

Bäume richtig wässern mit Blick auf zunehmende Trockenheitsperioden

Appropriate Irrigation Management for Urban Trees in Times of Increasing Periods of Drought

von Katharina Weltecke

Zusammenfassung

Grundvoraussetzung für eine effektive und ressourcenschonende Bewässerung von Stadtbäumen sind Kenntnisse über den Wasserbedarf der Bäume und die Menge des zur Verfügung stehenden Wassers. In Bezug auf den Verbrauch muss derzeit auf Durchschnittswerte zurückgegriffen werden. Das zur Verfügung stehende Bodenwasser kann feldbodenkundlich abgeschätzt oder mit Wasserspannungssensoren gemessen werden, das Niederschlagswasser kann aktuellen Wetteraufzeichnungen entnommen werden. Durch eine Gegenüberstellung von verfügbarem Wasser und Verbrauch können Bewässerungszeitpunkt und -menge bestimmt werden. Auf kommunaler Ebene empfiehlt sich die Installation von Wasserspannungssensoren auf Musterstandorten, die Aufschluss über die Bewässerung ähnlicher Standorte im gleichen Gebiet geben.

Summary

An effective and resource-efficient irrigation of urban trees requires knowledge of their water consumption and the amount of available water. Currently, water consumption has to be defined by average values obtained from literature. The available soil water can be estimated by field soil analysis or measured by water tension sensors. The amount of precipitation can be obtained from current weather data. By comparing consumption and available water, the timing and amount of irrigation can be determined. For communities it is recommended to install water tension sensors at representative sites in order to gather information on the need for irrigation at similar sites in the same area.

1 Einleitung

In den Jahren 2018 und 2019 ist kaum ein Tag vergangen, an dem in den Medien nicht über die zunehmende Trockenheit und den damit verbundenen Trockenstress für Bäume berichtet wurde. Viele Städte verzeichneten bedingt durch die Trockenheit hohe Ausfälle. Auch ohne diese Wetterextreme gilt Wassermangel bei Jungbäumen als die weitaus häufigste Ursache für Ausfälle (ROBERTS et al. 2006). Außerdem stieg in vielen Städten der Pflegeaufwand aufgrund einer vermehrten Totholzbildung und eines stärkeren Befalls der geschwächten Bäume mit Pathogenen. Als Spätfolge der beiden trockenen Sommer werden weitere

Ausfälle und steigender Pflegebedarf in den nächsten Jahren erwartet.

Diesen Problemen kann mit einem guten Bewässerungsmanagement begegnet werden. An Bestandsbäumen konnte beispielsweise gezeigt werden, dass der Neubefall mit *Massaria* an Platanen durch eine ausreichende Bewässerung signifikant reduziert werden konnte (GAERTIG et al. 2011). Ein gutes Bewässerungsmanagement sollte auf der einen Seite Bäume vor übermäßigem Trockenstress bewahren, auf der anderen Seite muss mit den endlichen Ressourcen Wasser und Personal achtsam umgegangen werden. Dieser Artikel gibt Hinweise zur Diagnose von Trockenstress

bei Bäumen und Anregungen für ein ressourcenschonendes, präzises und effektives Bewässerungsmanagement.

2 Was bedeutet Wassermangel für Bäume und wodurch wird die Verfügbarkeit von Wasser für Bäume bestimmt?

Wassermangel bedeutet Stress für Bäume. In letzter Konsequenz kann er zu Schädigungen oder zum Tod führen. Um diesem zu begegnen, haben Bäume verschiedene Anpassungsstrategien entwickelt, wie das Schließen der Spaltöffnungen zur Minderung der Transpiration, die energetisch aufwendige Steigerung der Wasseraufnahme aus dem Boden oder das Abwenden der Blattspreiten von der Sonneneinstrahlung bzw. ihr Einrollen und – als letzte mögliche Maßnahme vor Wasserverlust – das Abwerfen der Blätter (Abbildung 2).

Im folgenden Jahr nach Dürreereignissen kommt es zur Bildung von Kurztrieben bzw. bei dauerhaftem Wassermangel zu Kurztriebketten. Reichen diese Maßnahmen nicht aus, gibt der Baum Teile irreversibel ab – Zweige, Kronenteile und Wurzeln sterben ab (vgl. ROLOFF 2013).

Da durch diese Maßnahmen die Photosynthese und damit die Energiegewinnung reduziert wird, stehen Bäume in dem Dilemma zwischen verhungern und verdursten. Wassermangel bedeutet also immer auch einen Energieverlust und damit eine Schwächung der Bäume, wodurch sie anfälliger für Pathogene werden (vgl. KEHR 2020, S. S. 103–120).

Wann Trockenstress einsetzt, hängt neben dem Verbrauch der Bäume von dem zur Verfügung stehenden Wasser ab. Letzteres wird durch den Boden, das Relief und das Klima bestimmt. Dabei kann man sich den Boden sinnbildlich als einen Topf vorstellen, von dessen Größe (verfügbar gespeichertes Wasser) das potenzielle Wasserangebot abhängt. Das Klima (Niederschlag und Verdunstung) und das Relief (Verdunstung, Hangzugwasser, Grund- und Stauwasser) bestimmen, wie stark und wie häufig der „Topf“ gefüllt wird (Arbeitskreis Standortskartierung 2016).

Wie viel Wasser den Bäumen zur Verfügung steht, hängt nicht nur von der aktuell im Boden vorhandenen Wassermenge, also dem Wassergehalt ab, sondern auch von der Wasserspannung. Diese gibt Auskunft darüber, wie stark Wasser im Boden gebunden ist, also welche Saugspannung Bäume aufbringen müssen, um das Wasser aus dem Boden zu beziehen.

Gegen die Schwerkraft wird Wasser in den Bodenporen gehoben und gehalten. Dies geschieht durch ein Zusammenspiel verschiedener Kräfte, den Kapillarkräften. Je enger eine Pore, desto höher steigt das Wasser in den Poren auf und desto fester ist es gebunden. Da die Porengrößen durch die Korngrößen bestimmt werden, ist der Zusammenhang zwischen Bodenwassergehalt und Wasserspannung von der Bodenart abhängig. Bei einem Wassergehalt von beispielsweise 30 % ist das Wasser in einem tonigen Boden so stark gebunden, dass es von den Bäumen nicht mehr aufgenommen werden kann, während in einem reinen Schluffboden bei gleichem Wassergehalt den Bäumen etwa noch zwei Drittel zur Verfügung stehen.

Trocknet ein Boden sukzessive aus, werden zunächst die groben Poren entwässert und dann die engeren Poren. Das heißt mit zunehmender Trockenheit im Boden steigt die Wasserspannung. Übersteigt diese einen baumspezifischen Grenzwert, ist eine ausreichende Wasserversorgung nicht mehr gewährleistet. Das dann noch im Boden vorhandene Wasser wird anschaulich als Totwasser bezeichnet.

Das für Bäume verfügbare Wasser, die nutzbare Wasserspeicherkapazität, befindet sich nur in den Poren mit einem Durchmesser von 0,0002 – 0,05 mm. Ohne Grundwasseranschluss entscheidet sie darüber, wie lange einem Baum ohne weiteren Niederschlag Wasser zur Verfügung steht. Am größten ist die Menge des verfügbaren Wassers in schluffigen Böden, die mittlere Korngrößen (vergleichbar mit Mehl) haben (Abbildung 1).

Der Wassergehalt eines Bodens hat also ohne Bezug zur Bodenart keine Aussagekraft über die Wasserversorgung der Pflanzen. Die relevante Größe hierfür ist die Wasserspannung, die die unterschiedlichen Bodenarten und Porengrößen berücksichtigt (vgl. HARTGE & HORN 1999; Ad-hoc-AG Boden 2005; BLUME et al. 2016; ROTH-KLEYER 2016).

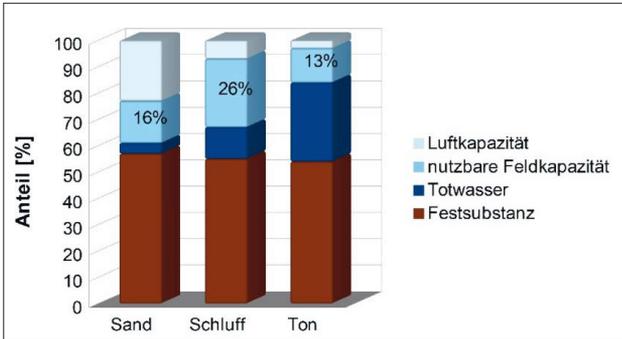


Abbildung 1: Prozentualer Anteil von Bodenfestsubstanz, Luftkapazität, nutzbarer Wasserspeicherkapazität und Totwasser eines Sand-, Schluff- und Tonbodens (Werte gemäß Arbeitskreis Standortkartierung 2016)

Die Wasserspeicherkapazität eines Bodens wird neben der Bodenart vom Humusgehalt und dem Bodenskelett (feste Bestandteile größer als 2 mm, z. B. Steine) beeinflusst. Während durch Humus die Wasserspeicherkapazität vergrößert wird, sinkt sie im Regelfall mit zunehmendem Bodenskelett. Es gibt allerdings poröse Steine, wie z. B. Lava, Bims oder Ziegel, die maßgeblich mit zur Wasserspeicherkapazität beitragen können (SUKOPP & WITTIG 2011). Dies spielt insbesondere auf Standorten eine Rolle, die viel Bauschutt enthalten. Außerdem wird sich diese Eigenschaft bei der Herstellung künstlicher Baumsubstrate zunutze gemacht, die beispielsweise auf Basis von Lava oder Ziegelbruch hergestellt werden.

