

# Bestimmung von Wurzellänge und Wurzelmasse an fünf Gräserarten im Hinblick auf den Klimawandel\*

Borrink, L., H. Nonn u. W. Prämaßing

## Zusammenfassung

Bedingt durch die klimatischen Veränderungen zielt der Fokus der Rasen-gräserzüchter auf die Pflanzenwurzel. Insbesondere die Durchwurzelungstiefe bestimmt über die Wasserverfügbarkeit für die Pflanzen, jedoch liegen hierüber nur unzureichende Informationen vor. Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Forschungsarbeit ein Modell geprüft, welches ermöglichen soll, die Wurzeltiefe und Wurzelmasse von den fünf verschiedenen „Cool-Season“ Gräserarten *Lolium perenne* L., *Poa pratensis* L., *Festuca rubra* L. var. *trichophylla* (Ducr. ex Gaud.) Richt., *Festuca arundinacea* Schreb., *Festuca trachyphylla* (Hack.) Krajina zu erfassen.

Über einen Versuchszeitraum von 93 Tagen wurden im Freiland in achtfacher Wiederholung vier Gräserpflanzen derselben Art, aber unterschiedliche Sorten, in ein Meter lange mit Sand befüllte, längs aufgeschnittene PVC-Röhren gepflanzt. Nach Versuchsende wurde das Bodenmaterial durch Auswaschen von der unterirdischen Pflanzenbiomasse getrennt und die oberirdische und unterirdische Pflanzenmasse durch Trocknung und Wiegung bestimmt sowie die maximale Wurzellänge aufgenommen. In dem Versuch konnten teilweise hoch signifikante, erblich bedingte Unterschiede der Versuchsparameter zwischen den Arten aufgezeigt werden. Grundsätzlich bestätigen die Resultate, dass sich die Arten *Lolium perenne* und *Festuca arundinacea* im Untersuchungsmerkmal Wurzellänge bedeutsam von den Arten *Poa pratensis* und *Festuca trachyphylla* abgrenzen. Daneben können signifikante Unterschiede hinsichtlich des Untersuchungsmerkmals Wurzeltrockenmasse beobachtet werden. Ferner zeigt ein Vergleich der Sprosstrockenmassen, dass zwischen den Arten teilweise deutliche Differenzen festzuhalten sind. Ein Sortenvergleich der Sprosstrockenmassen innerhalb einer Art, lässt dagegen lediglich bei der Art *Festuca rubra trichophylla* Sortenunterschiede erkennen. Zu bemer-

ken bleibt, dass die angewandte Methode in dieser Form aufgrund großer Schwankungen der Untersuchungsparameter als ungeeignet bewertet wird, um wissenschaftlich fundierte Aussagen über die Durchwurzelungstiefe und Wurzelmasse zu treffen. Dennoch bietet das zugrundeliegende Röhrenmodell grundsätzlich für weiterführende Studien die Chance, das Potenzial der unterschiedlichen Rasen-gräser im Umgang mit Trockenstress bewerten zu können.

## Summary

Due to climate changes the lawn grass growers aim now their focus on the roots of the grasses, more particularly because the rooting depth of the grass determines over their availability to retain water. There are, however, only insufficient information on this subject. Therefore, in the actual research work a model was tested, which will enable to study the root depth as well as the root mass of five different types of grass „Cool-Season“, *Lolium perenne* L., *Poa pratensis* L., *Festuca rubra* L. var. *trichophylla* (Ducr. Ex Gaud.) Richt., *Festuca arundinacea* Schreb., *Festuca trachyphylla* (Hack.) Krajina.

During a trial period of 93 days these outdoor experiments were repeated eight times. Four grass plants of the same type but of different varieties were planted on an open ground in a pvc pipe one meter long, fulfilled with sand and cut lengthwise. At the end of the experiment the soil material was washed and separated from the subterranean plant biomass. Furthermore, the aboveground grass mass as well as the underground one were dried and weighed. At the same time the longest root was measured. In this experiment it was partly possible to reveal by means of parameters very significant and hereditary characteristics of the different species. The results of the tests confirm in principle that the species *Lolium perenne* and *Festuca arundinacea* differ greatly from the species *Poa pratensis* and *Festuca trachyphylla*

as for the length of their roots. Furthermore, significant differences could be observed during the analysis of their dry root mass. In addition, there is a clear difference in between the species when their dry seedling masses are compared. A comparison between varieties of dry seedling masses within a species reveals differences only by the type *Festuca rubra trichophylla*. At the end it must be noted that the applied experiment methods in this form are absolutely unsuitable to allow a scientifically based statement on rooting depth and root mass because of the great fluctuations of their parameters. Nonetheless, the underlying pvc pipe model offers in principle the possibility to further studies and also to evaluate the potential of the different grasses against drought stress.

## Résumé

Dû aux changements climatiques les cultivateurs de graminées pour gazon se concentrent actuellement sur les racines des graminées. C'est surtout la profondeur de l'enracinement qui détermine la disponibilité en eau des graminées mais il n'existe que très peu d'information sur cet aspect du problème. C'est pourquoi on a fait pour ce mémoire des recherches sur un modèle réduit, ce qui permet de comparer la profondeur des racines et la masse racinaire de cinq différentes variétés de graminées „Cool-Season“, soit *Lolium perenne* L., *Poa pratensis* L., *Festuca rubra* L. var. *trichophylla* (Ducr. Ex Gaud.) Richt., *Festuca arundinacea* Schreb., *Festuca trachyphylla* (Hack.) Krajina.

