

Thomas RÖTZER, Eleonora FRANCESCHI, Astrid REISCHL und Stephan PAULEIT

Der interaktive Leitfaden für Stadtbäume im Klimawandel

Quantifizierung von Wachstum und Ökosystemleistungen

<https://doi.org/10.63653/fcxy6436>

Abbildung 1:
Das Schema des
Modells CityTree

Klimaveränderungen stellen Menschen und Natur in Städten vor Herausforderungen. Ein gesunder Baumbestand ist für ein angenehmes Stadtklima essenziell. Bäume sorgen unter vielem anderen für Abkühlung, speichern Kohlenstoff und mindern den Abfluss. Das CityTree-Modell simuliert Wachstum und Leistungen von Stadtbäumen für unterschiedliche Klimata und Standorte. Es kann damit Stadtplaner und Baumpfleger bei der nachhaltigen Planung der Stadtnatur unterstützen und ist online kostenlos verfügbar (URL 1: www.zsk.tum.de).

Der Klimawandel gefährdet das Leben in der Stadt

Hitzebelastungen durch den städtischen Wärmeinseleffekt sind eine zunehmende Herausforderung für das Leben in der Stadt. Insbesondere an stark versiegelten Standorten mit wenig Grün, beispielsweise in Stadtzentren, kann dies zu starkem Hitzestress für die Menschen führen (RAHMAN et al. 2020). Der Klimawandel wird den Wärmeinseleffekt weiter verstärken, wodurch auch Todesfälle sowie die Sterblichkeitsrate insbesondere von älteren Menschen zunehmen werden (PARAVANTIS et al. 2017; ROBINE et al. 2008). Daher benötigen wir Strategien zur Abschwächung der Auswirkungen von Hitze und Dürren in Städten.

Stadtgrün als Strategie für die Klimawandelanpassung

Im Zuge des Klimawandels und der Hitzebelastung in Städten rücken die Ökosystemleistungen des urbanen Grüns, das heißt deren Nutzen für den Menschen, immer mehr in den Fokus von Stadtplanern und Forschern. Insbesondere das Potenzial von städtischen Grünflächen, Temperaturen zu regulieren, ist hier wichtig (RAHMAN et al. 2024; RÖTZER et al. 2019; ZÖLCH et al. 2016). Darüber hinaus speichern und binden Stadtbäume Kohlenstoff (STROHBACH et al. 2012), regulieren den Wasserhaushalt in Städten (RAHMAN et al. 2023), filtern Luftschadstoffe (KROEGER et al. 2018), bieten Lärm- und Windpuffer (WOLF et al. 2020), stellen Lebensräume für die biologische

