

Untersuchung der Durchwurzelungstiefe von Rasengräsern*

Borriuk, L, H. Nonn und W. Prämaßing

Zusammenfassung

Trockenheit und Hitze sind die Hauptfaktoren, die das Wachstum von Rasengräsern begrenzen (HUANG, 2004). Bedingt durch den anthropogen verursachten Klimawandel werden diese Phasen extremer Stressbelastungen weiter zunehmen. Die Pflanzenwurzel stellt dabei das Organ dar, welches für die Wasser- und Nährstoffaufnahme entscheidend ist, weshalb sie immer mehr in den Fokus der Pflanzenzüchter rückt. Trotz dieser Relevanz gibt es immer noch beachtliche Lücken im Bereich der Wurzelforschung, die es zu füllen gilt. Denn im Gegensatz zu den oberirdischen Pflanzenteilen sind unterirdische Pflanzenmerkmale schwer zu erfassen (NDOUR et al., 2017). Aus diesem Grund wurde im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsprojektes an der Hochschule Osnabrück ein kostengünstiges Modell entwickelt, mithilfe dessen die Durchwurzelungstiefe von unterschiedlichen Rasengräserarten unter Verwendung von PVC-Röhren möglichst praktikabel ermittelt werden soll. Hierbei handelt es sich um ein theoretisches Modell, dessen praktische Anwendung in einer fortgeführten Studie geprüft wird.

Summary

Drought and heat are the main factors, which limit the grass growth on the turfs (HUANG, 2004). Due to the anthropogenic climate change these extremely stressful periods will increase further. The grass roots act as their organ vital and essential for absorbing as well as the water as the nutrients. It is the reason why they shift more and more into the focus of the green-keepers. Notwithstanding their importance, there still remain some major gaps in the grass root research, which must be filled, while in opposition to the aboveground grass parts, the underground grass parts are very difficult to grasp (NDOUR et al., 2017). Therefore, as part of a research and development project of the University of Osnabrück, a cheap and practical model was designed, which would allow to determine with the help of PVC tubes the root penetration of the different varieties of grasses. In this case it is about a theoretical model, which practical use must be determined in a further test.

Résumé

La sécheresse et la chaleur sont les deux facteurs principaux qui restreignent la croissance des graminées semées sur les gazons (HUANG, 2004). Les phases de grand stress pour les graminées deviendront de plus en plus nombreuses à l'avenir en raison des changements climatiques anthropiques. Les racines des graminées représentent leurs organes vitaux essentiels qui leur permettent d'absorber l'eau et les nutriments. C'est pourquoi les green-keepers leur accordent de plus en plus une attention toute particulière. Toutefois, malgré l'importance primordiale de ce problème, il existe encore de grandes lacunes dans le domaine de la recherche sur les racines, qu'il importe de combler au plus vite. En effet, à la différence de la partie visible des graminées, il est très difficile d'analyser les propriétés agronomiques des graminées cachées sous terre (NDOUR et al., 2017). C'est pour cette raison que dans le cadre d'un projet de recherche et de développement à l'Université d'Osnabrück on a mis au point un modèle bon marché et pratique qui permettra d'observer la profondeur d'enracinement des différentes variétés de graminées pour gazon en utilisant des tubes en PVC. Il s'agit dans ce cas d'un modèle purement théorique dont l'utilisation pratique devrait être vérifiée ultérieurement dans des tests plus approfondis.

Einleitung

Rasenflächen erfüllen diverse Leistungsfunktionen, weshalb sie von immenser Bedeutung für das Landschafts- und Stadtbild sind und vielerorts geschätzt werden. „Ein gesundes Rasenwachstum steht dabei unmittelbar im Zusammenhang mit einer guten Wasserverfügbarkeit“ (EBELING et al., 2013). Doch bedingt durch den Klimawandel und den damit verbundenen Anstieg der globalen Temperaturen wird die Häufigkeit extremer Dürreereignisse voraussichtlich weiter zunehmen (SCHÄR et al., 2004). Dabei beeinflusst der Klimawandel durch sei-

ne langen Hitze- und Trockenperioden die Vitalität der Rasengräser (NONN, 2020), sodass die Bedingungen für herkömmliche Rasenflächen immer ungünstiger werden. Insbesondere die atmosphärischen Parameter während der Sommermonate schränken das Graswachstum ein, wodurch die Qualität des Rasens verringert wird (MARTINIELLO and D'ANDREA, 2006). Aufgrund der sich stetig ändernden Umweltbedingungen reagieren die Arten mit Arealverschiebungen. Dies ist darin begründet, dass der Klimawandel sehr schnelle Änderungen hervorruft und diese Zeitspanne von 50 bis 100 Jahren für viele Organismen zu kurz ist, um darauf mit genetischen Änderungen

reagieren zu können (HUNTLEY, 1991 in METZING, 2006). In diesem Fall „verlagert sich [ein Areal] in den Raum, dessen Umweltbedingungen dem Toleranzbereich der Art entsprechen, Gebiete mit ungünstigen Umweltbedingungen werden verlassen“ (METZING, 2006). In der Konsequenz ist mit einer großräumigen Verlagerung der Areale Richtung Norden zu rechnen (Skalengröße >100 – 1000 km) (METZING, 2006). Hierdurch kann es zu einer Verlagerung der Übergangszone (engl.: transition zone) zwischen den Cool-Season- und Warm-Season-Gräsern kommen. Es entsteht eine Wechselwirkung zwischen der dortigen Temperatur und dem fallenden Niederschlag.

