

Mona Quambusch¹, Michael Strohbach^{1,2}, Vera Hörmann¹, Arsené Rutikanga¹, Sebastian Preidl³, Nilraj Shrestha³, Jörn Strassemeyer³, Suchana Dahal³, Burkhard Golla³, Matthias Beyer⁴, Malkin Gerchow^{1,4}, Matthias Bucker⁵, Johannes Hoppenbrock^{1,5}, Falko Feldmann¹

Entwicklung eines Verfahrens für die klimawirksame Gestaltung der multifunktionalen, urbanen grünen Infrastruktur – Auftaktveranstaltung des multidisziplinären Forschungsprojektes „Maximierung der Kohlenstoffsequestrierung in Stadtbäumen (CliMax)“

Developing knowledge and tools for climate change mitigation and adaptation with multi-functional urban green infrastructure – kick-off symposium of the multidisciplinary project “Maximizing the carbon sequestration in urban trees (CliMax)”

Affiliationen

¹Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und urbanem Grün, Braunschweig.

²TU Braunschweig, Institut für Geoökologie – Abt. Landschaftsökologie und Umweltsystemanalyse, Braunschweig.

³Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow.

⁴TU Braunschweig, Institut für Geoökologie – Abt. Umweltgeochemie, Braunschweig.

⁵TU Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik, Braunschweig.

Kontaktanschrift

Dr. Mona Quambusch, Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und urbanem Grün, Messeweg 11-12, 38104 Braunschweig, E-Mail: mona.quambusch@julius-kuehn.de

Zusammenfassung

Das interdisziplinäre Forschungsprojekt CliMax ist eine Kooperation des Julius Kühn-Instituts und der Technischen Universität Braunschweig. Das Projekt erforscht die Grundlagen für effizientere Entscheidungshilfen für Städte und Kommunen, mit deren Hilfe nicht nur der Status Quo des Beitrages des Stadtgrüns zur Kohlenstoffsequestrierung geschätzt, sondern auch die Klimawirksamkeit des Stadtgrüns maximiert werden kann. Die Berücksichtigung der Multifunktionalität des Stadtgrüns bezieht dessen positive Effekte in eine Entscheidungsmatrix mit ein und unterstützt dadurch die Integration des Klimaschutzaspektes bei Pflanz- oder Pflegeentscheidungen. Zum Anlass des Auftaktgesprächs berichten wir hier von den Projektvorhaben.

Stichwörter

urbanes Grün, Klimaschutz, Entscheidungswerkzeug

Abstract

The interdisciplinary research project CliMax is a cooperation between the Julius Kühn-Institute and the Technische Universität Braunschweig. It provides information on the status quo of the contribution of urban green spaces to carbon sequestration and aims for the development of decision-support tools for maximizing the climate effectiveness of urban green. Considering the multifunctionality of urban green

spaces, such tools must incorporate many effects of urban green space into a decision matrix and thereby support the integration of the climate mitigation aspects in planting or maintenance decisions. On the occasion of the kick-off meeting, we report here on our plans for the project.

Keywords

urban green, climate mitigation, decision-support tool

Einleitung

Das Weißbuch Stadtgrün der Bundesregierung (BMUB, 2018) erkennt die besondere Bedeutung der urbanen Grünen Infrastruktur zur Erlangung der klimagerechten Transformation von Städten an. In der vom Bund beschlossenen Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) sowie dem Fortschrittsbericht wird auf die besondere Bedeutung des Stadtgrüns bei klimaangepassten Landschaft- und Stadtentwicklungsplanungen verwiesen.

In der neuen EU-Waldstrategie für 2030 (EU-Com, 2021) wird die herausragende Bedeutung urbaner Bäume für den Klimaschutz betont und herausgestellt, dass bis zu 40 % der Stadtfläche europäischer Städte von Bäumen bedeckt werden könnten. Die tatsächlich bedeckte Fläche schwankt in Deutschland nach öffentlichen kommunalen Statistiken zwischen 96 ha (Heilbronn) und 2800 ha (Berlin) bei einer Anzahl der Bäume pro Einwohner von 0,14 (Hamburg) bis 0,38 (Berlin).

Mit diesen Werten liegt Deutschland im Mittelfeld europäischer Städte (Casalegno, 2011).

Vor dem Hintergrund der vom Weißbuch Stadtgrün geforderten Multifunktionalität von Stadtgrün kann die Nutzung der Bäume in der Stadt für die Kohlenstoffsequestrierung einen nennenswerten Beitrag zum Klimaschutz leisten. Bäume binden in Städten große Mengen an Kohlenstoff (27,4 t/ha in Hamburg, Dorendorf et al., 2015; 11 t/ha in Leipzig, Strohbach & Haase, 2012; 5-45 tC/ha, FVA, 2021). Sie haben damit neben vielen anderen Funktionen wie der Kühlung von Städten, der Regulierung des Wasserhaushaltes sowie sozialen Aspekten die wichtige Funktion von Klimaschutzelementen (Kowarik et al., 2017).