Nicht zuletzt wird die Größe des Bodenwasserspeichers dadurch bestimmt, wie weit der Boden in der Fläche und Tiefe durchwurzelt werden kann, also wie groß das durchwurzelnbare Bodenvolumen ist. Physikalische und chemische Barrieren unterschiedlicher Art können die Wurzel ausdehnung beschränken.

Haben die Baumwurzeln Anschluss zum Kapillarsaum des Grundwassers (oder zum Stauwasser), ist die Wasserversorgung über einen längeren Zeitraum auch ohne Niederschlag gesichert. Wie groß der Abstand zwischen der Untergrenze des Wurzelraumes und der Grundwasser oberfläche sein darf, hängt von der kapillaren Aufstiegsrate und damit von der Bodenart ab. Bei Sandböden ist die Wasserversorgung schon bei einem Abstand von 50 cm zum Grundwasserspiegel nicht mehr gesichert, da die kapillar aufsteigende Wassermenge zu gering ist. Bei schluffigen Böden können Baumwurzeln bei einem Abstand zum freien Grundwasser von 120 cm in den meisten Fällen noch mit ausreichend Wasser (3,4 l/Tag/m²) versorgt werden. Bei

tonigen Böden ist die kapillare Aufstiegsrate aufgrund der sehr engen Poren so gering, dass schon bei einem Abstand von 20 cm zu wenig Wasser bei den Wurzeln ankommt (Ad-hoc-AG Boden 2005).

Häufig sterben bei lang anhaltender Trockenheit allerdings ausgerechnet Bäume ab, die auf Standorten mit hoch anstehendem Grund- oder Stauwasser stehen. Viele Baumarten, allen voran die Rot-Buche (*Fagus sylvatica*) und die Rot-Fichte (*Picea abies*), mögen keine „nassen Füße“. Das heißt sie wurzeln auf solchen Standorten flach und verlieren bei sinkendem Wasserstand den Kontakt zum Kapillarsaum. Aufgrund ihres flachen Wurzelwerkes besitzen sie außerdem einen geringen Bodenwasserspeicher, der bei Trockenheit schnell geleert ist. In der Folge vertrocknen die Bäume.

3 Diagnose von Trockenstress

Um Trockenstress zu diagnostizieren, gibt es verschiedene Herangehensweisen, die je nach Fragestellung und Baumbestand angewendet werden können. Häufig lässt sich schon bei einer einfachen fachlichen Inaugenscheinnahme der Austrocknungszustand des Bodens und dessen Effekte auf den Baum erkennen. Bei besonders wertvollen Bäumen oder Baumbeständen ist gegebenenfalls eine intensivere Untersuchung notwendig.

3.1 Einfache fachliche Inaugenscheinnahme

Erste Hinweise auf potenziellen Trockenstress gibt die allgemeine Witterung. Warme Temperaturen und



Abbildung 2: Schlaff herabhängende Blätter an Berg-Ahorn als erste sichtbare Anzeichen des Baumes für Trockenstress



Abbildung 3: Blattrandnekrosen an Hainbuche durch länger anhaltenden Trockenstress

geringer Niederschlag in der jüngeren Vergangenheit lassen Trockenstress vermuten. Durch einen Blick auf den Boden und den Baum kann dieser Verdacht häufig schon ausgeräumt oder bestätigt werden. Schrumpfrisse, ausgetrocknete Pflützen, Staub und welke oder vertrocknete Bodenvegetation sind eindeutige Kennzeichen für Trockenheit.

Der Baum selbst zeigt Trockenstress durch schlaffe oder eingerollte Blattränder, Nekrosen, frühzeitige Herbstfärbung und vorzeitigen Blattfall an (Abbildung 2 und 3). Auf einen allgemein trockenen Standort können Zeigerpflanzen der Trockenrasengesellschaften hindeuten (LICHT 2005).

Eine offene Wasserfläche wie ein natürlicher See, Fluss oder Bach in Baumnähe gibt Hinweise auf den Grundwasserspiegel. Maßgeblich ist hier je nach Bodenart der vertikale Abstand des Grundwasserspiegels zum unteren Rand des effektiven Wurzelraumes. Anhaltspunkte für den maximal zulässigen Abstand bietet der Arbeitskreis Standortkartierung (2016) und die Ad-hoc-AG Boden (2005) (vgl. Kap. 2).

Einen weiteren Hinweis auf die mittlere Lage der Grundwasseroberfläche geben die Grundwasserkarten der geologischen Dienste, die viele Bundesländer kostenfrei und online zur Verfügung stellen.

3.2 Intensive fachliche Inaugenscheinnahme

Nicht selten kommt es vor, dass der Boden oberflächlich ausgetrocknet ist, aber der Baum dennoch keine Anzeichen von Trockenstress zeigt. Dies liegt daran, dass noch ausreichend Wasser in den tieferen Schichten des Bodens vorhanden ist. Wenn es auf den Einzelbaum ankommt – sei es, weil es ein besonders erhaltenswürdiger Baum oder eine Baumgruppe ist oder weil besondere Umstände wie Grundwasserabsenkungen im Zuge von Baumaßnahmen eine besondere Behandlung erfordern – ist ggf. eine intensive fachliche Inaugenscheinnahme notwendig.

Mithilfe eines (Schlag-)Bohrstocks können relativ un-aufwendig Bodenproben aus dem Wurzelraum bis zu 80 cm Tiefe gewonnen werden (Abbildung 4). Anhand

Tabelle 1: Schätzung der Bodenkonsistenz und der zugehörigen Bodenfeuchte (gemäß Ad-hoc-AG Boden 2005 und DIN 18915:2018)

Konsistenz	Bodenmerkmale bei geringer und mittlerer effektiver Lagerungsdichte*		pF-Bereich [lg hPa]**	Feuchtestufe
	bindige Böden (Tongehalt > 17 %)	Nicht bindige Böden (Tongehalt < 17 %)		
fest	nicht ausrollbar und knetbar, da brechend; Bodenfarbe dunkelt bei Wasserzugabe stark nach	staubig, helle Bodenfarbe, dunkelt bei Wasserzugabe stark nach	> 4,0	trocken
halbfest	noch [grob] ausrollbar, aber nicht knetbar, da bröckelnd beim Ausrollen auf 3 mm Dicke; Bodenfarbe dunkelt bei Wasserzugabe noch nach	Bodenfarbe dunkelt bei Wasserzugabe noch etwas nach	4,0 bis 2,7	schwach feucht
steif	ausrollbar auf 3 mm Dicke ohne zu zerbröckeln, schwer knetbar und eindrückbar, da steif; dunkelt bei Wasserzugabe nicht nach	Finger werden etwas feucht, auch durch Klopfen am Bohrer kein Wasseraustritt aus den Poren; dunkelt bei Wasserzugabe nicht nach	2,7 bis 2,1	feucht

* bei hoher effektiver Lagerungsdichte im feuchten und nassen Bereich höhere Konsistenz
 ** mit abnehmendem Tongehalt nimmt bei gleichem Bodenfeuchtezustand im Allgemeinen die Saugspannung ab

der gewonnen Proben kann dann durch die Konsistenzprobe der Feuchtigkeitszustand des Bodens schnell und einfach beurteilt werden (Tabelle 1) (Ad-hoc-AG Boden 2005; DIN 18915:2018-06). Die Konsistenz korreliert mit dem Wassergehalt des Bodens. Bei ihrer Beurteilung wird in Abhängigkeit vom Tongehalt die Ausroll- und Knetbarkeit des Bodens sowie das Nachdunkeln des Bodens bei Wasserzugabe berücksichtigt. Je trockener der Boden ist, desto schwerer lässt er sich ausrollen bzw. kneten. Außerdem dunkeln trockene Böden bei Wasserzugabe nach.

Grundsätzlich gilt: Hinterlässt der Boden Feuchtigkeit auf der Haut, dunkelt er bei Wasserzugabe nicht nach und ist ein bindiger Boden auf 3 mm Stärke ausrollbar (gilt nicht für sandige Böden), dann ist der Boden feucht und enthält ausreichend verfügbares Wasser (Konsistenz: steif). Wenn der Boden bei Wasserzugabe stark nachdunkelt und nicht mehr knetbar ist, dann ist der Boden trocken und enthält nicht mehr ausreichend verfügbares Wasser (Konsistenz: fest). Den Übergangsbereich bilden schwach feuchte Böden, die bei Wasserzugabe leicht nachdunkeln. Bindige Böden sind dann nicht mehr knetbar, aber noch grob ausrollbar (Konsistenz: halbfest). Diese Böden enthalten noch nutzbares Wasser, dennoch sollte in Abhängigkeit der

zu erwartenden Niederschläge ggf. gewässert werden, um Trockenstress zu vermeiden (Ad-hoc-AG Boden 2005). Die hohe kleinräumige Variabilität urbaner Böden erschwert die Einschätzung allerdings und macht ggf. die Aufnahme mehrerer Proben notwendig.