Diese verhindert eine Prognose, was die Verteilung der Rasengräserarten betrifft. Denn sowohl zu niedrige als auch zu hohen Temperaturen können das Wachstum der Rasengräser negativ beeinflussen (DI PAOLA and BEARD, 1992 in HATFIELD, 2017). So kann eine erhöhte Bodentemperatur zu Schäden an den Graswurzeln führen, wenn die optimalen Wachstumstemperaturen für die Wurzeln überschritten werden (HATFIELD, 2017).

Unter diesen Umständen müssen Rasenspezialisten über immer detailliertere Kenntnisse bezüglich der Anpassungsfähigkeit von Rasen verfügen. Wie jede landwirtschaftliche Nutzpflanze benötigen auch Rasengräser ausreichend Wasser für das Wachstum und das Überleben. Fehlt es der Pflanze an Wasser, wird sie braun, trocknet aus und stirbt ab (HUANG, 2008).

Um auch während Phasen ungewöhnlich trockenen Wetters die Rasenflächen nutzen zu können, gilt es, das entstandene Wasserdefizit auszugleichen. Dies ist jedoch oftmals mit einem horrenden Wasserverbrauch verbunden (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1992). Doch aufgrund der global steigenden Bevölkerungszahl und der Ausweitung des Städtebaus hat ein Wettkampf um die endliche Ressource Wasser begonnen (HAMDY, 2002). In diesem Zusammenhang wird der Pflanzenwurzel eine immer größer werdende Rolle zuteil. Denn sie ist das Pflanzenorgan, welches die Wasser- und Nährstoffversorgung sicherstellt. Dennoch besteht eine große Lücke zwischen der Wurzel als Ort der Pflanzenwasserversorgung und unserer Fähigkeit, die verborgene Hälfte der Pflanze zu verstehen. Historische Züchtungsprogramme haben sich hauptsächlich auf sichtbare und leicht quantifizierbare Merkmale wie Ertrag, Sprossbiomasse oder Resistenz gegen Schädlinge bzw. Krankheiten konzentriert. Im Gegensatz dazu sind unterirdische Pflanzenmerkmale schwer zu erfassen, weshalb sie lange Zeit in Züchtungsprogrammen vernachlässigt wurden (NDOUR et al., 2017). Es wurde jedoch erforscht, dass die Wurzelarchitektur positiv mit der Pflanzenproduktivität korreliert (LYNCH, 1995), weshalb sie zunehmend in Pflanzenzüchtungsprogrammen zur Züchtung und Entwicklung neuer Sorten mit verbesserten Wurzeleigenschaften berücksichtigt wird (WASSON et al., 2012). Da der Klimawandel das Auftreten von Trockenperioden begünstigt, rückt insbesondere die Durchwurzelungstiefe von Rasengräsern in den Fokus der Rasengräserzüch-

		Grasart	Durchwurzelungstiefe	
			angloamerikanisches Maßsystem (' inch; ' feet)	metrisches Einheitensystem (cm)
Cool-Season	Kentucky bluegrass	<i>Poa pratensis L.</i>	6.0' – 1.5'	15,24 – 45,72
	Perennial ryegrass	<i>Lolium perenne L.</i>	6.0' – 1.5'	15,24 – 45,72
	Tall fescue	<i>Festuca arundinacea Schreb.</i>	1.5' – 3.0'	45,72 – 91,44
	Creeping bentgrass	<i>Agrostis stolonifera L.</i>	4.0' – 1.5'	10,16 – 45,72
	Annual bluegrass	<i>Poa annua L.</i>	1.0' – 4.0'	2,54 – 10,16
Warm-Season	Bermudagrass	<i>Cynodon dactylon L.</i>	1,5' – 6,0'	45,72 – 182,88
	St. Augustinegrass	<i>Stenotaphrum secundatum L.</i>	1,5' – 5,0'	45,72 – 152,40
	Seashore paspalum	<i>Paspalum vaginatum L.</i>	1,5' – 5,0'	45,72 – 182,88
	Zoysiagrass	<i>Zoysia L.</i>	1,5' – 2,5'	45,72 – 76,20

Tab. 1: Durchschnittliche Wurzeltiefe von Cool- und Warm-Season-Gräsern unter normaler Beanspruchung (verändert nach GIBEAULT et al., 1989).

ter. Denn die vertikale Ausprägung des Wurzelsystems bestimmt, wie viel Bodenwasser den Pflanzen zur Verfügung steht. Allerdings liegen nur wenige Informationen über die Durchwurzelungstiefe von Rasengräsern vor (Tabelle 1).

