Atemnot im Wurzelraum - Möglichkeiten und Grenzen der Sanierung von Belüftungsstörungen im Boden

Prof. Dr. Thorsten Gaertig, Professor für angewandte Bodenkunde und Stadtökologie an der HAWK – Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst in Göttingen

1. Einleitung

Stadt- und Straßenbäume erreichen aufgrund ihrer standörtlichen Besonderheiten selten das Lebensalter, welches Bäume an natürlichen Standorten erreichen. Eine häufige Ursache ist die Störung der Bodenbelüftung. Neben dem Lebensraum für Wurzeln dient der Boden als Unterlage für Verkehrsflächen wie Straßen, Parkplätze und Radwege. Nicht versiegelte Flächen werden oft durch Fußgänger, Baumaßnahmen oder parkende Fahrzeuge verdichtet. In dem von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projekt „Sanierung von Bodenschadverdichtung an urbanen Baumstandorten (SanUrBaum)" wurden Verfahren zur Sanierung urbaner Baumstandorte auf ihre Wirksamkeit überprüft (WELTECKE ET AL. 2024). Ziel dieses Beitrags ist es, zu skizzieren, welche Hinweise aus dem Projekt SanUrBaum zur Verbesserung der Lebensbedingungen von Stadt- und Alleebäumen abgeleitet werden können.

2. Belüftungsstörungen im Wurzelraum

Bäume bzw. Baumwurzeln sind darauf angewiesen, gleichzeitig Wasser, Nährstoffe und Sauerstoff aus dem Boden zu beziehen. Dabei ist die Sauerstoffversorgung wie beim Menschen, der wochenlang ohne Nährstoffe, tagelang ohne Wasser aber nur wenige Minuten ohne Sauerstoff überleben kann, von elementarer Bedeutung. Der von den Wurzeln benötigte Sauerstoff (O_2) muss über den luftgefüllten Porenraum des Bodens aus der freien Atmosphäre nachgeliefert werden, produziertes Kohlendioxid (CO_2) muss analog entsorgt werden. Wenn die „Gasschleuse Oberboden" nach Bodenverdichtung verengt oder in Folge von Versiegelung dicht ist, hat dies zwangsläufig Auswirkungen auf die Sauerstoffversorgung und die Kohlendioxid-Entsorgung in allen darunter liegenden Bodenhorizonten (Abbildung 1).

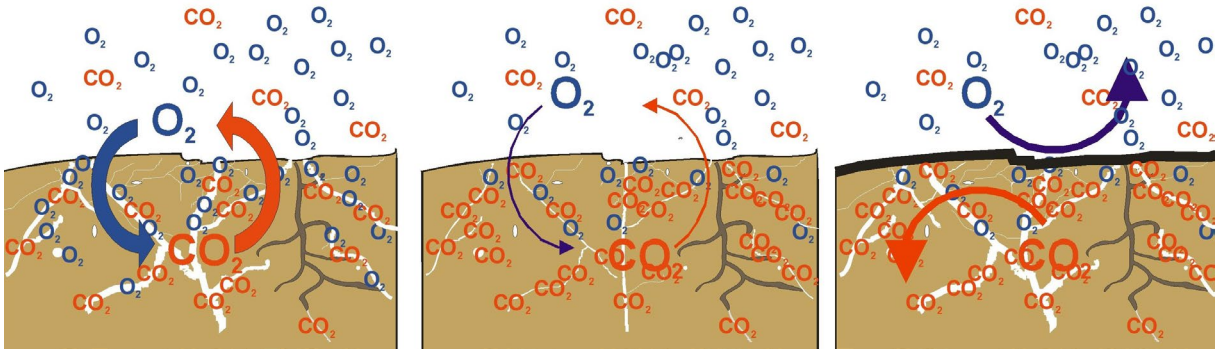

Abb. 1. Der Gasaustauch zwischen Wurzel und Atmosphäre erfolgt über das Porensystem. Ein verringertes Porensystem (Mitte) oder eine versiegelte Oberfläche (rechts) reduzieren oder unterbrechen den Gasaustausch. Die Bodenluft wird sauerstoffärmer und Kohlendioxid reichert sich an.