Die Überprüfung der Bodenkonsistenz kann beispielsweise auch genutzt werden, um die Befahrbarkeit des Bodens z. B. für Baumpflegearbeiten abzuschätzen. Je trockener der Boden ist, desto weniger Schäden sind durch Belastung und Befahrung zu erwarten. Weitere Informationen hierzu liefert die DIN 18915:2018-06.



Abbildung 4: Schlagbohrstock mit Bodenprobe zur Ermittlung der Bodenfeuchte

3.3 Eingehende Untersuchung

Bei einer eingehenden Untersuchung kann die Bodenfeuchte mit Wasserspannungsmessgeräten bestimmt werden. Dabei wird die Kraft gemessen, mit der das Wasser im Boden gehalten wird (Wasserspannung). Je trockener der Boden ist, desto stärker ist das Wasser im Boden gebunden. Im Ergebnis bekommt man dadurch eine direkte Aussage darüber, ob das im Boden vorhandene Wasser pflanzenverfügbar ist (vgl. Kap. 2). Das pflanzenverfügbare Wasser hat eine Wasserspannung von 60 bis 15.000 hPa. Häufig wird die Wasserspannung (analog zum pH-Wert) als dekadischer Logarithmus angegeben. Der sogenannte pF-Wert für pflanzenverfügbares Wasser liegt zwischen 1,8 und 4,2.

Ein herkömmliches Wasserspannungsmessgerät ist das Tensiometer. Es besteht aus einer luftdicht abgeschlossenen, porösen Keramikzelle, die mit Wasser gefüllt ist. Wenn der Boden um die Keramikzelle herum austrocknet, wird aus der Keramikzelle so viel Wasser „gezogen“, bis ein Gleichgewicht zum umgebenden Bodenwasser erreicht ist. Der in der Zelle entstehende Unterdruck entspricht der Bodenwasserspannung und kann mit einem Manometer angezeigt werden.

Andere Sensoren, wie Gipsblock-Elektroden oder Watermark-Sensoren, ermitteln die Wasserspannung, indem der Widerstand gemessen wird, der einem Wechselstrom zwischen zwei Elektroden je nach Bodenfeuchtegehalt entgegengesetzt wird. Danach werden die Widerstandswerte in Wasserspannungswerte umgerechnet. Sogenannte pF-Meter ermitteln hingegen die Wärmekapazität des Bodens und rechnen diese in Wasserspannungswerte um.

Alle Wasserspannungsmessgeräte haben eines gemeinsam: Sie müssen in den Boden eingeschlämmt werden, um einen guten Kontakt zwischen dem Sensor und dem Boden herzustellen. Danach benötigt es einige Tage, bis sich ein Gleichgewicht zwischen dem Sensor und dem Bodenwasser eingestellt hat. Eine Ad-hoc-Messung ist also nicht möglich. Daher werden diese Messgeräte eher eingesetzt, um den Bodenwasserhaushalt kontinuierlich zu beobachten.

Für einen größeren homogenen Baumbestand oder einen sehr wertvollen Einzelbaum können die Mess-

geräte eingebaut und darüber der Bewässerungsbedarf ermittelt werden. Einige dieser Messgeräte besitzen funkgestützte Datenerfassungsgeräte, sodass über einen Datenlogger oder per Internet die Daten empfangen werden können.

Bei der Wahl der Wasserspannungsmessgeräte sollte darauf geachtet werden, dass der Messbereich zumindest die Spannbreite an Saugspannungswerten komplett abdeckt, bei der noch ausreichend verfügbares Wasser für Bäume im Boden vorhanden ist. Die gern verwendeten Watermark-Sensoren reichen z. B. nur bis zu einer Saugspannung von 2.000 hPa. Damit sind sie für sandige und lehmige Standorte geeignet, aber für schluffige und tonige Standorte reicht die Spannbreite nicht aus (vgl. Kap. 4). Noch kritischer ist bei dieser Fragestellung der Einsatz von Tensiometern, deren Einsatzbereich lediglich bis zu einer Saugspannung von 1.000 hPa reicht. Von einem pF-Meter wird hingegen der gesamte Wertebereich abgedeckt.

Bei der Verwendung von Wasserspannungsmessgeräten ist weiterhin zu bedenken, dass insbesondere Stadtböden vertikal und horizontal extrem inhomogen sein können (CRAUL 1992). Diese Inhomogenität bewirkt eine große Streuung der Wasserspannungswerte (HERTZLER 2019, 2020). Allein auf Grundlage von ein oder zwei Sensoren pro Standort kann daher die Bewässerungsmenge nicht abgeschätzt werden. Erst durch die Bildung verlässlicher Mittelwerte kann der Bewässerungsbedarf sicher eingeschätzt werden. Empfehlenswert ist es daher, mindestens fünf Messpunkte pro Baumstandort einzurichten. Je inhomogener oder weitläufiger der Standort ist, desto mehr Sensoren werden benötigt. An jedem Messpunkt sollten in zwei bis drei Tiefenstufen Sensoren installiert werden (z. B. 20 cm, 50 cm, 80 cm). Die Lage der Sensoren sollte dabei individuell dem tatsächlich durchwurzelten Raum angepasst werden.

Abgesehen von der Messung der Wasserspannung ist es auch möglich, den volumetrischen Wassergehalt im Boden zu messen. Hierfür gibt es einfache Messtechniken (FDR- oder TDR-Sensoren), die den volumetrischen Wassergehalt in Prozent in Sekundenschnelle ermitteln. Für die Messung wird allerdings ein Bodenprofil benötigt und man bekommt damit keine direkte Aussage über die Bindungskraft des Wassers im Boden, also wie

Tabelle 2: Nach Bodenart aufgeschlüsselte Wasserspeicherkapazitäten und -gehalte

						Wassergehalt [Vol % bzw. mm/dm]			
Bodenart	nWSK [Vol% bzw. mm/dm]	Totwasser [Vol% bzw. mm/dm]	maximale Wasserspeicherkapazität [Vol% bzw. mm/dm]	Totwasser plus 40 % der nWSK [Vol% bzw. mm/dm]	pF 2,5	pF 2,8	pF 3,5	pF 3,8	
Sande	Ss	16	4	20	10,4	12	10	6	5
	Sl2	18	7	25	14,2	17	14	9	8
	Sl3	18	9	27	16,2	20	17	12	11
	Sl4	18	12	30	19,2	23	20	15	14
	Slu	21	12	33	20,4	26	22	16	14
	St2	16	6	22	12,4	14	12	8	7
	St3	15	15	30	21	24	22	18	17
	Su2	18	5	23	12,2	13	10	6	5
	Su3	21	8	29	16,4	20	17	11	9
Su4	23	9	32	18,2	23	19	12	11	
Lehme	Ls2	16	18	34	24,4	25	23	19	18
	Ls3	16	17	33	23,4	24	21	18	17
	Ls4	16	16	32	22,4	23	20	17	17
	Lt2	14	22	36	27,6	31	28	24	23
	Lt3	12	27	39	31,8	34	32	28	27
	Lts	14	23	37	28,6	31	29	24	23
	Lu	17	19	36	25,8	29	25	20	19
Schluffe	Uu	26	12	38	22,4	32	29	19	16
	Uls	22	13	35	21,8	30	27	18	15
	Us	25	10	35	20	29	26	16	14
	Ut2	26	11	37	21,4	31	28	18	15
	Ut3	25	12	37	22	32	29	19	16
	Ut4	21	16	37	24,4	33	31	22	19
Tone	Tt	13	30	43	35,2	39	37	34	32
	Tl	13	28	41	33,2	37	36	33	31
	Tu2	12	30	42	34,8	39	38	34	33
	Tu3	13	25	38	30,2	35	34	31	29
	Tu4	17	20	37	26,8	33	31	27	25
	Ts2	13	26	39	31,2	37	35	31	29
	Ts3	13	24	37	29,2	34	33	29	27
	Ts4	14	18	32	23,6	30	29	25	23

Nach Bodenart aufgeschlüsselte nutzbare Wasserspeicherkapazität (nWSK), Totwasser, maximale Wasserspeicherkapazität, Totwasser plus 40 % der nWSK bei mittlerer Lagerungsdichte (Werte aus Arbeitskreis Standortskartierung 2016); Wassergehalt in Vol % für vier verschiedene pF-Stufen (dekadischer Logarithmus der Wasserspannung in hPa) (Werte aus Ad-hoc-AG Boden 2005); grau hinterlegt sind die Felder, bei denen der Wassergehalt den rechnerisch ermittelten Summenwert von Totwasser und 40 % der nWSK annähernd erreicht oder unterschritten hat. Erreicht der Boden im effektiven Wurzelraum die jeweilige Wasserspannung, sollte gewässert werden.

viel Wasser den Bäumen tatsächlich zur Verfügung steht (vgl. Kap. 2). Wenn zusätzlich die Bodenart bestimmt wird, kann mithilfe von Tabellenwerten die Wasserspannung geschätzt werden (vgl. Tabelle 2) (Ad-hoc-AG Boden 2005). Ein Vorteil gegenüber den Wasserspannungsmessgeräten ist, dass die Werte sofort verfügbar sind. Da hierbei allerdings auf indirektem Wege und über Mittelwerte eine Aussage zur Wasserspannung gemacht wird, sinkt die Genauigkeit der Aussage. Eine feldbodenkundliche Abschätzung der Bodenkonsistenz, wie in Kap. 3.2 beschrieben, kann hingegen anhand einer Bohrstockprobe durchgeführt werden, ist somit deutlich weniger aufwendig und dürfte ausreichend valide Ergebnisse liefern.