Vor diesem Hintergrund scheint die Entwicklung eines Modells lohnenswert, das es erlaubt, die Durchwurzelungstiefe von Rasengräsern möglichst praktikabel zu ermitteln.

Modelle zu Wurzeluntersuchungen

Eine Möglichkeit für Züchter, mit dem verstärkten Auftreten von Trockenperioden umzugehen, besteht darin, Sorten mit einer verbesserten Dürreverträglichkeit zu entwickeln. Von besonderer Relevanz zeigt sich in diesem Zusammenhang das Wurzelsystem, denn das Wachstum von Spross und Wurzel ist eng miteinander verbunden (NDOUR et al., 2017). Nur mit Informationen aus dem Zusammenspiel der oberirdischen und unterirdischen Pflanzenteile ist es möglich, Rasengräser zu züchten, die diesen enormen Umweltbedingungen standhalten.

Die Untersuchung des Wurzelwachstums begann vor über neun Jahrzehnten mit Wissenschaftlern, die das Wurzelwachstum in verschiedenen Böden untersuchten (JUDD et al., 2015). Insbesondere der Chemiker JUSTUS VON LIEBIG verwies in seinen Schriften auf die Relevanz der Wurzeln für ein erfolgreiches Pflanzenwachstum (BÖHM, 1984).

Da das Wurzelsystem einer Pflanze durch die Bodenmatrix gegenüber visueller Beobachtung abgeschirmt ist, stellt das Studium des in situ Wurzelwachstums

eine schwierige Aufgabe dar. Eine direkte Beobachtung der Morphologie des auf dem Feld wachsenden Wurzelsystems ist nur bedingt möglich (UPCHURCH et al., 1988). Vielmehr ist laut BÖHM (1979) die Wurzelforschung unter natürlichen Feldbedingungen ein „Stiefkind“ der Wissenschaft. Aufgrund der Komplexität der Rhizosphärenforschung haben sich die Forscher verstärkt auf das oberirdische Wachstum konzentriert, wodurch die Erforschung der unterirdischen Pflanzenteile vernachlässigt wurde (TAYLOR, 1969). Um dieses wichtige Pflanzenorgan dennoch genauer analysieren und beschreiben zu können, wurden eine Vielzahl von Methoden entwickelt, die es ermöglichen, bestimmte Wurzelparameter destruktiv oder nicht destruktiv zu erfassen.

Bis ins 19. Jahrhundert wurde das Wurzelsystem lediglich mittels destruktiver Verfahren wie dem manuellen Vermessen ausgewaschener Wurzeln durchgeführt. Allerdings werden bei dieser sehr zeitaufwändigen Methode die Wurzelsysteme zerstört oder gehen gar verloren, woraus Messfehler resultieren (PIERRET et al., 2003 in SCHA-PRIAN, 2014). Erst BATES (1937) führte die erste Anwendung einer nichtdestruktiven Methode zur Wurzelanalyse des Weidelgrases durch (SCHAPRIAN, 2014). Mithilfe einer Beobachtungsröhre aus Glas, die er neben den Pflanzen im Boden eingrub, konnte er unter Zunahme von Spiegeln und einer Lichtquelle das im Erdreich stattfindende Wurzelwachstum entlang der Glasröhre beobachten (SCHAPRIAN, 2014).

Des Weiteren wurden in situ Untersuchungen durchgeführt. So konstruierte der Botaniker JULIUS SACHS keilförmige Kästen aus Zinkblech, deren durch-

sichtige Breitseitenwände um etwa 10° geneigt waren. Zusätzlich enthielten der Boden und die Schmalseiten kleine Löcher, um eine ausreichende Belüftung zu gewährleisten. Nachdem sein Kasten mit Bodenmaterial gefüllt war, legte er Samen nahe an die Glaswand, sodass ein Großteil der sich bildenden Wurzeln entlang der Glasscheibe wuchsen und dauerhaft sichtbar waren (BÖHM, 1984). Diese Glaswandkästen eignen sich zwar für Wurzeluntersuchungen im frühen Keimlings- und Jugendstadium der Pflanzen, nicht jedoch für spätere Entwicklungsstadien. Hier reicht das bestehende Raumvolumen für ein ungestörtes Wurzelwachstum selbst bei größeren Gefäßen oftmals nicht aus. Als Folge resultieren Wurzelkonzentrationen an den Gefäßwänden (BÖHM, 1984). Etliche Studien zur manuellen Messung von Wurzellänge, Wurzelichte und Wurzel Durchmesser wurden mithilfe dieser transparenten Wurzelkästen (engl.: Rhizotrons) durchgeführt (SHAVER and BILLINGS, 1975 in SCHAPRIAN, 2014).