Bei verdichteten oder versiegelten Böden ist die oberflächennahe Grenzschicht zur Atmosphäre die relevante Schleuse für den Gasaustausch. Die Gasdurchlässigkeit typischer Oberbodenbeläge hängt von deren Beschaffenheit und dem Versiegelungsgrad ab (Abbildung 2).

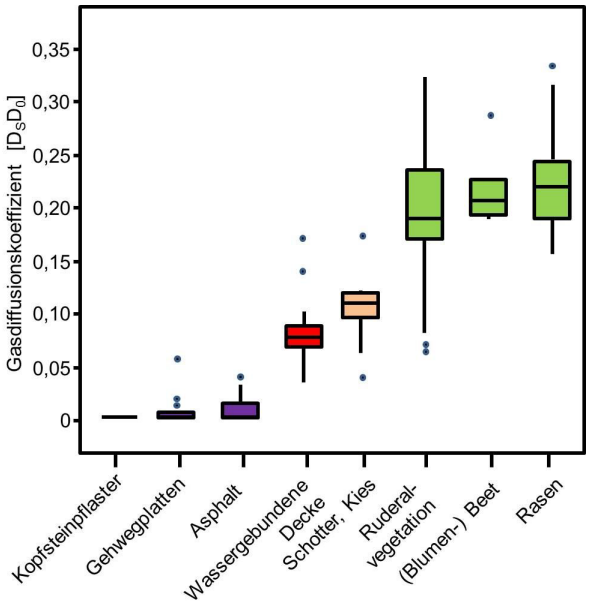

Abb. 2: Gasdurchlässigkeit (Gasdiffusionskoeffizient [$D_S D_0$]) von Böden unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit (aus WELTECKE UND GAERTIG 2012).

Kopfsteinpflaster, Gehwegplatten und Asphalt sind nahezu gasundurchlässig und können als „versiegelt" bezeichnet werden. Die höchste Gasdurchlässigkeit haben Rasenflächen, Blumenrabatten und Ruderalvegetation. Wassergebundene Decken liegen zwischen den vorher genannten Gruppen (WELTECKE UND GAERTIG 2012).

Verdichtung und Versiegelung haben einen signifikanten Einfluss auf das Wachstum und die Vitalität von Bäumen. Dieser Effekt lässt sich sehr gut an den „Beuys-Eichen", die zwischen 1982 und 1987 in Kassel auf verschiedensten Standorten gepflanzt wurden, zeigen (GAERTIG UND SCHÖNEMANN 2015). Mit zunehmendem Versiegelungsgrad nehmen die Baumhöhen und die Stammdurchmesser der untersuchten Eichen ab (Abbildung 3).

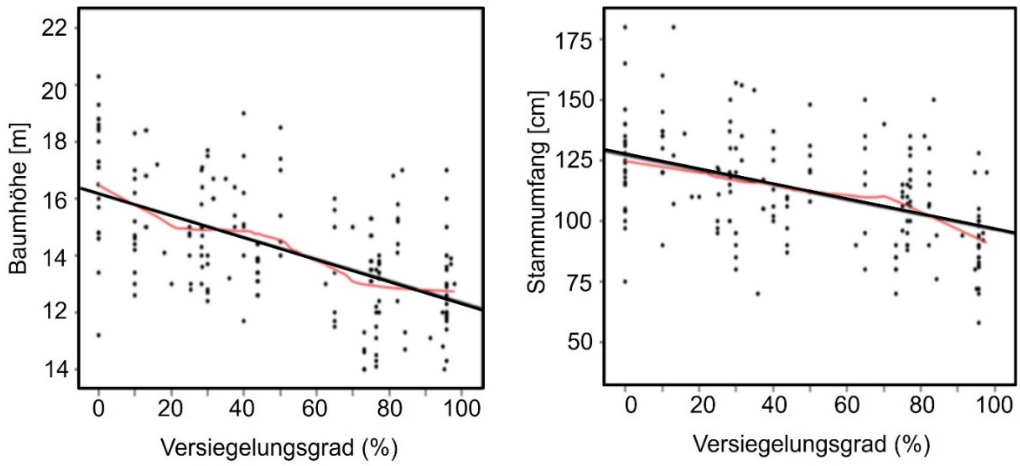

Abb. 3: Baumhöhe (links) und Stammumfang (rechts) von Kasseler „Beuys-Eichen" (N=171) in Abhängigkeit vom Versiegelungsgrad. Die Regressionsgraden (schwarze Linien) sind signifikant ($p < 0,05$.) (aus GAERTIG UND SCHÖNEMANN 2015).