4 Wann muss gewässert werden?

Um einer Schwächung der Bäume entgegenzuwirken, sollte schon gewässert werden, bevor physiologischer Trockenstress für Bäume einsetzt. Dies ist dann der Fall, wenn so wenig Wasser in den Zellen vorhanden ist, dass die normalen Zellfunktionen beeinträchtigt sind. Dadurch wird u. a. die Transpiration verringert, das Dickenwachstum wird eingestellt und es kommt zu Embolien in den Wasserleitbahnen (KRAMER 1983).

Auf das verfügbare Wasser bezogen, beginnt für viele bisher untersuchte Baumarten Trockenstress, sobald die verbleibende nutzbare Wasserspeicherkapazität auf unter etwa 40 % sinkt (STURM et al. 1996; GRANIER et al. 1999; RUST 1999; ROTH-KLEYER 2016). Bei sandigen und lehmigen Böden ist dieser Schwellenwert schon bei etwa pF 2,8 (~630 hPa) erreicht, bei schluffigen und tonigen Böden erst bei etwa pF 3,5 (~3150 hPa) (vgl. Tabelle 2). Zum Vergleich: Bei landwirtschaftlichen Pflanzen gehen IRMAK et al. (2016) auf sandigen Böden sogar von einem Bewässerungsbedarf aus, wenn die Bodenwasserspannung 200–550 hPa (pF 2,3–2,7) überschreitet und bei schluffig-lehmigen Böden, wenn sie 750–1.100 hPa (pF 2,9–3,0) überschreitet. Diese Werte basieren auf einem Schwellenwert von 35 % der gesamten Wasserspeicherkapazität.

Da bei Stadtbäumen kein Produktionsziel verfolgt wird, sollten die oben genannten Wasserspannungswerte als Richtwert für eine Bewässerung ausreichen. Selbstredend gibt es Situationen, bei denen die Bäume



Abbildung 5: Gut gemeintes, aber übermäßiges Wässern führte zum Tod des Baumes (Foto: J. KUTSCHIEDT).

bei Überschreiten dieses Schwellenwertes noch keinen Trockenstress erleiden. Im schlimmsten Fall wird hier dann etwas zu voreilig gewässert, wovon der Baum allerdings keinen Schaden nehmen wird.

5 Wasserbedarf eines Baumes

Wenn festgestellt wurde, dass gewässert werden muss, bleibt die Frage, wie viel gewässert werden muss. Ausschlaggebend für ein ressourcenschonendes und effektives Bewässerungsmanagement ist, die Bewässerung individuell für jeden Baum oder jede Baumgruppe anzupassen. Ein Wässern nach pauschalen Bewässerungssätzen birgt die Gefahr, dass entweder zu wenig gewässert wird und im Endeffekt der Baum trotz Bewässerung schwächelt und/oder eingeht – oder umgekehrt zu viel gewässert wird. Im günstigsten Fall wurden dann lediglich Wasser und Geld verschwendet, im schlimmsten Fall geraten die Wurzeln der Bäume dadurch in Atemnot, infolge dessen der Baum stirbt (Abbildung 5 und 6).

Ein angepasstes, effektives und ressourcenschonendes Bewässerungsmanagement berücksichtigt den Bedarf des Baumes, die Größe des „Topfes“ aus dem der Baum schöpfen kann (Bodenwasserspeicher) und inwieweit der „Topf“ auf natürlichem Wege gefüllt wird (Niederschlag, Grundwasser).

Der Wasserbedarf eines Baumes hängt von diversen baum-, standort- und witterungsspezifischen Faktoren ab. Zu den baumspezifischen Faktoren zählen insbesondere die Art, das Alter, der Belaubungsgrad, die Vitalität und nicht zuletzt der Zeitpunkt des Wachstums. In einer Schweizer Untersuchung der Baumarten Rot-Buche (*Fagus sylvatica*), Eiche (*Quercus* spp.), Rot-Fichte (*Picea abies*), Weiß-Tanne (*Abies alba*) und Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*) konnte festgestellt werden, dass 95 % des Wachstums in drei bis vier Monaten im Frühjahr und Sommer stattfindet. Da Wasserverbrauch und Wachstum miteinander korrelieren, ist dies auch die Zeit, in der die Bäume das meiste Wasser benötigen (ETZOLD & ZWEIFEL 2019).

In Bezug auf die Klimafaktoren konnte in der gleichen Studie festgestellt werden, dass 25–45 % des Baumwachstums von den aktuellen klimatischen Bedingungen abhängt. Innerhalb dieses Prozentsatzes haben der Niederschlag, die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit den größten Einfluss auf das Baumwachstum und damit auf dessen Wasserverbrauch. Im Gegensatz zur Temperatur und Luftfeuchtigkeit hatte der Niederschlag über alle untersuchten Baumarten hinweg konsistent einen positiven Einfluss auf das Wachstum. Je später das Wachstum in der Vegetationsperiode stattfindet, desto geringer ist allerdings die Bedeutung des Niederschlags dafür. Anschaulich hat dies die Reaktion der Rot-Buche auf den trockenheißen Sommer

2015 gezeigt. Obwohl im Jahresdurchschnitt Trockenheit und Temperatur extrem waren, hat sie kaum mit Wachstumseinbußen reagiert, da im Frühjahr während der Hauptwachstumsphase noch ausreichend Niederschlag gefallen war (vgl. ROHNER et al. 2016; ETZOLD & ZWEIFEL 2019).

Für ein effektives Bewässerungsmanagement bedeutet dies, dass insbesondere zu Beginn der Wachstumsperiode (März bis Juni) auf ein ausreichendes Wasserangebot geachtet werden muss. Fehlt in dieser Phase Wasser, hat dies für die meisten Baumarten im Regelfall deutlich größere Auswirkungen auf Wachstum und Gesundheit der Bäume als später im Jahr auftretende Trockenheit.

Eine genaue baumspezifische Abschätzung des Wasserbedarfs ist nach derzeitigem Wissensstand in der Praxis nicht möglich, da dieser durch zu viele Faktoren beeinflusst wird (Abbildung 7). Weiterhelfen können diesbezüglich lediglich umfangreiche Messungen aus Wäldern. Demnach werden in der Vegetationszeit in Laubwäldern täglich durchschnittlich 3–5 l/m² verdunstet (WULLSCHLEGER et al. 1998). Bei solitär stehenden Bäumen kann die Transpiration bei gleicher Blattfläche deutlich größer sein (RUST 2010). Zusätzlich kann der Wasserverbrauch von Solitären durch eine große, tief belaubte Krone gegenüber Waldbäumen deutlich erhöht sein (BIDDLE 1998).



Abbildung 6: Diese Bäume wurden zu tief gepflegt und nachweislich dauerhaft zu viel gewässert. Der linke Baum ist abgestorben, der rechte Baum zeigt deutliche Vitalitätsmangel (Foto: J. KUTSCHEIDT).

