): Evaluation of Drag Coefficients of Poplar-Tree Crowns by a Field Test Method. Journal of Wood Science 56 (3): 189–193.

Körner, Ch.; Farquhar, G.D.; Wong, S.C. (1991): Carbon isotope discrimination by plants follows latitudinal and altitudinal trends. Oecologia 88 (1): 30–40.

Kretschmar, R. (1992): Gase und Wärme. In: Blume, H.P. (Hrsg.), 1992: Handbuch des Bodenschutzes. 2. Auflage. Ecomed Verlagsgesellschaft mbH, Landsberg/Lech, 414-431.

Krieter, M.; Malkus, A. (1996): Untersuchungen zur Standortoptimierung von Straßenbäumen. Ergebnisse eines FLL-Pflanzversuches von tilia pallida in 14 deutschen Städten. FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V.) (Hrsg). Bonn.

Krieter, M. (1986): Untersuchungen von Bodeneigenschaften und Wurzelverteilungen an Straßenbaumstandorten (Linde). Tagungsband 4. Osnabrücker Baumpflegetage. Osnabrück.

Krieter, M. (1996): Neue Erkenntnisse über die Neupflanzung von innerstädtischen Straßenbäumen. Tagungsband: 14. Osnabrücker Baumpflegetage. Osnabrück.

Kruse, E.; Zimmermann, T.; Kittel, A.; Dickhaut, W.; Knieling, J.; Sörensen, C. (Hrsg.) (2014): Stadtentwicklung und Klimaanpassung: Klimafolden, Anpassungskonzepte und Bewusstseinbildung beispielhaft dargestellt am Einzugsgebiet der Wandse, Hamburg. Hamburg. Abrufbar unter: http://klimzug-nord.de/index-php/page/2009-05-25-Publikationen.

Kruse, Elke (2015): Integriertes Regenwassermanagement für den wassersensiblen Umbau von Städten. Großräumige Gestaltungsstrategien, Planungsinstrumente und Arbeitsschritte für die Qualifizierung innerstädtischer Bestandgebiete. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.

Kuttler, W. (2009): Klimatologie. Grundriss Allgemeine Geographie. Verlag Ferdinand Schöningh, Paderborn.

Kuttler, W. (2011): Klimawandel im urbanen Bereich, Teil 1, Wirkungen. In: Environmental Sciences Europe. Nr. 23. S. 11. Online unter: http://www.enveurope.com/content/23/1/11 (Abfrage am 29.12.2011).

Kuttler, W. (2011): Klimawandel im urbanen Bereich, Teil 2, Maßnahmen. In: Environmental Sciences Europe. Nr. 23. S. 21. Online unter: http://www.enveurope.com/content/23/1/21 (Abfrage am 29.12.2011).

Kuttler, W. (2013) Klimatologie. UTB Geographie, Klima. Verlag Ferdinand Schöningh, Paderborn.

LAGA (2015): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-1 „Rekultivierungsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen“ , erstellt durch LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“.

Landeshauptstadt Hannover (2015): Informationen des Fachbereichs Umwelt und Stadtgrün- Bereich Forsten, Landschaftsräume und Naturschutz für Bauherren,

Landeshauptstadt München (2013): Baumschutzverordnung der Landeshauptstadt München vom 18. Januar 2013, MüABl.

Landeshauptstadt München (Baureferat/Gartenbau) (2007): Beurteilung von Baumarten für die Verwendung im städtischen Straßenraum. Straßenbaumliste der Stadt München Baureferat Gartenbau. Stand 2007. München.

Landeshauptstadt München (Baureferat/Gartenbau) (2012): Leitfaden zur Verwendung von Straßenbäumen in München. Stand 18.04.2012. München.

Landeshauptstadt München (Baureferat/Gartenbau) (2016): Zusätzliche Technische Vorschriften für die Herstellung und Anwendung verbesserter Vegetationstragschichten. ZTV-Vegetationstragschichten. (ZTV-Vegtra-Mü). Version 15.07.2016. München.

LANUV (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) (2011): NRW auf dem Weg zu einem Klimafolgenmonitoring. Vortrag am 21.03.2011 auf der 17. LIKI-Sitzung in Bonn.

LANUV (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) (2011): Klimafolgenmonitoring in Nordrhein-Westfalen. Online unter: http://www.lanuv.nrw.de/kfm-indikatoren/index.php (Abfrage am 09.11.2015).

Latte, N.; Lebourgeois, F.; Claessens, H. (2015): Increased tree-growth synchronization of beech (Fagus sylvatica L.) in response to climate change in northwestern Europe. Dendrochronologia 22: 69-77.

Le Houérou, H.N. (1996): Climate change, drought and desertification. Journal of Arid Environments 34 (2): 133–85.

Leavitt, S. W. (2010): Tree-ring C–H–O isotope variability and sampling. Science of the Total Environment 408 (22): 5244–53.

Lee, D.O. (1991): Urban-rural humidity differences in London. International Journal of climatology 11: 577-582.

Leh, H.-O.; Sünder, A. (1989): Untersuchungen zur Ermittlung der Ursachen von Schäden an Straßenbäumen in Berlin sowie Erarbeitung/Erprobung von Gegenmaßnahmen. Gutachterauftrag, Abschlußbericht; Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz, Berlin.