Gleichzeitig nimmt auch die Vitalität mit zunehmender Versiegelung signifikant ab. SCHMIDT UND GAERTIG (2020) konnten zeigen, dass der Wurzelraum gesunder Beuys-Eichen im Mittel nicht mehr als 40 % versiegelt war, während der Wurzelraum der „geschädigten" Eichen durchschnittlich einen Versiegelungsgrad von 80 % aufwies (Abbildung 4).

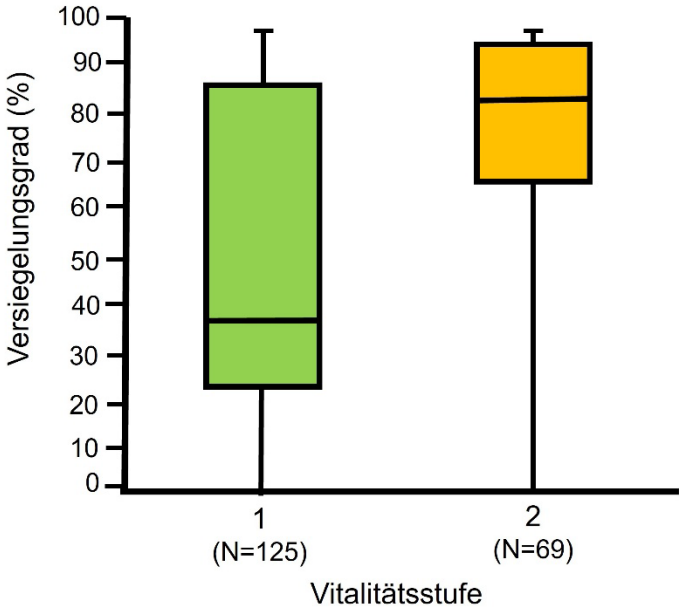

Abb. 4: Versiegelungsgrad der „Beuys-Eichen" unterschiedlicher Vitalität. Betrachtet wurden die Vitalitätsstufen 1 und 2 nach ROLOFF (2001). (aus SCHMIDT UND GAERTIG 2020).

3. Mögliche Ableitungen aus dem SanUrBaum-Projekt für Alleebäume

Der Wurzelraum von Alleebäumen ist aufgrund ihrer Funktion als Straßen- oder Wegebegleitbaum mehr oder weniger versiegelt. Überwiegend können unter einem Alleebaum drei Bereiche ausgemacht weren:

1. Die Verkehrsfläche, die i.d.R versiegelt ist,
2. der Zwischenbaumbereich der nicht versiegelt, aber häufig verdichtet ist, und
3. die Bereiche, die natürlich gelagert sind.

Maßnahmen zur Verbesserung der Bodenbelüftung kommen in den versiegelten und verdichteten Bereichen in Betracht. Im DBU-Projekt SanUrBaum wurde ein Simulationsmodell entwickelt, mit dem geprüft werden kann, ob und wie unterschiedliche Bodenbelüftungseinrichtungen den Gasaustausch zwischen Boden und Atmosphäre verbessern können. Darüber hinaus wurden praxisübliche Sanierungsmaßnahmen auf verdichteten Flächen (Druckluftlanzensanierung, Phytomelioration) evaluiert.

3.1 Modellierung der Wirkung von Bodenbelüftungseinrichtungen

Um den Gasaustausch zwischen Boden und Atmosphäre abschätzen zu können, wurde ein Simulationsmodell entwickelt, das die CO_2-Konzentrationsverteilung im Boden bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen berechnen kann (WELTECKE ET

AL. 2025). In Abbildung 5 ist am Beispiel eines unter einer Allee zu planenden Radweges dargestellt, welche Muster der CO_2-Konzentrationsverteilung sich einstellen, wenn dieser

a) als konventioneller Radweg,
b) als Radweg mit Belüftungsrohr in der Mitte,
c) als Radweg mit Flächenbelüftung unter Asphalt

gebaut wird. Bei allen Bauweisen wurde angenommen, dass im Oberbau der Verkehrsfläche keine Bodenatmung, im verdichteten Unterboden darunter eine geringe Bodenatmung stattfindet.