On a fait les tests à l'extérieur sur un terrain découvert durant une période de 93 jours. Ces tests faits avec quatre différentes graminées de la même espèce ont été renouvelés huit fois. Ces graminées ont été plantées dans un tuyau en PVC d'un mètre environ coupé en longueur et rempli de sable. A la fin de l'expérience un lavage a permis de séparer la terre de la masse végétale bio souterraine. On a ensuite séché et pesé la masse végétale hors sol ainsi

que la masse souterraine végétale. On a également mesuré la longueur des racines. Dans ce test on a pu en outre démontrer que les paramètres révèlent de grandes différences héréditaires selon les espèces analysées. Les résultats confirment en principe que la longueur des racines des variétés *Lolium perenne* et *Festuca arundinacea* diffèrent grandement des espèces *Poa pratensis* et *Festuca trachyphylla*. Il y a par ailleurs de nettes différences en ce qui regarde les résultats des analyses de la masse racinaire sèche. On remarque également des différences très nettes en ce qui concerne leur poids racinaire sec. En outre la comparaison des masses racinaires sèches d'une seule espèce révèle seulement qu'il peut exister de grandes différences au sein d'une espèce. On ne peut par ailleurs reconnaître ces différences d'espèce que dans la variété *Festuca rubra trichophylla*. Il est également intéressant de noter que la méthode utilisée pour ces tests peut être considérée comme inadaptée dans sa forme actuelle à cause des fluctuations extrêmes des paramètres. C'est pourquoi il est impossible d'émettre des conclusions solidement fondées sur la profondeur des racines ou la masse racinaire. Le tuyau en PVC utilisé comme modèle offre une chance de faire des analyses approfondies afin de mieux pouvoir évaluer la résistance à la sécheresse des différentes graminées pour gazon.

## Einführung

Der Klimawandel beeinflusst durch seine langen Hitze- und Trockenperioden die Vitalität der Rasengräser (NONN, 2020), sodass die veränderten Klimabedingungen neue Anforderungen an die Rasengräserzüchter stellen. Um auch während Phasen ungewöhnlich trockenen Wetters die Rasenflächen nutzen zu können, gilt es, das entstandene Wasserdefizit auszugleichen. So müssen Strapazierrasenflächen in Trockenperioden zusätzlich beregnet werden, um die vielfältigen Leistungsfunktionen aufrechtzuerhalten (LEINAUER u. SCHULZ, 1998). Dies ist oftmals mit einem hohen Wasserverbrauch verbunden, jedoch ist die Ressource Wasser limitiert (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1992). In der Folge resultieren Wassernutzungsbeschränkungen, die sich auf die Rasenbewirtschaftung von heute und morgen auswirken (LEINAUER, 2020). Aus diesem Grund gilt es, neue wassereffizientere Anbausysteme zu

entwickeln, die diesem horrenden Wasserverbrauch entgegenwirken. Dabei ist für eine ganzheitliche, ökosystemare Betrachtung die unterirdische biometrische Betrachtung unablässig. Denn die Pflanzenwurzel spielt bei der Reaktion auf Trockenheit die wichtigste Rolle (HERNDL et al., 2011). Bereits der Agrarwissenschaftler OPITZ (1904) erkannte dies und forderte die Züchtung auf, auf eine stärkere und tiefstrebende Bewurzelung zu achten (OPITZ, 1904 in HENTRICH, 1966). Ferner wurde erkannt, dass die Wurzelarchitektur positiv mit der Pflanzenproduktivität korreliert, sodass auch heutzutage noch ein zunehmendes Interesse seitens der Pflanzenzüchter besteht, unterirdische Biomassestrukturen quantitativ und qualitativ erfassen zu können (LYNCH, 1995; NDOUR et al., 2017). Allerdings fehlen in der Pflanzenzüchtung Serienverfahren, die es ermöglichen, Wurzelmerkmale auszulesen, um somit das Wurzelsystem als Selektionsmerkmal zu berücksichtigen (HENTRICH, 1966), sodass es bislang nur schwer möglich ist, Pflanzen hinsichtlich ihres Wurzelwachstums bewerten und selektieren zu können (FEUERSTEIN, 2016). So geschieht „die Beurteilung eines Rasens [...] meistens visuell und gefühlsmäßig. Häufig und vielleicht auch zu Recht wird behauptet, daß die Qualität eines Rasens möglicherweise mehr durch die unterirdischen als die oberirdischen Teile bestimmt wird“ (VAN DER HORST u. KAPPEN, 1970). Doch etliche der entwickelten Methoden zur Erfassung des Wurzelsystems zeigen sich als kostspielig und zeitintensiv, weshalb sich historische Züchtungsprogramme auch hauptsächlich auf sichtbare und leicht quantifizierbare Merkmale konzentriert haben (NDOUR et al., 2017). Vor dem Hintergrund des Klimawandels, der das Auftreten von Trockenperioden begünstigt, ist es umso entscheidender, Rasengräser zu identifizieren, die über ein ausreichend tiefes Wurzelsystem verfügen. Denn insbesondere die Durchwurzelungstiefe bestimmt über die Wasserverfügbarkeit für die Pflanzen (BODNER et al., 2015). Allerdings liegen hierüber nur wenige Informationen vor, obwohl „das Wurzelsystem einer Pflanze [...] die Basis ihrer Leistungsfähigkeit“ bildet (FEUERSTEIN, 2016). Zudem gilt, dass gerade Wurzelgewichtsbestimmungen für die Beschreibung von Sorten wertvolle Anhaltspunkte liefern (OPITZ VON BOBERFELD, 1972). Im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsprojektes an der Hochschule Osnabrück (2021) wurde deshalb

ein Modell entwickelt, das es ermöglichen soll, die unterirdische Biomasse von Rasengräsern möglichst praktikabel zu quantifizieren und zu ermitteln, um damit neue Perspektiven für die Züchtung zu eröffnen (BORRINK et al., 2021; FEUERSTEIN, 2016). Ziel dieser Forschungsarbeit war es, basierend auf vorherigen Untersuchungen, die Durchwurzelungstiefe und die Wurzelmassen verschiedener Cool-Season Rasengräserarten zu ermitteln und das konzipierte Modell praktisch zu prüfen und idealerweise zu standardisieren (BORRINK et al., 2021).