Leuzinger, S.; Vogt, R.; Körner, C. (2010): Tree surface temperature in an urban environment. Agricultural and Forest Meteorology, 150(1): 56-62.

LIKI (Länderinitiative Kernindikatoren) (2015a): Klimawandel und Vegetationsentwicklung. Online unter: http://www.lanuv.nrw.de/liki/index.php?indikator=35&aufzu=1&mode=indi (Abfrage am 10.11.2015).

LIKI (Länderinitiative Kernindikatoren) (2015): Waldzustand. Online unter: http://www.lanuv.nrw.de/liki/index.php?indikator=30&aufzu=2&mode=indi (Abfrage am 10.11.2015).

Lipp, J.; Trimborn, P.; Fritz, P.; Moser, H.; Becker, B.; Frenzel, B. (1991): Stable isotopes in tree ring cellulose and climatic change. Tellus B 43: 322-330.

Loader, N. J.; Santillo, P.M.; Woodman-Ralph, J.P. et al. (2008): Multiple stable isotopes from oak trees in southwestern Scotland and the potential for stable isotope dendroclimatology in maritime climatic regions. Chemical Geology 252 (1): 62–71.

Locosselli, Giuliano Maselli; Buckeridge, Marcos Silveira (2017): Dendrobiochemistry, a missing link to further understand carbon allocation during growth and decline of trees. Trees 31 (6), pp. 1745–1758.

Locosselli, Giuliano Maselli; Buckeridge, Marcos Silveira (2017): Dendrobiochemistry, a missing link to further understand carbon allocation during growth and decline of trees. Trees 31 (6), pp. 1745–1758.

Lough, JM; Fritts, HC (1987): An assessment of the possible effects of volcanic eruptions on North American climate using tree-ring data, 1602 to 1900 A.D. Clim Change 10:219–239

Lux, W. (1986): Schwermetallgehalte und –isoplethen in Böden, subhydrischenAblagerungen und Pflanzen im Südosten Hamburgs – Beurteilung eines Immissionsgebietes. Dissertation. Verein zur Förderung der Bodenkunde in Hamburg (Hrsg.): Hamburger Bodenkundliche Arbeiten. Band 5. Hamburg.

LWG Bayern (Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau) (2004): Mit Pflanzen versickern. Versickerungsmulden standortgerecht bepflanzt. Würzburg/Veitshöchheim.

Marion, L.; Gričar, J.; Oven, P. (2007): Wood formation in urban Norway maple trees studied by the micro-coring method. Intra-annual analyses of wood formation 25 (2): 97–102.

Maurel, M.; Robin, C.; Capron, G. et al. (2001): Effects of root damage associated with Phytophthora cinnamomi on water relations, biomass accumulation, mineral nutrition and vulnerability to water deficit of five oak and chestnut species. Forest Pathology 31(6): 353-369.

McCarroll, D.; Loader, N.J. (2004) Stable isotopes in tree rings. Quaternary Science Reviews 23: 771-801.

McDowell, N.; Pockman, W.T.; Allen, C.D. et al. (2008): Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought. New Phytologist 178 (4):719-739.

Meinke, I.; Gerstner E.-M. (2009): Digitaler Norddeutscher Klimaatlas informiert über möglichen künftigen Klimawandel. DMG Mitteilungen 3-2009, 17. Online unter: http://www.dmg-ev.de/gesellschaft/publikationen/pdf/dmg-mitteilungen/2009_3.pdf (Abfrage am 10.08.2015).

Meinke, I.; Maneke, M.; Riecke, W.; Tinz, B. (2014): Norddeutscher Klimamonitor – Klimazustand und Klimaentwicklung in Norddeutschland innerhalb der letzten 60 Jahre (1951-2010). Mitteilungen DMG 01/2014. URL: https://www.hzg.de/imperia/md/content/klimabuero/norddeutscher_klimamonitor.pdf

Meinke, I.; Rechid, D.; Tinz, B.; Maneke, M.; Lefebvre, C.; Isokeit, E. (2018). Klima der Region–Zustand, bisherige Entwicklung und mögliche Änderungen bis 2100. In: Von Storch, H.; Meinke, I.; Claussen, M. (Hrsg.): Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland, Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, pp. 15-36.

Miehlich, G. (2010): Die Böden Hamburgs. In: Poppendieck u.a. (Hrsg.): Der Hamburger Pflanzenatlas. Dölling und Galitz Verlag München, Hamburg: 18–27.

Mitchell, P. J.; O'Grady, A. P.; Tissue, D. T.; Worledge, D.; Pinkard, E. A. (2014): Co-ordination of growth, gas exchange and hydraulics define the carbon safety margin in tree species with contrasting drought strategies. Tree physiology 34 (5), pp. 443–458.

Mitchell, P. J.; O'Grady, A. P.; Tissue, D. T.; Worledge, D.; Pinkard, E. A. (2014): Co-ordination of growth, gas exchange and hydraulics define the carbon safety margin in tree species with contrasting drought strategies. Tree physiology 34 (5), pp. 443–458.

MKULNV NRW (Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) (2011): Handbuch Stadtklima. Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel. Düsseldorf.

Mölder, I.; Leuschner, C.; Leuschner, H.H. (2011): d13C signature of tree rings and radial increment of Fagus sylvatica trees as dependent on tree neighborhood and climate. Trees 25: 215-229.

