

Wurzelparameter von Gräsern, Kräutern und Leguminosen als Grundlage zur Bewertung von Trockenheitstoleranz im Grünland

Markus Herndl^{1*}, Matthias Kandolf¹, Andreas Bohner¹, Bernhard Krautzer¹,
Wilhelm Graiss¹ und Martina Schink¹

Zusammenfassung

Trockenheit kann sich auf einen Grünlandbestand in unterschiedlicher Weise auswirken, kurzfristig mit einem Rückgang des Ertragspotentials, langfristig mit Änderungen in der botanischen Zusammensetzung. Bei der Reaktion auf Trockenheit, spielt die Wurzel als wichtigstes Organ bei der Aufnahme von Wasser die bedeutendste Rolle. In dieser Arbeit, werden erste Ergebnisse hinsichtlich Wurzelparameter von Gräsern, Kräutern und Leguminosen als Grundlage zur Bewertung von Trockenheitstoleranz im Grünland vorgestellt. Dazu wurden 15 Gräserarten, fünf Gräserarten sowie fünf Kräuter- und fünf Leguminosenarten in einem Gefäßversuch im Gewächshaus hinsichtlich Anpassung des Wurzelsystems während der Trockenheit (innerhalb der vegetativen Entwicklungsphase) geprüft. Ergebnisse hinsichtlich Wurzel/Spross-Verhältnis weisen die Gräser *Arrhenatherum elatius* und *Festuca rubra* (Gondolin) und das Kraut *Pimpinella saxifraga* mit einem höheren Verhältnis (stresstoleranter), als alle anderen Arten und Sorten aus. Ein Zusammenhang von vergleichsweise höherem Wurzel/Spross-Verhältnis mit einem niedrigen Ellenberg F-Wert, kann aber nur für die Leguminosen eindeutig und für die Kräuter in der Tendenz bestätigt werden. Resultate bezüglich der Anpassung des Wurzelsystems während Trockenheit weisen das Gras *Lolium perenne* (Guru), die Kräuter *Cichorium intybus* und *Daucus carota* und die Leguminose *Lotus corniculatus* als relativ trockenstresstolerant aus. Diese Arten reagierten auf Trockenstress mit einer Verlagerung der Gesamtwurzelmasse in tiefere Schichten (Wurzeltiefe bis 40 cm). Hinsichtlich Wurzeloberfläche und -länge bestätigen die Versuchsergebnisse Untersuchungen aus der Literatur die eine höhere Durchwurzelungsintensität bei den Gramineen im Vergleich zu den Leguminosen festgestellt haben. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Gewächshausversuch sehr gut geeignet ist, Unterschiede in der Anpassung des Wurzelsystems an Trockenstressbedingungen zu beschreiben. Die aufgeführten Gräser, Kräuter und Leguminosen lassen sich je nach Anspruch in Feldversuche bezüglich Ertragsfähigkeit und Qualität für trockene Lagen integrieren und sollten Trockenheit vergleichsweise gut widerstehen können.

Schlagwörter: Wurzel, Wurzelsystem, Trockenheit, Grünland, Gewächshaus

Summary

Drought can affect grassland swards in different ways, at short-term with a decrease in yield potential, at a long-term basis with changes in the botanical composition. Regarding the reaction to drought, roots play the key role as the most important organ at the admission of water. In the present work, first results regarding root parameters of grasses, forbs and legumes as a basis for the evaluation of drought tolerance in grassland are presented. For this purpose, 15 grass species, five grass varieties as well as five forbs and five legume species were examined in a greenhouse pot experiment regarding the adjustment of their root system during drought (within the vegetative development phase). Results regarding root-shoot ratio indicate a better relationship (more stress tolerant) for the grasses *Arrhenatherum elatius* and *Festuca rubra* (Gondolin) and for the forb *Pimpinella saxifraga*, than for all other species and varieties. A connection of comparatively higher root-shoot ratio with a low Ellenberg F-value, can however only be confirmed for the legumes clearly and for the forbs in tendency. Results concerning the adjustment of the root system during drought conditions prove the grass *Lolium perenne* (Guru), the forbs *Cichorium intybus* and *Daucus carota* and the legume *Lotus corniculatus* as relatively drought stress tolerant. These species reacted to drought stress with a misalignment of the total root mass into deeper layers (rooting depth of 40 cm). Regarding root surface and root length, the results confirm investigations from the literature which determined a higher root density for graminaceous compared to legumes. It can be summarized that the greenhouse experiment is well suited to describe differences in the adjustment of the root system to drought stress conditions. The specified grasses, forbs and legumes can be integrated depending upon requirement in field experiments concerning yield potential and quality for dry conditions and should be able to resist drought comparatively well.

Keywords: root, root system, drought, grassland, greenhouse

¹ Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein (LFZ), Raumberg 38, A-8952 IRDNING

* Ansprechpartner: Dr. Markus Herndl, markus.herndl@raumberg-gumpenstein.at

Einleitung

Die globale Klimaerwärmung und seine regionalen Ausprägungen und Folgen werden in den letzten Jahren immer deutlicher erkennbar. Vor allem das Jahr 2003, mit seiner Hitzewelle und den damit verbundenen regionalen und überregionalen landwirtschaftlichen Schäden, zeigt die Wichtigkeit des Themas Trockenheitsgefährdung. Der mittlere Wasserbedarf von Grünland ist im Vergleich zu andern Kulturarten relativ hoch (ca. 600-800 mm/a; BOHNER et al. 2007). Nach Abschätzungen von EITZINGER et al. (2009), könnte die landwirtschaftliche Grünlandnutzung durch Klimaerwärmung insbesondere in trockenen Regionen aufgrund zunehmenden Trocken- und Hitzestress gefährdet sein. In Österreich würden vor allem Regionen mit einem derzeitigen mittleren Jahresniederschlag von unter 800 mm betroffen sein d.h. hauptsächlich Gebiete des Ostalpenrandes (TRNKA et al. 2008). Klimatische Veränderungen hin zu mehr Trockenheit haben neben Rückgang des Ertragspotentials vor allem Änderungen in der botanischen Zusammensetzung des Grünlandbestandes zur Folge. Das Artenspektrum wird sich langfristig hin zu trockenheitsverträglichen Gräsern, Kräutern und Leguminosen verschieben, die in der Regel meist niedrigere Futterqualität und Erträge aufweisen. Bei der Reaktion auf

