

Sensorengestütztes Bewässerungsmanagement

Wassergaben kontrollieren, steuern und bewerten

Alexander Borgmann genannt Brüser, Christoph Sternberg



Abstract

In Zeiten des Klimawandels erhält die Wasserversorgung von Jungbäumen einen immer höheren Stellenwert. Anstelle der Gießmengenempfehlungen der allgemeingültigen Regelwerke ist ein sensorengestütztes Bewässerungsmanagement bedarfsgerecht. Es sind mehrere Sensoren mit unterschiedlichen Messverfahren zum volumetrischen Wassergehalt oder zur Bodenwasserspannung erhältlich.

Im Zuge von Vorversuchen haben sich mehrere Versorgungsbereiche etabliert, die die Bodenwasserspannung in kPa berücksichtigen: gute, mäßige kritische und keine Wasserversorgung. Durch Erfahrungswerte entwickelten sich über die Jahre verschiedenen Bewässerungsstrategien, die den oberirdischen und unterirdischen Zustand der Gehölze mit einbeziehen.

Die Bewässerungsstrategien sehen mehrere Zonen vor, in denen gewässert wird: Ballenzone, direkte und erweiterte Auswurzelungszone. Die Auswurzelung wird regelmäßig per Handschachtung oder mittels Saugbagger bewertet und die Bewässerungsstrategie angepasst.

Über die Menge und den Ausbringungsort der Wassermenge können der Baum ausreichend mit Wasser versorgt werden und die Wurzeln gezielt in tiefere Bodenschichten gelenkt werden. Die Sensordaten können über die zwei Funktelemetrien LoRaWAN und NB-IoT über Funkeinheiten an

ein Online-Portal gesendet werden und müssen nicht mehr händisch ausgelesen werden.

Mithilfe der sensorengestützten Bewässerung unter Einbeziehung von prognostizierten Niederschlagsdaten gibt es ein großes Einsparpotenzial: Es wird bedarfsgerecht gewässert – also nur dann und so viel wie benötigt wird. Im Regenjahr 2021 konnte an einem Standort die veranschlagte Menge zur Etablierung von jungen Ulmen im 3. Standjahr um 100 % reduziert werden, da die Grenzwerte der Bodenfeuchte nicht überschritten wurden.

Einleitung

Die Bewässerung von Jungbäumen nimmt in Zeiten klimatischer Veränderungen einen immer höheren Stellenwert ein. Die noch vor acht Jahren seitens der Forschungsgesellschaft für Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau e.V. empfohlene Jungbaumbewässerung (FLL 2015) wurde infolge der Dürrejahre 2018, 2019 und 2020 vielerorts deutlich nach oben korrigiert. 15 bis 30 wöchentliche Gaben mit bis zu 200 Litern für Alleebäume (StU 18–20 cm) im ersten Standjahr, in Summe bis zu 6.000 Liter pro Jahr, sind keine Seltenheit mehr.

Wen wundert dies bei den Ausfällen der vergangenen Jahre, mag sich mancher denken: Unter der Annahme, dass es gar nicht (mehr) regnet, hilft ja wirklich nur viel Wässern. Aber liegt das grundsätzliche Problem nicht ganz woanders? Macht das Regenjahr 2021 nicht deutlich, dass es einen Strategiewechsel braucht – weg von starren Systemen, in denen öffentliche Gelder und gleichzeitig die immer wichtiger werdende Ressource Wasser bereits Monate vor dem physiologischen Bedarf verplant werden? Braucht es nicht vielmehr dynamische Strategien zur Baumbewässerung, um bei variierenden jährlichen Niederschlagsmengen während der mehrjährigen Anwuchsphase sowohl die jungen Gehölze sicher zu etablieren als auch die Ressourcen Wasser, Arbeitskraft und Geld effizient einzusetzen?

Durch die Ausstattung mit Sensoren für die Bodenfeuchtigkeit in verschiedenen wurzelrelevanten Bereichen wird eine dynamische Bewässerung der

Gehölze möglich, das heißt eine an den tatsächlichen Zustand der Bodenfeuchtigkeit angepasste Wasserversorgung.