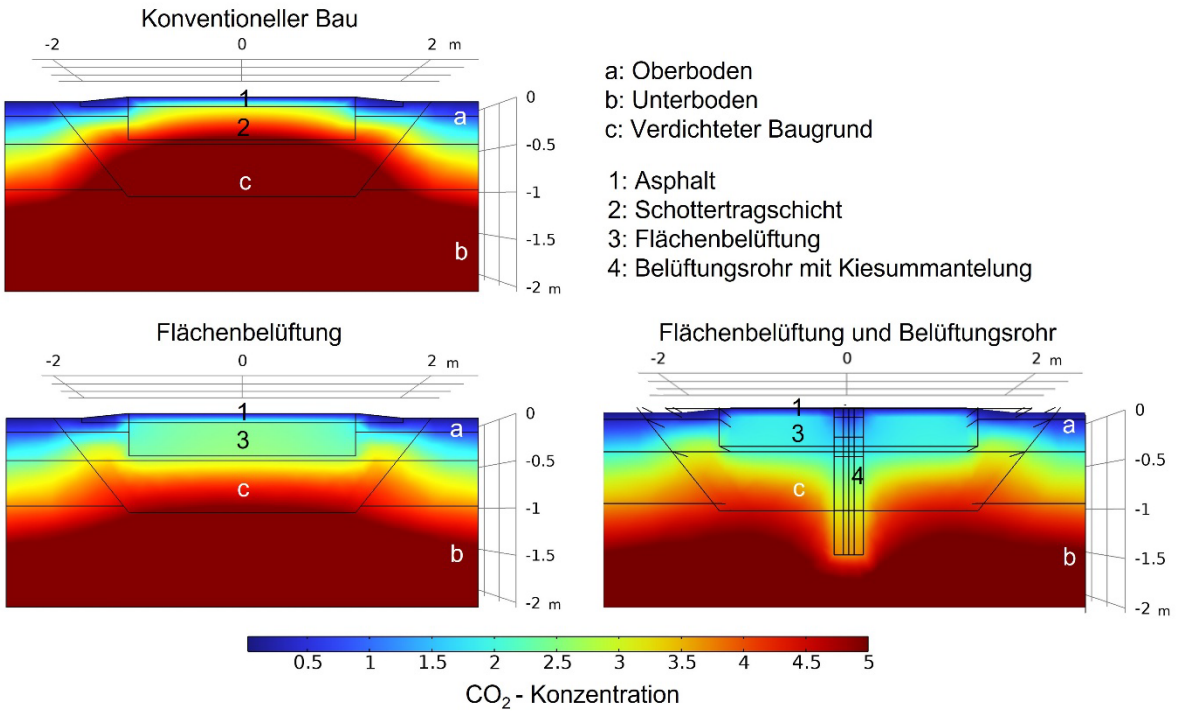

Abb. 5: Modellierte CO_2-Konzentrationen unter Radwegen in konventioneller und Damm- Bauweise bzw. mit unterschiedlichen Belüftungseinrichtungen (aus GAERTIG, T. UND WELTECKE, K. 2025).

Niedrige CO_2-Konzentrationen im Boden weisen auf einen günstigen Gasaustausch hin. Die hohen CO_2-Konzentrationen (rote Farben) unter dem Radweg zeigen, dass der Gasaustausch unter einer Asphaltdecke immer reduziert ist. Eine Flächenbelüftung und insbesondere eine Flächenbelüftung mit Belüftungsrohr kann den Gasaustausch unter einer Asphaltdecke jedoch verbessern. Dies entspricht auch den Untersuchungen von Weltecke et al. (2025) sowie Lösken et al. (2001), die gezeigt haben, dass Belüftungseinrichtungen in versiegelten und verdichteten, feinkörnigen Böden Belüftungsengpässe abmildern.