Im Jahr 1969 wurde in Auburn (Alabama) ein begehrter Wurzelkasten entwickelt, der es ermöglicht, die Wurzeln von einjährigen Pflanzen genauer zu erforschen (TAYLOR, 1969). Mit der Entwicklung der Computertechnik wurden in den 1980er Jahren Kameras und Videotechnik zur Aufnahme des Wurzelwachstums in den transparenten Wurzelkästen hinzugezogen, sodass der Grundstein für erste Bildverarbeitungsprogramme zur computergestützten Auswertung gelegt war (BOX and JOHNSON, 1986 in SCHAPRIAN, 2014). Durch die rasante Entwicklung modernster Technik gab es auch eine Entwicklung neuer Verfahren und Methoden zur Untersuchung des Wurzelsystems. So wurden zunehmend nicht-destruktive, bildgebende Verfahren aus der Humanmedizin zur 3D- und 2D-Analyse eingesetzt. Heutzutage kommen in der Wurzelforschung modernste CT- (Computer-Tomographie), MRT- (Magnetresonanz-Tomographie) und Laserscantechnik zum Einsatz. Diverse Studien hierzu belegen die Genauigkeit dieser Verfahren (PERRET et al., 2007 in SCHAPRIAN, 2014). Allerdings limitieren die hohen Kosten den Einsatz dieser Geräte. Daher wurden spezifische Bildverarbeitungssoftwares entwickelt, die es dem Anwender erlauben, relativ kostengünstig aufgenommene Digitalbilder von Wurzeln im transparenten Medium zu analysieren (SCHAPRIAN, 2014). Denn die Auflösung der digitalen Bildgebung in Kombination mit der Objektivität der automatisierten Analyse ermöglicht eine wiederholbare Analyse breiter und produktiver Messreihen (POUND et al.,

2013 in JUDD et al., 2015). Mittlerweile gibt es sowohl im Handel als auch frei verfügbar zahlreiche Computerprogramme (JUDD et al., 2015). So kann beispielsweise mit der nicht kommerziellen Software GiA Roots 2D die Messung von 19 verschiedenen Wurzelparametern von 2D-Bildserien durchgeführt werden.

Zudem wurden einige destruktive Verfahren entwickelt, die jedoch den Nachteil haben, dass die jeweilige Pflanze nur einmal beprobt werden kann. So kann beispielsweise die Monolithmethode nach SCHUURMAN u. GOEDEWAAGEN ein vollständiges Bild der Struktur und Form des Wurzelsystems bereitstellen und zugleich die Gesamtmenge an Wurzeln bestimmen (SCHUURMAN and GOEDEWAAGEN, 1971). Mithilfe der Bohrkernmethode ist es daneben möglich, genaue Daten über die Wurzelmasse in jeder Bodenschicht aufzunehmen (BARNETT et al., 1983 in JUDD et al., 2015; BÖHM, 1979). Jedoch sind all diese Methoden mit immensen Kosten und einem hohem Personalaufwand verbunden. Im Gegensatz dazu stellen Experimente in Containern eine geeignete, günstige Alternative dar. Der Vorteil von Containerexperimenten ist, dass für die Untersuchungen das komplette Wurzelwerk der untersuchten Pflanze zur Verfügung steht (SCHUURMAN and GOEDEWAAGEN, 1971). Denn die Messung von Wurzelsystemen in Behältern verringert das Substratvolumen, wodurch eine vollständige Ausgrabung des Wurzelsystems im Vergleich zum Feld ermöglicht wird (JUDD et al., 2015). Im Gewächshaus wird zudem eine gute Kontrolle und Beeinflussung der meisten für das Pflanzenwachstum relevanten Parameter erreicht (PRALLE u. OLFS, 2013).

In diesem Zusammenhang haben SHASHIDHAR et al. (2012) das Wurzelwachstum von Reis im Freiland und HERNDL et al. (2010) die Wurzeltiefe verschiedener Pflanzenarten im Gewächshaus destruktiv mittels PVC-Röhren bestimmt. Dabei stellte sich die verwendete Methode zur Aufnahme der phänologischen Entwicklung und Wurzelparameter in sandbefüllten Röhren als sehr erfolgreich heraus. Der Versuchsaufbau ermöglichte es, Aussagen über die Reaktion von Wurzel und Spross auf Trockenstress vorzunehmen, da einheitliche definierte Bedingungen im Gewächshaus vorlagen, die im Feld oftmals nur schwer zu realisieren sind (HERNDL et al., 2010). Des Weiteren hat BÖHM (1972) die Brauchbarkeit von mit Boden gefüllten Röhren aus Polyethylenfolie anstatt der eingesetzten wand-

festen PVC-Röhren untersucht. Dies hat den Vorteil, dass deren Anschaffungspreis gegenüber PVC-Zylindern um ein Vielfaches geringer ist, obwohl sie nur einmal Anwendung finden können (BÖHM, 1972). Alternativ können auch durchsichtige Röhren aus Acryl verwendet werden. Diese bieten den Vorteil, dass die Durchwurzelung der Pflanzen auch während des Versuches beobachtet werden kann. Nachteilig erweist sich hierbei allerdings, dass letztere einen hohen Anschaffungspreis aufweisen und abgedunkelt werden müssen.