Konkret galt es in diesem Zusammenhang folgende Fragen zu klären:

- Inwieweit eignet sich das Modell, um die Untersuchungsmerkmale Durchwurzelungstiefe, Wurzelrockenmasse und Sprossrockenmasse für die genannten Arten zu ermitteln?
- Inwiefern ist es möglich, die Wurzelentwicklung im zeitlichen Verlauf bildanalytisch zu erfassen?
- Inwiefern ist das Modell praktikabel, um in der Pflanzenzüchtung für die Erfassung von Wurzelmerkmalen als Serienverfahren Einsatz zu finden?
- Inwieweit ist eine Reproduzierbarkeit der Versuchsergebnisse unter Berücksichtigung der Umwelteinflüsse auf die Pflanze möglich?

## Material und Methoden

Der Versuch wurde im Zeitraum Juni bis Oktober 2021 in Hagen a. T. W. durchgeführt, um eine kontinuierliche Beobachtung sicherzustellen. Als Versuchsgefäße dienten ein Meter lange PVC-Zylinder mit einem Innendurchmesser von 110 mm (SHASHIDHAR et al., 2012). Der Versuchsaufbau ist in den Abbildungen 1 und 2 dargestellt.

Die Versuchsanordnung entspricht einer vollständig randomisierten Versuchsanlage mit achtfacher Wiederholung (Abbildung 2). Um mögliche Sortenunterschiede zu minimieren, wurden vier Graspflanzen derselben Art mit jeweils vier unterschiedlichen Sorten gepflanzt (Abbildung 1). Detailliertere Informationen zum Versuchsaufbau bietet das Manuskript „Untersuchung der Durchwurzelungstiefe von Rasengräsern“ (BORRINK et al., 2021).

Bei der Auswahl der Versuchspflanzen wurde auf fünf, in diesen Klimaten be-

deutenden Gräserarten zurückgegriffen: *Lolium perenne* L., *Poa pratensis* L., *Festuca rubra* L. var. *trichophylla* (Ducr. ex Gaud.) Richt., *Festuca arundinacea* Schreb., *Festuca trachyphylla* (Hack.) Krajina. *Festuca rubra* L. var. *trichophylla* wurde in das Versuchsdesign aufgenommen, da diese im Vergleich zu anderen *Festuca rubra*-Unterarten eine höhere Trockentoleranz aufweist

(NONN, 2021B). Der Versuch war auf eine Versuchsdauer von 93 Tagen (13 Wochen) angelegt.

Die Rasengräser wurden zunächst in einem separaten Container vorgezogen und versuchsbedingt umgepflanzt, sobald ausreichend Pflanzen jeder Sorte gekeimt waren sowie eine Wurzellänge von zwei Zentimetern erreicht war. Die

Nährstoffversorgung wurde dem Nährstoffbedarf (Niveau ca. 6 g N/m<sup>2</sup>, analog dazu die anderen Nährstoffe im

Verhältnis 1 : 0,2 : 0,5 : 0,1) angepasst und über einen Flüssigdünger (LiquiFert P56 10 + 2 + 8 + Fe, Mn) im zweiwöchigen Rhythmus dem Gießwasser beigegeben. Dieser wurde mit Hilfe einer Spritze dosiert hinzugefügt. Die erstmalige Düngung erfolgte mit der Einpflanzung der Versuchspflanzen in die Röhren.

Die anfängliche Gießwassermenge orientierte sich an den Angaben von HERNDL et al. (2011), die während der Etablierungsphase ihres Versuchs konstant 100 ml Gießwasser pro Röhre und Tag zugeben haben. Dabei wurde die Bodensäule unter Zunahme einer 100 ml Spritze täglich auf Feldkapazität aufgefüllt und überschüssiges Gießwasser konnte durch die Bodenplatte frei drainieren. Nach der Etablierungsphase von 14 Tagen war eine vollständige Wassersättigung allerdings auszuschließen, da dies laut MÜLLER-BECK (1979) den Gasaustausch beeinträchtigt. Aus diesem Grund wurden die Versuchspflanzen in den Röhren in einem siebentägigen Rhythmus mit einer Wassermenge von 80 % der ermittelten Feldkapazität bewässert (ca. 260 ml). Zusätzlich dazu wurden die Versuchsröhren im Vorfeld der Fotodokumentation mit 100 ml Gießwasser gegossen, damit die Röhren beim Öffnen nicht zerbrechen. Um einen Wassereintrag durch Niederschläge zu vermeiden, wurden die Säulen bei Regen mit einer Folie abgedeckt.

