

Nutzbare Wasserspeicherkapazität von Baumsubstraten vor dem Hintergrund klimatischer Veränderungen

**- Unter welchen Voraussetzungen können Baumsubstrate
die Anforderungen der FLL erfüllen?**

Prof. Dr. Thorsten Gaertig

Erstmals veröffentlicht: 43. SVK-Gehölzseminar, 04.04.2022–06.04.2022

Einleitung

Baumpflanzungen an Standorten mit ungünstigen Bodenverhältnissen oder mit begrenztem Wurzelraum sollen mit geringem Anwuchsrisko erfolgen können, wenn die Pflanzgruben ausreichend dimensioniert und mit entsprechenden Substraten gefüllt sind. Hinweise zur Dimensionierung, Bauweise und Zusammensetzung von Baumsubstraten geben die Empfehlungen für Baumpflanzungen Teil 2 (FLL 2010).

Neben ungünstigen Bodenbedingungen müssen Stadtbäume zunehmend mit den durch den Klimawandel bedingten klimatischen Veränderungen am Standort zurechtkommen.

Um Anwuchsriskiken zu minimieren und Kosten für zugekaufte Baumsubstrate zu sparen, gehen Kommunen zunehmend dazu über, die Substrate selber zu mischen, wobei die Sieblinien der FLL (2010) als Anhalt dienen. Im folgenden Beitrag sollen nach einer kurzen Skizzierung der bislang messbaren klimatischen Veränderungen die FLL Anforderungen an Substrate (FLL 2010) vor dem Hintergrund der Wasserversorgung kritisch beleuchtet werden und mögliche Optimierungsmöglichkeiten vorgestellt werden.

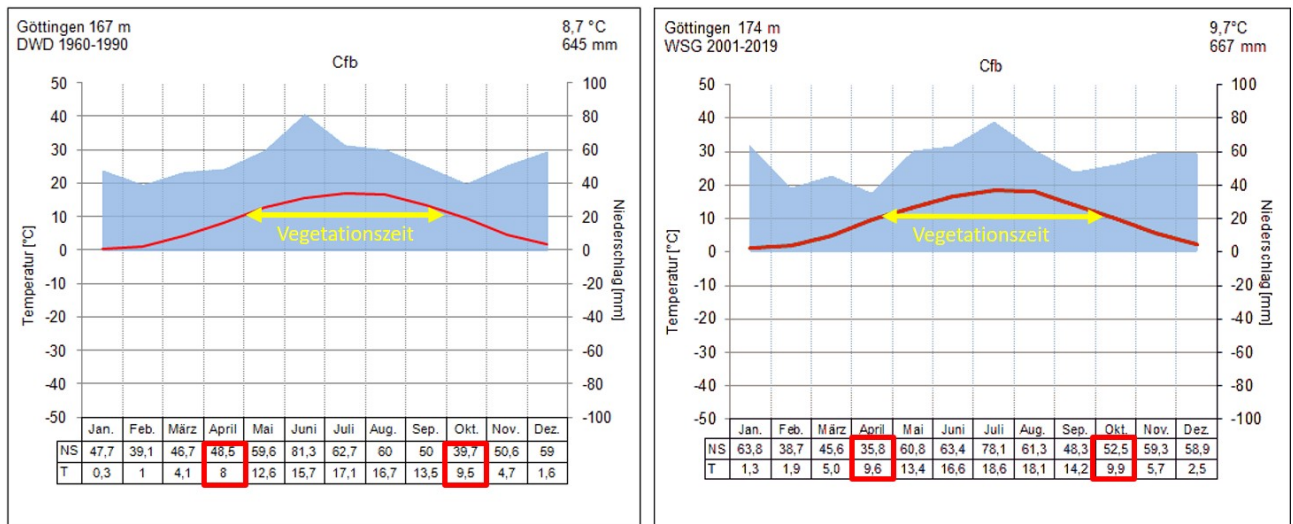
Klimatische Veränderungen

Zur Darstellung des Klimas oder der Klimahistorie eines Standortes werden die gemittelten Klimadaten dreißigjähriger Referenzperioden verwendet. Die letzte „offizielle“ Klimareferenzperiode ist die von 1960-1990. In naher Zukunft stehen die Daten der Folgeperiode 1990-2020 zur Verfügung.