Modell zur Wurzeltiefenmessung von Rasengräsern

Bezugnehmend auf den Versuchshintergrund, ein Modell zu entwickeln, welches es erlaubt, die Durchwurzelungstiefe von Pflanzen möglichst praktikabel und reproduzierbar zu entwickeln, werden die Vorteile verschiedener vorangegangener Wurzelforschungen kombiniert. Die zentrale Aufgabe besteht dabei in der Wahl des richtigen Versuchsgefäßes, denn das Behälterdesign hat einen entscheidenden Einfluss auf das Wurzelwachstum. Aber auch die Behältertiefe ist zu beachten, da sie eng mit verschiedenen Bodenparametern zusammenhängt. Limitierend wirkt hier allerdings das Gewicht. Wenn die Gefäße zu groß gewählt werden, sind sie in Kombination mit dem eingebrachten Bodenmaterial zu schwer, weshalb sie dann nicht mehr handhabbar sind. Bei der Literaturobachtung hat sich gezeigt, dass sich als Versuchsgefäße vor allem kostengünstige Röhren aus PVC oder Ton anbieten.

Für das Versuchsmodell werden ausgehend von der durchschnittlichen Wurzeltiefe von Cool- und Warm-Season-Gräsern unter normaler Beanspruchung (GIBEAULT et al., 1989) 1.000 mm lange PVC-Zylinder mit einem Innendurchmesser von 110 mm für die Cool-Season-Gräser herangezogen (Tabelle 1). Um eine Wurzelbetrachtung während des Versuchszeitraumes zu ermöglichen, werden die PVC-Zylinder der Länge nach aufgeschnitten und mit Klebeband verschlossen bzw. abgedichtet. Hierdurch können sie jederzeit wieder vorsichtig aufgeklappt werden. Damit die Bodensäulen bei diesem Vorgang nicht zerstört werden, empfiehlt es sich, die zuvor beschriebenen Methoden von BÖHM (1972), HERNDL et al. (2010) und SHASHIDHAR et al. (2012) zu kombinieren, indem eine PE-Schlauchfolie mit in das System integriert wird, sodass die Bodensäule beim Öffnen der Röhren

nicht zerbricht. Um den Bodenbereich abzudecken, wird dieser mit passenden KG Muffenstopfen (DN 110) verschlossen. Hier bietet es sich an, von unten mit einem Bohrer Löcher (\varnothing 5 mm) in die „Bodenplatte“ zu bohren, um ein freies Dränen überschüssigen Gießwassers zu gewähren. Damit das Bodenmaterial durch diese Löcher nicht herausläuft, werden Fliegengitter in die Bodenplatte gelegt. Zusätzlich werden Filzgleiter unter die Bodendeckel geklebt, damit die Versuchsgefäße nicht direkt auf dem Boden stehen (Abbildung 1).

Da es schwierig ist, ungestörte Proben in der für dieses Experiment erforderlichen Größe zu entnehmen, wird auf gestörte Bodenproben zurückgegriffen. Zu beachten ist, dass durch Probenstörungen eine strukturelle Änderung des Materials hervorgerufen wird. Um Freilandbedingungen in den Zylindern dennoch möglichst exakt simulieren zu können, ist die Wahl des Bodensubstrates umso entscheidender (GEBRE and EARL, 2020). Auf der einen Seite erweisen sich Bodensubstrate mit hohen Anteilen an Humus, Ton und Schluff als besonders kritisch beim Auswaschen (PRALLE u. OLFS, 2013) und auf der anderen Seite drainieren Mischungen auf reiner Sandbasis das Gießwasser sehr schnell (GEBRE and EARL, 2020). Mit Blick auf das Forschungsziel wird ein gewaschener Sand mit einer maximalen Korngröße von 1 mm verwendet, um sich zugleich die bessere Verfügbarkeit zunutze zu machen. Überdies orientiert sich die Körnungslinie des Substrates an der DIN 18035 (Sportplätze – Teil 4: Rasenflächen). Die Abweichung im Grobsand/Feinkies-Bereich liegt zugunsten der Fein- und Mittelsandanteile vor (Abbildung 2).

Es bietet sich an, die Rasengräser zunächst in einem separaten Container vorzuziehen und anschließend umpflanzen. Um etwaige Sortenunterschiede zu minimieren, werden jeweils vier verschiedene Sorten derselben Art in eine PVC-Röhre gepflanzt. Die Nährstoffversorgung wird dem Nährstoffbedarf angepasst und über einen Flüssigdünger (Liquifert P56) dem Gießwasser beigemischt. Die erstmalige Erhebung des Wurzelparameters Durchwurzelungstiefe erfolgt nach einer Etablierungsphase von 28 Tagen, anschließend in einem 14-tägigen Rhythmus bildanalytisch durch Aufnahme von Fotos und Messen sichtbarer Wurzelanteile. Da ein wichtiges Merkmal zur Bewertung der Trockenheitstoleranz von Rasengräsern das Wurzel-/Sprossverhältnis ist, wird am Ende des Versuchszeitraums (84