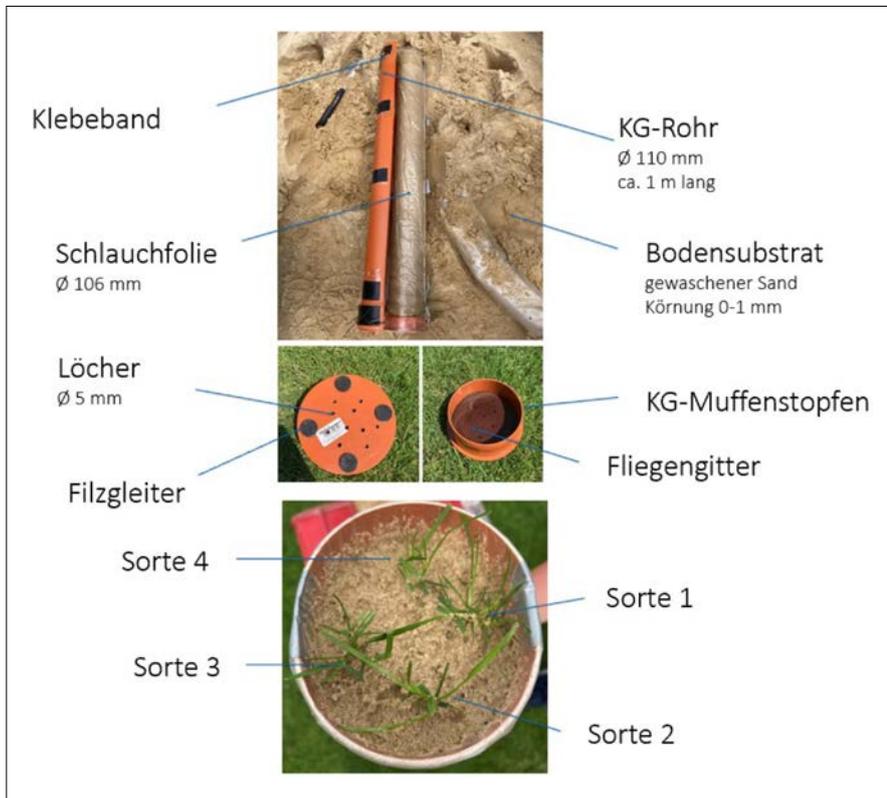


Abb. 1: Aufbau der Versuchsröhren mit Schlauchfolie, gelochtem Muffenstopfen und Fliegengitter sowie vier eingesetzte Einzelsorten. (Alle Abbildungen/Grafiken: L. Borriink)

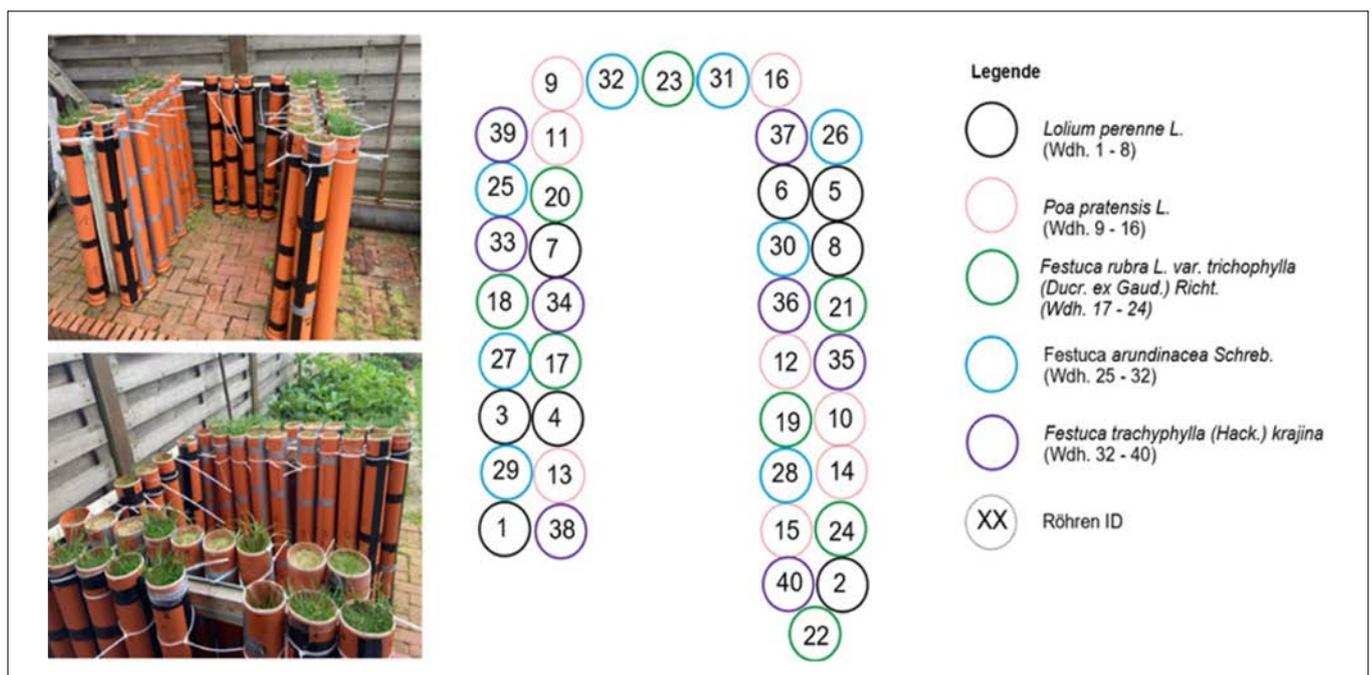


Abb. 2: Anordnung der Versuchsgefäße mit Wechselpositionen.

Da auch die Schnitthöhe einen entscheidenden Einfluss auf die Ausbildung des Wurzelsystems hat, wurden die oberirdischen Pflanzenteile auf Rasengrashöhe (ca. 35 mm) gehalten, um zugleich eine einheitliche Transpiration zu erreichen (VAN DER HORST u. KAPPEN, 1970).

Die erstmalige Erhebung des Parameters Durchwurzelungstiefe erfolgte nach einer Etablierungsphase von ca. 28 Tagen, anschließend in einem 14-tägigen Rhythmus bildanalytisch. Hierfür wurden die Röhren vorsichtig aufgeklappt und die Wurzeltiefe anhand sichtbarer Wurzeln an der Außenwand der Säule unter Zunahme eines Meterstabs in Zentimetern gemessen. Dazu wurde die Bodenoberfläche als Nulllinie angenommen. Dies wurde anschließend durch die Aufnahme von Fotos dokumentiert. Die maximale Wurzeltiefe an einem Fototermin stellt die tiefste für den Anwender sichtbare Wurzel in der geöffneten Bodensäule dar. Anders als zunächst theoretisch geplant, wurde nicht jede Röhre aufgeklappt, sondern lediglich eine Röhre pro Art. Dies waren zu jedem Termin dieselben Röhren, deren erstmalige Auswahl zufällig erfolgte. Denn durch das Aufklappen kam es trotz vorheriger Wässerung zu einer Rissbildung in der Bodensäule. Von einer Auszählung der sichtbaren Wurzeln wurde abgesehen, da sich dies laut PRALLE u. OLFS (2013) als zeitaufwendig und zugleich wenig aussagekräftig gestaltet.