Damit Stadtbäume ihre Funktionen vollumfänglich wahrnehmen können, bedarf es einer standortgerechten Auswahl, Pflanzung und Pflege, die die Vitalität von Stadtbäumen erhält. Denn die Vitalität bestimmt die Lebensdauer der Bäume und konsequenterweise die Maximierung der Kohlenstoffsequestrierung (Nowak & Crane, 2002; Strohbach et al., 2012b). Die Wasserversorgung der Bäume stellte sich unter den sich in den letzten Jahren rasch ändernden klimatischen Verhältnissen als zentraler Einflussfaktor für die Vitalität heraus (Meineke & Frank, 2018; Schütt et al., 2022).

Um urbane Bäume nachhaltig funktionstüchtig und vital erhalten zu können, wird im Projekt CliMax der Plan verfolgt, die methodischen Grundlagen für Werkzeuge zu legen, mit denen Städte und Kommunen auf der Basis von Fernerkundungsdaten die Vitalität von Bäumen effizient überwachen und mit dem Standortfaktor Wasser in Verbindung bringen können. Das Projekt trägt zur Klimaberichterstattung sowie Klimafolgenabschätzungen bei und will durch eine standortbezogene Pflanz- und Pflegeanalyse Möglichkeiten ableiten, die Funktion der Kohlenstoffsequestrierung innerhalb der Multifunktionalität der Bäume zu gewichten und maximal zu berücksichtigen.

Wir berichten hier vom Auftaktsymposium des Forschungskonsortiums am 08. und 09.11.2022 am Julius Kühn-Institut in Braunschweig.

Zielsetzung und erwartete Ergebnisse

Das Gesamtziel des Projektes ist die Vorstellung effizienter Entscheidungshilfen für Städte und Kommunen, mit deren Hilfe nicht nur der Status Quo des Beitrages des Stadtgrüns zur Kohlenstoffsequestrierung geschätzt, sondern auch die Klimawirksamkeit des Stadtgrüns maximiert werden kann. Die Multifunktionalität bezieht die weiteren positiven Wirkungen des Stadtgrüns mit ein, welche durch den Klimaschutzaspekt unterstützt und mitbegründet werden.

Es wird eine Entscheidungsmatrix erarbeitet, die Abwägungsprozesse in der multifunktionalen Betrachtung des Stadtgrüns erleichtert und transparent macht. Sie berücksichtigt alle konkreten Funktionen des Stadtgrüns an einem abgrenzbaren Standort einer Pflanze oder eines Pflanzengefüges. Wesentliche ökologische Parameter und insbesondere die Wasserverfügbarkeit in Abhängigkeit der Bodencharakteristika werden berücksichtigt um eine standortgerechte Pflanz-

wahl unter Einbeziehung von so genannten Zukunftsbäumen (Roloff, 2021) zu ermöglichen. Durch die Entwicklung von neuen technischen Lösungen für die Messung der tatsächlichen Wasserverfügbarkeit an Baumstandorten und der Aufnahme in die Pflanzen werden neue Erkenntnisse für die Umgestaltung der Stadt nach dem Schwammstadtprinzip gewonnen (Zevenbergen et al., 2018).

In CliMax werden lokale und hochaufgelöste Messungen zur Wasserversorgung und Vitalität mit kontinuierlich und frei verfügbaren Fernerkundungsdaten kombiniert. Die daraus (weiter-) entwickelten physikalischen und statistischen Methoden und Modelle werden in die Entscheidungshilfen zur Weiterentwicklung städtischer Grünflächen einfließen, und Kommunen gezieltere Pflanzung, Pflege und Erhalt von Stadtbäumen und die Planung ihres Lebenszyklusses erlauben. Somit trägt CliMax maßgeblich zur Erhaltung und Verdichtung von Stadtgrün zum Zwecke der Kohlenstoffsequestrierung und seiner anderen Funktionen bei.

Politische Relevanz und Erwarteter Nutzen für Gesellschaft

Stadtgrün ist von extrem großer Bedeutung für die Stadt als Lebensraum eines immer größer werdenden Anteils der Bewohner*innen Deutschlands, der für das Jahr 2040 auf über 80 % geschätzt wird (Podbregar, 2020). Diese Bedeutung geht aus der Multifunktionalität des Stadtgrüns hervor, die sich den Nachhaltigkeitsfaktoren der Agenda 21 (UN, 1992) und der Agenda 2030 (UN, 2018) folgend in ökologischen, ökonomischen und sozialen Funktionen niederschlägt. Klimaschutz durch Stadtbäume ist dabei natürlich kein Selbstzweck. Denn mit einer längeren Standdauer und einer Verdichtung von Stadtbäumen sind eine Reihe von Vorteilen verbunden. Dazu gehört die Schaffung und Verbesserung der biodiversitätsfördernden Vernetzung der grünen Infrastruktur (Biodiversitätsstrategie der Bundesregierung). Zentral sind auch die Wirkungen des Stadtgrüns für die Anpassung an den Klimawandel.