Vergleicht man am Beispiel der Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes (DWD) in Göttingen die Daten der Klimaperioden 1960-1990 mit den bereits vorliegenden Klimadaten von 2001-2019 (Abb. 1), so zeigt sich, dass die Jahresmitteltemperatur der letzten 20 Jahren um 1°C gegenüber dem Zeitraum 1960-1990 zugenommen hat. Die Jahresniederschlagssumme hat sich um 22 mm auf 667 mm erhöht hat. Mit der Temperaturerhöhung hat sich auch die Vegetationszeit, also die

Anzahl der Tage, an denen die Tagesmitteltemperatur über 10 °C liegt, um etwa 3 Wochen verlängert und sich deutlich in den April aber auch in den Oktober ausgedehnt. Die Jahresniederschläge in der Vegetationszeit haben sich im gleichen Zeitraum um 35 mm erhöht, was vor dem Hintergrund der verlängerten Vegetationszeit nicht ausreicht, um den zusätzlichen Wasserbedarf zu kompensieren.

Abb. 1: Klimadiagramme der Klimastation Göttingen des DWD in der Klimaperiode 1960-1990 (rechts) und im Zeitraum 2001-2019 (links). Der gelbe Pfeil gibt die Dauer der Vegetationszeit an.



Nun verteilen sich Temperatur- und Niederschlagsveränderungen nicht gleichmäßig auf das Jahr. In Südniedersachsen war der April mit +1,6°C der Monat mit dem höchsten Temperaturanstieg während die Aprilniederschläge um 13 mm von 48,5 auf 35,8 mm sanken. D.h. gerade im Frühjahr zur Zeit der Blattentfaltung ist es warm und trocken geworden.

Unter der Annahme, dass unter den aktuellen klimatischen Bedingungen der gesamte Niederschlag in der Vegetationszeit (~350 mm) den Bäumen in der Vegetationszeit (~175 Tage) zur Verfügung stände, entspräche das einer durchschnittlichen Wasserspende durch Niederschläge von 2mm oder 2l/m² am Tag.

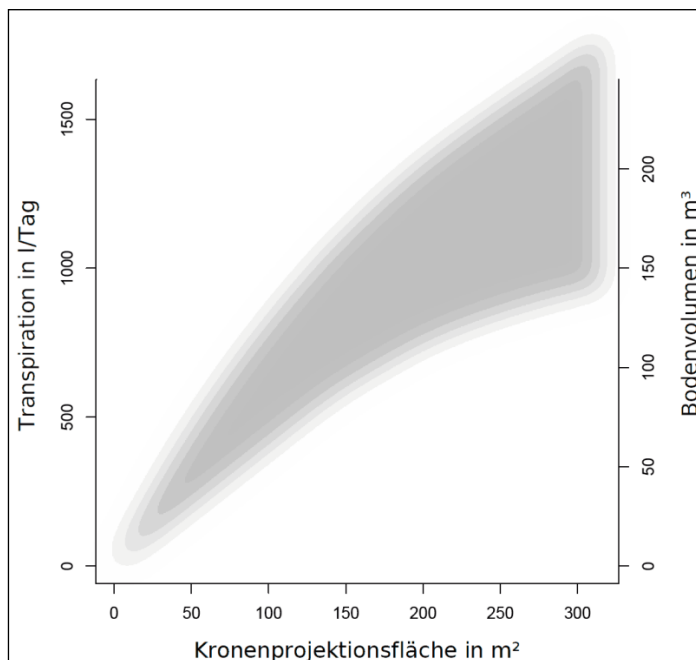
Wasserbedarf von Bäumen

Der durchschnittliche tägliche Wasserbedarf von Bäumen in der Vegetationszeit ist neben der Baumart maßgeblich von der Kronengröße abhängig. RUST 2010 hat im Rahmen einer Literaturrecherche den Wasserbedarf von Bäumen in Abhängigkeit von deren Kronenprojektionsfläche ermittelt (Abb. 2). Wird die Transpiration wie der Niederschlag in mm angegeben werden, so benötigen Bäume je nach Baumart und Kronenprojektionsfläche täglich mindestens 3-4 mm Wasser (untere Grenze der

Transpiration in Abb.2). Das entspricht 3-4 l/m² Kronenprojektionsfläche. Ein Baum mit einer Kronenprojektionsfläche von 100m² transpiriert nach RUST 2010 zwischen 400 und 900l pro Tag, während ein Baum mit einer Kronenprojektionsfläche von 50m² nur etwa die Hälfte verbraucht. Sind Wasserbedarf eines Baumes und Niederschläge bekannt, kann die Bedeutung des Bodenwasserspeichers und die Notwendigkeit von Bewässerungsmaßnahmen abgeschätzt werden. Im Fall von Göttingen stehen einem durchschnittlichen täglichen Niederschlag von 2 mm pro Vegetationszeit ein Verbrauch von 3-4 mm gegenüber.