Morel, JL.; Burghardt, W.; Kye-Hoon, JK. (2017): The challenges for soils in the urban environment. In: Levin, MJ. Kim, K-HJ.; Morel, JL. (eds.): Soils within cities: Global approaches to their sustainable management – composition, properties, and functions of soils of the urban environment, pp 1–6

Morison, J.I.L. (1985): Sensitivity of stomata and water use efficiency to high CO_2. Plant, Cell & Environment 8 (6): 467–474.

MORO Klamis (Modellvorhaben der Raumordnung zur Klimaanpassung in Mittel- und Südhessen) (2011): Kommunen im Klimawandel – Wege zur Anpassung. Hanau.

MU Niedersachsen (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz. Regierungskommission Klimaschutz) (2012): Empfehlungen für eine niedersächsische Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels. Hannover.

Müller, F.; Wiggering, H. (2004): Umweltindikatoren als Maßstäbe zur Bewertung von Umweltzuständen und -entwicklungen. In: Wiggering, H.; Müller, F. (Hrsg.): Umweltziele und Indikatoren. Wissenschaftliche Anforderungen an ihre Festlegung und Fallbeispiele. Springer, Berlin Heidelberg: 122–128.

Nardini, A.; Casolo, V.; Dal Borgo, A. et al. (2015): Rooting depth, water relations and non-structural carbohydrate dynamics in three woody angiosperms differentially affected by an extreme summer drought. Plant, Cell & Environmen,. doi: 10.1111/pce.12646.

New York City (Department of Environmental Protection) (2013): NYC Green Infrastructure. 2013 Annual Report. New York.

New York City (Department of Environmental Protection): Green Infrastructure – Right Of Way Bioswale. New York. Online unter: http://www.nyc.gov/html/dep/pdf/green_infrastructure/dep_rowb_renderings.pdf (Abfrage am 12.10.2015).

New York City (Department of Parks & Recreation) (2015): Street Tree Planting. Online unter http://www.nycgovparks.org/trees/street-tree-planting (Abfrage am 09.02.2015).

Nikulin, G.; Kjellström, E.; Hansson, U. et al. (2011): Evaluation and future projections of temperature, precipitation and wind extremes over Europe in an ensemble of regional climate simulations. Tellus A 63 (1): 41–55.

Norddeutsches Klimabüro und Deutscher Wetterdienst (2017): Norddeutscher Klimamonitor.

OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) (1994): Environmental Indicators. OECD core sets. OECD Publications. Paris.

OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) (2001): Environmental Indicators – towards sustainable development. OECD Publications. Paris.

Oke, T.R. (1973): City size and the urban heat island. Atmospheric Environment (1967) 7 (8): 769–79.

Omann, I.; Stocker, A.; Jäger, J. (2009): Climate change as a threat to biodiversity: An application of the DPSIR approach. In: Ecological Economics (69): 24–31.

Ottitsch, A.; Krott, M. (2005): Urban Forest Policy and Planning. In: Konijnendijk, C.; Nilsson, K.; Randrup, T.; Schipperijn, J. (Hrsg.): Urban Forests and Trees. Springer. Berlin/Heidelberg: 117–148.

Patz, J.A.; Campbell-Lendrum, D.; Holloway, T. et al. (2005): Impact of regional climate change on human health. In: Nature Publishing Group. Vol. 438/17: 310-317.

Pautasso, M.; Döring, T.F.; Garbelotto, M. et al. (2012): Impacts of Climate Change on Plant Diseases—opinions and Trends. European Journal of Plant Pathology 133 (1): 295–313.

Percival, G.C. (2005): The use of chlorophyll fluorescence to identify chemical and environmental stress in leaf tissue of three oak (Quercus) species. Journal of Arboriculture 31 (5): 215-227.

Petersen, A.; Eckstein, D. (1988): Anatomische und physiologische Untersuchungen an Stadtbäumen in Hamburg: Holzbildung – Wasserhaushalt – Biomasse. In: Umweltbehörde: Abschlussbericht über das Forschungsvorhaben „Sanierung umweltgeschädigter Strassenbäume und -böden sowie Ermittlung geeigneter Schutzmassnahmen bei Neupflanzungen (mit Erweiterung auf Parkbäume und –böden). Naturschutz und Landschaftspflege in Hamburg (22): 187-228.

Petersen, A.; Eckstein, D.; Liese, W. (1982): Holzbiologische Untersuchungen über den Einfluss von Auftausalz auf Hamburger Straßenbäume. Forstwissenschaftliches Zentralblatt 101 (1): 353-365.

Pfeiffer, E.-M. (1985): Veränderung der Ionengehalte streusalzgeschädigter Straßenbäume durch Bodensanierung im Hamburger Stadtgebiet. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, 4. Hamburg. (Dissertation)

Pichler, P.; Oberhuber, W. (2007): Radial growth response of coniferous forest trees in an inner Alpine environment to heat-wave in 2003. Forest Ecology and Management 242 (2–3): 688–99.

Pouyat RV, Pataki DE, Belt KT, Groffman PM, Hom J, Band LE (2007): Effects of Urban Land-Use Change on Biogeochemical Cycles. In: Canadell JG, Pataki DE, Pitelka LF (eds) Terrestrial Ecosystems in a Changing World. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp 45–58.

Pretzsch, Hans; Biber, Peter; Uhl, Enno; Dahlhausen, Jens; Schütze, Gerhard; Perkins, Diana et al. (2017): Climate change accelerates growth of urban trees in metropolises worldwide. Sci Rep 7 (1), p. 862-872.

