

Stand April 2023

Bodensubstrat und Baumartenwahl für klimaangepasste Stadtbaumpflanzungen



Schlussfolgerungen und wissenschaftliche Handlungsempfehlungen

Basierend auf den wissenschaftlichen Ergebnissen des Projektes und dem in diesem Rahmen erfolgten Fachaustausch wurden folgende Handlungsempfehlungen abgeleitet. In Teilen wurde diese auf der Tagung „Zukunft der Stadtbäume im Klimawandel“ der Fachöffentlichkeit zur Diskussion gestellt. Der hier abgebildete Stand stellt dessen Weiterentwicklung dar. Diese sind für Hamburg erarbeitet, aber eine Übertragbarkeit auf andere Städte ist zum großen Teil gegeben. Ziel ist die Weiterentwicklung, der Erhalt und Schutz des Stadtbaumbestandes im Klimawandel - insbesondere unter Berücksichtigung kritischer Wasserverfügbarkeiten und Bodenluftversorgung. Der Fokus der liegt in der Sicherung der Vitalität der Bäume und deren Verkehrssicherheit.

Die Empfehlungen unterteilt in drei verschiedene Handlungsfelder:

1. Schutz des Altbaumbestandes
2. Aufwertung vorhandene Straßenbaum-Standorte
3. Neupflanzungen

1. Schutz des Altbaumbestandes

Heute neu gepflanzte Stadtbäume haben eine bis zu 50 % niedrigere Lebenserwartung als noch vor Jahrzehnten. Sie haben kaum eine Chance sich zu großen, etablierten Bäumen weiterzuentwickeln. Daher gelten vitale Straßenbäume schon ab einem Alter von 40 Jahren als besonders schützenswert. Diese Bäume haben sich mit ihrem etablierten Wurzelsystem den jeweiligen Standort in einer Weise erschlossen, die die heute gepflanzten Jungbäume in der Regel nicht werden erreichen können. Etablierte Bestandsbäume weisen mit ihren gut ausgebildeten Kronen eine hohe Funktionalität auf und besitzen das Potenzial, auch zunehmende Probleme wie Baumkrankheiten, Baumschädlinge, Schadstoffe und die sich abzeichnenden Folgen des Klimawandels zu bewältigen. Der Schutz des Altbaumbestandes in der Stadt sollte folglich höchste Priorität im Handeln aller Akteure haben.

Knapp die Hälfte der Hamburger Straßenbäume ist über 40 Jahre alt und der Schutz dieses bereits etablierten Baumbestands ist deshalb ein zentraler Aspekt nachhaltiger Stadtentwicklung.

Der Schutz des Altbaumbestandes umfasst einerseits die Priorisierung der Altbaumstandorte gegenüber möglichen anderen Nutzungen und Planungen. Das heißt die Fällungen von Altbäumen aufgrund von stadtplanerischen Umsetzungen (Bushaltestellen, Fahrradwege, Straßenverbreiterungen) sollte auf ein absolutes Minimum reduziert werden.

Der Bestand der Altbäume muss während der Durchführung von Baumaßnahmen einen vorsorgenden Schutz erfahren - sowohl oberirdisch wie auch unterirdisch. Dies ist 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) sowie die „Arbeitshinweise zum Vollzug der Baumschutzverordnung“ (FHH 2017) geregelt. 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 Errichtung baulicher Anlage, Verbot des Abgrabens, der Ausschachtung und der Aufschüttung). Zum vorsorgenden Schutz von Bestandsbäumen gehören auch alle die Maßnahmen, die die Verlegung von Rohr- und Leitungstrassen im Nahbereich des Baumes bzw. im vom Baum durchwurzelter Boden vermeiden.