Klimaveränderung, insbesondere auf Trockenheitstoleranz, spielt die Wurzel als wichtigstes Organ bei der Aufnahme von Wasser die bedeutendste Rolle. Untersuchungen zeigen, dass sowohl morphologische Parameter wie z.B. Wurzellängendichte oder Wurzelplastizität aber auch physiologische Parameter wie hydraulische Leitfähigkeit oder osmotische Regulation wichtig sind (BELL und SULTAN 1999, HSIAO et al. 2000, VAMERALI et al. 2003). Die Pflanzenarten im Grünland sind hinsichtlich Wurzelmasse und -tiefe unterschiedlich (KLAPP 1943). Grundsätzlich weisen Gräser im Allgemeinen eine größere Wurzelmasse auf, wobei Wurzelmasse und -tiefe tendenziell bei den Untergräsern geringer ist als bei den Obergräsern (KMOCH 1952). Im Vergleich mit den Gräsern durchwurzeln Leguminosen und viele Kräuter den Boden meist weniger intensiv (KULLMANN 1957). In der Studie mit dem Titel "Arten- und Sortenscreening von Gräsern, Kräutern und Leguminosen als Grundlage für Grünlandbewirtschaftung auf trockenen Standorten" (HERNDL et al. 2010) wurden unterschiedlichste Wurzelparameter wie Wurzeltiefe, Wurzel/Spross-Verhältnis, Wurzellänge und -oberfläche erhoben. Das Ziel dieses Beitrages ist, erste Ergebnisse vorzustellen die Wurzelparameter von Gräsern, Kräutern und Leguminosen als Grundlage zur Bewertung von Trockenheitstoleranz im Grünland darstellen.

Tabelle 1: Herkunft, Ellenberg F-Wert, WT-Wert der in der Studie verwendeten Grünlandarten und -sorten (aus HERNDL et al. 2010)

Art	Sorte	Herkunft	F-Wert ^a	WT-Wert ^b
Gräser				
<i>Agrostis capillaris</i>	Gudrun	Österreich	x	F
<i>Arrhenatherum elatius</i>	Arone	Deutschland	x	T
<i>Bromus erectus</i>	Ökotyp	Österreich	3	F
<i>Bromus inermis</i>	Keszthelyi-51	Ungarn	4	-
<i>Cynosurus cristatus</i>	Cristal	Österreich	5	F
<i>Dactylis glomerata</i>	Beluga	Frankreich	5	F
<i>Dactylis glomerata</i>	Tandem	Österreich	5	F
<i>Festuca arundinacea</i>	Keszthelyi-50	Ungarn	7	T
<i>Festuca ovina</i>	Bornito	Deutschland	x	F
<i>Festuca pratensis</i>	Pradel	Schweiz	6	F
<i>Festuca pratensis</i>	Preval	Schweiz	6	F
<i>Festuca rubra</i>	Echo	Dänemark	6	F
<i>Festuca rubra</i>	Gondolin	Dänemark	6	F
<i>Festulolium</i>	Hycor	Tschechoslowakei	-	-
<i>Lolium perenne</i>	Guru	Österreich	5	F
<i>Lolium perenne</i>	Tivoli	Dänemark	5	F
<i>Poa angustifolia</i>	Ökotyp	Deutschland	-	-
<i>Poa pratensis</i>	Lato	Deutschland	5	F
<i>Poa pratensis</i>	Oxford	Niederlande	5	F
<i>Trisetum flavescens</i>	Gunther	Austria	x	F
Kräuter				
<i>Cichorium intybus</i>	Ökotyp	-	4	T
<i>Daucus carota</i>	Ökotyp	Österreich	4	T
<i>Pimpinella saxifraga</i>	Ökotyp	Deutschland	3	T
<i>Plantago lanceolata</i>	Ökotyp	-	x	T
<i>Sanguisorba minor</i>	Ökotyp Vicenca	Italien	3	T
Leguminosen				
<i>Lotus corniculatus</i>	Rocco	Deutschland	4	F
<i>Medicago sativa</i>	Franken neu	Deutschland	4	T
<i>Onobrychis viciifolia</i>	Ökotyp	-	3	T
<i>Trifolium pratense</i>	Tedi	Frankreich	5	T
<i>Trifolium repens</i>	Milkanova	Dänemark	5	F

^a F-Wert nach ELLENBERG et al. (1992); x=indifferent; ^b WT-Wert nach DIERSCHKE und BRIEMLE (2002)

Material und Methoden

Grünlandarten und -sorten

Die Grünlandarten und -sorten für den Versuch wurden nach Kriterien wie Verwendung in Grünlandneuanfaat- und Nachsaatmischungen, F- und WT-Wert ausgewählt (Tabelle 1). Um eine möglichst realistische Entwicklung der Pflanzen zu ermöglichen, wurde das Saatgut der einzelnen Arten und Sorten entsprechend ihrer Keimdauer gruppiert, angekeimt und anschließend in einer Kühlkammer bei 4°C 50 Tage lang vernalisiert