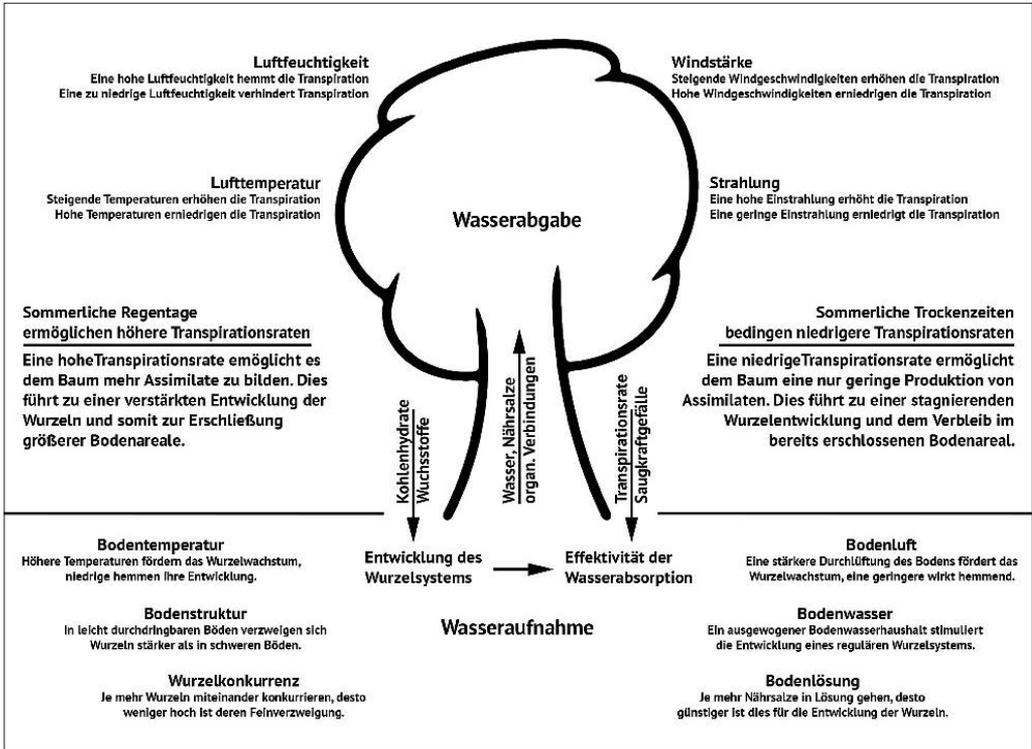


Abbildung 7: Darstellung der Auswirkungen verschiedener Umgebungsbedingungen auf den Wasserverbrauch eines Baumes (Skizze: M. STRECKENBACH nach LYR et al. 1967)

ROTH-KLEYER (2016) und die FLL-Bewässerungsrichtlinien (FLL 2015b) empfehlen eine einfache Formel zur weiteren Präzisierung der durchschnittlichen Verbrauchswerte. Ausgangsbasis ist die für den jeweiligen Tag vom Deutschen Wetterdienst herausgegebene Transpirationsrate. Dieser Wert wird mit vier verschiedenen vegetations- und standortsbezogenen Faktoren multipliziert. Ein genaues Abbild der tatsächlichen baumspezifischen Verbrauchswerte kann dadurch allerdings nicht erzielt werden.

6 Schätzung der Bewässerungsmenge und des Bewässerungszeitpunktes

6.1 Feldbodenkundliche Einschätzung

Eine exakte Bestimmung der Bewässerungsmenge und des Bewässerungszeitpunktes ist nach derzeitigem Stand

nicht durchführbar. Anhand der wichtigsten Faktoren, die den Wasserhaushalt von Bäumen bestimmen, ist allerdings eine grobe Einschätzung möglich. Vom Prinzip her wird dabei berechnet, wann der „Topf“, also das nutzbare Bodenwasser, zu 60 % geleert ist. Das ist der Punkt, bei dem bei einem großen Teil der heimischen Baumarten davon ausgegangen werden kann, dass Trockenstress einsetzt (vgl. Kap. 4). Dazu wird vom verfügbaren Wasser das verbrauchte Wasser subtrahiert. Verfügbar ist das Wasser aus dem Bodenspeicher sowie dem Niederschlag abzüglich dessen, was durch Oberflächenabfluss aufgrund von Versiegelung verloren geht (vgl. FLL 2015b; ROTH-KLEYER 2016).

Grundvoraussetzung ist demnach die Bestimmung der nutzbaren Wasserspeicherkapazität im effektiven Wurzelraum. Eine detaillierte Anleitung dafür gibt der Arbeitskreis Standortskartierung (2016) und die Ad-hoc-AG Boden (2005).

Mithilfe eines Bohrstocks können relativ einfach Bodenproben entnommen werden, an denen horizontbezogen die Bodenart im durchwurzelten Boden eingeschätzt werden kann. Mit etwas Übung ist die Einschätzung der Bodenart durch eine Fingerprobe möglich (Ad-hoc-AG Boden 2005; Arbeitskreis Standortskartierung 2016). Aus Tabelle 2 wird die nutzbare Wasserspeicherkapazität der entsprechenden Bodenart bezogen auf 10 cm entnommen und mit der realen Horizontmächtigkeit (in dm) multipliziert. Anschließend werden die Werte der einzelnen Horizonte addiert. Als Ergebnis erhält man eine grobe Einschätzung des nutzbaren Wasserspeichers pro m² im effektiven Wurzelraum, die im Regelfall zur Einschätzung des Bewässerungsbedarfs ausreichend sein sollte.

Eine genauere Einschätzung kann erreicht werden, wenn zusätzlich die Lagerungsdichte, der Humusgehalt und der Grobbodenanteil berücksichtigt werden. Insbesondere für die Bestimmung der Lagerungsdichte ist dann allerdings die Erstellung eines Bodenprofils notwendig (vgl. Ad-hoc-AG Boden 2005; Arbeitskreis Standortskartierung 2016).

Der Bodenwasserspeicher ist im Regelfall durch die Niederschläge im Winter zu Beginn der Vegetationsperiode gefüllt. Mit Blattaustrieb und steigenden Temperaturen beginnt der Verbrauch dieses Wassers. Aufgefüllt wird der Speicher bei grundwasserfernen Standorten nur durch den Niederschlag. Um also die Bewässerungsmenge und den Zeitpunkt der Bewässerung zu ermitteln, wird der Verbrauch (3–5 l/m²/Tag) vom ermittelten Bodenwasserspeicher

subtrahiert und die gefallene Niederschlagsmenge addiert. Die Werte werden anschließend von einem Quadratmeter auf die Fläche des Wurzelbereiches (standardmäßig definiert: Kronenprojektionsfläche plus 1,5 m zu allen Seiten (FGSV 1999)) hochgerechnet, um den Bewässerungsbedarf des gesamten Baumes zu erfassen.

Die Niederschlagsmengen können aus Klimadiagrammen entnommen werden. Besser ist es jedoch, die aktuellen Niederschlagsmengen, die von Wetterdiensten bereitgestellt werden, für die Kalkulation zu nehmen. Da bei versiegelten Flächen das Wasser im Regelfall oberflächlich abfließt und dem System entnommen wird, wird vom Niederschlag die versiegelte Fläche im Wurzelbereich prozentual abgezogen.

Diese Berechnung sollte wöchentlich fortgeschrieben werden. Wenn der errechnete Wert 40 % des nutzbaren Wasserspeichers erreicht oder unterschreitet, sollte so viel gewässert werden, dass der Wasserspeicher wieder komplett aufgefüllt ist.

Eine OpenOffice-Datei mit hinterlegten Formeln steht auf folgender Seite kostenlos zum Download zur Verfügung: www.bodenundbaum.de.

In Tabelle 3 wird die Berechnung des Bewässerungsbedarfs und des Bewässerungszeitpunktes beispielhaft anhand dreier identischer Bäume illustriert. Die Bäume haben einen Kronendurchmesser von 10 m. Die Wurzelausdehnung wird entsprechend der DIN 18920 (DIN 2002) auf die Kronenprojektionsfläche zuzüglich

Tabelle 3: Vergleich des Bewässerungsbedarfs und des Bewässerungszeitpunktes dreier identischer Bäume mit 133 m² Wurzelraum und einer Durchwurzelungstiefe von 8 dm auf einem Standort mit reinem Ton, Sand und Schluff, ohne Grundwasseranschluss und ohne zusätzlichen Niederschlag

	Ton	Sand	Schluff
nWSK* [% bzw. (l/m ²)/dm]	13	16	26
nWSK im effektiven Wurzelraum [l]**	13.832	17.024	27.664
Tage, bis das Wasser komplett verbraucht ist***	35	43	69
Bewässerungsbedarf, wenn 60 % verbraucht sind [l]****	8.299	10.214	16.598
Tage, bis 60 % des Wassers verbraucht sind*****	21	26	42
* Wert aus Tabelle 1, ** nWSK x 8 dm x 133 m ² , *** Zeile 2 / (3 l/m ² x 133 m ²), **** Zeile 2 x 60 %, ***** Zeile 4/ (3 l/m ² * 133 m ²)			

1,5 m geschätzt, in diesem Fall sind es also 133 m². Diese Bäume haben keinen Kontakt zum Grundwasser und eine offene Baumscheibe. Ein Baum steht auf einem sandigen Standort, einer auf einem schluffigen und einer auf einem tonigen Standort. Es wird von einem Verbrauch von 3 l/m²/Tag ausgegangen. Alle weiteren Standortparameter sind identisch.

Wie das Beispiel zeigt, muss auf einem tonigen Standort doppelt so häufig gewässert werden wie auf einem schluffigen Standort, aber dafür nur mit der halben Wassermenge. Sowohl auf dem Sandstandort als auch auf dem Tonstandort würden die Bäume vertrocknen, wenn man sich bei den Gießintervallen an dem schluffigen Standort orientieren würde. Würde man auf dem Sand- und Tonstandort die Menge gießen, die auf dem schluffigen Standort empfehlenswert ist, dann würde man auf dem sandigen Standort viel Wasser verschwenden, da dieses ungenutzt versickert. Der tonige Standort würde hingegen vernässen und es würde zu Belüftungssengpässen im Wurzelraum kommen.