2. Aufwertung von vorhandenen Straßenbaumstandorten:

Die Untersuchungen im Hamburger Straßenbaum-Monitoring, ebenso wie auch Erhebungen andernorts, haben gezeigt, dass Straßenbaum-Standorte durch menschliche Aktivitäten und Maßnahmen regelhaft zu Ungunst-Standorten umgewandelt wurden (Eschenbach et al. 2023a und Eschenbach et al 2023b). Dies betrifft die oberirdische und unterirdische räumliche Einschränkung und damit die zu geringe Möglichkeit der Kronenentfaltung und der Ausbildung eines adäquaten Wurzelraums, die Oberflächenumgestaltung der Baumscheiben und das vorhandene Bodensubstrat im Bereich der Wurzeln. Einige Maßnahmen zur Standortverbesserung werden in Hamburg bereits seit längerem umgesetzt, dies betrifft beispielsweise den Austausch von Schadstoff- oder Streusalz belasteten Böden bei Erhalt der Baumwurzeln durch Einsatz von Saugbaggern.

Der Wurzelraum von Bestandsbäumen darf nicht (weiter) eingeschränkt werden oder sollte sogar wenn möglich ausgeweitet werden. Die Baumstandorte sollten optimal an den Austauschprozessen teilhaben können. Dies betrifft den Wasser- und auch Lufthaushalt am Standort.

Es sollte dafür gesorgt werden, dass das Niederschlagswasser am Standort verbleibt und in den Boden infiltrieren kann und nicht oberflächlich abfließt. Dies betrifft einen Schutz der Baumscheiben und Pflanzstandorte vor weiterer Versiegelung, bzw. die Umsetzung von Entsiegelungsmaßnahmen sowie Verhinderung und Aufhebung von Bodenverdichtungen im Oberboden. Im Konkreten wird der Schutz vor weiterer Verdichtung durch Baumschutzbügel und baulichen Hindernissen umgesetzt, was eine Begehung oder Befahrung verhindern soll. Auch der Bodenlufthaushalt und die Erfordernisse der Baumwurzeln, um die Wurzelatmung uneingeschränkt aufrecht erhalten zu können, sind hier zwingend zu berücksichtigen. Vorherige Untersuchungen haben aber gezeigt, dass es an Standorten auch zu möglichen Einschränkungen der Wurzelatmung kommen kann, durch zu geringe Sauerstoffkonzentrationen in der Bodenluft im Wurzelraum. Konzentrationen von unter 15 bzw. 10 % O₂ in der Bodenluft gelten als Grenzwerte der uneingeschränkten Wurzelaktivität und des Pflanzenwachstums (z.B. Leh 1989; Day & Bassuk 1994; Sojka & Scott 2002) und müssen folglich vermieden werden. Da dies maßgeblich vom Porenvolumen, der Porengrößenverteilung sowie dem Standort-

Wasserhaushalt abhängt, ist eine Standortoptimierung unter Berücksichtigung bodenphysikalischer Parameter und Vermeidung von Staunässe zu berücksichtigen.

Es zeigte sich, dass Kopfsteinpflaster, Gehwegplatten und Asphalt nahezu Gas-undurchlässig sind, während Rasenflächen, Blumenrabatten und Ruderalvegetation die höchsten Gasdurchlässigkeiten aufwiesen. In anderen Untersuchungen an *Quercus robur* L. zeigten sie, dass die Durchwurzelung des Bodens und das Wachstum der Bäume deutlich von der Gasdurchlässigkeit des Oberbodens abhängen. Ein zunehmender Grad der Versiegelung kann bei unterschiedlichen Baumarten zu einem signifikant geringerem Wachstum führen (Gaertig 2015; Sand et al. 2018; Johnson et al. 2019).

Eine Bewertung einer nachsorgenden Aufhebung von Bodenschadverdichtungen war in diesem Projekt nicht Untersuchungsgegenstand. Dies ist eine interessante Option, die einer vergleichenden Untersuchung bedarf.

Eine Förderung des krautigen Unterwuchses auf den Baumscheiben sollte überprüft werden. Noch ist nicht abschließend geklärt, ob es durch veränderte Evaporation und Transpiration zu einer Beeinflussung des pflanzenverfügbaren Bodenwassers kommt. Aus Biodiversitätsgründen ist ein krautiger Unterwuchs begrüßenswert.

Die Baumstandorte sollten vor Schadstoffeinträgen (Abgase, Reifenabrieb, Streusalze etc.) geschützt werden. Auch durch Urin kommt es zu Schädigungen der Bäume. Bei einer möglichen Umgestaltung der Standorte z.B. durch Neigungsänderungen, so dass auch Niederschlagswasser aus angrenzenden Gehwegbereichen oder Straßen infiltrieren kann, ist auf diese möglichen Schadstofffrachten zu achten, und eine zusätzliche Belastung zu vermeiden.