Gewächshausversuch

Der Versuch erfolgte in einem temperatursteuerbaren Glashaus mit einer durchschnittlichen Wachstumstemperatur über die Versuchsdauer von 62 Tagen von 22°C ±1,5°C. Die Arten und Sorten wurden auf 2 Blöcke randomisiert mit jeweils 3 Wiederholungen aufgeteilt (Abbildung 1), wobei die Nährstoffversorgung dem Nährstoffbedarf angepasst wurde und über einen Flüssigdünger (6% N, 5% P₂O₅, 5% K₂O) der dem Gießwasser zugesetzt wurde erfolgte. Die Auspflanzung erfolgte am 08.04.2009 in PVC Abwasserrohre (1 m Länge, 10 cm Durchmesser) die der Länge nach aufgeschnitten, mit einem Klebeband abgedichtet und mit Quarzsand ME 0,5–2 mm (Quarzwirke) gefüllt waren (Abbildung 1). Um ein freies dränen des Gießwassers zu ermöglichen, wurde das untere Ende der Röhre mit einem Vlies abgedeckt. Zusätzlich wurden die Rohre mit einer weißen PE -Folie umwickelt, um ein zu starkes Erwärmen des Substrates zu verhindern. Nach einer Etablierungsphase von 1 Monat (Gießmenge konstant bei 100 ml/Röhre und Tag), wurde im Block 2 die Wassermenge bei Feldkapazität durch wiegen ermittelt und bei Block 1 75% dieser Menge für eine Woche verabreicht. Täglich wurde durch Wägung der Röhren der Wasserverbrauch der Pflanzen ermittelt und jeweils auf Feldkapazität bzw. 75% aufgegossen. Diese Prozedur wurde in wöchentlichen Schritten auf 50 und abschließend auf 30% der Feldkapazität auf Block 1 angewandt.



Abbildung 1: Aufteilung der Versuchsvarianten im Gewächshaus

Erhebung von Wurzelparametern

Um den Einfluss von Trockenheit unterirdisch quantifizieren zu können, wurden die Pflanzröhren nach Ernte der Biomasse bei -20°C tief gefroren. In einem nächsten Schritt wurden die Wurzeln ausgewaschen. Dazu wurden alle 10 cm Scheiben mit einer Säge abgetrennt und mit warmem Wasser auf einem Sieb ausgewaschen. Die ausgewaschenen Wurzeln wurden bis zur weiteren Bearbeitung in einer 15 % Ethanollösung bei 10°C gelagert (BÖHM 1979). Nach einer Aufbereitung und Einfärbung der Wurzeln mit Azur-Eosin-Methylenblau wurden diese mit einem Scanner (Epson Perfection V700 Photo) gescannt und mit der WinRHIZO 4.1 software (ARSENAULT et al. 1995) hinsichtlich Wurzellänge und Wurzeloberfläche ausgewertet. Da diese Methode relativ zeitaufwendig war, konnten diese Parameter nur für ausgewählte Arten ermittelt werden. Nach dem Scannen wurden die Wurzelproben bei 105°C getrocknet und die Wurzelrockenmasse ermittelt. SAS Generalized Linear Models procedure (GLM) wurde verwendet, um die Versuchsmittelwerte und Blockeffekte zu bestimmen (SAS INSTITUTE, 2000).

Ergebnisse und Diskussion

Wurzel/Spross-Verhältnis

Ein wichtiges Merkmal zur Bewertung der Trockenheitstoleranz ist das Wurzel/Spross-Verhältnis. Tabelle 2 zeigt das Wurzel/Spross-Verhältnis sowie die Wurzel- und Sprosstrockenmasse der geprüften Gräser, Kräuter und Leguminosen für Block 1 und Block 2. Bei den Gräsern, wiesen *Arrhenatherum elatius* und *Festuca rubra* (Gondolin) zwischen den Blöcken einen signifikanten ($\alpha=0,05$) Unterschied im Merkmal Wurzel/Spross-Verhältnis auf. Zwischen den Arten und Sorten innerhalb der Blöcke, traten keine signifikanten Unterschiede auf. Beim Vergleich zwischen Block 1 und 2 bei den Kräutern und Leguminosen war lediglich *Pimpinella saxifraga* signifikant höher im Block 1 als im Block 2. Bei den Leguminosen gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Arten. Bei den anderen Merkmalen wie Wurzel- und Sprosstrockenmasse war über beide Blöcke sowohl bei den Gräsern als auch bei den Kräutern und Leguminosen keine Art bzw. Sorte signifikant über die Blöcke hinweg unterschiedlich. Um die Ergebnisse besser einordnen bzw. interpretieren zu können, wurden sie mit dem aus der Literatur bekannten Ellenberg F-Wert (DIERSCHKE und BRIEMLE 2002) gegenübergestellt. Vergleicht man das Wurzel/Spross-Verhältnis in Block 1 mit dem F-Wert und der Einteilung in Flach- und Tiefwurzler (Abbildung 2), kann man einige Tendenzen erkennen, die jedoch über Arten hinweg teilweise nicht statistisch abgesichert sind. Generell gilt, dass stresstolerante Pflanzen ein hohes Wurzel/Spross-Verhältnis aufweisen, d.h. sie investieren im Verhältnis viel in die unterirdische Biomasse (HENDRY und GRIME 1993). Die Ergebnisse dieser Studie zeigen für Leguminosen einen eindeutigen und für Kräuter einen tendenziellen Zusammenhang zwischen hohem Wurzel/Spross-Verhältnis und niedrigem F-Wert. Bei den Gräsern kann kein Zusammenhang erkannt werden. Aus der Literatur bekannte Zusammenhänge wie eine größere Biomasse

Tabelle 2: Wurzel- und Sprosstrockenmasse sowie das Wurzel/Spross-Verhältnis der geprüften Arten und Sorten (aus HERNDL et al. 2010)