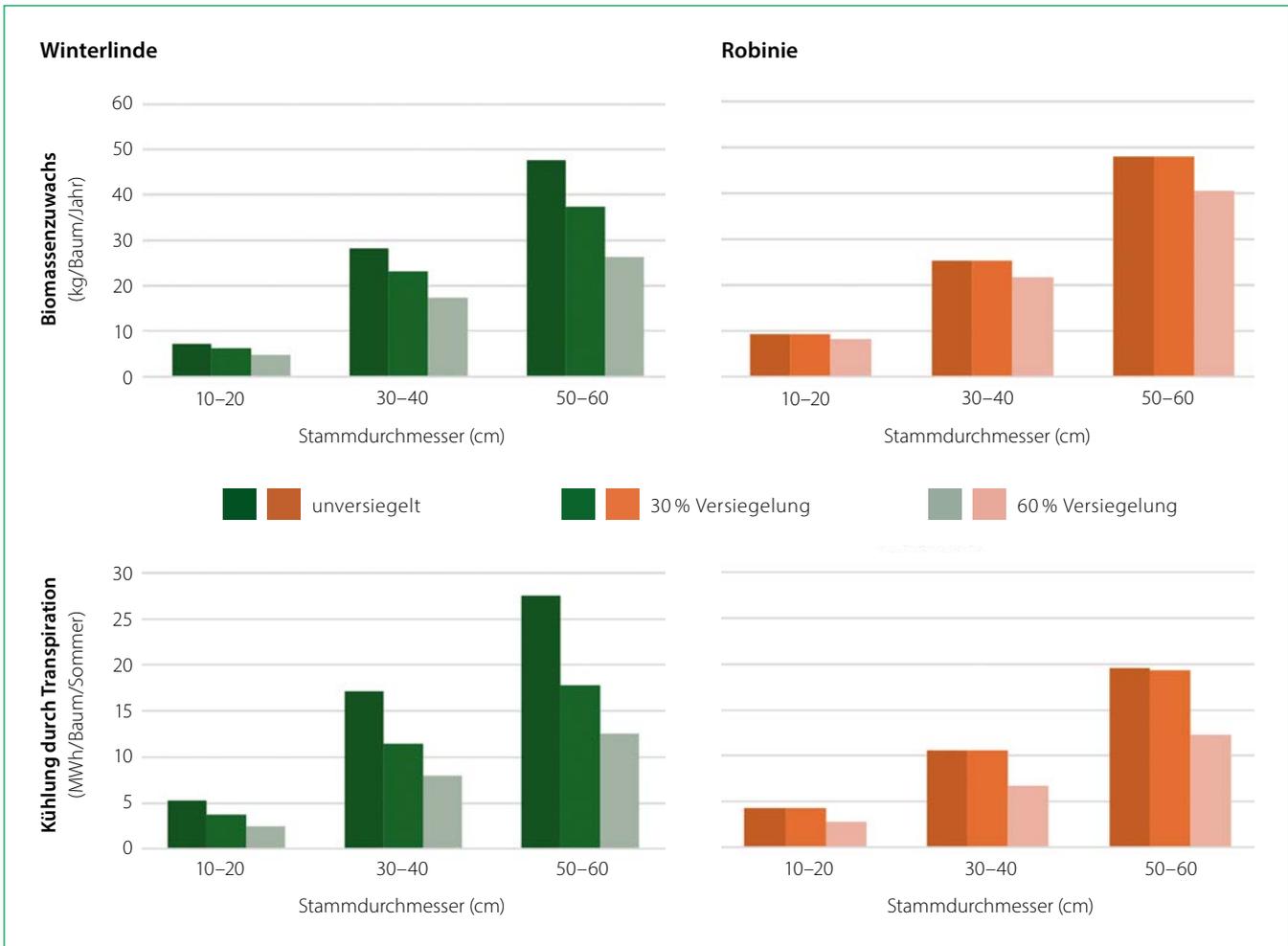


Abbildung 2:

Biomassezuwachs und Kühlung durch Transpiration von Winterlinden und Robinien in München für drei Größenklassen (20 cm, 40 cm und 60 cm Stammdurchmesser) und drei Versiegelungsgraden (unversiegelt, 30 % Versiegelung und 60 % Versiegelung; Bodenart: Lehmiger Sand).

Vielfalt dar und bilden Erholungsgebiete (KOWARIK et al. 2020). Stadtbäume können somit die lokale Lufttemperatur senken, die menschliche Gesundheit verbessern, aber auch den Energiebedarf von Gebäuden reduzieren (RÖTZER et al. 2024), was in Zeiten des Klimawandels ein Schlüssel zu nachhaltigen Städten ist (WINBOURNE et al. 2020).

In welchem Umfang insbesondere Bäume Ökosystemleistungen erbringen, hängt von ihrer Anzahl beziehungsweise dem Anteil an den städtischen Frei- und Grünflächen ab. Zudem bestimmen die Eigenschaften eines Baumes, das heißt dessen Dimensionen, Physiologie, Alter und Vitalität, die Höhe der Leistungen. Hinzu kommen Standortbedingungen wie Bodenart, Nährstoffversorgung und Bodenversiegelung oder die Umbauung des Baumes (Horizonteinschränkung). So wachsen Stadtbäume meist in kleinen Pflanzgruben mit stark verdichteten und versiegelten Böden (KAGOTANI et al. 2015). Diese Pflanzgruben sind häufig durch eine reduzierte Wasserversorgung, einen