Pretzsch, Hans; Biber, Peter; Uhl, Enno; Dahlhausen, Jens; Schütze, Gerhard; Perkins, Diana et al. (2017): Climate change accelerates growth of urban trees in metropolises worldwide. Sci Rep 7 (1), p. 862-872.

Priebs, A. (1998): Instrumente der Planung und Umsetzung. In: Ritter, E.-H. und Benz, A. (Hrsg.): Methoden und Instrumente räumlicher Planung. Handbuch. Verlag der ARL, Hannover: 205–221.

Rechid, D.; Petersen, J.; Schoetter, R. et al. (2014): Klimaprojektionen für die Metropolregion Hamburg. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Band 1. TuTech Verlag, Hamburg.

Roloff, A. (2013): Bäume in der Stadt. Besonderheiten – Funktion – Nutzen – Arten – Risiken. Ulmer. Stuttgart (Hohenheim).

Roloff, A. (2013): Stadt- und Straßenbäume der Zukunft – welche Arten sind geeignet? In: Roloff, A., Thiel, D. und Weiß, H. (Hrsg.): Aktuelle Fragen der Stadtbaumplanung, -pflege und -verwendung (Tagungsband Dresdner StadtBaumtage 14./15.03.2013) Forstwiss. Beiträge Tharandt Beiheft Bd. 14: 173-187.

Roloff, A.; Korn, S.; Gillner, S. (2008): The Climate-Species-Matrix to select tree species for urban habitats considering climate change. Urban Forestry & Urban Greening 8: 295-308.

Rößler, S. (2015): Klimawandelgerechte Stadtentwicklung durch grüne Infrastruktur. Raumforschung und Raumordnung (73): 123–132.

Rozas, V.; DeSoto, L.; Olano, J.M. (2009): Sex-Specific, Age-Dependent Sensitivity of Tree-Ring Growth to Climate in the Dioecious Tree Juniperus thurifera. New Phytologist 182 (3): 687–97.

Rozas, V.; Lamas, S.; García-González, I. (2009): Differential tree-growth responses to local and large-scale climatic variation in two Pinus and two Quercus species in northwest Spain. Ecoscience 16 (3): 299–310.

Ruge, U. (1978): Physiologische Schäden durch Umweltfaktoren. In: Meyer, F. H. (Hrsg.): Bäume in der Stadt. Stuttgart: Ulmer Verlag. 121 - 181. In: Eckstein, D.; Liese, W. (1981): Dendroklimatologische Untersuchungen zur Entwicklung von Straßenbäumen. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 100(1): 381-396.

Rust, S. (2008): Stress bei Bäumen. In: A. Roloff (Hrsg.) Baumpflege: baumbiologische Grundlagen und Anwendung. Eugen Ulmer KG, Stuttgart: 58-64.

Saurer, M.; Borella, S.; Schweingruber, F. et al. (1997): Stable carbon isotopes in tree rings of beech: climatic versus site-related influences. Trees 11 (5): 291–297.

Saurer, M.; Siegenthaler, U.; Schweingruber, F. (1995): The climate-carbon isotope relationship in tree rings and the significance of site conditions. Tellus B 47(3): 320-330.

Savard, M. M. (2010): Tree-ring stable isotopes and historical perspectives on pollution – An overview. Advances of air pollution science: from forest decline to multiple-stress effects on forest ecosystem services 158 (6): 2007–13.

Scharnweber, T.; Manthey, M.; Criegee, C. et al. (2011): Drought matters – Declining precipitation influences growth of Fagus sylvatica L. and Quercus robur L. in north-eastern Germany. Forest Ecology and Management 262 (6): 947–961.

Scheidegger, Y.; Saurer, M.; Bahn, M. et al. (2000): Linking stable oxygen and carbon isotopes with stomatal conductance and photosynthetic capacity: a conceptual model. Oecologia 125: 350-357.

Schempp, S.; Oßenbrügge, J. (2015): Ökonomische Instrumente zur Förderung der Anpassung an den Klimawandel in der Metropolregion Hamburg. Eine Situationsanalyse. In: Knieling, J.; Roßnagel, A.: Governance der Klimanpassung. Akteure, Organisation und Instrumente für Stadt und Region. KLIMZUG – Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten, Band 6. Oekom Verlag, München: 323-340.

Schickhoff, U., Eschenbach, A. (2017): Terrestrische und semiterrestrische Ökosysteme, In: Storch, H.; Meinke, I.; Claußen, M. (eds.), Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland, DOI 10.1007/978-3-662-55379

Schickhoff, U.; Eschenbach, A. (2018): Terrestrische und semiterrestrische Ökosysteme. In: Storch, H.; Meinke, I.; Claußen, M. (eds.) Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Springer Spektrum. Kapitel 6. S. 111-145

Schipka, F. (2002): Blattwasserzustand und Wasserumsatz von vier Buchenwäldern eines Niederschlagsgradienten in Mitteldeutschland. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen.

Schleser, G. H. (1992): (delta)^(13)C Pattern in a Forest Tree as an Indicator of Carbon Transfer in Trees. Ecology 73 (5): 1922–1925.

Schlünzen, K.H.; Hoffmann, P.; Rosenhagen, G. et al. (2010): Long-term changes and regional differences in temperatures and precipitation in the metropolitan area of Hamburg. Int. J. Climatol. 30: 1121-1136.