Art	Sorte	Block 1			Block 2		
		TM Wurzel [g]	TM Spross [g]	W/S Verh.	TM Wurzel [g]	TM Spross [g]	W/S Verh.
Gräser							
<i>Agrostis capillaris</i>	Gudrun	0,19	1,28	0,15	0,55	5,72	0,10
<i>Arrhenatherum elatius</i>	Arone	0,76	5,27	0,14	1,22	5,31	0,23
<i>Bromus erectus</i>	Ökotyp	0,22	1,30	0,17	0,30	1,96	0,17
<i>Bromus inermis</i>	Keszthelyi-51	0,95	3,36	0,28	1,29	4,55	0,28
<i>Cynosurus cristatus</i>	Cristal	0,11	0,50	0,21	0,46	2,08	0,22
<i>Dactylis glomerata</i>	Beluga	0,39	2,42	0,16	1,51	6,98	0,22
<i>Dactylis glomerata</i>	Tandem	0,48	3,18	0,15	1,38	9,65	0,14
<i>Festuca arundinacea</i>	Keszthelyi-50	0,23	1,45	0,16	0,47	2,45	0,19
<i>Festuca ovina</i>	Bornito	0,07	0,50	0,14	0,07	0,53	0,13
<i>Festuca pratensis</i>	Pradel	0,57	3,12	0,18	0,72	4,08	0,18
<i>Festuca pratensis</i>	Preval	0,46	3,07	0,15	0,71	4,76	0,15
<i>Festuca rubra</i>	Echo	0,31	2,20	0,14	0,18	1,55	0,12
<i>Festuca rubra</i>	Gondolin	0,39	3,91	0,10	0,50	2,61	0,19
<i>Festulolium</i>	Hycor	0,37	2,30	0,16	0,76	5,66	0,13
<i>Lolium perenne</i>	Guru	0,96	5,16	0,19	1,33	10,06	0,13
<i>Lolium perenne</i>	Tivoli	0,45	3,11	0,15	1,04	10,18	0,10
<i>Poa angustifolia</i>	Ökotyp	0,11	0,70	0,16	0,30	2,05	0,15
<i>Poa pratensis</i>	Lato	0,09	0,77	0,12	0,40	2,30	0,17
<i>Poa pratensis</i>	Oxford	0,05	0,63	0,08	0,16	1,22	0,13
<i>Trisetum flavescens</i>	Gunther	0,21	1,90	0,11	0,32	2,24	0,10
LSD ₅		0,30	2,68	0,10	0,48	3,82	0,10
LSD ₅ (Block1 und Block 2)		0,28	2,39	0,07	0,28	2,39	0,07
Kräuter							
<i>Cichorium intybus</i>	Ökotyp	0,74	2,50	0,30	0,93	3,75	0,25
<i>Daucus carota</i>	Ökotyp	0,25	2,43	0,10	0,54	4,76	0,11
<i>Pimpinella saxifraga</i>	Ökotyp	0,28	1,26	0,22	0,33	2,19	0,15
<i>Plantago lanceolata</i>	Ökotyp	0,53	4,15	0,13	0,88	7,17	0,12
<i>Sanguisorba minor</i>	Ökotyp	0,17	0,96	0,18	0,41	2,09	0,19
LSD ₅		0,38	2,13	0,08	0,86	3,81	0,12
LSD ₅ (Block1 und Block 2)		0,39	2,00	0,07	0,39	2,00	0,07
Leguminosen							
<i>Lotus corniculatus</i>	Rocco	0,06	0,42	0,14	0,10	2,02	0,05
<i>Medicago sativa</i>	Franken neu	0,53	2,99	0,18	0,59	3,21	0,18
<i>Onobrychis viciifolia</i>	Ökotyp	0,19	0,81	0,24	0,56	3,80	0,15
<i>Trifolium pratense</i>	Tedi	0,15	1,15	0,19	0,28	1,96	0,14
<i>Trifolium repens</i>	Milkanova	0,10	0,66	0,13	0,18	3,61	0,05
LSD ₅		0,24	1,38	0,17	0,45	5,19	0,11
LSD ₅ (Block1 und Block 2)		0,21	2,31	0,10	0,21	2,31	0,10

der Obergräser und damit verbunden eine vergleichsweise höhere Wurzelmasse wie die feineren Untergräser, konnten auch in dieser Studie gefunden werden. Auch die arttypischen Unterschiede in der Wurzelmassenbildung und Wurzeltiefgang aus den gleichen Untersuchungen können im Wesentlichen bestätigt werden (KMOCH 1952).

Wurzelmasseverteilung

Wurzeltiefe und Wurzelmasseverteilung über die Wurzeltiefe hinweg, sind wichtige Parameter um die Ursachen von Trockenheitstoleranz umfassend bewerten zu können. *Abbildung 3a* zeigt die Wurzelmassenverteilung der untersuchten Gräser über den durchwurzelten Horizont hinweg. Zieht man einen Vergleich hinsichtlich Wurzeltiefe in der trockenstressinduzierten Variante (Block 1) und Block 2

ergab sich für *Arrhenatherum elatius*, *Festuca pratensis* (Pradel), *Lolium perenne* (Guru), *Lolium perenne* (Tivoli), *Poa pratensis* (Oxford) eine tiefere Wurzel in Block 1 als in Block 2. Hinsichtlich Anteils der Gesamtwurzelmasse in den unterschiedlichen Wurzeltiefen gab es sowohl über die Arten und Sorten als auch über die Blöcke einige Unterschiede. Jene Arten die beinahe 100% der Gesamtwurzelmasse in den obersten 20 cm hatten und nur geringe Verschiebungen in der Wurzelverteilung bei Trockenstress zeigten sind *Cynosurus cristatus*, *Festuca ovina*, *Poa angustifolia*, *Poa pratensis* (Oxford, Lato) und *Trisetum flavescens*. *Arrhenatherum elatius* zeigte bei Trockenstress eine deutliche Verschiebung der Wurzelmasse in tiefere Schichten, wohingegen *Festuca pratensis* (Preval) eine Verschiebung der Wurzelmasse in die Tiefe bei ungestressten Verhältnissen erkennen ließ. Aus der Literatur ist bekannt, dass Gräser in hohem Maße Wasser