3. Neupflanzungen

Neu- und Nachpflanzungen von Stadtbäumen werden in Hamburg in hoher Zahl umgesetzt. Das behördliche Handeln sieht vor, überall wo es die standörtlichen Gegebenheiten erlauben und es langfristig realisierbar ist, Neupflanzungen durchzuführen. Dafür ist das Potenzial kritisch abzuschätzen und konkrete Planungen und Umsetzungsmaßnahmen zu berücksichtigen. Bei dieser Potenzialanalyse ist darüber hinaus die Verfügbarkeit geeigneter zu pflanzender Baumarten und -sorten zu integrieren, wie auch die Standortgegebenheiten bzw. die Verfügbarkeit von gewünschten Pflanzsubstraten zu prüfen. Um die Nachhaltigkeit der Maßnahmen unter Bedingungen des Klimawandels zu sichern, ist die Kombination von geeigneten Boden- und Pflanzsubstraten und geeigneten Baumarten und -sorten entscheidend.

Boden, Pflanzsubstrate und Wurzelraum

Im Zentrum des vorsorgenden Bodenschutzes steht der Schutz natürlich gewachsener Böden vor Zerstörung. Diese sollten insbesondere im hoch verdichteten und weitgehend überformten urbanen Raum vor einer Überbauung, einer Versiegelung, sowie dem Ein- und Auftrag von Material geschützt werden.

Das Bundesbodenschutzgesetz, das nachhaltig die Funktionen des Bodens sichern und wiederherstellen soll, schreibt vor, dass jeder, der auf den Boden einwirkt, sich so zu verhalten hat, dass keine schädlichen Bodenveränderungen hervorgerufen werden (§4Abs. 1). Bei

Einwirkungen auf den Boden ist Vorsorge gegen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen zu treffen (§7). Das schließt selbstverständlich Stadtböden und Böden im Wurzelbereich von Stadtgrün ein.

Dies bedeutet, dass der Schutz der natürlich gewachsenen Böden, die Eigenschaften und Funktionen tragen, um Stadtgrün und Stadtbäumen als Lebensgrundlage zu dienen, vorrangig ist. Diese Standorte müssen identifiziert werden, da an diesen Standorten das Bodenmaterial nicht ausgekoffert und durch Pflanzgruben ersetzt werden sollte. Sind die Standort- und Bodeneigenschaften durch anthropogene Überformungen (Eintrag von Materialien z.B. Bausande, Verdichtungen etc.) so stark beeinträchtigt, dass sie Bäumen nicht geeignete Standortbedingungen liefern, ist ein Auskoffern und die Herrichtung von Pflanzgruben erforderlich.

Das Ziel bei der Gestaltung von Pflanzgrube und Substrat ist es, einen Standort zu schaffen, welcher genügend Wasserspeicherkapazität, genügend Luftkapazität und Strukturstabilität aufweist und ausgedehnten Wurzelraum zur Verfügung stellt, damit langfristig ein optimales Baumwachstum ermöglicht werden kann.

Aktuell werden Standorte für Neupflanzungen in Deutschland in der Regel nach den Empfehlungen der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. Teil 1 & 2 (FLL 2015) beziehungsweise der ZTV-Vegtra-Mü (2016) hergerichtet. Das Bodenvolumen der bei der Auskoffern entstehenden sogenannten „Pflanzgruben“ soll nach diesen Empfehlungen eine Mindestgröße von 12 m³ haben. Es wird aber ausgeführt, dass in Abhängigkeit des Begrünungsziels die Pflanzgruben auch größer dimensioniert werden sollten (FLL 2015).