Zusätzlich dazu wurden die Wurzelwerke nach 93 Tagen ausgewaschen und die Gesamtwurzellänge sowie die die Wurzel- und Sprosstrockenmasse pro Versuchsgefäß aufgenommen. Eine Sortendifferenzierung war hier lediglich bei den oberirdischen Pflanzenteilen möglich.

Zu beachten gilt, dass bei der statistischen Auswertung die regelmäßig geöffneten Röhren nicht berücksichtigt wurden, da das Öffnen einen Einfluss auf das Wurzelwachstum gehabt zu haben scheint.

## Ergebnisse

Das unterschiedliche Wurzelwachstum der regelmäßig geöffneten Versuchsgefäße ist in Abbildung 3 dargestellt. Die sichtbaren Wurzeln der *Festuca arundinacea*-Pflanzen hatten zum ersten Fototermin bereits eine Tiefe von 55 cm erreicht. Bei den anderen vier Arten hat sich die Spanne zu diesen Terminen zwischen 12,5 und 24 cm erstreckt.

Ferner war zu erkennen, dass die Arten *Lolium perenne* und *Festuca rubra trichophylla* nach dem vierten Aufklappen der Röhren weiter Wurzeltiefenwachstum betrieben haben.

In der folgenden Abbildung 4 sind die aus den Versuchsröhren ausgewaschenen Wurzelwerke der fünf verschiedenen Gräserarten zu erkennen. Die Röhren, die während des Versuchszeitraums im zweiwöchigen Rhythmus aufgeklappt wurden, sind mit einem Stern markiert. Deutlich zu erkennen ist, dass die Wurzeltiefe innerhalb einer Art sehr stark schwankt.

Zur übersichtlichen Darstellung werden die erfassten Daten mit sogenannten Boxplots visualisiert. Die grafische Darstellung beinhaltet den Median, den Mittelwert, die 25 und 75 % Quartile sowie die Extremwerte der Verteilung der Stichprobe.

Bezüglich der Wurzelrockenmasse tritt bei der Art *Lolium perenne* die größte

Streuung der Ergebnisse auf (Abbildung 5). Dagegen weisen die Boxen der Arten *Poa pratensis*, *Festuca rubra trichophylla* und *Festuca arundinacea* eine vergleichbare Größe auf. Außerdem ist zu erkennen, dass sich der Median von *Poa pratensis* und *Festuca rubra trichophylla* angleicht.

Des Weiteren liegt bei der Art *Festuca rubra trichophylla* mit 3,698 g ein Ausreißer-Ergebnis vor. Hervorzuheben ist die nahezu minimale Streuung der Ergebnisse der Wurzelrockenmasse von *Festuca trachyphylla* (0,113 g – 0,363 g). Es zeigt sich, dass sich die Daten von *Lolium perenne* signifikant von den anderen vier Arten unterscheiden. Zudem bestehen signifikante Unterschiede der Wurzelrockenmasse zwischen *Festuca arundinacea* und *Festuca trachyphylla*.

Die erreichten Wurzeltiefen der untersuchten Arten sind in Abbildung 6 dargestellt. Im Mittel erreicht die Art *Lolium perenne* eine Wurzeltiefe von 104,50 cm.

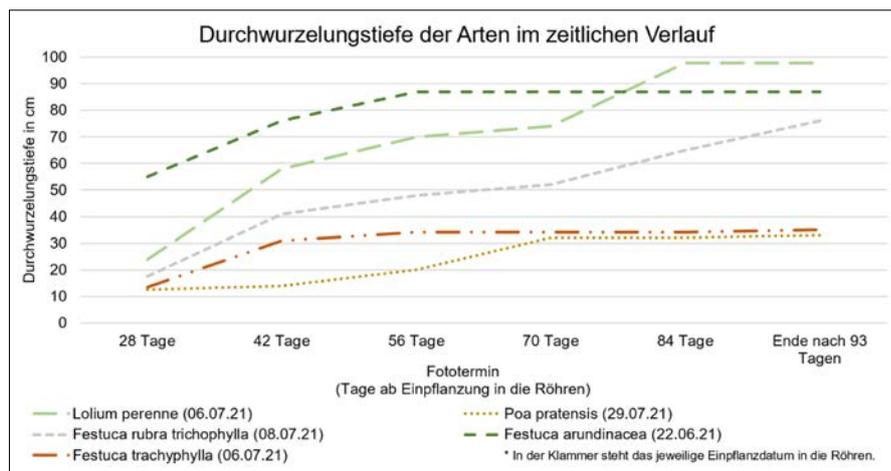


Abb. 3: Vergleich der Wurzelentwicklung der verschiedenen Arten in den regelmäßig geöffneten Versuchsröhren.

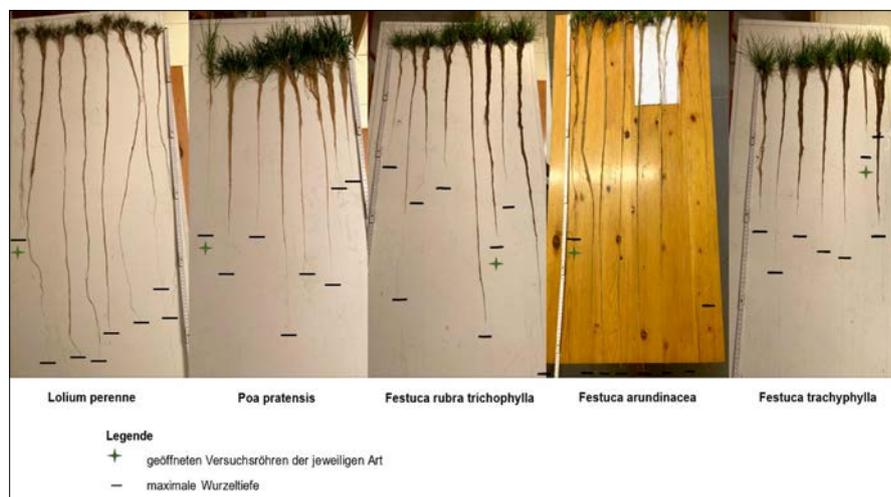


Abb. 4: Gesamtübersicht der ausgewaschenen Wurzeln der Grasarten.