Die großen Wassermengen, die im Wurzelraum eines mittelgroßen Baumes gespeichert und ggf. nachgefüllt werden müssen, zeigen, dass bei Bestandsbäumen im Regelfall nicht zu viel, sondern zu wenig Wasser das Problem sein dürfte. Diese Wassermengen können kaum über mobile Bewässerungswagen und Bewässerungsringe oder Bewässerungssäcke ausgebracht werden. Hier braucht es große Wassertanks, Beregnungsanlagen und/oder Anschluss an Hydranten (vgl. Kap. 7).

Anders sieht es bei Jungbäumen aus. Tabelle 4 zeigt beispielhaft den wöchentlichen Bewässerungsplan für einen Jungbaum in der Stadt Göttingen, der in ein standardisiertes Baumsubstrat nach FLL (2010) gepflanzt ist. Das Baumsubstrat hat eine nutzbare Wasserspeicherkapazität von 25 %. Der Plan sieht zwei Bewässerungsgänge im Jahr vor. Selbst wenn der Verbrauch nicht mit 3 l/m²/Tag angenommen wird, sondern mit 5 l/m²/Tag, muss dieser Jungbaum in einem normalen Niederschlagsjahr lediglich einmal im Monat gewässert werden.

Das Beispiel zeigt, dass in Göttingen in normalen Jahren deutlich weniger häufig gewässert werden muss, als die FLL-Empfehlungen für Baumpflanzungen (2015a) angeben. Hier wird empfohlen, unabhängig von den natürlichen Niederschlägen Bäume im ersten

Standjahr von April bis September 2-mal monatlich durchdringend zu wässern. Die Bewässerungsmenge pro Bewässerungsgang hingegen stimmt gut mit der unten dargestellten Einschätzung überein. Als Richtwert werden bei Hochstämmen bis ca. 25 cm Stammumfang in Abhängigkeit von der Baumart 75–100 Liter Wasser empfohlen (FLL 2015a).

In diesem Fall ist durch die Kalkulation eine Einsparung an Ressourcen (Wasser und Personal) in erheblichem Maße möglich. Da bei standardisierten Baumsubstraten die Wasserkapazität angegeben wird, entfällt sogar die Feldbestimmung der nutzbaren Wasserspeicherkapazität. Zu beachten ist dabei, dass im Regelfall die maximale Wasserspeicherkapazität und nicht die nutzbare Wasserspeicherkapazität angegeben wird. Da Baumsubstrate allerdings sehr grobporig sind, ist der Anteil an Totwasser als gering einzustufen.

6.2 Messtechnische Einschätzung

Mithilfe von Wasserspannungssensoren kann die Wasserspannung im Boden ermittelt und mit den in Tabelle 2 angegebenen Schwellenwerten verglichen werden (vgl. Kap. 3.3). Dieser Abgleich bietet einen Anhalt, den Bewässerungszeitpunkt abzuschätzen. Wünschenswert wären in diesem Zusammenhang mehr wissenschaftliche Untersuchungen für verschiedene Baumarten, ab welchen Wasserspannungswerten Trockenstress für die Bäume beginnt und eine Bewässerung notwendig ist.

Weiterhin kann mithilfe der Wasserspannungswerte und der Tabelle 2 die Bewässerungsmenge abgeschätzt werden. Das Vorgehen soll an einem Beispiel für einen Baum auf einem sandigen Standort (Bodenart Ss) und einer Durchwurzelungstiefe von 8 dm erläutert werden (vgl. IRMAK et al. 2016; ROTH-KLEYER 2016):

- Aus Tabelle 2 wird entsprechend des gemessenen pF-Wertes und der Bodenart der Wassergehalt in mm/dm entnommen (Tabelle 5, Spalte 3). Dieser Wert wird auf die Horizontmächtigkeit hochgerechnet (Tabelle 5, Spalte 4).
- Aus Tabelle 2 wird die maximale Wasserspeicherkapazität entnommen. In diesem Beispiel sind es 20 mm/dm und auf die Mächtigkeit des effektiven Wurzelraumes hochgerechnet also $20 * 8 = 160$ mm.

- Das Defizit und damit die nötige Bewässerungsmenge in diesem Beispiel beträgt: $160 - 78 = 82 \text{ [L/m}^2\text{]}$.

Mithilfe der Verbrauchswerte von 3–5 l/m²/Tag (vgl. Kap. 5) kann abgeschätzt werden, wann ein Wasserdefizit auftreten wird, sofern es nicht regnet. Nach Tabelle 2 beginnt der Trockenstress auf unserem Bei-

spielstandort, wenn nur noch $10,4 \text{ mm/dm} \cdot 8 \text{ dm} = 83,2 \text{ mm}$ im Boden vorhanden sind. Wird z. B. ein Wassergehalt von 120 mm im gesamten Wurzelraum ermittelt, dann ist die Differenz von 36,8 mm ($120 \text{ mm} - 83,2 \text{ mm}$) in 7–12 Tagen aufgebraucht ($36,8 \text{ mm} / 5 \text{ mm/Tag}$ bzw. $36,8 \text{ mm} / 3 \text{ mm/Tag}$).

Tabelle 4: Beispiel eines Bewässerungsplans für einen Jungbaum in Göttingen mit einem Standraum von 1 m² und einem Bodenwasserspeicher von 125 mm (FLL-Baumsubstrat, Durchwurzelungstiefe: 50 cm): Die Niederschlagsmengen sind einem Klimadiagramm entnommen. Gewässert wird, sobald der Bodenwasserspeicher zu 60 % geleert ist. Die Dauer der Vegetationszeit wurde an der Tagesdurchschnittstemperatur festgemacht, wenn diese 10 °C übersteigt.

Woche		Niederschlag [mm bzw. L/m ²]	Restwasser L/m ²	Wässern mit [L/m ²]	Wässern des gesamten Standraumes [L]
15. Apr	21. Apr	10,0	114,0	0	0
22. Apr	28. Apr	10,0	103,1	0	0
29. Apr	05. Mai	12,2	94,3	0	0
06. Mai	12. Mai	13,5	86,8	0	0
13. Mai	19. Mai	13,5	79,4	0	0
20. Mai	26. Mai	13,5	71,9	0	0
27. Mai	02. Jun	14,6	65,5	0	0
03. Jun	09. Jun	17,3	61,8	0	0
10. Jun	16. Jun	17,3	58,0	0	0
17. Jun	23. Jun	17,3	54,3	0	0
24. Jun	30. Jun	17,3	50,6	0	0
01. Jul	07. Jul	13,5	43,1	82	82
08. Jul	14. Jul	13,5	117,5	0	0
15. Jul	21. Jul	13,5	110,1	0	0
22. Jul	28. Jul	13,5	102,6	0	0
29. Jul	04. Aug	12,9	94,5	0	0
05. Aug	11. Aug	12,4	86,0	0	0
12. Aug	18. Aug	12,4	77,4	0	0
19. Aug	25. Aug	12,4	68,8	0	0
26. Aug	01. Sep	12,4	60,2	0	0
02. Sep	08. Sep	12,1	51,3	0	0
09. Sep	15. Sep	12,1	42,5	83	83
16. Sep	22. Sep	12,1	116,1	0	0
23. Sep	29. Sep	12,1	107,3	0	0
30. Sep	06. Okt	10,2	96,5	0	0
Summe		332,1		164	164

Tabelle 5: Beispielwerte für einen sandigen Boden

Tiefenstufe [cm]	Gemessene Wasser- spannung [pF]	Wassergehalt [mm/dm]	Wassergehalt pro Horizont [mm]
0–20	3,5	6	12
20–50	2,8	10	30
50–80	2,5	12	36
Total			78

7 Technische Umsetzung der Bewässerung

Ein häufiges Problem bei der Bewässerung von Bäumen ist, dass die Baumscheiben zu klein sind, der Boden der offenen Baumscheibe verdichtet ist und/oder sie sich zum Baumstamm hin aufwölbt, sodass das Gießwasser oberflächlich abläuft und nicht an die Wurzeln gelangt. Hinzu kommt, dass ein ausgetrockneter Boden hydrophob ist und das Wasser im trockenen Zustand erst einmal nicht annimmt (Abbildung 8). Dies ist ein Grund mehr, mit der Bewässerung nicht zu warten, bis der Boden komplett ausgetrocknet ist.

Diesen Problemen wird in der Praxis dadurch begegnet, dass Rückhalteeinrichtungen wie Bewässerungsränder, Bewässerungssäcke (Abbildung 9) oder Bewässerungsringe installiert werden. Auf diese Weise kann das Wasser nicht oberflächlich ablaufen und versickert

in der Erde. Die Bewässerungssäcke haben zusätzlich den Vorteil, dass das Wasser relativ langsam aus den Säcken entweicht und der Boden nicht verschlämmt. Allerdings müssen sie regelmäßig gewartet werden, um ein Zusetzen der Löcher zu vermeiden (vgl. SCHNEIDWIND 2020, S. 121–132).