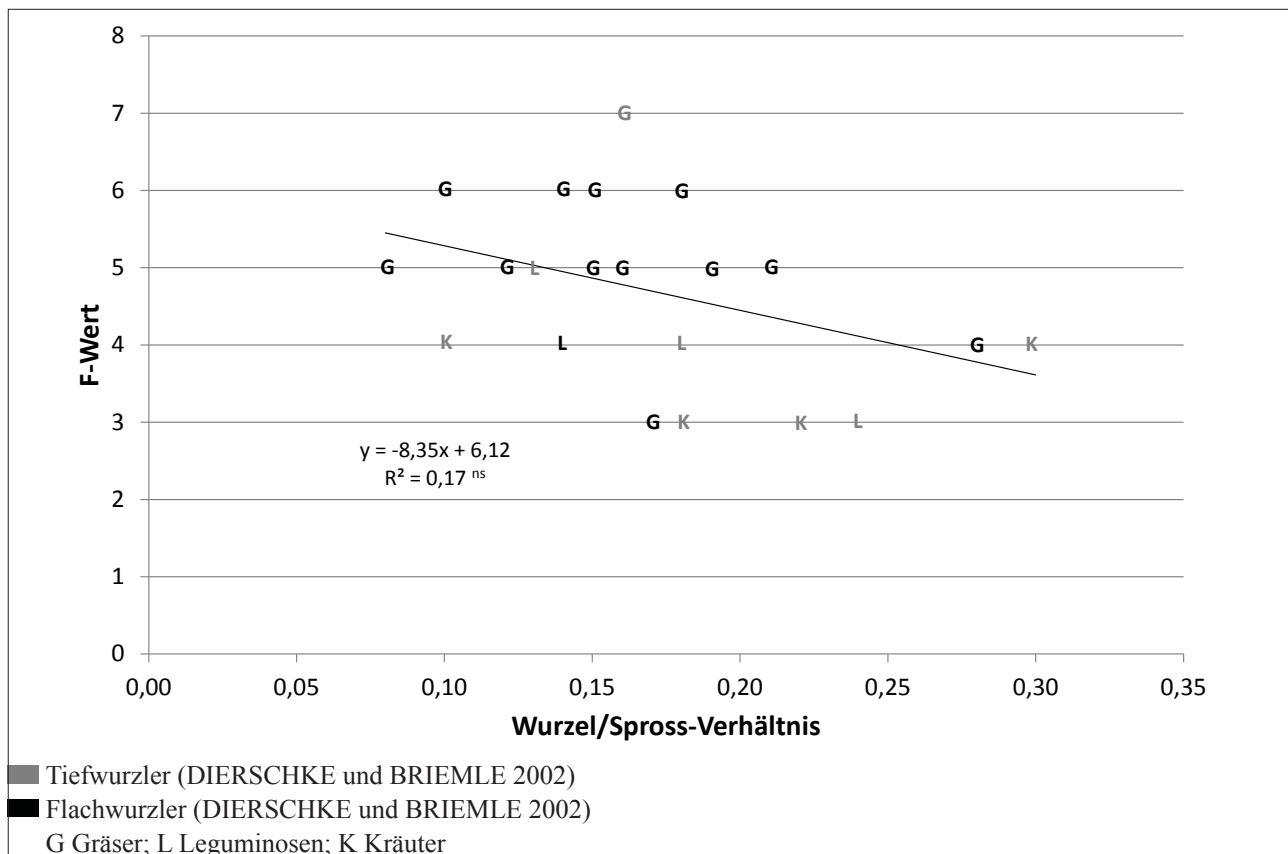


Abbildung 2: Beziehung zwischen Ellenberg F-Wert und Wurzel/Spross-Verhältnis der geprüften Gräser, Kräuter und Leguminosen

aus der obersten Bodenschicht entnehmen können (KMOCH 1952). Es zeigt sich, dass 70-90% der Wurzelmasse sehr flach, in einer Tiefe von etwa 10 cm konzentriert sind, was bei fast allen Arten in dieser Studie der Fall ist und daher bestätigt werden kann.

Abbildung 3b zeigt die Wurzelmasseverteilung der untersuchten Kräuter über den durchwurzelten Horizont hinweg. Die Reaktion auf Trockenstressinduzierung (Vergleich Block 2 zu Block 1) wirkte sich bei *Daucus carota* in einer Zunahme der Wurzeltiefe bzw. in einer Verlagerung der Wurzelmasse in tiefere Schichten aus. Die anderen Kräuter zeigten keine wesentlichen Veränderungen bei der Induzierung von Trockenstress im Vergleich zur ungestressten Variante. Die Verteilung der Gesamtwurzelmasse der geprüften Leguminosen ist ebenfalls in Abbildung 3b ersichtlich. Beim Vergleich der beiden Blöcke war bei den Arten *Lotus corniculatus*, *Trifolium pratense* und *Trifolium repens* eine deutliche Verlagerung der Gesamtwurzelmasse in tiefere Schichten in Block 1 im Vergleich zu Block 2 zu sehen. Bei den restlichen Leguminosen war kein Einfluss des Trockenstresses auf die Wurzeltiefenverteilung festzustellen. Untersuchungen von PETERSON et al. 1984 und CLOUPEK 1999 zeigten, dass die Trockenheitstoleranz von Alfalfa durch die Selektion auf Wurzelgewicht und Wurzelsystemgröße gefördert werden konnte. Ein Konnex mit dem Wurzel/Spross-Verhältnis kann für die Art *Lolium perenne* (Guru) gezogen werden, die in der trockenstressinduzierten Variante eine tiefere Wurzel ausbildete und auch ein hohes

Wurzel/ Spross-Verhältnis aufwies. Diese Ergebnisse würden die vorher genannten Studien hinsichtlich Trockentoleranz und dem Zusammenhang Wurzeltiefe und erhöhtem Wurzel/ Spross-Verhältnis prinzipiell bestätigen. Bei den Kräutern würde auch *Daucus carota* dem gleichen Prinzip folgen. Da aber auch Arten wie *Cynosurus cristatus*, *Cichorium intybus* ein relativ hohes Wurzel/Spross-Verhältnis hatten und keine Verlagerung der Wurzel in tiefere Schichten bei Trockenstress zeigten, kann dieser Zusammenhang nicht über alle Arten hinweg verallgemeinert werden. Diese Feststellung wird auch dadurch bestätigt, dass nahezu bei allen Leguminosen bei der trockenstressinduzierten Variante eine Verlagerung der Gesamtwurzelmasse in tiefere Schichten erfolgte, obwohl das Wurzel/Spross-Verhältnis relativ niedrig war.