Abb. 2: Transpiration von Bäumen sowie erforderliches Bodenvolumen in Abhängigkeit von Kronenprojektionsfläche.

Bei einer Vegetationsdauer von 175 Tagen müssen demnach 175-350 mm über den Bodenwasserspeicher und Bewässerung zugeführt werden.



Bestimmungsgrößen des Bodenwasser- und Lufthaushalts

Der Boden kann in Abhängigkeit von der Bodenart und der Lagerungsdichte unterschiedliche Mengen Wasser speichern. Als Kenngrößen des Bodenwasserhaushalts werden die **Wasserkapazität** (= Wasserspeicherkapazität = Feldkapazität), die **nutzbare Wasserkapazität** (= nutzbare Wasserspeicherkapazität = nutzbare Feldkapazität) und das **Totwasser** = Restwasser verwendet. Im folgenden Beitrag werden nur die Begriffe Wasserkapazität, nutzbare Wasserkapazität und Totwasser verwendet.

Die **Wasserkapazität (WK)** ist die Wassermenge, die ein Boden über längere Zeit gegen die Schwerkraft in seinen Mittel- und Feinporen sowie den engen Grobporen halten kann.

Die mittleren und weiten Grobporen sind nach kurzer Zeit (ein bis zwei Tage) entwässert und bilden das Belüftungssystem des Bodens. Sie stehen dem Bodenwasserspeicher nicht zur Verfügung und werden als **Luftkapazität (LK)** des Bodens bezeichnet.

Die **nutzbare Wasserkapazität (nWK)** entspricht der Wassermenge, die der Boden über längere Zeit gegen die Schwerkraft halten kann und von den Wurzeln aus dem Boden gesaugt werden kann. Dieses sogenannte pflanzenverfügbare Wasser wird in den engen Grobporen und Mittelporen (Porendurchmesser $0,2\mu\text{m}$ bis $50\mu\text{m}$) gespeichert.

Das in den Feinporen ($<0,2\mu\text{m}$) gespeicherte Wasser ist dort mit etwa 15.000 hPa gebunden. Pflanzenwurzeln können nicht mehr die erforderliche Saugspannung aufbringen, um dies aus den Feinporen zu beziehen. Dieser nicht pflanzenverfügbare Teil des Bodenwassers wird als **Totwasser** bezeichnet.

Für die Wasserversorgung des Baumes ist einzig die nutzbare Wasserkapazität von Bedeutung. Je nach Bodenart und möglicher Durchwurzelungstiefe kann die nutzbare Wasserkapazität von Böden zwischen 30 mm (entspricht einer Niederschlagsmenge von 30 l/m^2) bei sehr flachgründigen Böden und 250 mm (entspricht einer Niederschlagsmenge von 250 l/m^2) bei tiefgründigen schluffigen Böden liegen. Abb. 3 zeigt die genannten Luft- und Wasserhaushaltsparameter exemplarisch für einen steinfreien sandigen, schluffigen und tonigen Boden.