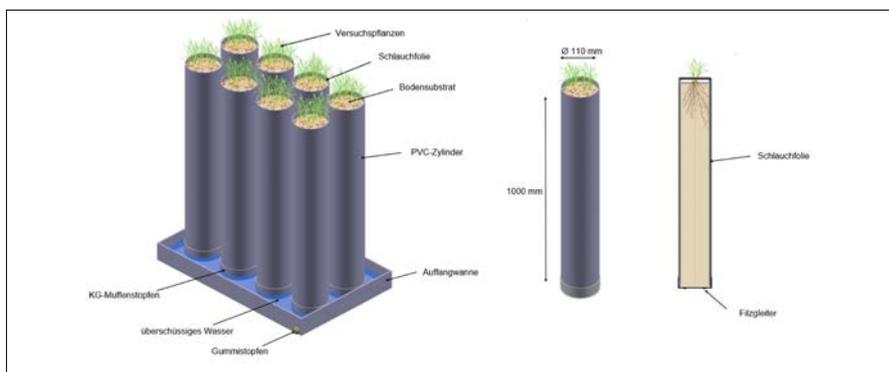


Abb. 1: Schematisches Modell des Versuchsaufbaus zur Ermittlung der Durchwurzelungstiefe von Rasengräsern mittels PVC-Röhren.

Tage) in jeder Röhre einer Variante die unterirdische sowie oberirdische Trockenmasse bestimmt.

Fazit und Ausblick

Verschiedene Studien belegen die Vorteile dieser relativ simplen Wurzelforschung mittels PVC-Röhren insbesondere im Vergleich genetischer Variation von Wurzel- und Sprossparametern. Unter anderem bestätigen SALEKDEH et al. (2009), dass PVC-Zylinder Töpfen vorzuziehen sind, wenn das tiefe Wurzelwachstum und die Fähigkeit der Wurzeln, auf Wasser im Bodenprofil zuzugreifen, analysiert werden soll. Des Weiteren können mithilfe dieser Röhren reproduzierbare Belastungsniveaus in bestimmten Entwicklungsstadien angewendet werden (ALI et al., 2016). Die Ergebnisse vorheriger Untersuchungen deuten darauf hin, dass PVC-Röhren, die unter Gewächshausbedingungen dieselbe Bodenzusammensetzung verwenden, als zuverlässiges Screeningsystem für die Wurzelphänotypisierung verwendet werden können (ALI et al., 2016). Dennoch reagieren Pflanzen in verschiedenen Wachstumsmedien unterschiedlich auf Wasserstress (GEBRE and EARL, 2020).

Den Erwartungen entsprechend wird der Status quo des Forschungsstands beschrieben. Für verallgemeinernde Aussagen ist die praktische Anwendung des ausgearbeiteten Modells zunächst unter Gewächshausbedingungen notwendig. Mithilfe der erstmaligen Durchführung soll zunächst die Praktikabilität für die Rasengräserzüchtung ausgewertet werden. Möglicherweise könnte sich das Aufklappen der Röhren als schwierig erweisen, wenn die Bodensäule nicht die gewünschte Festigkeit aufweist und somit beim Öffnungsvorgang zerstört wird. Hier bedarf es einer flexiblen Arbeitsweise, um auf mögliche Hürden reagieren zu können. Die Berücksichtigung der Umwelteinflüsse und Pflanzengenetik und deren Wechselwirkungen übersteigen den Rahmen dieser Forschungs- und Entwicklungsarbeit und sollten in weiterführenden Studien untersucht werden. Des Weiteren sollte beachtet werden, dass sich die Wachstumsbedingungen im Gewächshaus mehr oder weniger von denen im Freiland unterscheiden, sodass eine Übertragbarkeit der Ergebnisse nicht immer gegeben ist (PRALLE u. OLFS, 2013). Fest steht, dass sich das Behälterdesign auf das Wurzelwachstum auswirken kann, da es die morphologischen und

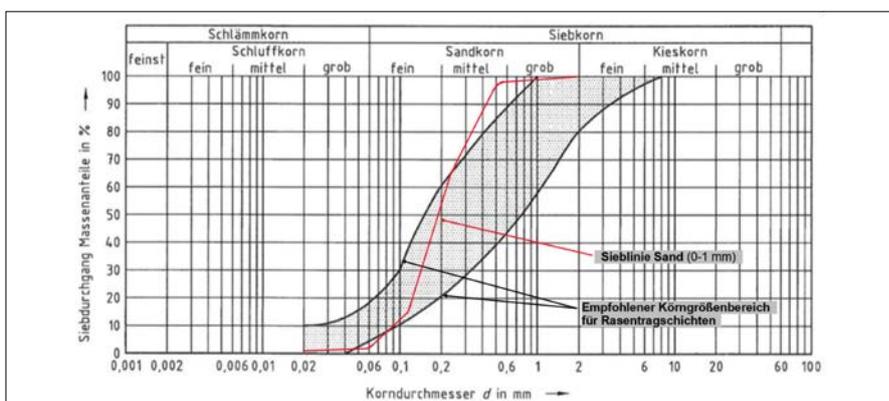


Abb. 2: Darstellung der Körnungskurve mit aufsummierten Massenanteilen der Kornfraktionen des Probenmaterials (Sand 0/1) im Körnungsdiagramm (rot). Der empfohlene Körnungsbereich für Rasentragschichten nach DIN 18035, Teil 4 Rasensportplätze ist schraffiert dargestellt.