3.2 Druckluftlanzensanierung

Die Effizienz des in der Praxis gängigen Verfahrens der Druckluftlanzensanierung wurde in dem SanUrBaum-Projekt mit vergleichenden Laserscanaufnahmen vor und nach einer Sanierung geprüft (LÖWE ET. AL. 2024). Eine Zunahme des Porenvolumens im Boden ist dann anzunehmen, wenn sich die Bodenoberfläche gehoben hat (Abbildung 6).

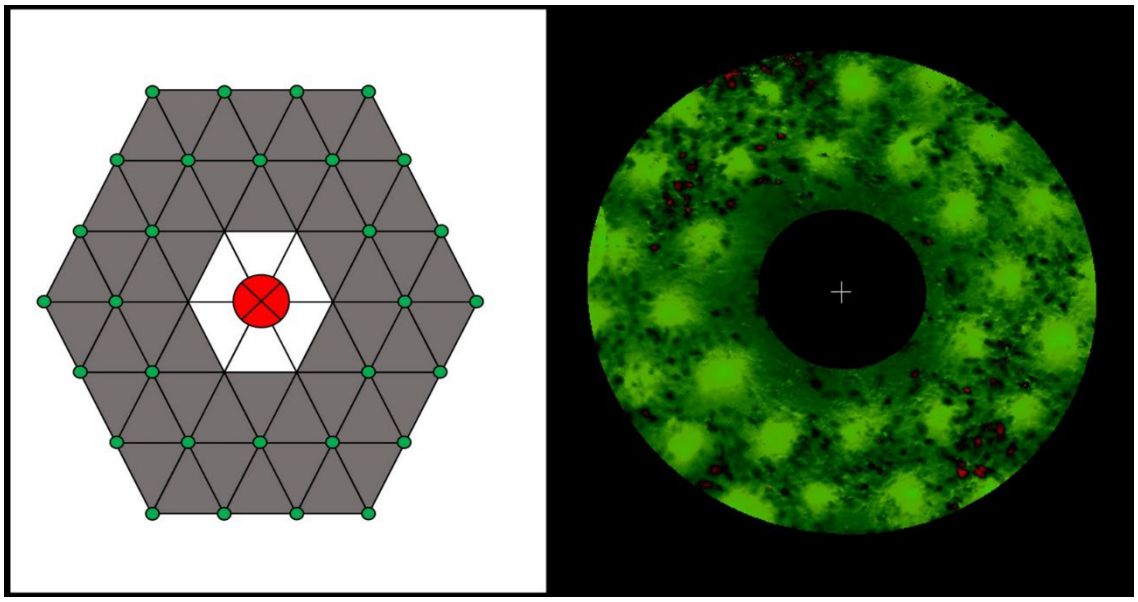

Abb. 6: Links: Sanierungsraster mit dem Baum (rot) im Mittelpunkt und den grün dargestellten Druckluftinjektionsstellen. Rechts: Digitales Geländemodell einer Druckluftlanzensanierung im Krupp-Park in Essen. Hebungen der Bodenoberfläche infolge der Sanierung sind grün dargestellt (aus LÖWE et al. 2024).

Das Volumen, um dass sich der Boden gehoben hat, entspricht dem geschaffenen Porenvolumen. Der direkt nach der Sanierung zu beobachtende Effekt der Druckluftlanzensanierung war bei sandigen Böden am höchsten, bei tonigen am geringsten. Unabhängig von der Bodenart ist der Sanierungseffekt bis in eine Entfernung von etwa 1 m zum Injektionsloch messbar (Abbildung 7).