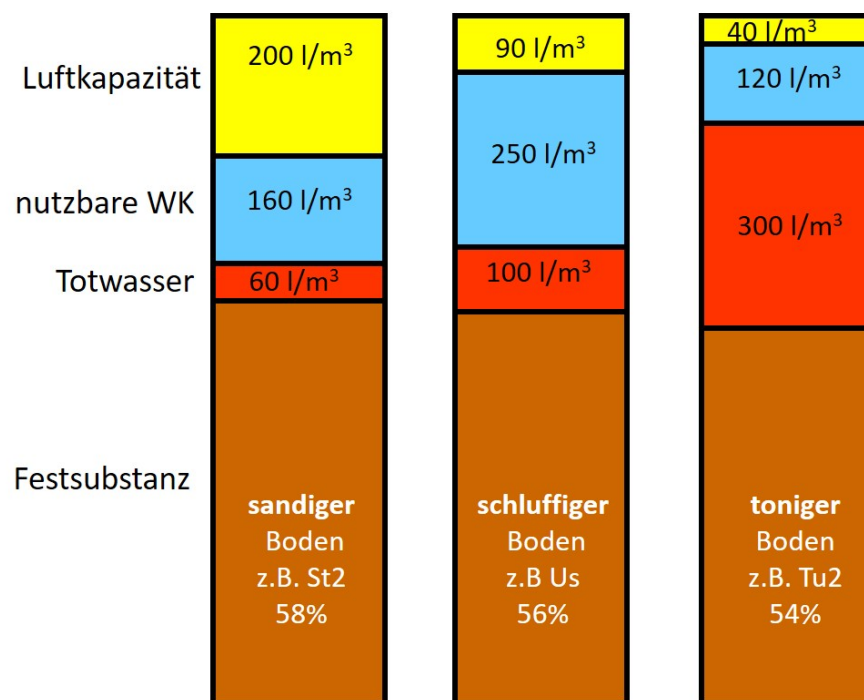


Abb. 3: Luftkapazität, nutzbare Wasserkapazität und Totwasser eines sandigen (links), schluffigen (Mitte) und tonigen (rechts) Bodens bei mittlerer Lagerungsdichte. Die Wasserkapazität ist die nutzbarere Wasserkapazität plus Totwasser.

Anforderungen an Pflanzsubstrate nach FLL (2010) im Hinblick auf den Wasserhaushalt

In den die Empfehlungen für Baumpflanzungen Teil 2 (FLL 2010) werden in Abhängigkeit von der Pflanzgrubenbauweise (1 „offen, nicht überbaut“ und 2 „überbaut“) auch Anforderungen an das Substrat und den Wasserhaushalt gestellt.

So heißt es dort:

*„Bei Pflanzgrubenbauweise 1 und 2 muss die **maximale Wasserspeicherkapazität** des Substrates im eingebauten und verdichteten Zustand mindestens 25 Vol.-% bezogen auf das Volumen der Gesamtprobe betragen“.*

Dabei wird die *maximale Wasserspeicherkapazität* als die Wassermenge definiert, welche nach einer 24 stündigen Aufsättigung und nach zwei Stunden Abtropfzeit im Substrat enthalten ist. Eine wie in der Bodenkunde übliche Zuordnung zu einer Wasserspannung und damit ein Hinweis auf die Pflanzenverfügbarkeit des Wassers ist nicht möglich. Vielmehr setzt sich die maximale Wasserspeicherkapazität nach FLL aus der Wasserkapazität (also der Summe von nutzbarer Wasserspeicherkapazität und Totwasser) sowie einem nicht weiter definierbaren Anteil der Luftkapazität zusammen. Da in sandigen Böden die Grobporen schnell entwässern, kann für diese angenommen werden, dass die bodenkundliche „Wasserkapazität“ ungefähr der „maximale Wasserspeicherkapazität“ nach FLL entspricht.

Beide Größen geben jedoch keine Hinweise auf das pflanzenverfügbare Wasser. So erreicht der sandige Boden aus Abbildung 3 eine Wasserkapazität von 25% nicht, enthält aber 16% pflanzenverfügbares Wasser, während ein toniger Boden bei einer Wasserkapazität von 42% nur 12% pflanzenverfügbares Wasser enthält. Der schluffige Boden mit einer Wasserkapazität von 35% hat eine nutzbare Wasserkapazität von 25%. Da kein Zusammenhang zwischen der Wasserkapazität und der nutzbaren Wasserkapazität besteht, die nutzbare Wasserkapazität aber die für die Wasserversorgung entscheidende Größe ist, wäre es zielführend in Regelwerken statt der maximalen Wasserspeicherkapazität einen Richtwert für die „nutzbare Wasserkapazität“ anzugeben.

Weiter heißt es in den Empfehlungen für Baumpflanzungen Teil 2 (FLL 2010):

„Für die Pflanzgrubenbauweise 1 und 2 werden die nachfolgenden Korngrößenverteilungsbereiche als Hilfe für die Wahl einer geeigneten Lieferkörnung vorgegeben...“

Bei Verwendung der empfohlenen Korngrößenverteilung für die Pflanzgrubenbauweise 2 (überbaute Pflanzgrube) liegen die Anteile der einzelnen Korngrößenfraktionen zwischen den in Abbildung 4 dargestellten Sieblinien.