Die Maximierung der Kohlenstoffsequestrierung in der Stadt ist im Kern ein bioökonomischer Ansatz, der mit der Waldbewirtschaftung verglichen werden kann. Durch eine Überprägung anderer erwünschter Funktionen können Zielkonflikte entstehen. Die im Projekt entwickelte Entscheidungsmatrix soll helfen, diese Zielkonflikte zu identifizieren, zu bewerten und zu minimieren.

Die gezielte Förderung langer Standdauern und die Verdichtung von Baumbeständen im Stadtgrün kann erhebliche Synergien erzeugen, z. B. durch die Förderung der Vernetzung der grünen Infrastruktur, die Erhöhung der Biodiversität in der Stadt oder die Gesundheit von Stadtbewohnern. Darüber hinaus ist gerade der transparente Abwägungsprozess bedeutsam für die Schärfung des Bewusstseins im Hinblick auf eigene, klimaschutzwirksame Aktivitäten der Stadtbevölkerung.

Konzept

Für die Maximierung der Kohlenstoffsequestrierung muss eine lange andauernde Vitalität der Bäume erreicht werden,

die vor allem über eine standortgerechte Pflanzenwahl sichergestellt werden muss. Darüber hinaus muss die Zahl der Bäume in der Stadt maximiert werden, ohne dass negative abiotische oder biotische Stressfaktoren entstehen, die die Vitalität nachteilig beeinflussen können. Letztlich müssen Kohlenstoffkreisläufe im Sinne der bioökonomischen Weiter-nutzung der Bäume in Pflege- und Verwertungsplänen mit eingebunden werden.

Die Vitalität der Bäume wird in erster Näherung nach den im Baumkataster der Stadt Braunschweig verwendeten Ein-teilung der Schadensklassen beurteilt und dient gemeinsam mit dem jeweiligen Standort von mehr als 80.000 Bäumen als Ausgangspunkte für die Entwicklung einer auf Fernerkun-dungsdaten basierenden, automatisierten Erfassungsmetho-de geschädigter Bäume, die auf alle Städte und Kommunen übertragbar sein soll. Als Grundlage werden hierzu Sentinel-2 Daten für die Berechnung von Vegetationsindices und Ana-lysen auf der Subpixel-Ebene verwendet. LIDAR-Daten wer-den für die Einzelbaumerkennung und Ableitung von Struk-turmerkmalen eingesetzt. Wesentlich werden Kronenform und Blattfärbung für die Modellbildung sein. Der am Beispiel Braunschweig trainierte Algorithmus wird im weiteren Ver-lauf des Projektes in Brandenburg an der Havel getestet.

Gleichzeitig werden sämtliche öffentlich verfügbaren Daten, die Baumstandorte charakterisieren, in einem Machine Lear-ning Ansatz zu einem Modell der Qualitäts- und Risikoeinstufung von Standorten verarbeitet. Die Fusion beider Modelle wird Aussagen über den Zusammenhang zwischen ferner-kundlich identifizierten potentiell kranken Bäume und Stand-ortverhältnissen aufzeigen.

An ausgewählten Baumstandorten werden die Modellvorher-sagen dann validiert. Dazu erfolgt die Bestimmung von Bio-masse und Zuwachsrates der Bäume mittels hochauflösendem terrestrischem Laserscanning (Strohbach & Haase, 2012) und die Bestimmung der Vitalität mittels klassischer Parameter wie Kronenausdehnung, Baumhöhe, Stammdurchmesser, Be-stimmung von Pflanzenschäden und deren Ursachen (Roloff, 2001; Klug, 2005; Roloff, 2018).

Während die Erfassung der Biomasse Aussagen über chroni-schen Stress für die Bäume erlaubt, nähert sich das Projekt frühen oder vorübergehenden Stresssymptomen an den Pflanzen mittels ergänzender Chlorophyllfluoreszenz- und Transpirationmessungen (Hermans et al., 2003; Callow et al., 2018).