geringeren Sauerstoffeintrag, schlechte Bodenqualitäten sowie einen insgesamt geringen Wurzelraum für Bäume gekennzeichnet (ARMSON et al. 2013). Neben den reduzierten unterirdischen Wachstumsbedingungen kann der oberirdische Raum auch durch Stromleitungen, Gebäude oder Rückschnittmaßnahmen aufgrund der Verkehrssicherheit eingeschränkt sein. Zusammen mit den Klimaverhältnissen der Stadt können diese ober- und unterirdischen Standortbedingungen das Wachstum und die Vitalität der Bäume und damit das Standortklima wesentlich beeinflussen.

Das Modell CityTree

Simulationsmodelle zu Wachstum und Ökosystemleistungen von Stadtbäumen sind meist empirisch und beruhen auf statistischen Zusammenhängen (RÖTZER et al. 2021). Dagegen folgt das Modell CityTree einem prozessorientierten Ansatz: die Simulationen beruhen auf biologischen, physikalischen und chemischen Prozessen. Für die Entwicklung und Validierung von CityTree wurden die Baumstrukturen und

Standortbedingungen von mehr als 5.600 Baumindividuen aus 12 Baumarten in mehr als 20 europäischen Städten erfasst, Bohrkerne von mehr als 500 Baumindividuen entnommen und kontinuierliche Messungen des Wassergehalts und des Wachstums der einzelnen Baumarten über mehrere Jahre durchgeführt. Die für das Modell parametrisierten Baumarten sind Spitzahorn (*Acer platanoides*), Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*), Rosskastanie (*Aesculus hippocastanum*), Birke (*Betula pendula*), Hainbuche (*Carpinus betulus*), Rotbuche (*Fagus sylvatica*), Gemeine Esche (*Fraxinus excelsior*), Platane (*Platanus x acerifolia*), Säulenpappel (*Populus nigra 'italica'*), Stieleiche (*Quercus robur*), Robinie (*Robinia pseudoacacia*) und Winterlinde (*Tilia cordata*). Als Ergebnis der Simulationen erhält man das Wachstum und die Ökosystemleistungen eines Baumes in Abhängigkeit des Klimas und der Standortbedingungen wie Bodenversiegelung, Bodenart oder Horizont einschränkung (RÖTZER et al. 2019).

Wachstum und Ökosystemleistungen von Stadtbäumen

Abbildung 1 zeigt exemplarisch den Biomassezuwachs und die Kühlung durch Transpiration von Winterlinden und Robinien dreier Altersklassen mit drei Versiegelungszuständen in München. Während der Biomassezuwachs und die Kühlleistung beider Arten mit zunehmender Größe ansteigen, bedingt eine höhere Bodenversiegelung ein Absinken von Wachstum und Ökosystemleistungen. Dabei reagiert die Winterlinde sensibler als die Robinie auf Bodenversiegelung. Insgesamt zeigt die Robinie höhere Zuwächse, während die Winterlinde höhere Kühlleistungen aufweist.

Die oben gezeigten Simulationen können mit dem Model CityTree beziehungsweise mit dem interaktiven Leitfaden ebenso für weitere Ökosystemleistungen sowie andere Baumarten, Größenklassen, Versiegelungszustände und mitteleuropäische Städte durchgeführt werden. Damit kann einfach und anschaulich das Wachstum und die Ökosystemleistungen von mitteleuropäischen Stadtbaumarten berechnet werden.

Einfluss von trockenen beziehungsweise nassen Jahren sowie von Klimaszenarien

Das veränderte Klima der Zukunft wie auch Extremjahre können das Wachstum und die Ökosystemleistungen von Stadtbäumen in erheblichen Maßen beeinflussen. Abbildung 2 zeigt beispielhaft, wie sich das trockene Jahr

2003, das feuchte Jahr 2021 und das Klimaszenarium RCP 8.5 für den Zeitraum 2081–2090 in München und Würzburg auswirken. Der Biomassezuwachs und die Kühlung durch transpirierende Platanen der Stammdurchmesserklasse 50 cm bei einem Versiegelungsgrad von 50 % zeigen sich deutlich verändert.