Für große Gießmengen sind diese Vorrichtungen allerdings nicht geeignet. Hier helfen IBC-Container mit 1000 l Fassungsvermögen, mit deren Hilfe das Wasser über Tröpfchenbewässerungsschläuche ausgebracht werden kann (Abbildung 10) (vgl. FISCHER 2019). Dabei ist darauf zu achten, dass diese Container aufgrund ihres Gewichtes im befüllten Zustand nach Möglichkeit nicht auf dem ungeschützten Wurzelraum gelagert werden sollten, da dann eine Bodenschadverdichtung zu befürchten ist. Diese Form der Bewässerung kann man auch mieten, falls es nur um eine zeitweise Bewässerung z. B. im Zuge einer Baumaßnahme geht.



Abbildung 8: Bei diesem feinporigen, verdichteten und ausgetrockneten Boden dauert das Versickern weniger Liter Gießwasser etwa 40 Minuten (Foto: M. STRECKENBACH).

Bei Neupflanzungen (und in Altbeständen mit Einschränkungen) gibt es weitere interessante technische Möglichkeiten der Bewässerung wie eingebaute Dränrohre, künstliche Stauhohizonte und automatische Bewässerungssysteme. Detaillierte Informationen hierzu finden sich z. B. bei ROTH-KLEYER (2016).

8 Über den Tellerrand geschaut: Ideen für ein zukünftiges kommunales Bewässerungsmanagement

Wenn es auf den Einzelbaum ankommt – sei es, weil es ein besonders erhaltenswürdiger Baum oder eine Baumgruppe ist oder weil besondere Umstände wie Grundwasserabsenkungen im Zuge von Baumaßnahmen eine besondere Behandlung erfordern – bieten die hier vorgestellten Verfahren Möglichkeiten, um die Bewässerung individuell anzupassen.

Bei der großen Masse der Bäume ist eine individuelle Behandlung jedes Einzelbaumes allerdings kaum durchsetzbar. Hier bietet der Deutsche Wetterdienst hilfreiche Informationen an, um den Zeitpunkt der Bewässerung besser abschätzen zu können: Für diverse Klimastationen wird für zwei häufig vorkommende, mit Gras bewachsene Bodenarten, dem sandigen Lehm und dem lehmigen Sand, neben der Verdunstung, dem Niederschlag und der nutzbaren Wasserspeicherkapazität das aktuell zur Verfügung stehende Bodenwasser in einer Tiefe von 0–60 cm angegeben (siehe Beispiel in Abbildung 11). Bei den meisten Böden in Deutschland liegt das pflanzenverfügbare Wasser zwischen den in der Grafik angegebenen Böden, so dass die dargestellten Kurven in etwa die mögliche Spanne über die obersten 60 cm abdecken (DWD 2019) und diese Werte somit gut zur Orientierung dienen können.

Dieses System des Deutschen Wetterdienstes wurde vom Pflanzenschutzamt Berlin für einen repräsentativen Berliner Baumstandort weiterentwickelt und befindet sich derzeit in der Testphase (senuvk 2019). Eingangswerte für das Modell sind der aktuelle Tagesniederschlag am Standort, die nutzbare Wasserspeicherkapazität des Modellstandortes (ein mittel lehmiger Sand (Sl3)) sowie Verbrauchskennwerte für die Baumart Winter-Linde (*Tilia cordata*). Letztere wurden im Zuge einer Bachelorarbeit näher definiert (RIMKUS 2017).



Abbildung 9: Bewässerungssäcke geben das Gießwasser langsam an den Boden ab, sodass es nicht zu Verschlammungen oder oberflächlichem Abfluss kommt.



Abbildung 10: IBC-Container mit Tröpfchenbewässerungsschläuchen zur vorübergehenden Bewässerung während einer Baumaßnahme

Durch Messungen der Wasserspannung wird das Modell auf seine Funktionsfähigkeit überprüft. In der Summe stimmen die Kurvenverläufe der errechneten und gemessenen Werte weitestgehend überein. Das Modell wird zukünftig auf Basis weiterer Forschungsarbeiten

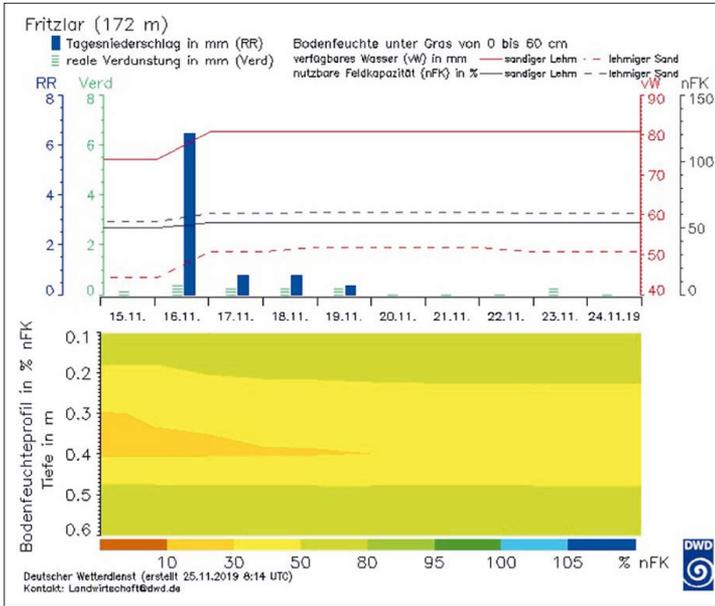
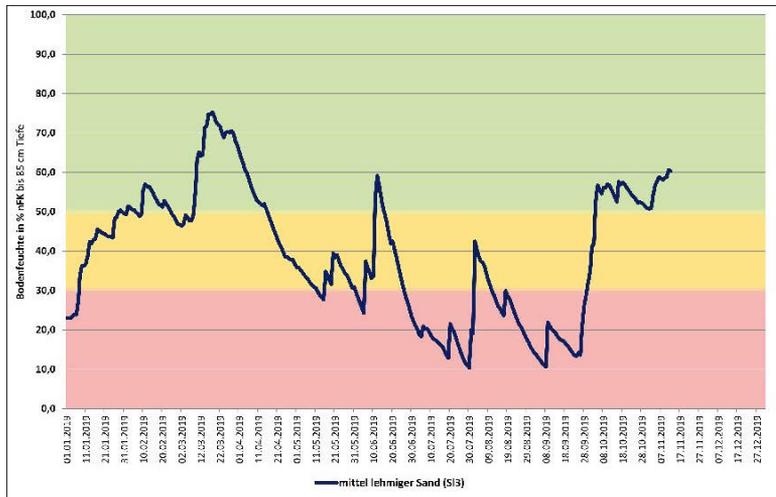


Abbildung 11: Zehntägiger Rückblick des Wetters und der Bodenfeuchte am Beispiel der Wetterstation Fritzlar; im oberen Teil sind die Verdunstung über Gras auf sandigem Lehm, der Tagesniederschlag sowie das pflanzenverfügbare Wasser [mm] und die nutzbare Wasserspeicherkapazität (nFK) [Vol % bzw. mm/dm] für sandigen Lehm und lehmigen Sand dargestellt. Unten wird das pflanzenverfügbare Wasser als Prozentanteil der nutzbaren Wasserspeicherkapazität (nFK) für die obersten 60 cm eines Bodens aus sandigem Lehm mit Grasbewuchs abgebildet (DWD 2019).

Abbildung 12: Jahresverlauf der Bodenfeuchte als Prozentanteil der nutzbaren Wasserspeicherkapazität (nFK) für einen typischen sandigen, Berliner Baumstandort, an dem eine Winter-Linde gepflanzt wurde. Die hinterlegten Ampelfarben deuten die Dringlichkeit einer Bewässerung an (senuvk 2019).



noch weiter angepasst (mündl. Auskunft MARTIN SCHREINER, Pflanzenschutzamt Berlin, 12.11.2019).

Wöchentlich werden die Daten aktualisiert und in einem Ampelsystem für alle online zur Verfügung gestellt (vgl. Abbildung 12). Die Daten des repräsentativen Probestandortes geben Aufschluss darüber, wie viel pflanzenverfügbares Wasser es auf Baumstandorten im Berliner Stadt-

gebiet gibt. So kann das öffentlich zur Verfügung gestellte Diagramm als Entscheidungshilfe dienen, wann in Berlin eine zusätzliche Bewässerung von Bäumen notwendig ist.

Eine Bewässerungshilfe, wie sie in Berlin online zur Verfügung gestellt wird, kann auch von anderen Städten und Gemeinden erstellt werden. So ist es z. B. denkbar, dass eine Kommune in ihrem Gebiet auf

mehreren repräsentativen Baumstandorten Wasser Spannungsmessgeräte – wie in Kapitel 3.3 beschrieben – installiert und so für diese Standorte den Bewässerungszeitpunkt bestimmen kann (vgl. FISCHER 2019). Auf den gewonnenen Messdaten basierend kann der Bewässerungszeitpunkt für ähnliche Standorte in dem Gebiet abgeleitet werden. Die Bewässerungsmenge kann ebenfalls anhand des in Kapitel 6.2 vorgestellten Verfahrens geschätzt werden. Welche Standorte als Musterstandorte geeignet sind, lässt sich über Boden-, Grundwasser- und Versiegelungskarten ermitteln. In vielen Bundesländern bieten die geologischen Dienste diese Informationen kostenfrei und online an.