Wurzeloberfläche und -länge

Wurzellänge und Wurzeloberfläche sind Parameter die das Potential Wasser aufzunehmen aufzeigen sollen. Die Ergebnisse diesbezüglich in dieser Untersuchung lassen wegen des hohen Aufwandes für dessen Erhebung nur für einzelne Arten Bewertungen zu. Abbildung 4a zeigt die Wurzellänge und -oberfläche der Arten *Arrhenatherum elatius* und *Lolium perenne* (Tivoli). Bei *Arrhenatherum elatius* zeigte sich bis in die Tiefe von 20 cm eine erhöhte Wurzeloberfläche in Block 2 im Vergleich zu Block 1, wohingegen ab der Tiefe von 30 cm die Wurzellängen bzw. -oberflächen in Block 1 überwogen bzw. die Wurzeln in

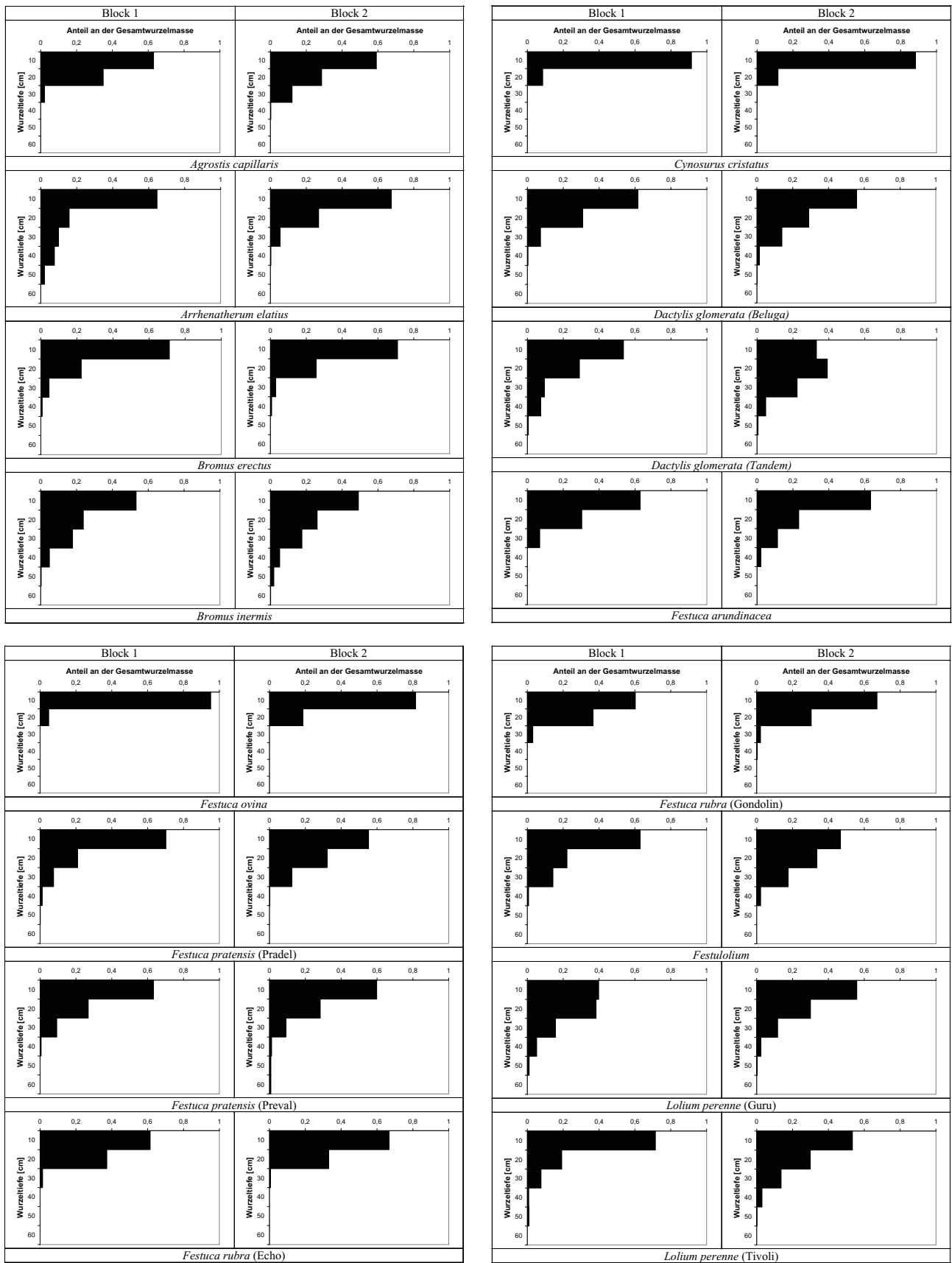
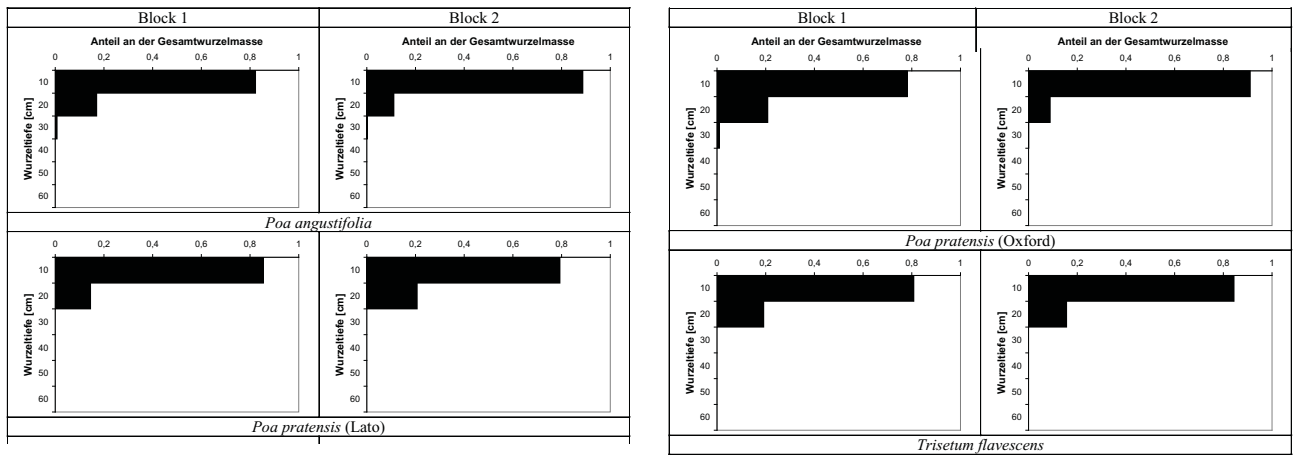