Grundlagen: Bodenfeuchtigkeit und Bewertungskriterien volumetrischer Wassergehalt vs. Bodenwasserspannung

Bodenfeuchtigkeit

Der Feuchtigkeitszustand von natürlichen Böden oder individuell eingesetzten Substratmischungen (z. B. Baumsubstrat) kann in der Praxis mit Hilfe des volumetrischen Wassergehalts – wie viele Liter stehen der Pflanze zur Verfügung – oder der Bodenwasserspannung – wie hoch ist die Kraft, welche die Pflanze aufwenden muss, um an das Bodenwasser zu gelangen – beschrieben werden. Da die nutzbare volumetrische Wasserspeicherkapazität stark von der Bodenart und vom Gehalt an organischer Substanz abhängt, ist ein direkter Vergleich der Wasserverfügbarkeit von Bodenmilieus, die sich in ihrer Zusammensetzung unterscheiden, bei alleiniger Betrachtung des volumetrischen Wassergehalts schwierig. Selbst für Fachleute entsteht aufgrund der Notwendigkeit einer an die jeweilige Bodenart angepassten Kalibrierung der eingesetzten Sensoren (kapazitives bzw. volumetrisches Messverfahren) ein erheblicher analytischer Mehraufwand bei der Bodensprache, welcher in der Praxis kaum zu leisten ist.

Ein vorwiegend sandiger Boden (Sl2) kann lediglich ca. 25 Volumenprozent Wasser effektiv gegen die Schwerkraft halten. Dies entspricht einer hundertprozentigen Wasserspeicherkapazität. Der Totwasseranteil beträgt bei dieser Bodenart ca. 7 Volumenprozent. Somit würde ein Kubikmeter dieses Sandbodens 180 Liter pflanzenverfügbares Wasser bereithalten. Ein durch seinen Schluff- und Tonanteil dominierter Boden (Tu3) kann im Vergleich dazu ca. 38 Volumenprozent Wasser gegen die Schwerkraft halten. Bei einem Totwasseranteil von ca. 25 Volumenprozent resultiert somit, bezogen auf einen Kubikmeter, eine für die Pflanze nutzbare Wassermenge von 130 Litern. Vergleicht man nun den Sandboden bei 100 Prozent nutzbarer Feldkapazität (pF 1,8) und den bis zum Totwasser geleerten tonigen Schluffboden (pF 4,2) erhält man einen identischen volumetrischen Wassergehalt von 25 Volumenprozent. Dieses Beispiel verdeutlicht, dass auf Ba-

sis einer volumetrischen Wassergehaltsmessung erst die genaue Bestimmung der Bodenart und des Anteils an organischer Substanz eine quantitative Bewertung der Wasserverfügbarkeit für die Pflanze möglich macht (Weltecke 2020). Übertragen auf Baumstandorte sind in den ersten Jahren der Etablierung von Jungbäumen zumindest zwei Boden- bzw. Substratmilieus mit potenziell unterschiedlichen Wasserspeichervermögen zu erwarten:

1. Der lehmige Ballen – hinsichtlich der Bodenart in der Regel zwischen lehmigem Sand und sandigem Lehm angesiedelt –, den der Baum aus der Baumschule mitbringt.
2. Das Baumsubstrat in der Pflanzgrube, welches oftmals aus unterschiedlichen Bezugsquellen stammt.

Auch der anstehende Boden (3. Milieu), welcher als potenziell durchwurzelbarer Raum zur Verfügung steht, gewinnt mit steigender Standzeit und fortschreitender Entwicklung des Wurzelwerks hinsichtlich der Wasserverfügbarkeit an Bedeutung. Eine direkte Übertragbarkeit der Ergebnisse aus relevanten Bodenmilieus und Substrataufbauten bietet die Messung der Bodenwasserspannung.

Bodenwasserspannung, Nutzbare Feldkapazität (nFK) und Permanenter Welkepunkt (PWP)

Die Bodenwasserspannung – Synonyme: Matrixpotenzial/Saugspannung des Bodens – wird als pF-Wert ($pF = \text{Potenz der freien Energie des Wassers}$), negativer Druck in Hektopascal (hPa), Kilopascal (kPa) oder Centibar (cbar) angegeben und beschreibt die Kraft, mit der das Bodenwasser im vorhandenen Porensystem „festgehalten“ wird. Sie ist gleichzeitig die Kraft, die von der Pflanze aufgebracht werden muss, um dem Boden oder dem Baumsubstrat Wasser zu entziehen. Mit fortschreitender Abtrocknung des Bodens, verursacht durch Oberflächenverdunstung und Pflanzenentzug (Evapotranspiration), steigt die Bodenwasserspannung an. Das verbleibende Wasser ist mit fortschreitender Abtrocknung immer stärker in den Poren gebunden. Ab dem Permanenten Welkepunkt (PWP) bei einem pF-Wert von 4,2 ist die Bindung des Restwassers in den Bodenporen so stark, dass nahezu alle hiesigen Landpflanzen bezüglich der Wasseraufnahme an ihre Grenzen stoßen.