Besonders geeignet ist dieses Vorgehen für die Bäume, die den größten Bewässerungsbedarf haben: die Jungbäume. Diese sind häufig in definierte Baumsubstrate gepflanzt und haben noch einen begrenzten, gut abschätzbaren Wurzelraum, wodurch die nutzbare Wasserspeicherkapazität im effektiven Wurzelraum relativ genau bestimmt werden kann (vgl. Kap. 6.1).

Voraussetzung ist, dass die Daten regelmäßig aktualisiert werden. Eine solche Vorgehensweise ist vielfach effektiver als der mancherorts zu vernehmende Aufruf der Städte an die Bewohner, die Straßenbäume bei Trockenheit eimerweise mit Wasser zu versorgen.

Literatur

Ad-hoc-AG Boden, 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Aufl., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Hannover, 438 S.

Arbeitskreis Standortkartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung, 2016: Forstliche Standortaufnahme. 7. Aufl., IHW-Verlag und Verlagsbuchhandlung, Eching, 400 S.

BIDDLE, P. G., 1998: Tree Root Damage to Buildings, Volume 1 – Causes, Diagnosis and Remedy. Willowmead Publishing L., Wantage, 376 S.

BLUME, H.-P.; BRÜMMER, G. W.; HORN, R.; KANDELER, E.; KÖGEL-KNABNER, I.; KRETZSCHMAR, R.; STAHR, K.; WILKE, B.-M., 2016: Scheffer/Schachtschabel – Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage, Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, 569 S.

CRAUL P. J., 1992: Urban soil in landscape design. Wiley, New York, 416 S.

DIN, Deutsches Institut für Normung e. V., 2002: DIN 18920: Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Schutz von Bäumen, Pflanzenbeständen und Vegetationsflächen bei Baumaßnahmen. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 6 S.

DIN, Deutsches Institut für Normung e. V., 2018: 18915:2018–06: Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Bodearbeiten. In: (DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.) (2000): Handbuch der Bodenuntersuchung. Beuth Verlag GmbH, Berlin und Wiley-VCH Verlag, Weinheim.

DWD, Deutscher Wetterdienst, 2019: Bodenfeuchte (Stationsgrafik). online unter: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/bodenfeuchte/bodenfeuchte.html>. Zuletzt aufgerufen am 13.11.2019.

ETZOLD, S.; ZWEIFEL, R., 2018: TreeNet – Daten und Analysen der ersten fünf Messjahre. WSL Berichte, Heft 72, 70 S.

FGSV, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 1999: Richtlinie für die Anlage von Straßen, Teil: Landschaftspflege, Abschnitt 4: Schutz von Bäumen, Vegetationsbeständen und Tieren bei Baumaßnahmen. RAS-LP 4. FGSV, Köln, 32 S.

FISCHER, G., 2019: Bedeutung von Trockenheitsschäden für die Verkehrssicherheit – Vermeidung durch Bewässerung. FLL Verkehrssicherheitstage 2019, Bäume und Spielgeräte/Spielräume im Fokus der Verkehrssicherheit, Teil 1: Bäume, Forschungsgesellschaft für Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (Hrsg.), Bonn, 21–34.

FLL, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V., 2010: Empfehlungen für Baumpflanzungen – Teil 2: Standortvorbereitungen für Neupflanzungen; Pflanzgruben und Wurzelraumerweiterungen, Bauweisen und Substrate. FLL, Bonn, 62 S.

FLL, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2015a: Empfehlungen für Baumpflanzungen, Teil 1: Planung, Pflanzarbeiten, Pflege. FLL, Bonn, 64 S.

FLL, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., 2015b: Bewässerungsrichtlinien – Richtlinie für die Planung, Installation und Instandhaltung von Bewässerungsanlagen in Vegetationsflächen. FLL, Bonn, 60 S.

GAERTIG, T.; BERGMANN, M., 2006: Möglichkeiten zur Verringerung des Befalls der Massaria-Krankheit durch Bewässerungsmaßnahmen. In: DUJESIEFEN, D. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2006, Haymarket Media, Braunschweig, 198–207.

GRANIER, A.; BRÉDA, N.; BIRON, P.; VILLETTE, S., 1999: A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. Ecological Modelling 116, 269–283.

HARTGE, K.-H.; HORN, R., 1999: Einführung in die Bodenphysik. 3. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 304 S.

HERTZLER, J., 2019: Experimentelle Überprüfung der Eignung von Watermark-Sensoren für ein gezieltes Bewässerungsmanagement. Bachelorarbeit an der HAWK, Fakultät Ressourcenmanagement, Göttingen, 33 S.

HERTZLER, J., 2020: Können Watermarksensoren zur Bewässerungssteuerung eingesetzt werden? In: Dujesiefken, D. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2020. Haymarket Media, Braunschweig, 297–302.

IRMAK, S.; PAYERO, J. O.; VANDEWALLE, B.; REES, J.; ZOUBEK, G.; MARTIN, D. L.; KRANZ, W. L.; EISENHAEUER, D. E.; LEININGER D., 2016: Principles and Operational Characteristics of Watermark Granular Matrix Sensor to Measure Soil Water Status and Its Practical Applications for Irrigation Management in Various Soil Textures. University of Nebraska, Lincoln, 14. S.

KEHR, R., 2020: Mögliche Folgeschäden von Trockenstress an heimischen Laubgehölzen – Einschätzungen aus Anlass der Trocken-sommer 2018/19. In: Dujesiefken, D. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2020. Haymarket Media, Braunschweig, 103–120.

KRAMER, P. J., 1983: Water relations of plants. Academic Press, San Diego, 489 S.

LICHT, W., 2015: Zeigerpflanzen Erkennen und Bewerten. 2. Auflage. Stürtz GmbH, Würzburg, 522 S.

LYR, H.; POLSTER, H.; FIEDLER, H.-J., 1967: Gehölzphysiologie. G. Fischer, Jena, 444 S.

RIMKUS, S., 2017: Anwendung eines agrarmeteorologischen Wasserhaushaltsmodells auf Stadtbäume am Beispiel von *Tilia cordata* Mill. Bachelorarbeit an der HAWK, Fakultät Ressourcenmanagement, Göttingen, 24 S.

- ROHNER, B.; WEBER, P.; THÜRIG, E., 2016: Bridging tree rings and forest inventories: How climate effects on spruce and beech growth aggregate over time. *Forest Ecology and Management* 360, S. 159–169.
- ROLOFF, A., 2013: Bäume in der Stadt. Eugen Ulmer, Stuttgart, 255 S.
- ROTH-KLEYER, S., 2016: Bewässerung im Garten- und Landschaftsbau. Eugen Ulmer, Stuttgart, 268 S.
- RUST, S., 1999: Hydraulische Architektur und Wasserhaushalt von Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) mit begleitenden Untersuchungen an Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.), Buche (*Fagus sylvatica* (L.) und Balsampappelklonen. Dissertation an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus. Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung Band 3, 110 S.
- RUST, S., 2010: Stadtbäume – Überleben trotz häufigerer Trockenphasen in der Vegetationsperiode. In: DUJESIEFEN, D. (Hrsg.): *Jahrbuch der Baumpflege 2010*. Haymarket Media, Braunschweig, 38–49.
- SCHNEIDWIND, A., 2020: Vorstellung verschiedener Bewässerungsmethoden für Bäume. In: DUJESIEFEN, D. (Hrsg.): *Jahrbuch der Baumpflege 2020*. Haymarket Media, Braunschweig, 121–132.
- STURM, N.; REBER, S.; KESSLER, A.; TENHUNEN, J. D., 1996: Soil moisture variation and plant water stress at the Hartheim scots pine plantation. *Theoretical and applied climatology* 53, 123–133.
- SUKOPP, H.; WITTIG, R., 2011: *Stadtökologie: Ein Fachbuch für Studium und Praxis*. Spektrum Akademischer Verlag, 474 S.
- WULLSCHLEGER, S. D.; MEINZER, F. C.; VERTESSY, R. A., 1998: A review of whole-plant water use studies in tree. – *Tree physiology* 18 (8–9), 499–512.
- senuvk, Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin, 2019: *Bewässerungsempfehlungen für Stadtbäume*. Online unter: <https://www.berlin.de/senuvk/pflanzenschutz/stadtgruen/de/beratung/bewaesserung.shtml>, zuletzt aufgerufen am 13.11.2019.

Autorin

Dr. Katharina Weltecke ist Sachverständige für Baumstandorte. Schwerpunkte sind Bodenuntersuchungen und bodenkundliche Gutachten an Stadtbäumen. Weiterhin lehrt sie die städtische Bodenkunde bei den Arboristen an der HAWK in Göttingen.

Dr. Katharina Weltecke
Am Schlossteich 5
34454 Bad Arolsen
Tel: (05691) 877 33 33
weltecke@bodenundbaum.de