Im langjährigen Mittel der Jahre 1991–2020 beträgt der Biomassezuwachs im niederschlagsreichen München 28,6 kg pro Baum und Jahr, während im niederschlagsarmen Würzburg nur 17,0 kg pro Baum und Jahr zuwachsen. Starke Einbrüche des Wachstums wurden für das trockene Jahr 2003 sowohl in München mit einem 59 %igen Rückgang als auch in Würzburg mit einem Rückgang um 48 % simuliert. Demgegenüber steht eine deutliche Zunahme des Biomassewachstums unter niederschlagsreichen Bedingungen wie im Jahr 2021 in München um 20 % pro Jahr und in Würzburg um 54 % pro Jahr. Für das Klimaszenario RCP 8.5 ergeben sich für den Zeitraum 2081–2090 Rückgänge von 23 % in München beziehungsweise 32 % in Würzburg. Die Verfügbarkeit von Wasser ist also der entscheidende Faktor für gut wachsende und leistungsfähige Stadtbäume.

Das gleiche Muster ist für die Kühlung durch Transpiration zu erkennen: Starke Einbrüche in München im Trockenjahr und signifikante Zunahmen im nassen Jahr basierend auf den mittleren sommerlichen Kühlungsenergien für München (16.570 kWh pro Baum). In Würzburg liegt aufgrund der im langjährigen Durchschnitt trockenen Sommer mit einer mittleren Transpirationskühlung von 8.406 kWh pro Baum der Rückgang im trockenen Jahr 2003 lediglich bei 21 %. Aufgrund der geringeren Niederschlagsmengen unter den Bedingungen des Klimaszenariums RCP 8.6 der fernen Zukunft reduziert sich die Kühlung durch Transpiration vor allem in München deutlich.

Der interaktive Leitfaden für Stadtbäume

Der interaktive Leitfaden für Stadtbäume beruht auf dem Modell CityTree und kann online frei zugänglich genutzt werden (zu finden unter www.zsk.tum.de). Damit können das Wachstum und Ökosystemleistungen wie die CO₂-Speicherung, der Wasserverbrauch, die Abflussminderung sowie die Kühlung durch Transpiration und Beschattung für die 12 Baumarten in über 30 deutschen Städten bestimmt werden. In einer Eingabemaske können das Klima der ausgewählten Stadt, die Bodenart