Schröder, K.: Zur Optimierung von Baumstandorten. Lotte/ Osnabrück.

Schweingruber, F. H. (1993): Tree and Wood in Dendrochronology: Morphological, anatomical, and tree-ring analytical characteristics of trees frequently used in dendrochronology. Springer-Verlag.Berlin Heidelberg.

Schweingruber, F. H. (1996): Tree Rings and Environment. Dendroecology. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt. 609 pp.

Schwierz, C.; Köllner-Heck, P.; Zenklusen Mutter, E. et al. (2010): Modelling European Winter Wind Storm Losses in Current and Future Climate. Climatic Change 101 (3-4): 485–514.

Selle, K. (2000): Freiraum, Siedlung Kooperationen. Forschungsergebnisse, Hinweise für die Praxis, Folgerungen. Arbeits- und Organisationsformen für eine nachhaltige Entwicklung, 1. Dortmunder Vertrieb für Bau- und Planungsliteratur, Dortmund.

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (2011): Stadtentwicklungsplan Klima (STEP). Urbane Lebensqualität im Klimawandel sichern. Berlin.

Spangenberg, J.H.; Martinez-Alier, J.; Omann, I. et al. (2009): The DPSIR scheme for analysing biodiversity loss and developing preservation strategies. In: Ecological Economics (69): 9–11.

Statistische Ämter der Länder (2012): Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder, Information und Technik Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf.

Steppe, K.; Niinemets, Ü.; Teskey, R.O. (2011): Chapter 9: Tree Size-and Age-Related Changes in Leaf Physiology and Their Influence on Carbon Gain. In Size- and Age-Related Changes in Tree Structures and Function. Springer, Dodrecht, Heidelberg, London, New York.

Surholt, B.; Baal, T. (1995): Die Bedeutung blühender Silberlinden (Tilia tomentosa) für Insekten im Hochsommer. Natur und Landschaft 70 (6): 252-258.

Swoczyna, T.; Kalaji, H.M.; Pietkiewicz, S. et al. (2010): Photosynthetic apparatus efficiency of eight tree taxa as an indicator of their tolerance to urban environments. Dendrobiology 63: 65-75.

Taugs, R. (2016): Bodenschutz in der Metropole Hamburg. Bodenschutz 21 (3) S.69

UBA (Umweltbundesamt) (2011): DPSIR-System. http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do;jsessionid=2EFBDE91AE2DA523F42E8F03A6493B0F?ident=16875 (Abfrage am 30.09.2011).

UBA (Umweltbundesamt) (2011): Entwicklung eines Indikatorensystems für die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS). Climate Change 02/2011. Dessau-Roßlau.

Umsetzung und Betrieb. MURIEL Publikation.

Umweltbehörde Hamburg (1994): Umweltatlas Hamburg 1994. Hamburg.

United States Environmental Protection Agency (2013): Stormwater to Street Trees: Engineering Urban Forests for Stormwater Management. Washington, D.C.

Van der Werf, G.W.; Sass-Klaassen, U.G.W. und Mohren, G.M.J. (2007): The impact of the 2003 summer drought on the intra-annual growth pattern of beech (Fagus sylvatica L.) and oak (Quercus robur L.) on a dry site in the Netherlands. Intra-annual analyses of wood formation 25 (2): 103–12.

Verlinden, M. S.; Fichot, R.; Broeck, L.S. et al. (2015): Carbon isotope compositions (δ13C) of leaf, wood and holocellulose differ among genotypes of poplar and between previous land uses in a short-rotation biomass plantation. Plant, Cell & Environment 38: 144-156.

Veste, M.; Kriebitzsch, W.-U. (2013): Einfluss von Trockenstress auf Photosynthese, Transpiration und Wachstum junger Robinien (Robinia pseudoacacia L.). Forstarchiv 84 (2): 35-42.

Von Storch, H.; Claussen, M. (Hrsg.) (2012): Klimabericht für die Metropolregion Hamburg. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Vybornova, O. (2012): Schadstoffe in Stadtböden: Aktuelle Situation der Schwermetallbelastung in Straßenrandböden an ausgewählten Standorten im Hamburger Stadtgebiet. Masterarbeit. Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg, Hamburg.

Warren, C. R.; McGrath, J.F. und Adams, M.A. (2001): Water Availability and Carbon Isotope Discrimination in Conifers. Oecologia 127 (4): 476–86.

Weritz, N. (1990): Mikrobielle Untersuchungen in Stadtböden unterschiedlicher Nutzung und Schwermetallbelastung zur Charakterisierung der Bodenfunktionalität. Dissertation. Trier. S. 175 (198 mit Anhang).

Wessolek, G. (2001): Bodenüberformung und –versiegelung. In: Blume et al.: Handbuch der Bodenkunde. Ergänzbares Handbuch. 11. Erg. Lfg. 04/01.

Westphal, M.I.; Browne, M.; MacKinnon, K.; Noble, I. (2008): The Link between International Trade and the Global Distribution of Invasive Alien Species. Biological Invasions 10 (4): 391–398.

WHG, Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz) (2009): § 58 Einleiten von Abwasser in öffentliche Abwasseranlagen, Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz.

Wiemann, M. C.; Wheeler, E.A.; Manchester, S.R. et al. (1998): Dicotyledonous wood anatomical characters as predictors of climate. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 139 (1): 83–100.