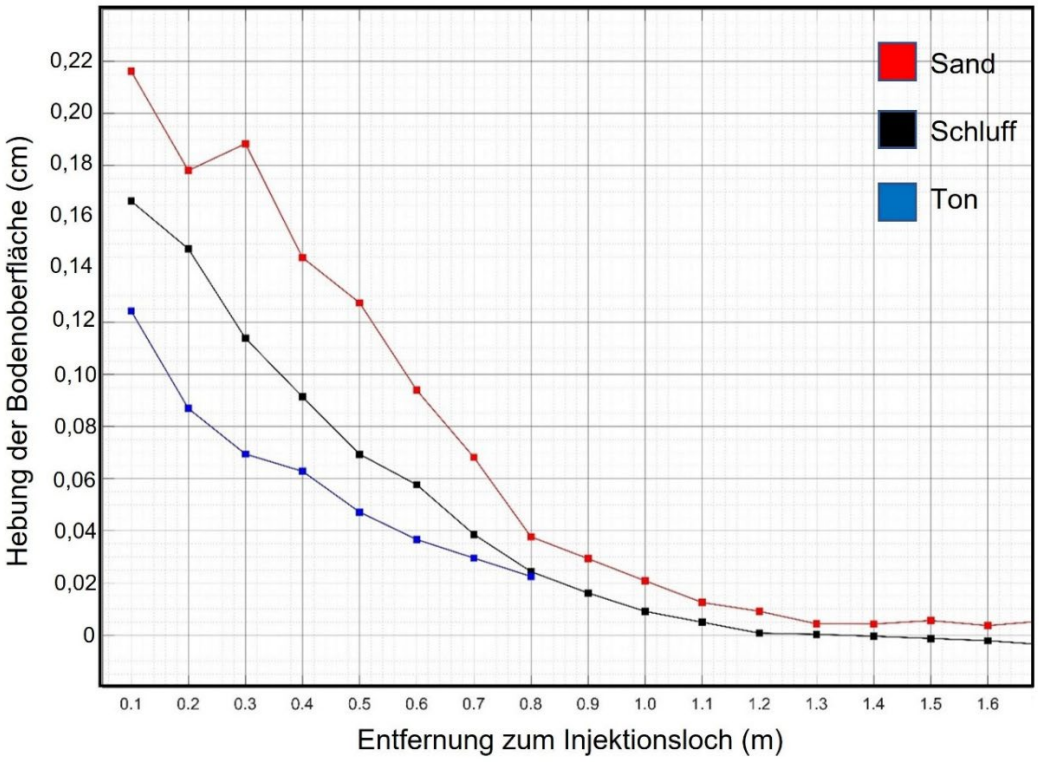

Abb. 7: Hebung der Bodenoberfläche in Abhängikeit von der Bodenart und der Entfernung zum Injektionsloch nach Druckluftlanzen-sanierung mit Stützkorn (nach LÖWE et al. 2024).

3.3 Phytomelioration

Aus der Landwirtschaft und von Rekultivierungsmaßnahmen ist der Einsatz tief- und intensiv wurzelnder krautiger Pflanzen, die verdichtete Bereiche durchwurzeln können, und dadurch neue Poren schaffen, bekannt (EMANUEL, C. 1977). Auf stark verdichteten Standorten wurde mit einer speziellen Saatmischung versucht, die Bodenstruktur zu verbessern. In einer zweijährigen Standzeit konnte eine tiefreichende Durchwurzelung und damit eine Melioration der verdichteten Böden nicht erreicht werden (WELTECKE ET AL. 2023). Möglicherweise ist eine Saat nach Druckluftlanzensanierung jedoch sinnvoll, um den Effekt der anfänglichen Lockerung über die wurzelaktiven Pflanzen nachhaltig zu stabilisieren.

4. Fazit

Eine ausreichende Bodenbelüftung ist für das Wachstum und die Vitalität von Bäumen notwendig. Bei Allebäumen besteht die Herausforderung darin, den Ansprüchen von Wurzeln und Verkehrsinfrastruktur gleichzeitig gerecht zu werden. Dazu sollte der Versiegelungsgrad im Bereich der Kronenschirmfläche unter 40 % gehalten werden. Je nach der zu erwartenden Beanspruchung durch den Verkehr, sollte eine möglichst gasdurchlässige Oberfläche verwendet werden. Die Auswirkungen unterschiedlicher Bauweisen auf den Gashaushalt kann über Simultionen sehr gut beurteilt werden. Technische Belüfungsmaßnahmen haben oft nur einen geringen Effekt auf den Gasaustausch unter versiegelten oder verdichteten Oberflächen. Umso wichtiger ist es daher, den Bereich zwischen den Alleebäumen konsequent vor Verdichtung zu schützen.