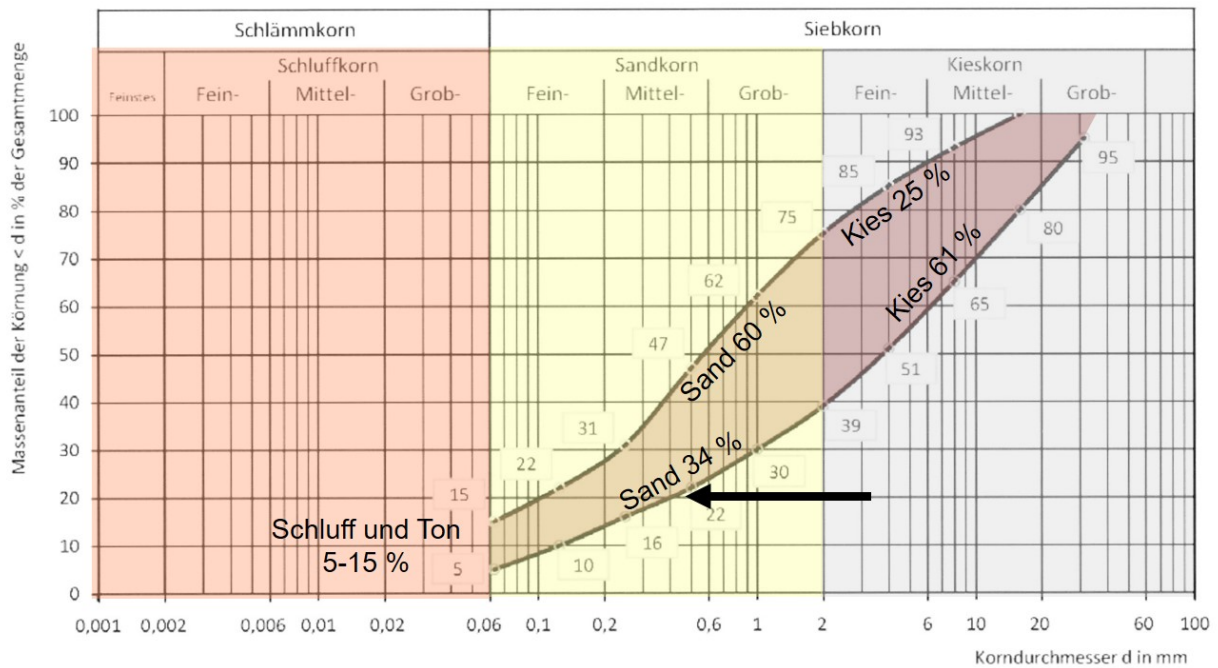


Abb. 4: Empfohlener Korngrößenverteilungsbereich für Pflanzgrubenbauweise 2 – überbaute Pflanzgrube nach FLL 2010.

Da die Bodenfraktion > 2 mm (Bodenskelett oder Grobboden) i.d.R. keinen nennenswerten Beitrag zur Wasserspeicherung leistet, wird bei allen bodenkundlichen Untersuchungen nur der Feinbodenanteil bei der Berechnung der (nutzbaren) Wasserkapazität berücksichtigt.

In der Praxis ist dazu ist die Bestimmung der Bodenart d.h. der Anteile von Schluff, Sand und Ton erforderlich (vgl. Abb. 5). Die (nutzbare) Wasserkapazität kann dann mit Hilfe von Tabellen ermittelt werden.

Der Feinbodenanteil entsprechend der Korngrößenverteilung für Pflanzgrubenbauweise 2 nach FLL (2010) liegt zwischen 34% (Abb. 4, untere Sieblinie) und 75% (Abb. 4, obere Sieblinie). Der Sandanteil des Feinbodens liegt demnach zwischen 80% und 87% (vgl. Tab. 1).

Tab. 1: Anteile an Kies, Sand und Schluff/Ton der Sieblinien für Pflanzgrubenbauweise 2 nach FLL (2010) bezogen auf den Gesamtboden (**fett**) und den Feinboden (*kursiv*).