An ausgewählten Testflächen unterschiedlich vitaler Bäume sollen bodenkundliche Parameter und die Bodenwasserver-hältnisse mithilfe zerstörungsfreier geophysikalischer Metho-den wie bodeneindringendem Radar und geoelektrische Ver-fahren (Flores Orozco et al., 2018; Bücken et al., 2021; Hop-penbrock et al., 2021) studiert und mit der Analyse stabiler Wasserisotope kombiniert werden, die Informationen über die Tiefe liefert, aus der Bäume über ihre Wurzeln Wasser aufnehmen (Beyer et al., 2020; Marshall et al., 2020; Kübert et al., 2022; Kühnhammer et al., 2022).

Die Integration der Daten und die aus ihnen abzuleitenden Empfehlungen werden in einer Entscheidungsmatrix für Städ-te und Kommunen münden. Die Entscheidungsmatrix wird

ergänzt durch eine Analyse ihrer Anwendbarkeit auf Städte Deutschlands unterschiedlicher Größe und Struktur.

Geplantes Vorgehen und Projektbausteine

Das Projekt ist in fünf Arbeitspakete aufgeteilt, die gleichzei-tig ablaufen und eng miteinander verknüpft sind. Das Projekt arbeitet dabei auf zwei Skalen – der Stadtskala von Braun-schweig und Brandenburg an der Havel und der Skala von ausgewählten Testflächen innerhalb beider Städte. Das Pro-jekt nutzt öffentlich zugängliche Daten (Fernerkundungsda-ten, Baumkataster, Klimadaten, Grundwasserdaten, Boden-daten etc.), setzt sie mit erprobten Methoden zueinander in Beziehung und ergänzt sie um neue, wenig aufwändige und nicht-invasive Methoden der Standortbewertung. Daraus er-gibt sich eine nachvollziehbare und transferierbare Verfah-renbeschreibung, mit der die Kohlenstoffsequestrierung im urbanen Grün langfristig maximiert werden kann. Der Beitrag des Stadtgrüns zum Reduktionspfad zur Treibhausgasneutralität wird während des Projektes für verschiedene Alters-, Hö-hen- und Wachstumsszenarien von Stadtbäumen diskutiert.

Fernerkundungsbasierte Ermittlung der Baumbio-masse und anderer Vitalitätsparametern mittels Sentinel-2 und LiDAR-Daten

Spektrale Vegetationsindizes sollen auf Basis von Sentinel-2 Satellitenbildern berechnet und als fernerkundliche Indi-katoren zur Baumvitalität und zum Blattflächenindex in die Projektarbeiten einfließen. Um die Flächenanteile von Stadt-bäumen in einem Bildpixel abschätzen zu können, werden LiDAR-Daten zur Identifikation von Einzelbäumen verwendet (Velasquez-Camacho et al., 2021). Weiterführende Informati-onen zu den Subpixel-Anteilen können u. a. über Spectral Mix-ture Analysen gewonnen werden. Hierzu ist der Aufbau einer Spektralbibliothek mit Spektralprofilen der entsprechenden Landbedeckung (Endmember) erforderlich (Wetherley et al., 2017). Die LiDAR-Daten dienen ferner für die Ableitung von Strukturmerkmalen und Bestimmung von Biomasse- und Baumkronenparametern. Für die Validierung der verschiede-nen Ableitungsergebnisse aus Sentinel-2 und LiDAR-Daten dienen terrestrische Aufnahmen zu Biomasse und Vitalität, die im Laufe des Projektes für geeignete Einzelbäume und Referenzflächen durchgeführt werden. Die Baumkataster der Städte liefern zusätzliche wertvolle Informationen, sowohl im Zuge der Datenauswertung als auch zur Ergebnisvalidierung. Durch die Fusion von Sentinel-2 und LiDAR Daten wird eine räumliche Auflösung der Ergebniskarten von 1 m angestrebt. Die Entwicklung einer Prozesskette soll die Übertragbarkeit der Fernerkundungsanalysen auf andere Städte auch über den Projektrahmen hinaus ermöglichen.

Modellierung des dynamischen Vitalitätsindex von Stadtbäumen

Die Datensätze aus den verschiedenen methodischen An-sätzen des Projekts und weitere, mit dem Wasserkreislauf verbundener öffentlich zugänglicher Daten wie Klimabeob-achtungen, Boden- und Grundwasserkarten werden als Da-

taCubes (Baumann, 2018) für die Speicherung und Analyse in einer mehrdimensionalen Datenbank zusammengeführt. Darauf baut ein Modell zur Integration der Daten mit den FE-basierten Vitalitätsindices aus AP1 auf. Darin werden Machine Learning-Modellansätze (bspw. heterogeneous neural network, Random Forest) zur Vitalitätsbestimmung trainiert und getestet, anschließend an Referenzdaten parametrisiert und kalibriert (In-Situ-Messungen, Baumkatasterdaten). Nach der Zusammenstellung der Modellergebnisse und der Auswertung der kurz- und mittelfristigen Trends in Form farb-kodierter Vitalitätsrisikokategorien, werden Verfahren zur Integration der Ergebnisse mit Standortdaten aus Wassererkundungen, terrestrischen Biomasse- und Vitalitätsanalysen sowie mit Klimadaten geprüft. Als Ergebnis wird ein Modell für den dynamischen Vitalitätsindex von Stadtbäumen entwickelt und eine Prozesskette für die dynamische Modellanwendung umgesetzt.