Die Untersuchungen in diesem Projekt zeigten, dass an den Standorten der Jungbäume der Stadt in den Beobachtungsjahren 2017 bis 2021 lange Phasen kritischer Bodentrockenheit (Wasserspannung < -1200 hPa) auftraten. In Jahren mit unterdurchschnittlichen (2018 und 2020), aber auch mit durchschnittlichen Niederschlagsmengen (2019), waren die Wasserspannungen im Pflanzballen und in der Pflanzgrube an 88 bis 105 Tagen der Vegetationsperiode (Mai-September) als kritisch zu bewerten. Die Anzahl der Tage mit kritischer Bodentrockenheit war in allen Untersuchungsjahren in der Pflanzgrube höher als in dem unmittelbar benachbarten Umgebungsboden. Auch wurde gezeigt, dass das Alter der Bäume neben den klimatischen Parametern eine große Relevanz für das Auftreten kritischer Bodenwasserspannungen hatte. Dies unterstreicht die Relevanz der Wurzelausbreitung und der Pflanzgruben-Dimensionierung für die Wasserversorgung der Jungbäume. Auf der Experimentalfläche wurde darüber hinaus nachgewiesen, dass einige Baumarten schon nach 3,5 Jahren die angelegten Pflanzgruben bis zum Rand durchwurzelt hatten. Oft stellt der abrupte Wechsel der Bodenart sowohl eine Erschwernis bei der Durchwurzelbarkeit als auch der Wassernachlieferung dar.

In der Realität ist eine Umsetzung schon von 12 m³-großen Pflanzgruben jedoch nicht immer gegeben, da sich die an einem Standort vorhandenen Raumverfügbarkeit, allzu oft nach den „konkurrierenden“ Standortnutzungen wie Verkehr und Infrastruktur richtet, deshalb sind in der Stadt auch unterdimensionierte Pflanzgruben anzutreffen. Zur Sicherung der Langlebigkeit und langfristigen Vitalität ist die Umsetzung größerer Pflanzgruben zu fordern. Nach vorliegenden Informationen (Schlinsog 2022, Vortrag Stadtbaumtagung Hamburg) werden Pflanzgruben in

München aktuell in einer Größe von 36 m³ als neuer Standard bei Neupflanzungen umgesetzt, bei Sanierung vorhandener Standorte besteht die Bemühung diese Größe ebenso zu erreichen. Die Wahl der Boden- und Pflanz-Substrate ist ein weiterer entscheidender Aspekt und richtet sich auch nach der anzustrebenden Nutzung der Standorte. Hier spielt insbesondere die Überfahrbarkeit und Stabilität gegen Verrüttelung und damit Nachverdichtung am Standort eine Rolle.

Um eine nachträgliche Verdichtung der Substrate zu verhindern, werden oft hohe Anteile an Grobskelett verwendet, um durch Korn zu Korn-Kontakte ein nicht weiter verdichtbares Gerüst zu erschaffen, in dessen Zwischenräume feinere Bodenbestandteile eingebracht werden (z.B. FLL-Substrat überbaubar). Die Feinbodenanteile in den Zwischenräumen - je nach Korngröße des Skelettes etwa 20-35 vol. % - können sandige oder lehmig-tonige Substrate mit Beimischungen von organischen Materialien sein. Zu berücksichtigen ist, dass bei diesen Strukturböden nur der Feinbodenanteil (< 2mm) zur Bereitstellung von Wasser- und Luftkapazität zur Verfügung steht und als durchwurzelbarer Bodenraum genutzt werden kann. Wenn diese Feinfraktion überwiegend aus sandiger Textur besteht um die notwendige Luftkapazität zu gewährleisten, geht dies zu Lasten der pflanzenverfügbaren Wasserhaltekapazität.

Die Untersuchungen in diesem Projekt zeigten wie sehr sich der Anteil verfügbaren Wassers durch Wahl der Substrate unterscheidet. In gleichgroßen Pflanzgruben von 7,5 m³ Größe standen in dem sandigen Substrat (vergleichbar mit den oft im Stadtgebiet anstehenden Bausanden) 457 L Wasser, im FLL-Substrat 774 L Wasser und im Lehm-Schluff 1722 Liter Wasser zur Verfügung. Aufgrund der unterschiedlichen Wasserspeicherkapazitäten und auch Wassernachlieferung standen den Bäumen im Sand dauerhaft weniger pflanzenverfügbares Wasser zur Verfügung als im FLL-Substrat oder im Lehm-Schluff.