		Sieblinie 1	Sieblinie 2
Bodenskelett		Kies	61%
		Kies	25%
Feinboden	Anteil am Gesamtboden	Ton und Schluff	5%
		Sand	34%
	<i>Anteil am Feinboden</i>	<i>Ton und Schluff</i>	<i>20%</i>
		<i>Sand</i>	<i>80%</i>

Bei Sandanteilen zwischen 80% und 87% kommen als Bodenarten in den Pflanzsubstraten nur der schwach tonige Sand (St2), der schwach schluffige Sand (Su2), der schwach lehmige Sand (Sl2) oder der sandige Sand (Ss) für die Feinbodenfraktion in Frage (vgl. Abb. 5).

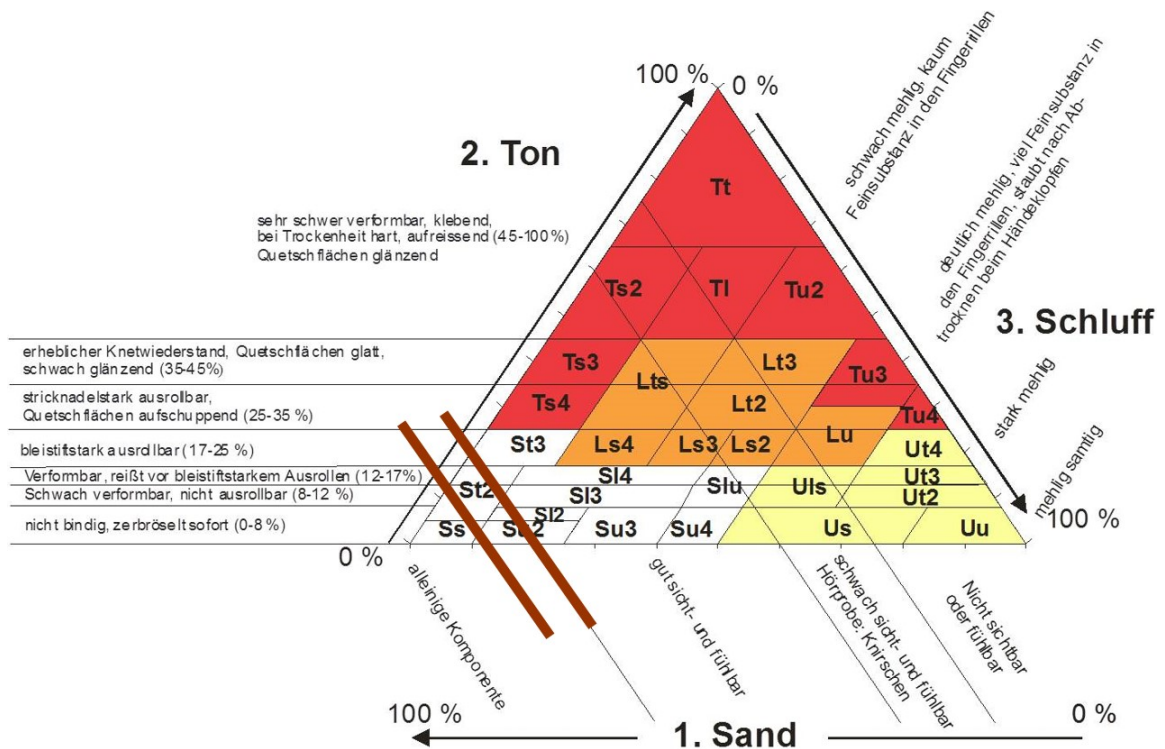


Abb. 5: Körnungsdreieck zur Bestimmung der Bodenart (nach SCHACK-KIRCHNER 2016). Die braunen Linien markieren Sandanteile von 80% bzw. 87%. Zwischen den beiden Linien liegen die Bodenarten, die entsprechend der Sieblinie (FLL 2010) für Pflanzgrubenbauweise 2 möglich sind.