Wiesner, S.; Eschenbach, A.; Ament, F. (2014): Urban air temperature anomalies and their relation to soil moisture observed in the city of Hamburg. Meteorologische Zeitschrift, 23(2), 143-157. doi:10.1127/0941-2948/2014/0571.

Wiesner, S.; Gröngröft, A.; Ament, F.; Eschenbach, A. (2016): Spatial and temporal variability of urban soil water dynamics observed by a soil monitoring network. Journal of Soils and Sediments, 1-15. doi:10.1007/s11368-016-1385-6.

Wiesner, S. (2013): Observing the impact of soils on local urban climate. Dissertation. Universität Hamburg, Hamburg.

Wiesner, S.; Eschenbach, A.; Ament, F. (2014): Urban air temperature anomalies and their relation to soil moisture observed in the city of Hamburg. Meteorologische Zeitschrift 23 (2): 143-157.

Wilkinson, P.; Campbell-Lendrum, D.H.; Bartlett, C.L. (2003): Monitoring the health effects of climate change. In: McMichael, A. (Hrsg.): Climate Change and Human Health. Risk and Responses. World Health Organisation. Geneva: 204-219.

Wimmer, R. (2002): Wood anatomical features in tree-rings as indicators of environmental change. Dendrochronologia 20 (1–2): 21–36.

Wittig, R. (2002): Siedlungsvegetation. Ökosysteme Mitteleuropas aus geobotanischer Sicht. Pott, Richard (Hrsg.), Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart.

Wittig, R. (2008): Siedlungsvegetation: 40 Tabellen. Ökosysteme Mitteleuropas aus geobotanischer Sicht. Eugen Ulmer KG, Stuttgart (Hohenheim).

Wolff, R. (1993): Erfassung, Beschreibung und funktionale Bewertung der Eigenschaften von Stadtböden am Beispiel Hamburgs. Dissertation. Universität Hamburg (Hrsg.: Verein zur Förderung der Bodenkunde in Hamburg). Hamburg.

Wolff, R. (1996): Das Infiltrationspotential von Stadtböden am Beispiel Hamburgs. In: Arbeitskreis Stadtböden der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft (Hrsg.): Urbaner Bodenschutz. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 69-81. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-79027-0_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.

Zhang, Z. (2015): Tree-rings, a key ecological indicator of environment and climate change. Ecological Indicators (51): 107–116.

ZTV-Vegtra-Mü (2002 + 2016): Landeshauptstadt München: "Zusätzliche Technische Vorschriften für die Herstellung und Anwendung verbesserter Vegetationstragschichten".

Bachelor-, Master und Auftragsarbeiten im Rahmen von SiK

Biber, Carmen (2016): **Advanced Urban Trees: How street trees can be part of the solution. An advanced system of urban tree pits to be included in decentralized stormwater management.** MSc-Thesis, HCU

Biber, Carmen (2017): **Stadtbäume - Die Weiterentwicklung des Baumgrubensystems für bessere Wuchsbedingungen für Stadtbäume, Versickerungs- und speicherfähige Baumgruben.** Kurzfassung der MSc-Thesis, HCU

Biss, Sinje (2016): **Fluoreszenz-a Parameter und Kohlenstoffisotopensignatur bei Blättern zur Stressindikation bei Hamburger Straßenbäumen.** BSc-Thesis, UHH

Blume, Johanna (2017): **Einfluss von Klimafaktoren auf den Holzzuwachs bei Acer pseudoplatanus L. an Hamburger Straßenstandorten.** BSc-Thesis, UHH

Bock, Marvin (2015): **Kohlenstoffallokation mitteleuropäischer Stadtbäume unter Trockenstress vergleichend an den Arten Quercus robur, Quercus cerris, Acer platanoides, Acer pseudoplatanus und Tilia cordata.** BSc-Thesis, UHH

Friese, Annika (2016): **Dendrochronological study of Robinia pseudoacacia L. in the urban environment of Hamburg – climatic response and drought-tolerance.** BSc-Thesis, UHH

Kuqi, A. (2017): **Infiltrationsleistung von Böden an Stadtbaumstandorten.** BSc-Thesis, UHH

Lampa, Victoria (2018): **Dendrochronologische Studien am Spitzahorn (Acer platanoides L.) im Hamburger Stadtgebiet.** BSc-Thesis, UHH

Penthin, Gesa (2017): **Wurzelwachstum in Abhängigkeit von der Bodenwassverfügbarkeit bei Quercus cerris L. und Acer platanoides L.** BSc-Thesis, UHH

Oldörp, Mareike (2017): **Bäume in der Straßenraumplanung – Einfluss von Bürgerbeteiligungsverfahren auf Straßenbäume in Straßenplanungsverfahren.**

Ruprecht, M. (2018): **Charakterisierung des Gashaushalts an Stadtbaumstandorten.** BSc-Thesis, UHH

Schoroth, Marie (2015): **Zellwandelastizität und osmotisches Potenzial der Blätter von Acer platanoides, Acer pseudoplatanus und Tilia cordata auf Wasser-limitierten Standorten**. BSc-Thesis, UHH.