Die Wurzeln sind nicht mehr in der Lage, der Porenmatrix das noch vorhandene Wasser zu entziehen. Das besonders bei schweren Böden in größeren Mengen in den Feinporen verbleibende Restwasser wird als Totwasser (pF -Wert $> 4,2$) bezeichnet.

Bei einem pF -Wert von 1,8 wird von der größtmöglichen Wasserverfügbarkeit für die Pflanze ausgegangen. Man spricht von einer 100 Prozent nutzbaren Feldkapazität. Wird dieser pF -Wert unterschritten, sind bereits luftführende Poren mit Wasser gefüllt (Amelung et al. 2018).

Die pF -Kurve: Zusammenhang zwischen Bodenwasserspannung und volumetrischem Wassergehalt

Mit Hilfe einer individuell ermittelten pF -Kurve kann ein direkter Bezug zwischen der Bodenwasserspannung und dem volumetrischen Wassergehalt hergestellt werden. Somit können neben Aussagen zur benötigten Kraft, die von der Pflanze für die Wasseraufnahme aufgewendet werden muss, ebenfalls Angaben zur Wasserbevorratung gegeben werden.

Vorversuche zur Ermittlung von Grenzbereichen der Bodenwasserspannung zur Bewässerungssteuerung im Baumsubstrat

Zur Ermittlung von Grenzbereichen der Bodenwasserspannung für die Steuerung und die Bewertung von Gießgängen wurde ein mehrjähriger Praxisversuch angelegt. Ziel dieses Versuchs war es, durch eine langfristige Datenerhebung von Bodenfeuchtigkeitsmesswerten in festgelegten Intervallen – manuelle Datenerhebung einmal wöchentlich – möglichst allgemeingültige Grenzbereiche der Bodenwasserspannung in Baumsubstrat (für offene Standorte, FLL 1) abzuleiten. Damit soll der Etablierungsprozess von Alleebäumen unter ökologischen sowie ökonomischen Gesichtspunkten so effizient wie möglich ablaufen. Insgesamt wurden innerhalb der Pflanzperiode 200 Alleebäume (4xv, StU 18–20 cm) verschiedener Art und Sorte zeitgleich unter Berücksichtigung einer einheitlich standardisierten Pflanzgrubenvorbereitung gepflanzt. Von diesen 200 Neupflanzungen wurden jeweils

fünf Gehölze in voller Sonne, im Halbschatten und im Schatten in den Bodentiefen -30, -60 und -90 Zentimetern mit Sensoren zur Erfassung der Bodenwasserspannung ausgestattet. Die 15 Gehölze wurden in den folgenden Vegetationsperioden wöchentlich angefahren, um die insgesamt 45 Sensoren manuell auszulesen. Im Zuge dessen wurde die Gehölzvitalität stetig fachlich qualifiziert überwacht. Die Bewässerung erfolgte eigenverantwortlich durch die ausführende Firma im Zuge der Fertigstellungs- und Entwicklungspflege. Die wöchentlichen Auswertungen dienten der Orientierung, ob, wann und wieviel gewässert wird. Die Auswertung zum Ende des Jahres offenbarte im Hinblick auf die drei variablen Standortbegebenheiten verschiedene minimale und maximale Bodenwasserspannungswerte. Aus dem Blickwinkel der Beteiligten ist im ersten Standjahr eine maximale Wasserspannung bis 100 kPa (pF-Wert: 3,0) vertretbar, um das Anwachsen der Gehölze zu sichern und gleichzeitig eine zügige und tiefgründige Erschließung des Standortes zu fördern. Als Ergebnis der Beobachtungen resultierte zuerst eine Bewertungsmatrix für interne Zwecke auf der Grundlage von Amelung et al. (2018), ergänzt um zwei Randbereiche. Die stark vereinfachte Interpretationshilfe, welche in dieser Form weder für sehr leichte noch für sehr schwere Böden anwendbar ist, stellt verschiedene Versorgungsbereiche dar:

- **pF-Wert: 0 bis 1,8 bzw. 0 bis 6 kPa: Überversorgung**
Bereich der Übersättigung, in welchem neben den wasserhaltenden Poren bereits luftführende weite Grobporen und Hohlräume zwischen dem Skelettanteil (Korngröße > 2 mm) mit Wasser gefüllt sind. Dabei ist langfristig die Gefahr von Staunässe, Sauerstoffmangel und möglichen negativen Folgen für die Wurzelentwicklung und Gehölzvitalität gegeben.
- **pF-Wert: 1,8 bis 2,5 bzw. 6 bis 32 kPa: Gute Wasserversorgung**
Ausgehend von der vollen Gesamtbevorratung (pF-Wert: 1,8 bzw. 6 kPa) bis zum Entleeren der engen Grobporen (pF-Wert: 2,5 bzw. 32 kPa) bei gleichzeitig immer noch vollständig gefüllten weiten und engen Mittelporen.
- **pF-Wert: 2,5 bis 3,0 bzw. 32 bis 100 kPa: Mäßige Wasserversorgung**
Ausgehend von der vollen Bevorratung der engen und weiten Mittelporen (pF-Wert: 2,5) bis zum starken Entleeren der weiten Mittelporen

(pF-Wert: 3,0) bei noch gegebener Restfeuchte in den weiten Mittelporen (Grenze zwischen weiten und engen Mittelporen: pF-Wert: 3,3) und vollständig gefüllten engen Mittelporen.

- **pF-Wert: 3,0 bis 4,2 bzw. 100 bis 1.585 kPa: Kritische Wasserversorgung**
Ausgehend von einer Teilbevorratung in den weiten Mittelporen und vollen Bevorratung in den engen Mittelporen bis zur vollständigen Entleerung (Permanenter Welkepunkt (PWP)) der Bodenmatrix hinsichtlich der nutzbaren Wasserkapazität (nWSK).
- **pF-Wert: > 4,2, bzw. > 1.585 kPa: Keine Wasserversorgung (PWP)**
Bereich der vollständig entleerten Poren zur Speicherung von pflanzenverfügbarem Wasser. Im Boden bzw. Substrat ist lediglich sogenanntes Totwasser gespeichert, welches nicht pflanzenverfügbar ist.

Mehrjährige dynamische Bewässerungsstrategien mittels Feuchtigkeitssensoren

Die sichere Etablierung von jungen (Allee)bäumen erfordert nach dem Pflanzen einige Jahre besondere Aufmerksamkeit. Der hier vorgestellte Ansatz erstreckt sich über die ersten fünf Standjahre unter der Prämisse, dass jedes Jahr eine an den jeweiligen Etablierungsgrad angepasste Bewässerungsstrategie anzuwenden.

Dazu werden an fünf repräsentativen Gehölzen jeweils vier Feuchtigkeitssensoren verbaut. Die größte Anpassung bei der Bewässerung ist gegenüber den jährlich variierenden Niederschlagsmengen und -verteilungen zu leisten. Dabei helfen die Feuchtigkeitssensoren bzw. die Bodendaten und die Niederschlagsdaten vom Deutschen Wetterdienst (DWD).

Wie in den Strategien I und II ersichtlich wird, liegt der Fokus in den ersten beiden Standjahren vorwiegend vergleichsweise baumnah im Bereich des Wurzelballens und im umliegenden Substrat, der sogenannten direkten Auswurzelungszone (Abb. 1). Dafür werden an den Bäumen jeweils ein Sensor direkt im Pflanzballen sowie drei Sensoren in einem Stammabstand von 0,7 Metern in den Tiefen -30, -60 und -90 Zentimeter installiert. Eine zusätz-

Infolge einer nachweislich gelungenen Auswurzelung (Borgmann gen. Brüser u. Riehl 2020) kann zu Beginn des zweiten Standjahres der Wechsel zu Strategie II unternommen werden. Der Fokus der sehr guten Versorgung liegt nun nicht mehr auf der gesamten Auswurzelungszone, sondern nur noch auf - 90 Zentimeter Bodentiefe. So sollen die Wurzeln direkt und zügig in die Tiefe „geloct“ werden. Mäßiger Stress in den Tiefen -60 und -30 Zentimeter wird toleriert. Der Wurzelballen darf bereits sehr stark (bis pF-Wert 3,3) abtrocknen und wird nur noch bei sehr hohen Saugspannungswerten mitversorgt.

In der Regel erfolgt die Bewässerung bereits im zweiten Standjahr in einem Radius von bis zu einem Meter Stammfernung um den Gießring herum.