Ein Boden ohne Grobboden oder Bodenskelett, der aus den der möglichen Bodenarten Ss, St2, Su2 oder Sl2 besteht, kann lediglich Wasserkapazitäten zwischen 20% und 25% erreichen (vgl. Tab 2, Spalten 1-4). Da der Grobbodenanteil aber gemäß den Sieblinien zwischen 25 und 61% liegt, müssen die Wasserhaushaltsparameter auf den vorhandenen Feinbodenanteil bezogen werden (vgl. Tab 2, Spalten 5-8). Die Wasserkapazität bei der oberen Sieblinie liegt je nach Bodenart zwischen 15 bis 19%, bei der unteren Sieblinie zwischen 8 und 10%. Das heißt: Der in der Sieblinie abgebildete Skelettanteil reduziert die Wasserkapazität noch einmal erheblich, so dass im ungünstigeren Fall (untere Sieblinie) trotz der Anwendung der empfohlenen Korngrößenzusammensetzung die Wasserkapazität nur bei einem Drittel der geforderten Menge liegt. Damit kann ein Substrat, das aus handelsüblichem Sand, Kies und Schluff besteht und entsprechend der Sieblinie der FLL (2010) zusammengesetzt ist, kaum die geforderte maximale Wasserspeicherkapazität von 25% erreichen.

Tab. 2: Nutzbare Wasserkapazität (nWK), Totwasser (TW) und Wasserkapazität der Bodenarten, die nach den Sieblinien der FLL möglich sind (Ss, Su2, St2 und Sl2) ohne und mit Grobbodenanteilen von 25% und 60%. Die Tabellenwerte sind AK STANDORTSKARTIERUNG (2016) entnommen.

	nWK, Totwasser und WK für Ss, St2, Su2 und Su2 nach AK STANDORTSKARTIERUNG (2016)			FLL - Kies 25% (obere Sieblinie)		FLL - Kies 60% (untere Sieblinie)	
	nWK	TW	WK	nWK	WK	nWK	WK
Ss	16%	4%	20%	12%	15%	6,4%	8,0%
St2	16%	6%	22%	12%	17%	6,4%	8,8%
Su2	18%	5%	23%	13,5%	17%	7,2%	9,2%
Sl2	18%	7%	25%	13,5%	19%	7,2%	10,0%

Wie können Baumsubstrate der zu verwendenden FLL Sieblinien auch die Anforderungen der FLL an die Wasserkapazität erfüllen?

Wenn der Grobbodenanteil der Sieblinie der FLL entsprechen soll, werden mit dem Feinboden allenfalls Wasserkapazitäten von 8-19% erreicht. Das bedeutet, dass bei der Substratzusammensetzung auf porösen Grobboden oder poröses Bodenskelett zurückgegriffen werden muss, welches über eine eigene Wasserkapazität verfügt. RUNGE (1978) hat pF-Kurven verschiedener Materialien, die sich in städtischen Böden befinden, erstellt, und hat dabei festgestellt, dass beispielsweise die Ziegelsteinfraktion eine Wasserkapazität von 38% und eine nutzbare Wasserkapazität von 22% hat (Abb. 6). Damit trägt gebrannter Ziegel - anders als Bodenskelett aus abgebautem Kies - erheblich zum Bodenwasserspeicher bei. Ähnlich dürfte es sich bei Grobboden aus natürlich porösem z.B. vulkanischem Material handeln. Bei Ziegelstein ist allerdings darauf zu achten, dass das für Baumsubstrate zu verwendende Material direkt bei der Ziegelproduktion angefallen sein muss. Ziegel aus Recyclingmaterial dürfen nach den geltenden Bestimmungen nicht verwendet werden.

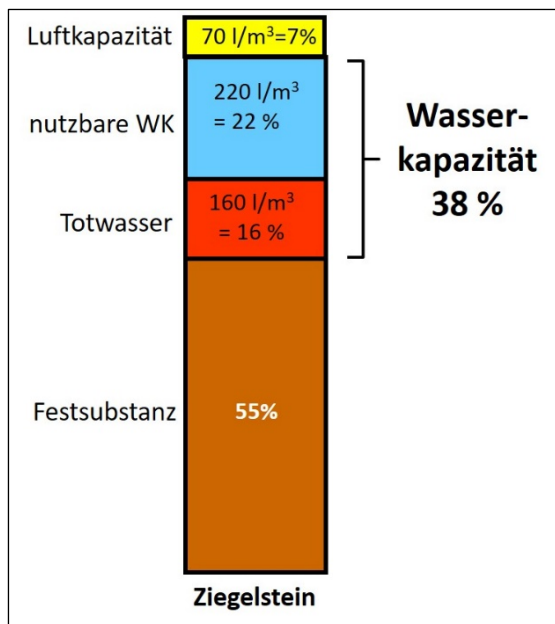


Abb. 6: Luftkapazität, nutzbare Wasserkapazität und Totwasser der Ziegelsteinfraktion eines ruderalen Bodens. Die Wasserkapazität ist die nutzbarer Wasserkapazität plus Totwasser (nach RUNGE 1998, zit. nach SUKOPP UND WITTICH 1998).