Oberflächennahe hydrogeophysikalische Erkundung an Standorten von Stadtbäumen

Zerstörungsfreie, geophysikalische Boden- und Wassererkundungen an Baumstandorten verschiedener Kategorien sollen zur Darstellung einer leicht nachvollziehbaren Methode zur Kartierung von Bodenfaktoren (Wassersättigung, hydraulische Leitfähigkeit, Verdichtung) für Standortvergleiche und die Korrelation mit Baumvitalität, Baumentwicklung und Wurzelarchitektur herangezogen werden.

Geoelektrische und elektromagnetische Erkundungsmethoden sind moderne, nicht-invasive Verfahren zur Untersuchung hydrogeophysikalischer Fragestellungen im oberflächennahen Untergrund (Bücker et al., 2016; Bücker, 2019; Bücker et al., 2021) und eignen sich zur Bewertung von Wasserverhältnissen an urbanen Standorten. Im Rahmen des vorgeschlagenen Projektes werden Bodenradarmessungen durchgeführt, um zum einen unterirdische Infrastruktur (z. B. Rohrleitungen, Fundamente) oder sonstige Störungen (Hohlräume, Schichtkontakte) zu lokalisieren und zum anderen Bodenfeuchte abzuschätzen. Ergänzend werden geoelektrische Verfahren (Gleichstromgeoelektrik und Induzierte Polarisation) zur Anwendung kommen, mit deren Hilfe weitere Bodenparameter, die für die Baumvitalität relevant sind, wie die Verdichtung des Bodens, die hydraulische Leitfähigkeit, sowie die Wassersättigung zerstörungsfrei und bis in mehrere Meter Tiefe hochaufgelöst kartiert werden können. Geplant sind außerdem Langzeitmonitoringmessungen an ausgewählten Standorten, um die Wassersättigung im Boden über den Jahresverlauf nachvollziehen zu können.

Identifizierung und Zuordnung von Wasserquellen an Standorten von Stadtbäumen

Durch die kontinuierliche und minimalinvasive Messung stabiler Wasserisotope können der Baumwurzelarchitektur die entsprechenden Bodenwasserquellen zugeordnet werden (Beyer et al., 2020). Diese Untersuchungen beantworten die Frage, aus welchen Bodentiefen und Wasserreservoirien Stadtbäume ihr Wasser beziehen. Die Ergebnisse liefern Hinweise auf Herkunft und Stabilität der Wasserversorgung an

den untersuchten Baumstandorten, die als wichtige Grundlage für Standortvergleiche und die Baumkategorisierung dienen.

Durch messtechnische Weiterentwicklungen und neue wissenschaftliche Erkenntnisse konnten In-situ-Messungen stabiler Wasserisotope in Böden und Pflanzen seit einigen Jahren für die Untersuchung von Wurzelwasseraufnahmetiefen etabliert werden (Beyer et al., 2020). Dafür werden eigens konzipierte, gaspermeable Membranen in unterschiedlichen Bodentiefen, im Grundwasser (d. h. in alle potentiellen Wasserquellen für die Wurzelwasseraufnahme) sowie in den Bäumen eingebracht, in denen dann die Isotopensignaturen gemessen werden können. Die Untersuchungen werden unterstützt durch ökohydrologische Messmethoden, die weitere relevante Parameter liefern (Saftfluss, Stammwassergehalt, stomatare Leitfähigkeit und Wasserpotential). Mittels dieser Kombination kann unter der Annahme, dass das im Baum transportierte Wasser eine Mischung aller potentiellen Wasserquellen ist, der prozentuale Anteil von Wasser aus verschiedenen Bodenschichten berechnet werden. Für städtische Anwendungen ist dies besonders interessant, da das Zusammenwirken von Wurzelstruktur und tatsächlich vorkommenden Wasserquellen, wesentliche Abschätzungen der Standortgerechtigkeit von Stadtbäumen zulässt. Die Wasserversorgung ist Basis für die Effizienz der Kohlenstoffsequestrierung an einem Standort. Es wird erwogen, die drohnen-gestützte Ermittlung der Transpirationsleistung von Pflanzen mit einzubeziehen (Gerchow et al., 2022b; Gerchow et al., 2022a).