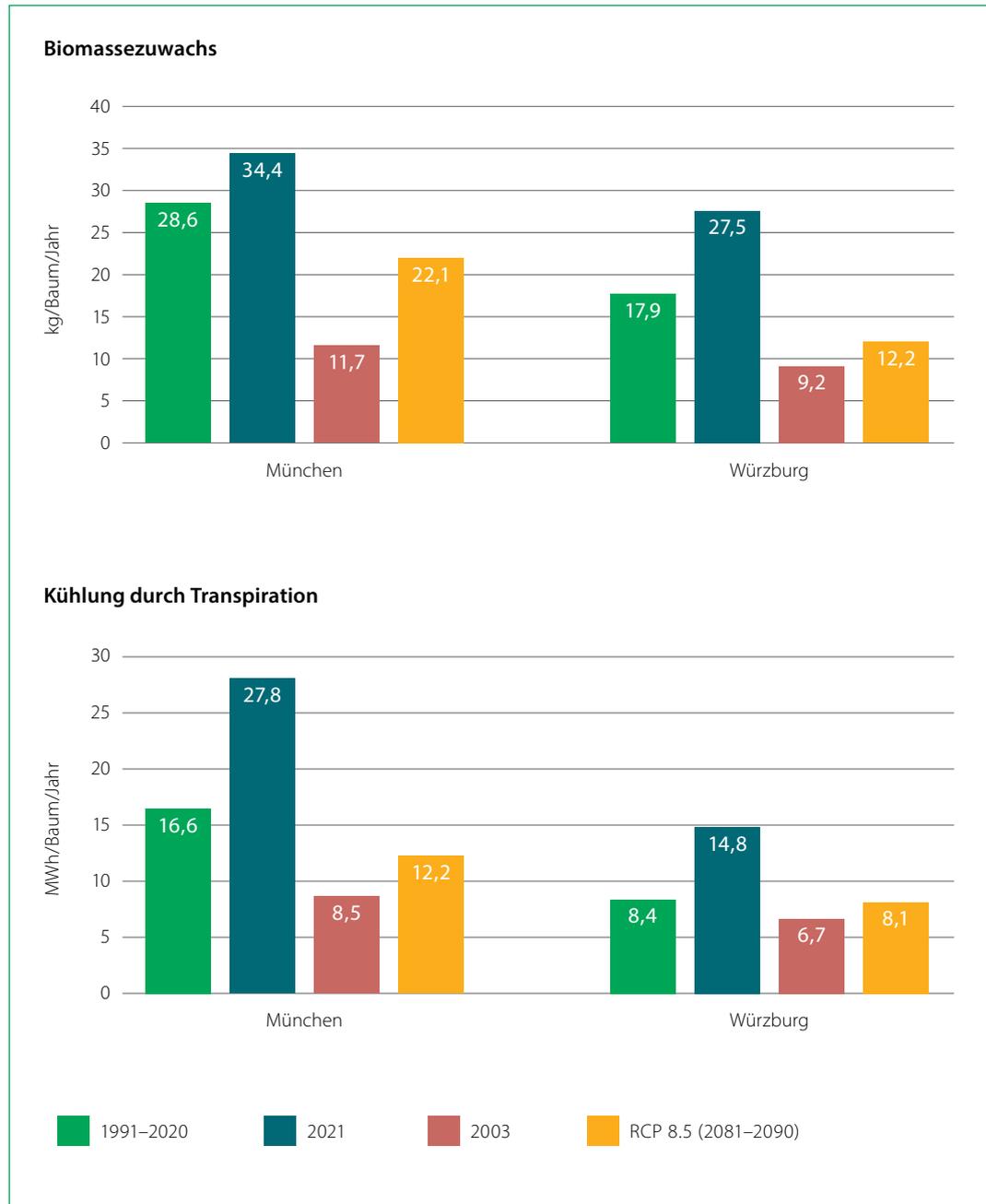


Abbildung 3: Biomassezuwachs in kg/Jahr (oben) und Kühlung durch Transpiration im Sommer in MWh (unten) von Platanen in München und Würzburg für die Stammdurchmesserklasse 50 cm bei einem Versiegelungsgrad von 50 % ohne Horizonteinschränkung (Bodenart: Lehmiger Sand).

und die Bodenversiegelung sowie die Einschränkung der Strahlung durch Objekte ausgewählt und deren Einflüsse auf das Wachstum und die Ökosystemleistungen der ausgewählten Baumart berechnet werden. Die Simulationen können für 10 Klassen verschiedener Stammdurchmesser (von kleiner als 10 cm bis zu 100 cm) durchgeführt werden. Neben Simulationen für das langjährige klimatische Mittel (1991–2020) sind Simulationen für das Trockenjahr 2003 und für die Klimaszenarien RCP 2.6 und RCP 8.5 möglich.

Handlungsempfehlungen für grüne und nachhaltige Städte

Basierend auf den Auswertungen zum Wachstum und den Ökosystemleistungen von mitteleuropäischen Stadtbäumebeständen lassen sich Handlungsempfehlungen für ein nachhaltiges Stadtbäumemanagement ableiten (RÖTZER et al. 2024). Damit das Wachstum und die Ökosystemleistungen von Stadtbäumen gewährleistet werden können, müssen die ober- und unterirdischen Standortbedingungen beachtet werden. Schon während der Planung sollte

beispielsweise eine möglichst geringe Versiegelung der Baumstandorte sichergestellt werden. Auch die Standort- und Arteigenschaften der Bäume sind zu berücksichtigen. Die Aufrechterhaltung von leistungsfähigen Stadtbaumbeständen, auch im Klimawandel, hängt neben guten Standortbedingungen insbesondere von der Baumartenwahl ab. Bei schlechten Standortbedingungen sollten trockenolerante Baumarten gepflanzt werden, um Einbußen bei Wachstum und Ökosystemleistungen zu vermeiden (RÖTZER et al. 2024). Eine Diversifizierung des Baumbestandes ist für die Aufrechterhaltung der Leistungen und im Hinblick auf Schädlings- und Krankheitsbefälle wichtig (RAUM et al. 2023). Sie fördert zudem Biodiversität, aber auch die Widerstandsfähigkeit gegenüber Extremereignissen.