Bewässerungszonen

Für ein systematisches Gießen braucht es neben Grenzbereichen und Schwellenwerten der Bodenfeuchtigkeit auch klar abgesteckte Zonen, wo im Bedarfsfall gewässert werden soll. Entscheidend für die Kategorisierung der einzelnen Flächen sind vor allem die Grundflächenmaße der Baumgrube und die Qualität/Größe der verwendeten Gehölze sowie ihrer Wurzelballen.

Zur Steuerung von Gießgängen wird die Gesamtfläche in drei Bewässerungszonen gegliedert:

- a) Ballenzone (BaZo) – ab dem Stamm bis Ballenkante bzw. innerhalb des Gießrings;
- b) direkte Auswurzelungszone (direkte AWZ) – ab dem Gießring bis zum Gießradius 1,0 Meter;
- c) erweiterte Auswurzelungszone (erweiterte AWZ) – ab Abstand/ Gießradius 1,0 Meter bis Gießradius 2,0 Meter.

Im ersten Standjahr wird überwiegend mit einer Menge von 100 Litern Gießwasser pro Gabe in die Ballenzone gewässert. Im zweiten Standjahr wird vermehrt in die direkte Auswurzelungszone gewässert. Erst ab dem dritten Standjahr wird in Hinblick auf Strategie III die erweiterte Auswurzelungszone bezüglich der Wassergaben interessant.

Evaluierung der Gehölzvitalität und Wurzelentwicklung nach dem ersten und zweiten Standjahr zur Anpassung der Bewässerungsstrategie

Zur Überprüfung der angewandten Strategien I und II wird infolge der jeweiligen Vegetationsperiode die Etablierungsleistung, das heißt die Auswurzelung aus dem Wurzelballen in den anstehenden Substratkörper bzw. in die verschiedenen definierten Auswurzelungszonen (AWZ -30 cm, -60 cm und -90 cm) gemessen.

Ohne einen Blick auf die pflanzliche Entwicklung und die Möglichkeit einer variablen Anpassung der Bewässerung respektive der Strategie an den aktuellen Grad der Auswurzelung bliebe auch die Etablierung mittels Sensortechnik starr. Die nötige Dynamik im Umgang mit der sich ständig wandelnden Natur würde fehlen. Erst durch die jährlich wiederkehrende Pflanzenbewertung inklusive der exemplarischen Wurzelsuchschachtungen wird in Verbindung mit den Pflanzendaten aus dem anfänglich monokausalen Ansatz der sensorgestützten Bewässerung ein mehrdimensionales und für die Praxis ausreichend sicheres System.

Vor dem Start des zweiten Standjahres muss vorwiegend im oberen Bereich überprüft werden, ob das Gehölz ausgewurzelt ist. Dieser Aufwand ist vergleichsweise gering: Mit dem Spaten wird vorsichtig der Grenzbereich zwischen der Ballenzone und der oberen Auswurzelungszone (AWZ -30 cm) freigelegt.

Nach der Ergebniskontrolle kann im Folgejahr Strategie II eingeleitet werden. Der Fokus liegt nun mehr auf der raschen Erschließung bis in die Tiefe von - 90 Zentimetern. Die Evaluierung gestaltet sich dementsprechend deutlich aufwändiger, da die Tiefenwurzelung überprüft werden muss. Mithilfe eines Saugbaggers kann bis -90 Zentimetern Tiefe und einem Abstand von etwa 1,5 Metern das Wurzelsystem möglichst wurzelschonend freigelegt werden.

Zusätzlich zur unterirdischen Evaluierung wird eine oberirdische Vitalitätsbeurteilung durchgeführt.

Datentransfer: Manuelle Auslesung oder Datentransfer mittels Funktechnik (LoRaWAN oder NB-IoT)

Die Übertragung der Sensordaten kann manuell oder vollautomatisch erfolgen. Die manuelle Auslesung der installierten Sensoren am Gehölzstandort war in den vergangenen Jahren der Normalfall. Im Jahr 2021 wurden bundesweit Funkeinheiten zur vollautomatischen Datenübertragung installiert.