Laser-basierte Biomasseschätzung und Analyse der Vitalität von Stadtbäumen zur Validierung der Fernerkundungsdaten

Auf der Grundlage des Baumkatasters werden Testflächen mit Baumformationen unterschiedlicher Kategorien (Bäume im versiegelten Innenstadtbereich, Bäume mit großer unversiegelter Baumscheibe in versiegelter Umgebung, und Bäume in Parks oder Stadtwäldern in unversiegelter Umgebung) ausgewählt und deren Standorte erkundet (z. B. Historie, Baumarten, Vegetationsanalyse, chemische Bodenparameter, biotische Stressoren).

Die Bäume der Testflächen werden mit einem terrestrischen Laserscanner (Strohbach & Haase, 2012) vermessen und die Biomasse kalkuliert. Dieses Verfahren basiert auf der Messung der Laufzeit von Laserimpulsen und ist nicht-destruktiv. Gerade im Bereich der urbanen Kohlenstofffestlegung in Bäumen bestehen erhebliche Datenlücken und Laserscanning kann hier zu einem signifikanten Genauigkeitsgewinn beitragen (Wilkes et al., 2018).

Die Vitalität der Bäume auf den Testflächen wird nach der gängigen Methode der Baumkontrollen durch Interpretation des Verzweigungsbildes, der Kronenstruktur und des Zustands der Belaubung anhand eines Boniturschemas eingestuft (Roloff, 2018) und mit den Informationen des Baumkatasters abgeglichen. Um auch frühe Stresssymptome (z. B. Wassermangel, Hitzestress) zu erfassen, wird der Chlorophyllgehalt und die Chlorophyllfluoreszenz an ausgewählten

Bäumen mit einem Fluorometer gemessen und der Einsatz für Baumkontrolleur*innen evaluiert (Hermans et al., 2003; Percival & Banks, 2012; Callow et al., 2018). Die auf diese Weise vor Ort erfassten Vitalitäts- und Biomassedaten werden als Validierungsdatensatz für die Fernerkundung genutzt.

Identifizierung von Optimierungsansätzen zur Maximierung der Kohlenstoffsequestrierung in Stadtbäumen

Mittels Lebenszyklus-Analyse kann eine Klimabilanz, die die Anlage und Pflege des Stadtgrüns sowie die Kohlenstoffsequestrierung berücksichtigt, erstellt werden (Strohbach et al., 2012a; Feike et al., 2020). Es wird eine ‚Entscheidungsmatrix zum multifunktionalen Stadtgrün‘ erarbeitet, die mögliche Zielkonflikte von Klimaschutz und anderen Funktionen des Stadtgrüns aufzeigt, bewertet und situationsspezifische Lösungsansätze entwickelt. Sie enthält eine vergleichende Bewertung alternativer Entwicklungsszenarien hinsichtlich relevanter Aspekte der Multifunktionalität des Stadtgrüns.

Vor dem Hintergrund der Wasserversorgung wird die Bewertung des aktuellen Baumbestandes und potentieller Zukunftsbäume zu einer Baumkategorisierung ausgearbeitet. Die Bäume der Zukunftsbaumlisten werden den Standortkategorien zugeordnet und eine systematische Recherche über das Wachstumsverhalten und die Ansprüche der Zukunftsbäume an urbanen Standorten erstellt.

Aus Entscheidungsmatrix und Pflanzenliste wird ein Leitfadensystem für die Entwicklung der städtischen Grünflächen erstellt. Dieser enthält konkrete Beispiele und Übersichtskarten des ermittelten Vitalitätsindex für die Modellstädte Braunschweig und Brandenburg an der Havel, Vorschläge für die Maximierung der Kohlenstoffsequestrierung in den beiden Modellstädten und eine Prozesskette für die Übertragung der Ergebnisse auf andere Städte und Kommunen.

Finanzierung

Das Projekt wird aus dem Klimaschutz-Sofortprogramm der Bundesregierung finanziert.

Projektlaufzeit: Oktober 2022 bis September 2025.

Erklärung zu Interessenskonflikten

Die Autorinnen und Autoren erklären, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

Literatur

Baumann, P., 2018: Datacube Standards and their Contribution to Analysis-Ready Data. In: IEEE (Hrsg.). *IGARSS 2018 – 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2051–2053, DOI: 10.1109/IGARSS.2018.8518994.

Beyer, M., K. Kühnhammer, M. Dubbert, 2020: In situ measurements of soil and plant water isotopes: a review of approaches, practical considerations and a vision for the future.

Hydrology and Earth System Sciences **24** (9), 4413–4440, DOI: 10.5194/hess-24-4413-2020.

BMUB, 2018: Weißbuch Stadtgrün.