Eine gute Kenntnis des Baumbestandes der Stadt ist wesentlich, um die Ökosystemleistungen quantifizieren zu können (LEICHTLE et al. 2024). Auf Basis von Daten aus Baumkatastern und Fernerkundung kann dies mit Modellen wie CityTree erreicht werden. Damit lassen sich beispielsweise Bereiche innerhalb der Stadt identifizieren, die mit Hilfe von mehr Bäumen beziehungsweise mehr Grün eine höhere Kühlung der Umgebung bewirken und das Wasser von Starkniederschlagsereignissen besser abpuffern beziehungsweise ganz allgemein mehr Lebensqualität schaffen. Ferner kann durch Simulationen vorab analysiert werden, welche Leistungen ein einzelner Baum oder ein Baumbestand aktuell hat, wie sie sich im Klimawandel verändern und wie durch einzelne Maßnahmen (Entsiegelung, Bewässerung, Baumschnitt, Auflichtung) die Leistungen gezielt angepasst werden können. Dadurch wird die Arbeit von Planern, Praktikern und Naturschützern unterstützt und erleichtert. Darüber hinaus kann der interaktive Leitfaden auch zur Sensibilisierung beitragen, indem er die Vorteile von Stadtbäumen aufzeigt.

Danksagung

Die Studien für diesen Beitrag wurden im Rahmen von Projekten des Zentrums Stadtnatur und Klimaanpassung durchgeführt und durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz finanziert.

Literatur

- ARMSON, D., RAHMAN, M. A. & ENNOS, A. R. (2013): A Comparison of the Shading Effectiveness of Five Different Street Tree Species in Manchester, UK. – *Arboric Urban For*, 39: 157–164.
- KAGOTANI, Y., NISHIDA, K., KIYOMIZU, T. et al. (2015): Photosynthetic responses to soil water stress in summer in two Japanese urban landscape tree species (*Ginkgo biloba* and *Prunus yedoensis*): Effects of pruning mulch and irrigation management. – *Trees*, 30: 697–708.
- KOWARIK, I., FISCHER, L. K., KENDAL, D. (2020): Biodiversity Conservation and Sustainable Urban Development. – *Sustainability* 12: 4964.
- KROEGER, T., McDONALD, R. I., BOUCHER, T. et al. (2018): Where the people are: Current trends and future potential targeted investments in urban trees for PM10 and temperature mitigation in 27 U.S. Cities. – *Landscape and Urban Planning*, 177: 227–240.
- LEICHTLE, T., GARCIA DE LEÓN, A. S., RÖTZER, T. et al. (2024): Abschätzung der Ökosystemleistungen von Stadtbäumen. – *AFZ–Der Wald*.
- PARAVANTIS, J., SANTAMOURIS, M., CARTALIS, C. et al. (2017): Mortality Associated with High Ambient Temperatures, Heatwaves, and the Urban Heat Island in Athens, Greece. – *Sustainability*, 9: 606.
- RAHMAN, M. A., STRATOPOULOS, L. M. F., MOSER-REISCHL, A. et al. (2020): Traits of trees for cooling urban heat islands: A meta-analysis. – *Build Environ*, 170: 106606.
- RAHMAN, M. A., PAWIJIT, Y., XUM, C. et al. (2023): A comparative analysis of urban forests for storm-water management. – *Scientific Reports*, 13: 1451.
- RAHMAN, M. A., ARNDT, S., BRAVO, F. et al. (2024): More than a canopy cover metric: Influence of canopy quality, water-use strategies and site climate on urban forest cooling potential. – *Landscape and Urban Planning*, 248: 105089.
- RAUM, S., COLLINS, C. M., URQUHART, J. et al. (2023): Tree insect pests and pathogens: a global systematic review of their impacts in urban areas. – *Urban Ecosystems*, 26: 587–604.
- ROBINE, J. M., CHEUNG, S. L., LE ROY, S. et al. (2008): Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003, *Comptes Rendus Biologies*, 331: 171–178.
- RÖTZER, T., MOSER-REISCHL, A., RAHMAN, M. A. et al. (2021): Modelling Urban Tree Growth and Ecosystem Services: Review and Perspectives. – In Cánovas, F. M. (ed.): *Progress in Botany* (Springer International Publishing).