Schwab, Witali (2015): **Veränderung der Kohlenstoffisotopensignatur infolge von Trockenstress-Reaktionen – Vergleiche verschiedener Baum-Arten und Gewebe.** BSc-Thesis, UHH

Sinner, Alexej (2018): **13C-Signatur in Jahresringen von Scheinakazien (Robinia pseudoacacia L.) aus dem Hamburger Stadtgebiet** *[vorläufiger Titel].* BSc-Thesis, UHH

Steinhardt, Paul (2018): **13C-Signatur in Organen unterschiedlich trockenheitsempfindlicher Bäume bei kontrastierenden hydrologischen Bodenbedingungen – Vergleich von Acer platanoides, Ulmus laevis, Fraxinus excelsior und Robinia pseudoacacia.** BSc-Thesis, UHH

Strachwitz, M. Freifrau von (2017): **Einfluss der Standortfaktoren auf den Bodenwasserhaushalt während der Etablierungsphase junger Stadtbäume.** BSc-Thesis, UHH

Winkelmann, Annika (2016): **Straßenbäume in der Straßenbauplanung. Aktuelle Praxis in Hamburg und Möglichkeiten zur Anpassung an den Klimawandel.** BSc-Thesis, HCU

Zhorzel, Tobias (2018): **Stomatäre Reaktionsmuster unterschiedlich trockenheitsempfindlicher Bäume auf Trockenheit: Vergleich von Acer platanoides, Ulmus laevis, Fraxinus excelsior und Robinia pseudoacacia.** BSc-Thesis, UHH

Zander, F. (2016): **Schadstoffgehalte in Straßenrandböden an Stadtbaumstandorten.** MSc-Thesis, UHH

IV. Abbildungen und Tabellen

Abbildungen

Abb. 1.1 Ausschnitt aus dem frei zugänglichen Online-Baumkataster, Standort und Datenblatt im Straßenbaumkataster 8
Abb. 2.1 Infobox zur Aktion „Mein Baum – Meine Stadt. Ich mach' mit!" 10
Abb. 2.2 Anzahl der gepflanzten Bäume in Hamburg pro Jahr (1850-2016) , gleitender Durchschnitt alle 5 Jahre 12
Abb. 2.3 Kartenausschnitt zur Bodenversiegelung für das Jahr 2012 13
Abb. 3.1 Die 10 häufigsten Hamburger Straßenbaumarten in Prozent 18
Abb. 3.2 Die 10 häufigsten Hamburger Straßenbaumarten in absoluten Zahlen 18
Abb. 3.3 Feuchteverlauf April bis September und Niederschlagsverteilung der Sumpf-Eiche, Ericusspitze in Hamburg 22
Abb. 3.4 SIK-Monitoringstandorte für etablierte Straßenbäume, Jungbäume und Standorte mit Stressmessung 24
Abb.3.5 Niederschlagsdaten, Bodenwassergehalte und Bodenwasserspannungen am Standort Glacischaussee. 27
Abb 3.6 Auswirkung von Trockenheit auf den Jahresringzuwachs bei Hamburger Stadtbäumen 33
Abb. 4.1 Altersverteilung im Jahr 2016 aller Bäume, der Stiel-Eichen und der Platanen 37
Abb. 4.2 Anteil der Größenklassen in m an der Kronenfläche aller Straßenbäume in Hamburg 38
Abb. 4.3 Verteilung der Kronendurchmesser bei 1980 gepflanzten Bäumen im Jahr 2016 39
Abb. 4.4 Verteilung der Kronendurchmesser bei 1950 gepflanzten Bäumen im Jahr 2016 39
Abb. 4.5 Verteilung der Wuchszeit am Standort, bei dem der Kronendurchmesser von 10 m erreicht wurde 39
Abb. 4.6 Entwicklung der Kronendurchmesser bei Stieleichen, Hängebirken, Hainbuchen und Ahornblättrigen Platanen 40
Abb. 4.7 Pflanzgrube Typ 1 – mit oberirdischem Wasserzufluss und bepflanzter Baumscheibe 50
Abb. 4.8 Pflanzgrube Typ 2 – mit unterirdischem Wasserzufluss ohne Filter 50
Abb. 4.9 Pflanzgrube Typ 3 – mit Wasserversickerung im Tiefbeet 51
Abb. 4.10 Pflanzgrube Typ 4 – mit Zisterne zur Bewässerung 51
Abb. 4.11 Schnitt-Ansicht Baumgrubensystem für Stadtbäume 55
Abb. 5.1 Stadtspezifische Faktoren an Baumstandorten im städtischen Straßenraum 59
Abb. 5.2 DPSIR-System 61
Abb. 5.3 Beispiele aus dem GALK-Straßenbaumtest II für Allee- und Straßenbäume. 64
Abb. 5.4 Auswahl von Handlungsleitfäden zum Thema Stadtbäume im Klimawandel 68
Abb. 5.5 Organisation des Stadtbaummanagements in Hamburg 70
Abb. 6.1 Übersicht der für die Steckbriefe ausgewählten SIK-Baumstandorte. 74

Tabellen

Tab. 4.1 Maßnahmentypen zur Stadtbaumentwicklung 36
Tab. 4.2 Vorläufige Short-List von Baumarten und -sorten, die in Hamburg bereits als Straßenbäume vertreten sind oder für bestimmte Standorttypen in Frage kommen. 44
Tab. 4.3 Kriterien-Katalog für die Auswahl und Pflanzung von unterschiedlichen Baumarten und -sorten 45
Tab. 4.4 Unterscheidung von Pflanzgrubentypen nach Einleitung und Einstau von Regenwasser 49
Tab. 5.1 Indikatoren-Typen State, Impact und Response für Stadtbäume im Klimawandel 63
Tab. 6.1 Übersicht zu den Wirkungsfaktoren im Straßenraum in Abhängigkeit vom Stadtstrukturtyp 75