Abbildung 3a: Anteil der Gesamtwurzelmasse in den unterschiedlichen Wurzeltiefen der geprüften Gräser (aus HERNDL et al. 2010)



Fortsetzung Abbildung 3a: Anteil der Gesamtwurzelmasse in den unterschiedlichen Wurzeltiefen der geprüften Gräser (aus HERNDL et al. 2010)

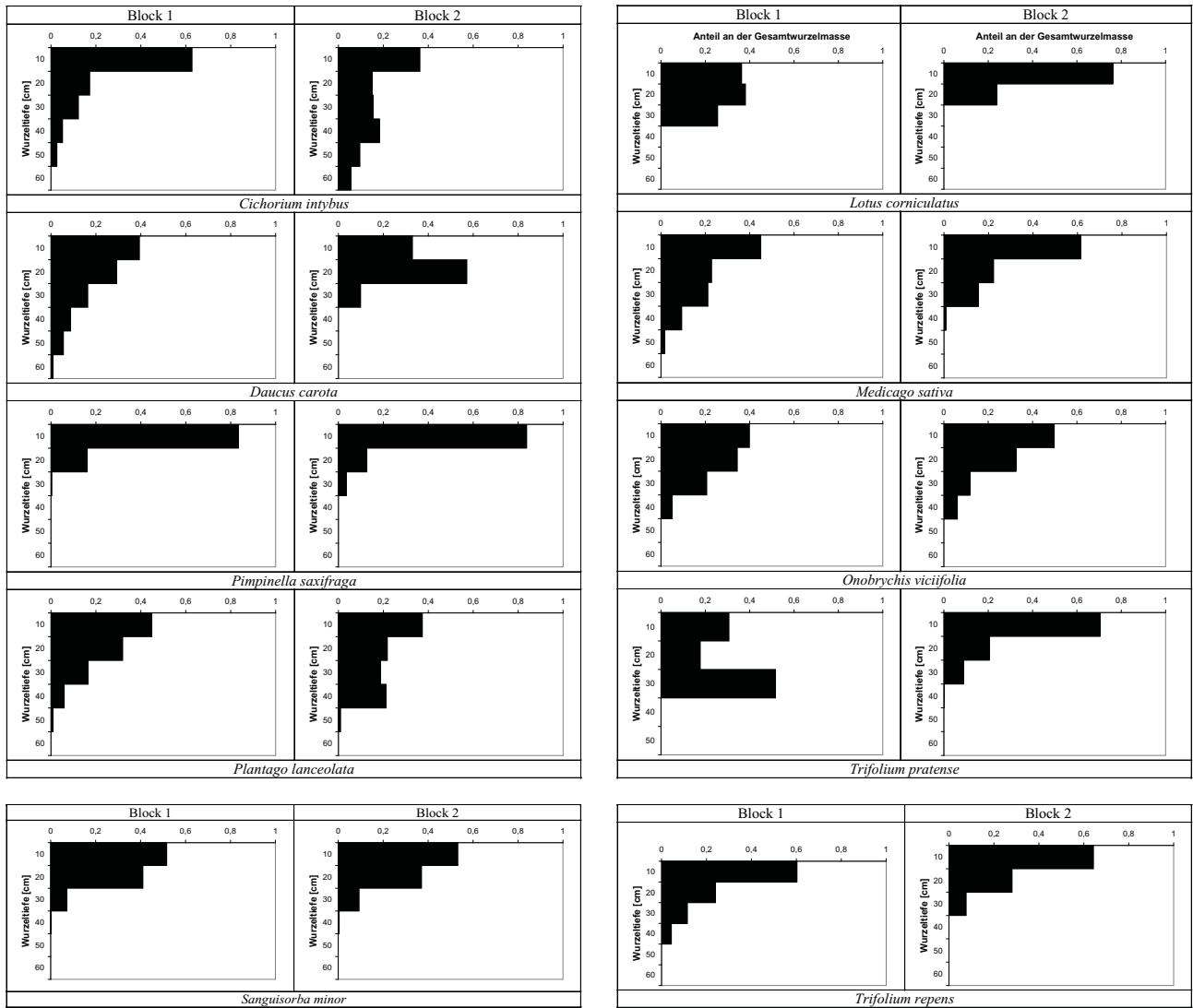


Abbildung 3b: Anteil der Gesamtwurzelmasse in den unterschiedlichen Wurzeltiefen der geprüften Kräuter und Leguminosen (aus HERNDL et al. 2010)