physiologischen Funktionen der Keimlinge beeinflusst (KOSTOPOULOU et al., 2011). Beispielsweise weisen Pflanzen, die über einen langen Zeitraum in glatten Kunststoffbehältern wachsen, vermehrt deformierte oder unterentwickelte Wurzeln auf. Eine Ursache hierfür liegt darin begründet, dass die seitlichen Wurzeln nicht wie im Feld frei horizontal wachsen können, daher wachsen diese vertikal zum Boden und umkreisen den Rand des Behälters (AMOROSO et al., 2010).

Dessen ungeachtet ist es das oberste Ziel dieses Vorhabens, das grundlegende Potenzial verschiedener Rasen-gräserarten aufzuzeigen, Wurzeltiefenwachstum zu betreiben. Es wird erwartet, dass Arten, die als trockentolerant gelten, auch über ein tieferes Wurzelsystem verfügen und somit Wasser aus tieferen Bodenschichten aufnehmen können, wodurch eine bessere Rasenqualität gegeben ist.

Falls sich das entwickelte Modell als geeignet erweist, scheint eine Übertragung ins Freiland interessant, um dessen Anwendbarkeit unter Feldbedingungen zu prüfen.

Literatur

ALI, M., J. LUETCHENS, A. SINGH, T.M. SHAVER, G.R. KRUGER and A.J. LORENZ, 2016: Greenhouse screening of maize genotypes for deep root mass and related root traits and their association with grain yield under water-deficit conditions in the field. *Euphytica*, 07. S. 79 – 94. doi: <https://doi.org/10.1007/s10681-015-1533-x>.

AMOROSO, G., P. FRANGI, R. PIATTI, F. FERRINI, A. FINI and M. FAORO, 2010: Effect of container design on plant growth of Littleleaf Linden and field elm. *HortScience*, 45. S. 1824-1829.

BATES, G. H., 1937: A device for the observation of root growth in the soil. *Nature* (London), 139, S. 966-967. BÖHM, W., 1972: Wurzelforschung mit Polyäthylen-Röhren. *Plant and Soil*, 37. (Heft 3). S. 683-687.

BÖHM, W., 1979: *Methods of Studying Root Systems. Ecological Studies: Analysis and Synthesis*, 33. Berlin: Springer-Verlag. 188 S.

BÖHM, W., 1984: Die Entwicklung der Feldmethoden zum Studium der Pflanzenwurzeln seit der Mitte des 19. Jahrhunderts. *Sudhoffs Archiv*, 68. (Heft 2). Stuttgart: Franz Steiner Verlag Wiesbaden GmbH. S. 217-224.

EBELING, D., J. KÖHLER, L. BREITSAMETER and J. ISSELSTEIN, 2013: Regenerationsfähigkeit verschiedener Rasen-gräser nach Trockenstresseinwirkung. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau der Gesellschaft Pflanzenbauwissenschaften e.V. In: BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL) (Hrsg.) „Mehr Eiweiß vom Grünland und Feldfutterbau – Potenziale, Chancen und Risiken“. (Heft 6). S. 205-208.

GEBRE, M.G. and H.J. EARL, 2020: Effects of Growth Medium and Water Stress on Soybean [Glycine max (L.) Merr.] Growth, Soil Water Extraction and Rooting Profiles by Depth in 1-m Rooting Columns. *Front. Plant Science*, 11. (Artikel 487). doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00487>.

GIBEAULT, A., S. COCKER-HAM, J.M. HENRY and J. MEYER, 1989: California Turfgrass: It's Use, Water Requirement and Irrigation. *California Turfgrass Culture*, 39. (Heft 3-4). 14 S.

HAMDY, A., 2002: Sustainable use and management of non-conventional water resources in arid regions. *Acta Horticulturae*, 573. S. 119-128.

HATFIELD, J., 2017: Turfgrass and Climate Change. *International Turfgrass Research Conference. Agronomy Journal*, 109. (Heft 4). S. 1708-1718. doi: <https://doi.org/10.2134/agnonj2016.10.0626>.

HERNDL, M., A. BOHNER, B. KRAUTZER, W. GRAISS und M. KANDOLF, 2010: Arten und Sortenscreening von Gräsern, Kräutern und Leguminosen als Grundlage für Grünlandbewirtschaftung auf trockenen Standorten. Abschlussbericht ArtenSortenScreening. Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft. Raumberg-Gumpenstein. 39 S.

HUANG, B., 2004: Recent Advances in Drought and Heat Stress Physiology of Turfgrass – A Review. *Acta Horticulturae*, 661. S. 185-192. doi: [10.17660/ActaHortic.2004.661.23](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.661.23).