Wenn eine Druckluftlanzensaniertung verdichteter Böden erwogen wird, sollte der Abstand zwischen den Injektionslöchern nicht größer als 1 m sein. Inwieweit der kurzfristig beobachtete Effekt der Erhöhung der Porosität auch zu einer nachaltigen Strukturverbesserung führt, ist unklar. Möglicherweise kann die initiale Druckluft-Lockerung durch die Saat wurzelaktiver Pflanzen stabilisiert werden. Dies soll u.a. in dem 2025 beginnenden DBU-Projekts „OptUrBaum" geprüft werden

5. Literaturverzeichnis

GAERTIG, T., WELTECKE, K. (2025): Bessere Lebensbedingungen für Alleebäume. Schlussfolgerungen aus dem Forschungsprojekt SanUrBaum der DBU In: Deutsche Gesellschaft für Gartenkunst und Landschaftskultur (Hrsg.): Alleen Perspektiven - Im Klimawandel, DGGL Themenbuch 20. 42-47.

GAERTIG, T., SCHÖNEMANN, H. (2015): Wachstum und Vitalität der „Beuys-Eichen" in Kassel auf unterschiedlich versiegelten Standorten. In: Dujesiefken, D. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2015. Haymarket Media, Braunschweig, S. 262-266.

EMANUEL, C. (1977): Untersuchungen zur biogenen Auflösung einer Pflugsohlenverdichtung während einer zweijährigen Bodenruhe. Dissertation Universität Göttingen, 107 S.

LÖWE, O., WELTECKE, K., GAERTIG, T., (2024): Sanierung von Bodenschadverdichtungen an urbanen Baumstandorten. AFZ/Der Wald 79 (4) S. 13-16.

ROLOFF, A., (2001): Baumkronen – Verständnis und praktische Bedeutung eines komplexen Naturphänomens. Ulmer Verlag. Stuttgart S.164.

SCHMIDT, D., GAERTIG, T.: (2020): Versiegelung und Konkurrenz als wachstums- und vitalitätsbeeinflussende Faktoren der „Beuys-Eichen" in Kassel. In: Dujesiefken, D. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2020. Haymarket Media, Braunschweig, S. 339-344.

WELTECKE, K., GAERTIG, T. (2012): Influence of soil aeration on rooting and growth of the Beuys-trees in Kassel, Germany. Urban Forestry & Urban Greening 11 (3) S. 329-338.

WELTECKE, K., LÖWE, O., GAERTIG, T. (2023): Sanierung von Bodenschadverdichtungen mit Pflanzen. In: Dujesiefken, D., Amtage, T., Streckenbach, M. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2023. Haymarket Media, Braunschweig, S. 281-291.

WELTECKE, K., LÖWE, O., GAERTIG, T. (2024): Sanierung von Bodenschadverdichtung an urbanen Baumstandorten (SanUrBaum). Abschlussbericht des von der Deutschen Bundesstiftung Umweld geförderten Projekts Az: 34674/01-23. 57 S. https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-34674_01-Hauptbericht.pdf.

WELTECKE, K., LÖWE, O., GAERTIG, T. (2025): Evaluation of the Effect of Aeration Tubes and Holes on Soil Gas Exchange Using a Simulation Model. European Journal of Soil Science. 76(1) https://doi.org/10.1111/ejss.70051

Autor

Prof. Dr. Thorsten Gaertig studierte Forstwissenschaft an der Universität Freiburg. Nach dem Referendariat in Baden-Würtemberg und Tätigkeit an der dortigen Forstlichen Versuchsanstalt promovierte er als DBU-Stipendiat in Freiburg. Seit 2004 lehrt und forscht er als Professor für Angewandte Bodenkunde und Stadtökologie an der HAWK in Göttingen. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Auswirkungen von Bodenstrukturstörungen auf den Bodengashaushalt und deren Auswirkungen auf Bäume sowie die Erforschung des natürlichen und technischen Regenerationspotenzials verdichteter Böden.

Kontakt

Prof. Dr. Thorsten Gaertig
HAWK Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst
Fakultät Ressourcenmanagement
Büsgenweg 1a
D-37077 Göttingen
e-mail: thorsten.gaertig@hawk.de
Tel.: +49 (0) 551-5032-171
www.hawk.de