Auch konnte gezeigt werden, dass der Stammzuwachs je nach gewählter Baumart im unterschiedlichen Ausmaß signifikant unterschiedlich war, bei Bäumen, die in diesen drei Substraten gepflanzt wurden. Nach der zweiten Vegetationsperiode (2020) war das jährliche Wachstum aller untersuchten Arten im lehmigen Schluff am höchsten und im Sand am niedrigsten (nur bei einer Baumart war dies nicht signifikant ausgeprägt). Zum Teil war der Stammzuwachs im FLL-Substrat signifikant niedriger als im Lehmschluff (Signifikanter Unterschied im Stammzuwachs zwischen allen drei Pflanzböden: *Tilia cordata* 'Greenspire', *Quercus palustris* und signifikant geringerer Stammzuwachs in "Sand" und "FLL" als im "Lehm-Schluff" bei *Carpinus betulus* 'Lucas', *Gleditsia triacanthos* 'Skyline').

Aus diesen Untersuchungsergebnissen folgern wir, dass die Wasserspeicherefähigkeit der Pflanzgruben-Substrate durch eine Erhöhung des Feinboden-Anteils gesteigert werden sollte. Dabei sollte in den Regelwerken nicht die Wasserhaltekapazität, sondern die bodenkundliche Kenngröße nutzbare Feldkapazität verwendet werden, dies erhöht die Aussagekraft und liefert damit wertvolle Hinweise bei der Anpassung und Optimierung der Pflanzsubstrate. Bei Umsetzung ist zu berücksichtigen, dass hohe Sandanteile nicht angestrebt, sondern im Gegenteil, vermieden werden sollten. Insbesondere in Substraten der überbaubaren Bauweise 2 lassen sich mit den empfohlenen Sieblinien nach FLL FGB II und ZTV Vegtra Mü keine geeigneten Wasserspeicherkapazitäten in den Substraten erzielen. So kann ein Substrat der Bauweise 2 nach Sieblinie sehr stark Sand geprägt sein (z.B. Ss, St2, Su2 oder Sl2) und unter Berücksichtigung des geforderten Skelettgehaltes dann nur sehr geringe nutzbare Wasserkapazitäten ermöglichen,

die eine ausreichend gute Wasserversorgung in Sommern wie 2018, 2019 und 2020 nicht gewährleisten können. Folglich sollte auch ein maximaler Sandanteil in Regelwerken benannt werden.

Bei erforderlichen Skelettanteilen um Überfahrbarkeit zu ermöglichen sollte, je höher der Schotteranteil der Substrate ist und folglich desto weniger Feinbodenanteil zur Wasserspeicherung zur Verfügung steht, die Größe der Pflanzgrube entsprechend angepasst werden. Als Beispiel hätte die Pflanzgrube des FLL-Substrates mit 20vol% Skelettanteil anstelle 7,5 m³ eine Größe von 9 m³ erfordert, um denselben Feinbodenanteil wie im Sand und Lehmigen-Schluff zu erreichen.

Die Wassernachlieferung im ungesättigten Zustand ist ein weiteres wichtiges bodenphysikalisches Kriterium, welches auch durch die Porengrößenzusammensetzung und Kontinuität der Poren bedingt wird. In Feinbodenmaterialien mit grober Textur (Sande bei z.B. einer nFK von 10%) ist die Nachlieferung des Wassers bei zum Beispiel 75% der Feldkapazität so gering, dass das noch vorhandene Wasser nicht genutzt werden kann, außer die Wurzeln wachsen zum Wasser hin.

Am Rand der Pflanzgruben sind „scharfe“ Substratwechsel zu vermeiden, da sie wie Kapillarsperren wirken. Wichtig ist es, auf eine Verzahnung zwischen Pflanzgrube und umgebendem Boden zu achten, wie es die FLL-Empfehlungen vorsehen. Sonst besteht die Gefahr, dass der angepflanzte Baum sein Wurzelwachstum auf die Pflanzgrube beschränkt und nach einigen Jahren nicht mehr weiter wächst.