HUANG, B., 2008: Turfgrass Water Requirements and Factors Affecting Water Usage. In: BEARD, J.B. and M.P. KENNA (Hrsg.) „Water Quality and Quantity Issues for Turfgrasses in Urban Landscapes“. Las Vegas, Nevada (USA): Council for Agricultural Science and Technology (CAST). Special Publication, 27. 298 S.

JUDD, L.A., B.E. JACKSON and W.C. FONTE-NO, 2015: Advancements in Root Growth Measurement Technologies and Observation Capabilities for Container-Grown Plants. *Plants*, 4. S. 369-392. doi: [10.3390/plants4030369](https://doi.org/10.3390/plants4030369).

KOSTOPOULOU, P., K. RADOGLU, O.D. PANASTASI and C. ADAMIDOU, 2011: Effect of mini-plug container depth on root and shoot growth of four forest tree species during early developmental stages. *Turk. J. Agric. For.*, 35. S. 379-390, letzter Zugriff am 06.01.2021).

LYNCH, J., 1995: Root Architecture and Plant Productivity. *Plant Physiology*, 109. S. 7-13.

MARTINIELLO, P. and E. D'ANDREA, 2006: Cool-season turfgrass species adaptability in Mediterranean environments and quality traits of varieties. *European Journal of Agronomy*, 3. (Heft 25). S. 234-242.

METZING, D., 2006: Natur im Einfluss des Klimawandels – Wie verändern sich Flora und Fauna?. *Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz*, 8. S. 31-49.

NDOUR, A., V. VADEZ, C. PRADAL and M. LUCAS, 2017: Virtual Plants Need Water Too: Functional-Structural Root System Models in the Context of Drought Tolerance Breeding. *Front. Plant Science*, 8. (Artikel 1577). doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01577>.

NONN, H., 2020: Zunehmende Hitze und Trockenheit – bringen neue Gräserarten eine Lösung? *Veitshöchheimer Berichte*, 188. 6 S.

PRALLE, H und H.W. OLFS, 2013: Durchführung von Gefäßversuchen zur Untersuchung des Wurzelwachstums. Vortrag im Rahmen der 44. DLG Technikertagung des DLG Ausschusses „Versuchswesen in der Pflanzenproduktion“. (verfügbar unter: https://www4.fh-swf.de/media/downloads/fbw_1/dlg_technikertagung/2013_tt_vortrage/27_TT13_Pralle_Gefaessversuche-Wurzelwachstum_TB.pdf – letzter Zugriff am 09.02.2021).

SALEKDEH, G., M. RENOLDS, J. BENNETT and J. BOYER, 2009: Conceptual framework for drought phenotyping during molecular breeding. *Trends Plant Science*, 14. S. 488-496.

SCHAPRIAN, T., 2014: Analyse der Wurzelarchitektur von Gerste (Hordeum vulgare) unter verschiedenen Umweltbedingungen. Dissertation. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

SCHÄR, C., P.L. VIDALE, D. LÜTHI, C. FREI, C. HÄBERLI, M.A. LINIGER and C. APPENZELLER, 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427. S. 332-336.

SCHUURMAN, J.J. and M.A. GOEDEWAAGEN, 1971: *Methods for the examination of root systems and roots*. Centre for Agricultural Publishing and Documentation. Wageningen, 2. 86 S.

SHASHIDHAR, H.E., A. HENRY and B. HARDY, 2012: Methodologies for root drought studies in rice. *International Rice Research Institute (IRRI)*. Los Baños: IRRI Books. 65 S.

TAYLOR, H.M., 1969: *The Rhizotron at Auburn, Alabama – A plant root observation laboratory*. Agricultural Experiment Station. University Auburn. Alabama. (verfügbar unter: <https://aurora.auburn.edu/bitstream/handle/11200/1968/1169CIRC.pdf;sequence=1>, letzter Zugriff am 06.01.2021).

UPCHURCH, D.R., B.L. MCMICHAEL and H.M. TAYLOR, 1988: Use of Minirhizotrons to Characterize Root System Orientation. *Soil Science Society of America Journal*, 52. (Heft 2). S. 319-323.

WASSON, A.P., R.A. RICHARDS, R. CHATRATH, S.C. MISRA, S.V. PRASAD and G.J. REBETZKE, 2012: Traits and selection strategies to improve root systems and water uptake in water-limited wheat crops. *Journal of Experimental Botany*, 63. (Heft 9). S. 3485-3498. doi: [10.1093/jxb/ers111](https://doi.org/10.1093/jxb/ers111).

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1992: *International Meteorological Vocabulary*. In: SECRETARIAT OF THE WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (Hrsg.). Geneva, 2. 784 S.

Autoren:

B. Sc. Lukas Borrink
Hochschule Osnabrück
,Nachhaltiges Rasenmanagement'
lukas.borrink@hs-osnabrueck.de

Dr. Harald Nonn
Eurogreen GmbH
57520 Rosenheim/Ww
harald.nonn@eurogreen.de

Prof. Dr. Wolfgang Prämaßing
Hochschule Osnabrück
,Nachhaltiges Rasenmanagement'
w.praemassing@hs-osnabrueck.de