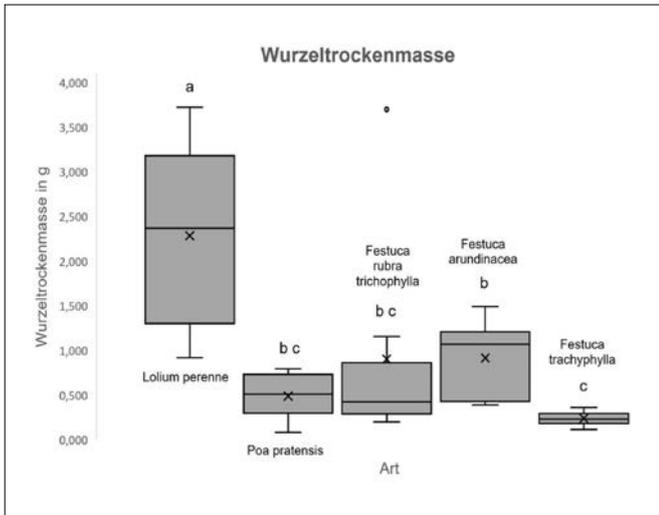


Abb. 5: Wurzeltrockenmasse der verschiedenen Arten (einfaktorielle Varianzanalyse; n = 7; p < 0,05; unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede)

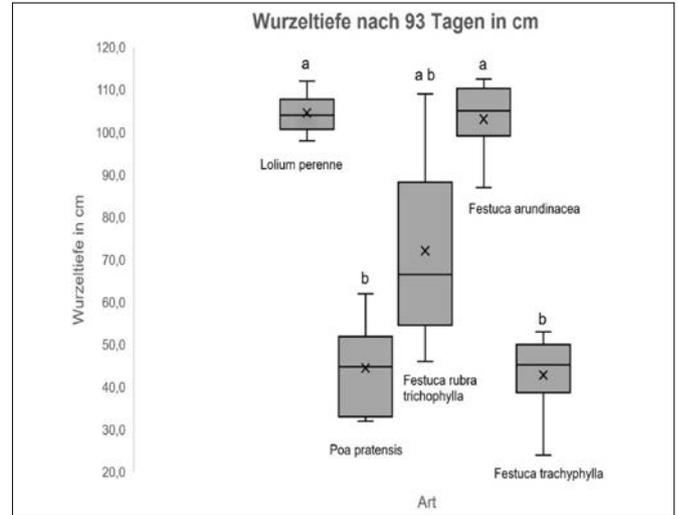


Abb. 6: Boxplots Wurzeltiefe nach 93 Tagen in cm (Kruskal-Wallis-Test; p < 0,05; n = 7; unterschiedliche Buchstaben = signifikante Unterschiede).

Eine ähnliche mittlere Wurzeltiefe aller Versuchspflanzen hat *Festuca arundinacea* mit 103,06 cm. Die größte Streuung der Ergebnisse erzielt *Festuca rubra trichophylla*. Hier wurden Wurzeltiefen von 46,00 – 109,00 cm aufgenommen. Im Mittel liegt die Wurzeltiefe damit bei 72,13 cm. *Poa pratensis* hat in den acht Röhren eine Wurzeltiefe zwischen 32,00 und 62,00 cm erreicht. Ähnliche Wurzeltiefen ergeben sich für die Art *Festuca trachyphylla* (24,00 – 53,00 cm). Die statistische Auswertung mit dem Kruskal-Wallis-Test zeigt teilweise signifikante Unterschiede zwischen den Arten.

Die ermittelten Daten werden anschaulich in Abbildung 7 zusammengefasst. Es gilt zu beachten, dass neben den Artenunterschieden auch Röhren- und Sortenunterschiede aufgetreten sind.

### Diskussion

Ziel dieses Forschungsvorhabens war die Untersuchung artspezifischer Wurzelreaktionen ausgewählter Rasengräser in ein Meter langen PVC-Röhren. Hierfür wurden die Wurzeltrockenmasse, die Wurzeltiefe und die Sprossstrockenmasse nach einem Versuchszeitraum von 93 Tagen ermittelt. Mit Blick auf die Untersuchungsmerkmale zeigen sich bei nahezu allen fünf Arten auffällige Streuungen. Verantwortlich hierfür sind eine Vielzahl von äußeren Einflüssen, die auf die Pflanzen einwirken. Aus diesem Grund sind verschiedene Ursachen für die heterogene Struktur der Untersuchungsparameter zu diskutieren, wobei es nur schwer möglich ist, Schwankungen eindeutig auf eine Ursache zurückzuführen. Zum einen