Grundsätzlich wäre zu überlegen, ob zusätzlich zu den in den FLL-Richtlinien genannten Substratzusammensetzungen Alternativen denkbar sind. Beispielsweise könnte die Stützfunktion des Bodens für den Überbau und die Funktionen der Versorgung von Wurzeln mit Wasser und Sauerstoff von zwei unterschiedlichen Substratgruppen erfüllt werden. Ähnlich dem Stockholmer Modell (vgl. EMBRÉM, ET AL 2009) könnte einerseits Grobmaterial, dessen Anteil am Bodenvolumen etwa 50% betragen sollte, als Stützgerüst fungieren, während der Raum dazwischen zusätzlich mit einem locker gelagerten schluffigen Substrat aufgefüllt werden könnte. So könnte eine auf das gesamte Bodenvolumen bezogene nutzbare Wasserkapazität von 120-150 mm erreicht werden.

Zusammenfassung

Die beobachtbaren klimatischen Veränderungen machen es mehr denn je erforderlich, Jungbäume mit ausreichend großen Pflanzgruben, die mit geeignetem Substrat gefüllten sind, auszustatten. Vor dem Hintergrund der Kosten für Substrate ist es naheliegend, diese nach den empfohlenen Sieblinien der FLL selber zu mischen und dabei auf Kies, Sand und Schluff aus Abbaugruben in der Nähe zurückzugreifen.

Die vorgestellte vergleichende Analyse von geforderter maximaler Wasserspeicherkapazität und empfohlenen Sieblinien zeigt, dass eine maximale Wasserspeicherkapazität von 25% kaum zu erreichen ist, wenn der Kiesanteil des Substrats aus Material besteht, wie es beispielsweise in Kiesgruben abgebaut wird. Vielmehr liegt die Wasserkapazität bei Pflanzgrubenbauweise 2 je nach Sieblinie nur zwischen 8% und 19%. Soll das Substrat sowohl bei der Sieblinie als auch bei der maximalen Wasserspeicherkapazität den Empfehlungen der FLL folgen, muss beim Grobbodenanteil auf

poröses Material zurückgegriffen werden, das in der Lage ist, adäquate Mengen Wasser zu speichern.

Darüber hinaus wird gezeigt, dass die Wasserkapazität nur eingeschränkt geeignet ist, Hinweise auf den pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeicher zu geben. Es wird empfohlen stattdessen die nutzbare Wasserkapazität zu verwenden, die nach einer feldbodenkundlichen Ansprache der Bodenart einfach herzuleiten ist.

Literatur

AK STANDORTSKARTIERUNG IN DER ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG (HRSG)(2016): Forstliche Standortsaufnahme, 7. Aufl., S. 144, IHW-Verlag: Eching bei München. ISBN 978-3-930167-80-7

EMBRÉM, B.; ALVEM, B.-M.; STÅHL, Ö. (2009): Pflanzgruben in der Stadt Stockholm – Ein Handbuch. Online unter: <http://www.urbanevegetation.de/handbuecher.html>. Zuletzt aufgerufen am: 10.02.2020

FLL (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V), 2010: Empfehlungen für Baumpflanzungen. Teil 2: Standortvorbereitung für Neupflanzungen; Pflanzgruben und Wurzelraumerweiterung, Bauweisen und Substrate, Bonn.

RUNGE, M. (1978): Untersuchungen zur Wasserdynamik skelettreicher Ruderalstandorte. Z. Kulturtechnik Flurbereinigung 19. S157-168.

RUST, S., 2010: Stadtbäume – Überleben trotz häufiger Trockenphasen in der Vegetationsperiode. In: DUJESIEFKEN, D. (HRSG.): Jahrbuch der Baumpflege 2010. Haymarket Media, Braunschweig, 38-49.

SCHACK-KIRCHNER (2001): Ein Fuzzi-Schlüssel für die Texturabschätzung mit der Fingerprobe. Berichte Freiburger Forstliche Forschung 33. S. 31-39.

SUKOPP, H., WITTIG R. (HRSG.) (1998): Stadtökologie - Ein Fachbuch für Studium und Praxis. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, Lübeck Ulm. 474 S.