Geeignete Baumarten- und Baumsortenwahl

In diesem Projekt wurde im Rahmen der Experimentalfläche auf die Reaktion von 9 verschiedenen Baumarten /sorten auf unterschiedliche Wasserverfügbarkeiten fokussiert.

Für die Untersuchungen wurden Baumarten und Sorten ausgewählt, die nach vorhandenen Bewertungen und Listen eine gute Eignung als Stadtbäume der Zukunft aufwiesen (z.B. GALK Liste). Die Ergebnisse in Bezug auf Wüchsigkeit und Vitalität nach GALK-Verfahren ermittelt sind in der nachfolgenden Tabelle in Bezug auf deren Eignung zusammengefasst.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Wachstums- und Vitalitätsbetrachtung der neuen untersuchten Baumarten und Sorten in der Etablierungsphase (bis zu 3 Jahren nach Pflanzung) in drei den drei Substraten Sand, FLL und Lehm-Schluff

Art	Wachstumsverhalten	Vitalitätsbewertung	Fazit
<i>Quercus cerris</i>	Stärkstes Stammwachstum insgesamt, reagiert auf Substrate im Lehm deutlich höher als in FLL und Sand aber in allen drei Substraten vergleichsweise hoch	Durchschnittlich in Sand und FLL, im zweiten Jahr unterdurchschnittlich in Lehm	Gute Eignung, anpassungsfähig an sandige Bedingungen, Empfindlichkeit gegen Stauwasser bzw. Sauerstoffmangel
<i>Quercus palustris</i>	Reagiert auf Substrate, im Lehm höheres Wachstum als in Sand und Schluff, stärkste Limitation in Sand	Durchschnittliche bis hohe Vitalität in Lehm und FLL, In ‚Sand‘ sehr geschwächt	Hat Ansprüche an das Substrat und Wasserverfügbarkeit, für sandige Standorte geringe Eignung
<i>Carpinus betulus</i> ,Lucas‘	Reagiert auf Substrate, in Lehm höheres Wachstum als in Sand und FLL, vergleichsweise mittleres Wachstum in Sand und FLL, im Lehm überdurchschnittlich hoch	Vitalität gestuft nach Substratgüte, Vergleichsweise hohe Vitalität im FLL, schwächer im Sand	Eignung gegeben, wächst in günstigeren Substraten besser
<i>Ostrya carpinifolia</i>	Reagiert auf Substrate, Wachstum in Sand niedriger als in Lehm und FLL, vergleichsweise mittleres Wachstum in den Substraten	Vitalität gestuft nach Substratgüte, insgesamt durchschnittlich	Insgesamt Eignung gegeben, weniger geeignet für sandige Substrate
<i>Tilia cordata</i> ,Greensp.‘	Reagiert auf Substrate aber vergleichsweise stärkstes Wachstum in Sand und FLL	Hohe Vitalität in Sand	Insgesamt gute Eignung, insbesondere auch für sandige Böden
<i>Liquidambar styraciflua</i>	Reagiert auf Substrate im Sand geringeres Wachstum als in FLL und Lehm, insgesamt vergleichsweise geringstes Wachstum, insbesondere im Sand sehr gering	Beste Vitalität in FLL, vergleichsweise hohe in Sand	Langsames Wachstum, dennoch hohe Vitalität insbesondere auch in sandigen Böden
<i>Gleditsia triacanthos</i> ,Skyline‘	Reagiert auf Substrate im Lehm stärkeres Wachstum als in Sand, in der Krone stark wüchsig, vergleichsweise hohes Wachstum in Sand und FLL	Vitalität verbessert sich in den Jahren, in 2021 in allen Substraten überdurchschnittlich	Eignung gegeben insbesondere für sandige Böden
<i>Koelreuteria paniculata</i>	Reagiert kaum auf Substrate vergleichsweise hohes Wachstum in Sand, mittel in FLL und gering im Lehm	In allen Böden geschwächt, insbesondere im Lehm, niedrigste Vitalität im Vergleich aller Baumarten	Eingeschränkte Eignung und hohe Empfindlichkeit gegen Stauwasser bzw. Sauerstoffmangel
<i>Amelanchier lamarckii</i>	Reagiert auf Substrate, im Sand geringeres Wachstum als in FLL und Lehm, im Vergleich zu anderen Baumarten im Sand niedrigstes Wachstum in FLL durchschnittlich in Lehm unterdurchschnittlich	Im Lehm hohe Vitalität in FLL durchschnittlich in Sand extrem geschwächt	Eignung in FLL und Lehm, aber ungeeignet für sandige Standorte