- RÖTZER, T., FRANCESCHI, E., REISCHL, A. et al. (2024): Leitfaden Stadtbäume im Klimawandel. – 2. erweiterte Auflage des Leitfadens zu Stadtbäumen in Bayern, Freising: 95 S.
- RÖTZER, T., RAHMAN, M. A., MOSER-REISCHL, A. et al. (2019): Process based simulation of tree growth and ecosystem services of urban trees under present and future climate conditions. – Science of the Total Environment, 676: 651–664.
- STROHBACH, M. & HAASE, D. (2012): Above-ground carbon storage by urban trees in Leipzig, Germany: Analysis of patterns in a European city. – Landscape and Urban Planning, 104: 95–104.
- URL 1: CityTree-Modell, Zentrum Stadtnatur und Klimaanpassung; www.zsk.tum.de.
- WINBOURNE, J. B., JONES, T. S., GARVEY, S. M. et al. (2020): Tree Transpiration and Urban Temperatures: Current Understanding, Implications, and Future Research Directions. – BioScience, 70: 576–588.

- WOLF, K. L., LAM, S. T., MCKEEN, J. K. et al. (2020): Urban Trees and Human Health: A Scoping Review. – Int. J. Environ. Res. Public Health, 17: 4371.
- ZÖLCH, T., MADERSPACHER, J., WAMSLER, C. et al. (2016): Using green infrastructure for urban climate-proofing: An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale. – Urban For Urban Greening, 20: 305–316.

Zitiervorschlag

RÖTZER, T., FRANCESCHI, E., REISCHL, A. & PAULEIT, S. (2025): Der interaktive Leitfaden für Stadtbäume im Klimawandel: Quantifizierung von Wachstum und Ökosystemleistungen. – Anliegen Natur 47(2): online preview, 6 p., Laufen; <https://doi.org/10.63653/fcxy6436>.

Autorinnen und Autoren



Prof. Dr. Thomas Rötzer

Jahrgang 1961

Thomas Rötzer studierte Agrarwissenschaften und Gartenbauwissenschaften an der Technischen Universität München, promovierte hier 1996 über Phänologie und Wasserhaushalt im Klimawandel und habilitierte sich 2012 über die Kohlenstoffdynamik von Wäldern. Seit 2019 ist er Professor für Ökologische Modellierung an der Technischen Universität München und leitet die Stadtbaum-Forschungsgruppe, in der die Koautorinnen und Koautoren tätig sind.

Lehrstuhl für Strategie und Management
der Landschaftsentwicklung
Technische Universität München
thomas.roetzer@tum.de
+49 8161 71-4667

Eleonora Franceschi

Jahrgang 1993

Lehrstuhl für Strategie und Management
der Landschaftsentwicklung
Technische Universität München
eleonora.franceschi@tum.de
+49 8161 71-4774

Dr. Astrid Reischl

Jahrgang 1988

Lehrstuhl für Strategie und Management
der Landschaftsentwicklung
Technische Universität München
astrid.reischl@tum.de
+49 8161 71-4664

Prof. Dr. Stephan Pauleit

Jahrgang 1960

Leiter des Lehrstuhls für Strategie und Management
der Landschaftsentwicklung
Technische Universität München
pauleit@tum.de
+49 8161 71-4780