Das SiK-Team

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Dickhaut, HafenCity Universität Hamburg
Gerhard Doobe, Behörde für Umwelt und Energie, Hamburg (BUE)
Prof. Dr. Annette Eschenbach, Universität Hamburg
Dr. Mareike Fellmer, HafenCity Universität Hamburg
Dr. Alexander Gröngröft, Universität Hamburg
Prof. Dr. Kai Jensen, Universität Hamburg
Dr.-Ing. Johannes Lauer (ab 10/2017), HafenCity Universität Hamburg
Dr. Christoph Reissdorff, Universität Hamburg
Selina Titel, Universität Hamburg
Anna Sandner, Universität Hamburg
Annette Wagner, Behörde für Umwelt und Energie, Hamburg (BUE)

Die beteiligten Universitäten

HafenCity Universität Hamburg
FG Umweltgerechte Stadt- und Infrastrukturplanung

Das FG arbeitet im Rahmen von nationalen und internationalen Projekten (z.B. BMBF, BMVI, DBU, EU-INTEREG etc.) interdisziplinär an der Schnittstelle von Forschung und Planungspraxis.

Im Zentrum der Aktivitäten stehen aktuell Themen zur Anpassung der Wasserwirtschaft an zukünftige Veränderungen. Wasserwirtschaftlichen Maßnahmen werden hier mit stadt- und landschaftsplanerischenInstrumenten verzahnt und nachhaltig angepasst. In diesem Themenbereich sind u.a. die Forschungsprojekte „Stadtbäume im Klimawandel (SIK): Klimafolgen- Monitoring und Anpassung“ (BMUB) und „KLIMZUG-NORD“ (BMBF) und KLIQ (Klimaanpassung innerstädtisch verdichteterQuartiere; BUE_HH) angesiedelt.

Universität Hamburg
Institut für Bodenkunde, AG „Bodenschutz & Bodentechnologie“ (IfB)

Schwerpunkte der wissenschaftlichen Arbeit der AG sind u.a. die Erfassung und Bewertung von Eigenschaften und Leistungen urbaner und stark anthropogen überformter Böden. Im Rahmen des Exzellenzclusters CliSAP wird ein Messnetz zur Erfassung der Klimafunktion von Stadtböden gemeinsam mit der Meteorologie betrieben.
Als Teil des Projektes STUCK wird in dem REWAM Netzwerk unter anderem die Wasserregulationsleistung von Böden in urbanen Überschwemmungsflächen bewertet.

Universität Hamburg
Institut für Institut für Pflanzenwissenschaften und Mikrobiologie, AG Angewandte Pflanzenökologie

Schwerpunkte der wissenschaftlichen Arbeit der AG sind u.a. die Forschung nach den funktionalen Zusammenhängen in pflanzlichen Lebensgemeinschaften im urbanen Raum und in Küstenökosystemen. In SIK handelte es sich spezieller um ökophysiologische Themengebiete wie Stress und Anpassung bei Pflanzen.

Entwicklungskonzept Stadtbäume

Anpassungsstrategien an sich verändernde urbane und klimatische Rahmenbedingungen

Das Entwicklungskonzept Stadtbäume stellt eine strategische Handlungsgrundlage für die Freie und Hansestadt Hamburg dar, die helfen soll, den Altbaumbestand zu sichern sowie Standortanforderungen für künftige Pflanzungen und Vorschläge zur Eignung von Arten zu definieren. Dabei kann das Konzept dazu dienen, die Belange des Stadtgrüns besser zu kommunizieren und durchzusetzen.

Das Konzept ist auf Basis der Arbeiten in dem vom Bunderministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) und der Behörde für Umwelt und Energie der Freien und Hansestadt Hamburg (BUE) geförderten Forschungsprojektes "Stadtbäum im Klimawandel (SIK)" entstanden.

Das zentrale Ziel des Entwicklungskonzeptes ist die Anpassung des Hamburger Bestandes der Stadtbäume an den Klimawandel. Das Konzept beinhaltet einen Vorschlag für ein Klimafolgen-Monitoring für Straßenbäume sowie die Entwicklung von Strategien und Maßnahmen zur Anpassung der Straßenbäume an den Klimawandel. Die Vulnerabilität (Verwundbarkeit) von Baumarten gegenüber Trockenstress wird auf Basis einer umfangreichen Datenerhebung bewertet. Weiterhin werden Instrumente identifiziert und systematisiert, um die Planungen und Maßnahmen zu implementieren.

Im Rahmen des Vorhabens wurde ein interdisziplinärer regionaler Verbund „Stadtbäume im Klimawandel“ etabliert, in dem die grundlegenden Ergebnisse der Forschungsergebnisse und des Konzeptes diskutiert und reflektiert wurden.

Das Konzept wurde mit modellhaftem Charakter für den Straßenbaumbestand Hamburgs erarbeitet, so dass eine Übertragbarkeit auf andere Räume in Hamburg aber auch andere Städte in Deutschland grundsätzlich möglich wird.