kann die Schnitthöhe einen nicht zu unterschätzenden Faktor auf das Wurzelwachstum darstellen (BOCKSCH, 2018). Zum anderen können Schwankungen der Merkmale Wurzeltiefe und Wurzelmasse durch Abweichungen bei der Versuchsanstellung hervorgerufen werden. Bereits kleine Falten in der PE-Schlauchfolie führten zu Gängen an den Seiten der Bodensäule, die von den Wurzeln leicht erschlossen wurden. Derartige Falten waren insbesondere im unteren Säulenbereich vorzufinden. Daneben können aber auch die klimatischen Bedingungen Einfluss auf die Durchwurzelungstiefe in den einzelnen Versuchsröhren haben (KOSKI, 1983). Insgesamt wird deutlich, dass die arttypischen Unterschiede des Wurzeltiefgangs und der Wurzelmassenbildung der verschiedenen Arten im Wesentlichen durch dieses Modell bestätigt werden konnten. Dennoch gilt, dass es zu hohen Schwankungen der Wurzeltiefe und Wurzelmasse bei allen Arten zwischen den verschiedenen Versuchsröhren gekommen ist. Besonders die stark wachsenden Pflanzenarten, die häufig geschnitten werden müssen, scheinen daher ungeeignet für das Versuchsmodell, da dies aufgrund von minimalen Abweichungen in der Schnitthöhe schnell zu Wurzelreaktionen führt. Aber auch das Aufklappen der Röhren hatte bei einzelnen Gräserarten Einfluss auf das Wachstum. Die Vielzahl an Umweltmodifikationen, die auf die Versuchspflanzen einwirken, können durch das ausgearbeitete Modell nicht reduziert werden. Aus diesem Grund scheint eine ganzheitliche Betrachtung notwendig, um den Stellenwert der unterschiedlichen Einflussfaktoren auf das Wurzelsystem zu quantifizieren. So ist laut KAUTER (1933) „die Größe oder das

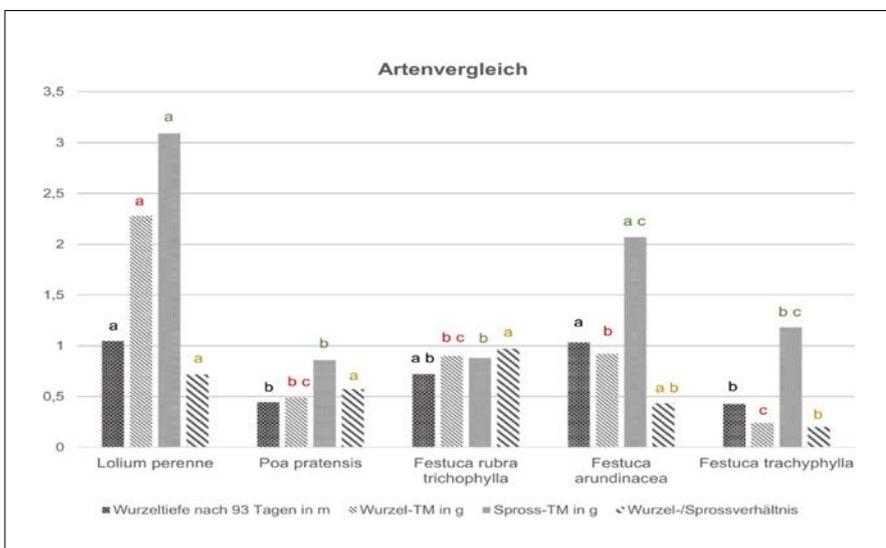


Abb. 7: Gesamtübersicht der Versuchsparameter (p < 0,05); signifikante Unterschiede werden durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet, wobei ein Vergleich nur zwischen gleichfarbigen Buchstaben möglich ist.

Maß des Tiefgangs eines Wurzelsystems [...] eine Funktion zahlreicher Faktoren“.

Die geprüfte Methode kann die Probleme, die der Wurzelforschung im Freilandversuchswesen zugrunde liegen, jedoch nicht ausgleichen. Grundsätzlich ist es mithilfe des Modells möglich, die Untersuchungsmerkmale Durchwurzelungstiefe, Wurzelrockenmasse und Sprossrockenmasse zu ermitteln. Allerdings wurden trotz einer hohen Anzahl an Wiederholungen teils signifikante Röhrenunterschiede beobachtet, die dazu führen, dass weitere Modifikationen und Abwandlungen in der Versuchsanstellung notwendig sind. Die Literatur weist auf die PVC-Röhren als geeignetes Screening-Verfahren hin. Jedoch hat sich die Verwendung dieser durch das längsseitige Aufschneiden als ungeeignet erwiesen.

Ferner ist es das Ziel, in der Pflanzenforschung Methoden zu entwickeln, die als Serienverfahren eingesetzt werden können, um auch bei oftmals sehr hohen Wiederholungszahlen über zeit- und aufwandsparende Mittel zu verfügen. Die praktische Durchführung hat gezeigt, dass das Aufklappen der Röhren sehr zeitintensiv ist und ein hohes Maß an Sorgfalt erfordert. Aus diesem Grund wird dieser Arbeitsschritt als nicht praktikabel für ein Serienverfahren angesehen. Daneben ist durch die Vielzahl an Umwelteinflüssen, die auf die Versuchspflanzen einwirken, eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse nicht sicherzustellen. Aus diesem Grund sollten die Differenzen der Versuchsergebnisse mit Bedacht betrachtet werden und als Relativwerte fungieren. Fest steht, dass von der Vielzahl der Faktoren, welche das Leistungspotenzial einer Sorte beeinflussen, die Wurzeleistung einen großen Faktor darstellt, dieser aber nicht grundsätzlich als limitierender Faktor anzusehen ist. Zusammenfassend gilt, dass im Bereich der Wurzelforschung hohe Anforderungen an die Versuchsmethodik gestellt werden und eine kritische Analyse der Ergebnisse gerade aufgrund der Reaktionsbereitschaft gegenüber äußeren Faktoren unumgänglich ist.