Bücker, M., A. Flores Orozco, J. Gallistl, M. Steiner, L. Aigner, J. Hoppenbrock, R. Glebe, W. Morales Barrera, C. La Pita de Paz, C.E. García García, J.A. Razo Pérez, J. Buckel, A. Hördt, A. Schwalb, L. Pérez, 2021: Integrated land and water-borne geophysical surveys shed light on the sudden drying of large karst lakes in southern Mexico. *Solid Earth* **12** (2), 439–461, DOI: 10.5194/se-12-439-2021.

Bücker, M., A. Hördt, C. Fulda, Baker Hughes Incorporated, 2016: Pore parameters and hydraulic parameters from electric impedance spectra, U.S. Patent 9,377,554.

Bücker, M.B., 2019: Pore-Scale Modelling of Induced-Polarization Mechanisms in Geologic Materials, Universitäts- und Landesbibliothek Bonn, URL: <https://bonndoc.ulb.uni-bonn.de/xmlui/handle/20.500.11811/7886>.

Callow, D., P. May, D. Johnstone, 2018: Tree Vitality Assessment in Urban Landscapes. *Forests* **9** (5), 279, DOI: 10.3390/f9050279.

Casalegno, S., 2011: Urban and Peri-Urban Tree Cover in European Cities: Current Distribution and Future Vulnerability Under Climate Change Scenarios. In: Casalegno, S. (Hrsg.). *Global Warming Impacts – Case Studies on the Economy, Human Health, and on Urban and Natural Environments*, Erscheinungsort nicht ermittelbar, IntechOpen, DOI: 10.5772/24307.

Dorendorf, J., A. Eschenbach, K. Schmidt, K. Jensen, 2015: Both tree and soil carbon need to be quantified for carbon assessments of cities. *Urban Forestry & Urban Greening* **14** (3), 447–455, DOI: 10.1016/j.ufug.2015.04.005.

EU-Com, 2021: New EU Forest Strategy for 2030: COM(2021) 572 final.

Feike, T., Riedesel Freiherr zu Eisenbach, Ludwig, R. Lieb, D. Gabriel, D. Sabboura, A.R. Shawon, M. Wetzel, B. Klocke, S. Krengel-Horney, J. Schwarz, 2020: Einfluss von Pflanzenschutzstrategie und Bodenbearbeitung auf den CO₂-Fußabdruck von Weizen. *Journal für Kulturpflanzen* **72** (7), 311–326, DOI: 10.5073/JfK.2020.07.08.

Flores Orozco, A., M. Bücker, M. Steiner, J.-P. Malet, 2018: Complex-conductivity imaging for the understanding of landslide architecture. *Engineering Geology* **243**, 241–252, DOI: 10.1016/j.enggeo.2018.07.009.

FVA, 2021: Wie viel Kohlenstoff speichern Stadtbäume?, URL: <https://www.waldwissen.net/de/lebensraum-wald/klima-und-umwelt/klimawandel-und-co2/kohlenstoff-in-stadtbaeumen>. Zugriff: 14. September 2021.

Gerchow, M., K. Kühnhammer, A. Iraheta, M. Beyer, 2022a: UAV based thermal imaging at the leaf scale – A case study in a tropical dry forest. Copernicus Meetings, EGU22-12339, Copernicus Meetings, DOI: 10.5194/egusphere-egu22-12339.

Gerchow, M., J.D. Marshall, K. Kühnhammer, M. Dubbert, M. Beyer, 2022b: Thermal imaging of increment cores: a