Das sogenannte „Long Range Wide Area Network“ (kurz: LoRaWAN) wird als eine von zwei verwendeten Übertragungsformen aktuell in vielen deutschen Städten von den Stadtwerken, städtischen Betrieben oder anderer Gesellschaften aufgebaut und betrieben. Der Hintergrund dabei ist, dass gemeinsam mit weiteren smarten Anwendungen wie Parkleitsystemen oder Winterdienst-Monitorings die Digitalisierung des öffentlichen Raums unter dem Stichwort „Smart City“ zu gestalten ist. Sollte sich aus infrastrukturellen Gründen keine LoRaWAN-Nutzung umsetzen lassen, bietet „Narrow Band Internet of Things“ (kurz: NB-IoT) die ideale Alternative, bei der das Funknetz von einem Mobilfunkanbieter betrieben wird. Durch die bereits bestehenden Funkmasten können mit speziellen Mini-Datentarifen die gleichen Leistungen äquivalent zur LoRaWAN-Nutzung angeboten werden. Eine Kombination beider Varianten ist möglich, da beispielsweise städtische Außenbezirke nicht per LoRaWAN angebunden werden können. Häufig kann NB-IoT diese Lücke schließen.

Ökonomische Potenziale eines dynamischen Bewässerungssystems

Die Umstellung der Baumbewässerung von starren Intervallen auf ein dynamisches System eröffnet verschiedene wirtschaftliche Vorteile.

In zukünftig laut aktuellen Klimaprognosen häufiger auftretenden Dürrejahren wird eine an den tatsächlichen Bedarf der Gehölze angepasste Bewässerung möglich. Wo bei hochsommerlichen Temperaturen und gleichzeitig ausbleibenden Niederschlägen ein starres 14-tägiges oder monatliches Gießintervall nicht ausreichend ist, um die Jungbäume adäquat zu versorgen, kann auf Grundlage der ermittelten Sensordaten die Versorgung durch das Auslösen einer Zusatzbehandlung optimiert werden.

Der Ausfall oder ein mangelhafter Anwucherfolg von jungen Gehölzen aufgrund einer fehlenden bedarfsgerechten Bewässerung sollte somit zukünftig nicht mehr gegeben sein. Kosten für Ersatzpflanzungen oder die Revitalisierung von Jungbäumen könnten folglich direkt vermieden werden.

Die Niederschlagsmengen in der Vegetationsperiode 2021 verdeutlichen in vielen Teilen Deutschlands, dass auch eine Veränderung des aktuellen Klimas nicht ohne regenreiche Jahre einhergeht. Der weitere Vorteil liegt in den großen Einsparpotenzialen bei ausreichenden Bodenfeuchteverhältnissen durch natürliche Niederschläge.

Beispielhaft konnte in Düsseldorf im Zuge der Etablierung von Sensorsystemen an Schnurbäumen (*Styphnolobium japonicum*, Alleebäume, 4xv, StU 18-20 cm) im ersten Standjahr die Bewässerung um gut 73 Prozent von 1.500 Litern auf 400 Liter reduziert werden. Im gleichen Zeitraum wurden die vorkalkulierten Gaben an Ulmen (*Ulmus* 'Clusius') im dritten Standjahr sogar um 100 Prozent reduziert, da im Laufe der gesamten Vegetationszeit die definierten Grenzbereiche nicht überschritten wurden.

Literatur

- Borgmann genannt Brüser, A.; Riehl, A. (2020): Bewertung der Wasserverfügbarkeit an Baumstandorten mittels Sensortechnik. Pro Baum, 3/2020, S. 16–21.
- FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V.) (2015): Empfehlungen für Baumpflanzungen, Teil 1: Planung, Pflanzarbeiten, Pflege. Bonn.
- Gaertig, T.; Hetsch, W. (2008): Bodenkunde, Skriptenreihe 4, überarbeitete Auflage, Förderverein Fakultät Ressourcenmanagement in Göttingen e.V.
- Amelung, W.; Blume, H.-P.; Fleige, H.; Horn, R.; Kandeler, E.; Kögel-Knabner, I.; Ktretschmar, R.; Stahr, K.; Wilke, B.-M. (2018): Lehrbuch der Bodenkunde, 17. Auflage, Springer Verlag.
- Weltecke, K. (2020): Bäume richtig wässern mit Blick auf, zunehmende Trockenheitsperioden. In Dujesifken, D. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2020, Haymarket Media GmbH & Co. KG, Braunschweig, 195-210.

Autoren



Alexander Borgmann gen. Brüser

ARBOR revival - Borgmann gen. Brüser & Sternberg GbR
Dahnstraße 4
13403 Berlin
abb@arbor-revital.de



Christoph Sternberg

ARBOR revival - Borgmann gen. Brüser & Sternberg GbR
Beckers Garten 19
33790 Halle (Westf.)
cs@arbor-revital.de