## Ausblick

Fest steht, dass im Hinblick auf das große Forschungsfeld der Pflanzenwurzel im Zusammenhang mit dem Klimawandel mit dieser Studie nicht alle Fragen beantwortet werden konnten. Zu bemerken bleibt, dass die Ergebnisse der Arbeit aufgrund der kleinen

Stichprobengröße und begrenzten Versuchszeit nur einen Status quo abbilden und nicht als allgemeingültig anzusehen sind. Daher sind weitere Forschungen und Veröffentlichungen notwendig, um Verfahren zur Selektion von Pflanzen anhand ihrer Wurzelsysteme zu fördern. Dies bildet die Basis für ein zukunftsfähiges, nachhaltiges Wassermanagement unter Berücksichtigung der klimatischen Veränderungen. Denn gerade die Verknappung des immens wichtigen Rohstoffes Wassers führt zu steigenden Auflagen und neuen Nutzungsbeschränkungen, auf die die Rasenzüchtung reagieren muss. Mit Blick auf die zukünftigen Anforderungen an die Rasenzüchtung hat NONN (2016) prägnant formuliert, dass „es keine generelle Lösung gibt, um auf die Klimaveränderungen zu reagieren, für ein erfolgreiches Greenkeeping sind vielmehr die gesamte Breite der Pflegemaßnahmen und die Möglichkeiten der Gräserzüchtung zu nutzen!“ (NONN, 2016, in BOCKSCH u. MÜLLER-BECK, 2016).

## Literatur

- BOCKSCH, M., 2018: Auswirkungen des Schnittes auf das Wachstum der Gräser. Vortrag zum 125. DRG-Rasenseminar. Heilbronn. 8 S.
- BOCKSCH, M. u. K.G. MÜLLER-BECK, 2016: Auswirkungen von Klimaveränderungen für den Rasen. 123. Rasenseminar der Deutschen Rasengesellschaft. Geisenheim.
- BODNER, G., A. NAKHFOROOSH u. H.P. KAUL, 2015: Management of crop water under drought: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35. S. 401-442.
- BORRINK, L., 2022: Wurzeluntersuchungen an fünf Gräserarten im Hinblick auf den Klimawandel, Masterarbeit, Hochschule Osnabrück.
- BORRINK, L., H. NONN u. W. PRÄMASSING, 2021: Untersuchung der Durchwurzelungstiefe von Rasengräsern. *Rasen-Turf-Gazon*, 52. (Heft 3). S. 57-61.
- FEUERSTEIN, U., 2016: Die Wurzel – Die bekannte Unbekannte. Wie innovative Wurzelforschung Lösungen für die Praxis schafft. In: DEUTSCHE SAATVEREDELUNG AG UND VERLAG TH. MANN (Hrsg.) *Innovation*, 2. S. 4-7.
- HENTRICH, W., 1966: Untersuchungen über das Wurzelwachstum von Getreidesorten und -arten unter verschiedenen Wachstumsbedingungen. *Der Züchter*, 36. (Heft 1). S. 25-36.
- HERNDL, M., M. KANDOLF, A. BOHNER, B. KRAUTZER, W. GRAISS u. M. SCHINK, 2011: Wurzelparameter von Gräsern, Kräutern und Leguminosen als Grundlage zur Bewertung von Trockenheitstoleranz im Grünland. Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft. 1. Tagung der Österreichischen Gesellschaft für Wurzelforschung. Raumberg-Gumpenstein. S.45-54.
- KAUTER, A., 1933: Beiträge zur Kenntnis des Wurzelwachstums der Gräser. Dissertation. Abteilung Landwirtschaft. ETH Zürich.

- KOSKI, A.J., 1983: Seasonal rooting characteristics of five cool-season turfgrasses. Masterarbeit. Ohio State University.
- LEINAUER, B., 2020: Sparsamer Umgang mit Beregnungswasser auf Rasenflächen des öffentlichen Grüns. *Rasen-Turf-Gazon*, 51. (Heft 4). S. 91-96.
- LEINAUER, B. u. H. SCHULZ, 1998: Bewässerung von Golfanlagen – Schonender Umgang mit Wasser. In: DEUTSCHER GOLFERBAND (Hrsg.) „Golf + Naturschutz“. Bonn: Köllen Druck + Verlag. 24 S.
- LYNCH, J., 1995: Root Architecture and Plant Productivity. *Plant Physiology*, 109. S. 7-13.
- MÜLLER-BECK, K.G., 1979: Die Rasenberegnung – biologische Notwendigkeit und technische Möglichkeit. *Rasen-Turf-Gazon*, 10. (Heft 1). S. 12-17.
- NDOUR, A., V. VADEZ, C. PRADAL u. 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.
- OPITZ, K., 1904: Untersuchungen über Bewurzelung und Bestockung einiger Getreidesorten. Dissertation.
- OPITZ VON BOBERFELD, W., 1972: Zur Problematik des Stichprobenumfanges bei Wurzelgewichtsfeststellungen von Rasengräsern. *Rasen-Turf-Gazon*, 3. (Heft 2). S. 25-27.
- PRALLE, H. u. 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“.
- SHASHIDHAR, H.E., A. HENRY u. B. HARDY, 2012: Methodologies for root drought studies in rice. *International Rice Research Institute (IRRI)*. Los Baños: IRRI Books. 65 S.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1992: *International Meteorological Vocabulary*. In: SECRETARIAT OF THE WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (Hrsg.). Geneva, 2. 784 S.

### Autoren:

M. Sc. Lukas Borrink  
Hochschule Osnabrück  
,Nachhaltiges Rasenmanagement'  
[l.borrink@gmx.de](mailto:l.borrink@gmx.de)

Dr. Harald Nonn  
Eurogreen GmbH  
57520 Rosenheim/Ww  
[harald.nonn@eurogreen.de](mailto:harald.nonn@eurogreen.de)

Prof. Dr. Wolfgang Prämaßing  
Hochschule Osnabrück  
,Nachhaltiges Rasenmanagement'  
[w.praemassing@hs-osnabrueck.de](mailto:w.praemassing@hs-osnabrueck.de)