- new method to estimate sapwood depth in trees. *Trees*, DOI: 10.1007/s00468-022-02352-7.
- Hermans, C., M. Smeyers, R.M. Rodriguez, M. Eyletters, R.J. Strasser, J.-P. Delhay, 2003:** Quality assessment of urban trees: A comparative study of physiological characterisation, airborne imaging and on site fluorescence monitoring by the OJIP-test. *Journal of Plant Physiology* **160** (1), 81–90, DOI: 10.1078/0176-1617-00917.
- Hoppenbrock, J., M. Bucker, J. Gallistl, A. Flores Orozco, C.P. de La Paz, C.E. García García, J.A. Razo Pérez, J. Buckel, L. Pérez, 2021:** Evaluation of Lake Sediment Thickness from Water-Borne Electrical Resistivity Tomography Data. *Sensors* **21** (23), 8053, DOI: 10.3390/s21238053.
- Klug, P., 2005:** Vitalität und Entwicklungsphasen bei Bäumen. *Pro Baum* **1**, 1-4.
- Kowarik, I., R. Bartz, M. Brenck, B. Hansjürgens, 2017:** Ökosystemleistungen in der Stadt: Gesundheit schützen und Lebensqualität erhöhen: Kurzbericht für Entscheidungsträger. Leipzig, Naturkapital Deutschland – TEEB DE, 77 S., ISBN: 9783944280301.
- Kübert, A., M. Dubbert, I. Bamberger, K. Kühnhammer, M. Beyer, J. van Haren, K. Bailey, J. Hu, L.K. Meredith, S. Nemiah Ladd, C. Werner, 2022:** Tracing plant source water dynamics during drought by continuous transpiration measurements: an in-situ stable isotope approach. *Plant, cell & environment*, DOI: 10.1111/pce.14475.
- Kühnhammer, K., A. Dahlmann, A. Iraheta, M. Gerchow, C. Birkel, J.D. Marshall, M. Beyer, 2022:** Continuous in situ measurements of water stable isotopes in soils, tree trunk and root xylem: Field approval. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* **36** (5), e9232, DOI: 10.1002/rcm.9232.
- Marshall, J.D., M. Cuntz, M. Beyer, M. Dubbert, K. Kuehnhammer, 2020:** Borehole Equilibration: Testing a New Method to Monitor the Isotopic Composition of Tree Xylem Water in situ. *Frontiers in plant science* **11**, 358, DOI: 10.3389/fpls.2020.00358.
- Meineke, E.K., S.D. Frank, 2018:** Water availability drives urban tree growth responses to herbivory and warming. *Journal of Applied Ecology* **55** (4), 1701–1713, DOI: 10.1111/1365-2664.13130.
- Nowak, D.J., D.E. Crane, 2002:** Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution* **116** (3), 381–389, DOI: 10.1016/s0269-7491(01)00214-7.
- Percival, G., J. Banks, 2012:** Evaluation of Nursery Stock Tree Vitality: Final Report.
- Podbregar, N., 2020:** Ein Planet der Städte. *Scinexx – Das Wissensmagazin*. URL: <https://www.scinexx.de/news/geo-wissen/ein-planet-der-staedte/>.
- Roloff, A., 2001:** Baumkronen: Verständnis und praktische Bedeutung eines komplexen Naturphänomens. Stuttgart, Ulmer, 164 S., ISBN: 3800131935.
- Roloff, A., 2018:** Vitalitätsbeurteilung von Bäumen: Aktueller Stand und Weiterentwicklung. Braunschweig, Haymarket Media, 205 S., ISBN: 9783878152613.
- Roloff, A. (Hrsg.), 2021:** Trockenstress bei Bäumen: Ursachen, Strategien, Praxis, Wiebelsheim, Quelle & Meyer Verlag, ISBN: 9783494018584.
- Schütt, A., J.N. Becker, A. Gröngröft, S. Schaaf-Titel, A. Eschenbach, 2022:** Soil water stress at young urban street-tree sites in response to meteorology and site parameters. *Urban Forestry & Urban Greening* **75**, 127692, DOI: 10.1016/j.ufug.2022.127692.
- Strohbach, M.W., E. Arnold, D. Haase, 2012a:** The carbon footprint of urban green space—A life cycle approach. *Landscape and Urban Planning* **104** (2), 220–229, DOI: 10.1016/j.landurbplan.2011.10.013.
- Strohbach, M.W., E. Arnold, D. Haase, 2012b:** The carbon footprint of urban green space—A life cycle approach. *Landscape and Urban Planning* **104** (2), 220–229, DOI: 10.1016/j.landurbplan.2011.10.013.
- Strohbach, M.W., D. Haase, 2012:** Above-ground carbon storage by urban trees in Leipzig, Germany: Analysis of patterns in a European city. *Landscape and Urban Planning* **104** (1), 95–104, DOI: 10.1016/j.landurbplan.2011.10.001.
- UN, 1992:** Agenda 21.
- UN, 2018:** Agenda for Sustainable Development: A/RES/70/1.
- Velasquez-Camacho, L., A. Cardil, M. Mohan, M. Etxegarai, G. Anzaldi, S. de-Miguel, 2021:** Remotely Sensed Tree Characterization in Urban Areas: A Review. *Remote Sensing* **13** (23), 4889, DOI: 10.3390/rs13234889.
- Wetherley, E.B., D.A. Roberts, J.P. McFadden, 2017:** Mapping spectrally similar urban materials at sub-pixel scales. *Remote Sensing of Environment* **195**, 170–183, DOI: 10.1016/j.rse.2017.04.013.
- Wilkes, P., M. Disney, M.B. Vicari, K. Calders, A. Burt, 2018:** Estimating urban above ground biomass with multi-scale LiDAR. *Carbon Balance and Management* **13** (1), 10, DOI: 10.1186/s13021-018-0098-0.
- Zevenbergen, C., D. Fu, A. Pathirana (Hrsg.), 2018:** Sponge cities: Emerging approaches, challenges and opportunities, Basel, Beijing, Wuhan, Barcelona, Belgrade, MDPI, DOI: 10.3390/books978-3-03897-273-0.