Die Auswertungen der erhobenen ökophysiologischen Parameter dauern noch an und werden gegen Ende 2023 abgeschlossen sein. Die bislang vorliegenden Befunde zeigen, dass sich die untersuchten neun Baum-Arten nicht nur quantitativ, sondern auch qualitativ in ihren Spaltöffnungsreaktionen auf Umweltfaktoren unterscheiden: Die Faktoren Bodensubstrat, Bodenwasserverfügbarkeit, Dampfdruckdefizit der Luft, Strahlung, Temperatur und Tageszeit haben bei den untersuchten Arten sehr unterschiedlich ausgeprägte steuernde Wirkung auf die stomatäre Leitfähigkeit, wobei auch Interaktionseffekte zwischen den Faktoren in Erscheinung treten. Welche dieser komplexen stomatären Reaktionsmuster in urbanen Situationen bei zunehmender Bodentrockenheit und erhöhtem Transpirationsbedarf die höhere Resilienz vermittelt, lässt sich noch nicht abschließend bewerten. Es verdichten sich aber bereits die Hinweise, dass eine Einschätzung der Eignung von Baumarten nach dem Konzept der isohydrischen vs. anisohydrischen Reaktionsmuster, das in diesem Zusammenhang häufig diskutiert wird, wahrscheinlich nicht zielführend ist. Denn die Stärke der stomatären Regulation ist nach der bisher ausgewerteten Datenlage dieses Projektes nicht gleichbedeutend mit der Stärke der stomatären Limitation der Assimilation und somit nicht ausschlaggebend für die physiologische Stressbelastung. Wichtiger für die Stressauswirkung ist das Zusammenspiel CO₂-Abhängigkeit des Carboxylierungspotenzial und Regulationsbereich der stomatären Leitfähigkeit. So konnte beispielsweise beobachtet werden, dass *Quercus cerris* die stomatäre Leitfähigkeit in einem breiten Bereich reguliert, in dem bei milden Temperaturen die Assimilation nicht nennenswert beeinträchtigt wird. Erst bei hohen Temperaturen (> 30°C) wirkt sich der Regulationsbereich der stomatären Leitfähigkeit auch auf die Assimilation aus. Folglich bewirkt der isohydrische Reaktionstyp von *Q. cerris* in gemäßigten Breiten nicht die laut gängiger Hypothese zu erwartende stomatäre Limitation. Welche Struktur und Dynamik des Wurzelsystems dem Transpirationsbedarf von *Q. cerris* gegenüberstehen, wird sich nach den abschließenden Auswertungen der Rhizotronstudien am Ende des Jahres 2023 zeigen. In diesem Sinne erwarten wir im Zuge der Analysen bis Ende 2023 auch für die acht weiteren Baumarten Aufschlüsse über Zusammenhänge zwischen physiologischem Reaktionsverhalten, Wurzelstrukturen und -dynamik auf der einen Seite und Limitation der Assimilation und somit Stressbelastung auf der anderen. Auf Grundlage der zu erwartenden Erkenntnisse wird die Handlungsempfehlung bezüglich der Baumartenauswahl für stressreiche Standortsituationen im städtischen Raum sein, einige Reaktions- und Wachstumsmuster gezielt zu parametrisieren und zu bewerten, die sich als negativ korreliert mit der Stressbelastung bei Trockenheit erwiesen. Hierzu lassen sich für viele Arten physiologische Kenngrößen in Datenbanken finden (z.B. plant trait database, MPI, iDIV), die dann für eine Parametrisierung der Reaktionsmuster durch Messungen unter kontrollierten Bedingungen z.B. in Baumschulen ggf. zu ergänzen sind. Als Anwendungsbeispiel dieses Vorgehens werden die neun im Rahmen des Projektes untersuchten Baumarten nach diesem Muster bewertet werden.