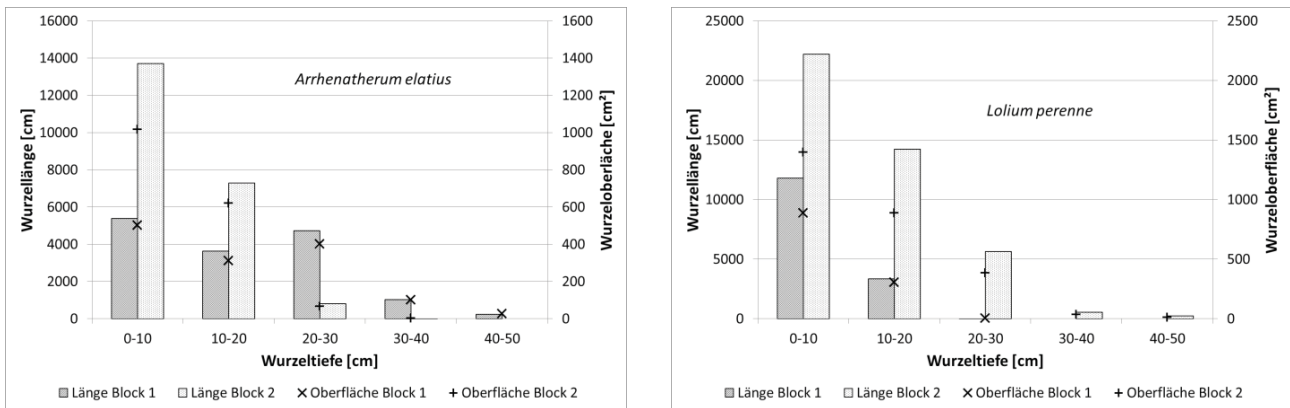


Abbildung 4a: Wurzellänge und -oberfläche einer Auswahl der geprüften Gräser

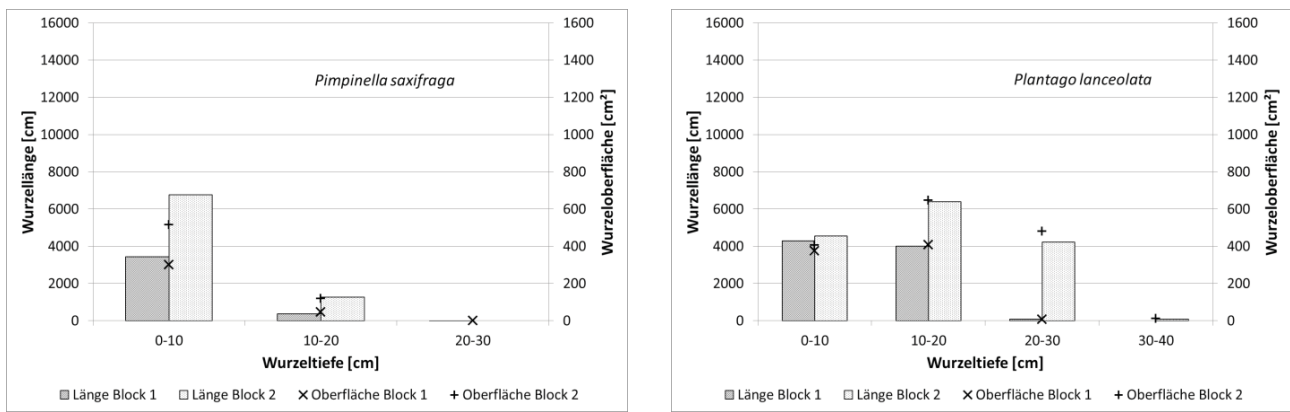


Abbildung 4b: Wurzellänge und -oberfläche einer Auswahl der geprüften Kräuter

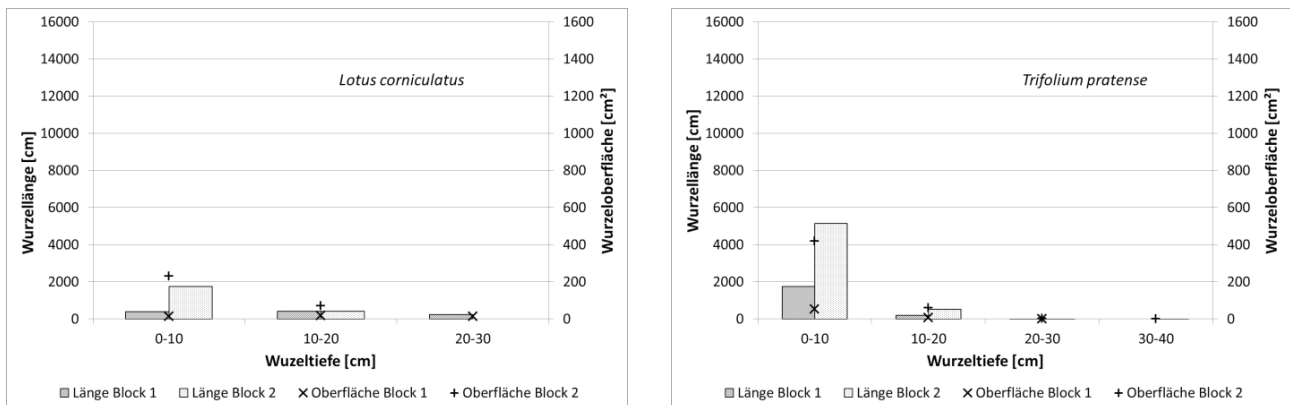


Abbildung 4c: Wurzellänge und -oberfläche einer Auswahl der geprüften Leguminosen

tieferen Schichten reichten. Bei *Lolium perenne* (Tivoli) reichten die Wurzeln in Block 1 nur bis 30 cm und sowohl die Oberfläche als auch die Länge waren geringer als in Block 2 wo sich diese Parameter bis 50 cm erstreckten. Bei *Arrhenatherum elatius* zeigte sich im Vergleich zu *Lolium perenne* (Tivoli) in Block 1 eine größere Wurzeloberfläche und -länge in tieferen Schichten, wobei bei *Lolium perenne* (Tivoli) beide Größen in den obersten 20 cm im Vergleich erhöht waren. Diese Tatsache lässt vermuten, dass bei Trockenheit *Arrhenatherum elatius* im Vergleich zu *Lolium perenne* (Tivoli) in tieferen Schichten mehr Wasser aufnehmen kann bzw. eine effizientere Wasseraufnahme hat.

Bei den Kräutern wurden die Arten *Pimpinella saxifraga* und *Plantago lanceolata* hinsichtlich Wurzellänge und Wurzeloberfläche untersucht (Abbildung 4b). Bei *Pimpinella saxifraga* reichten die Wurzeln in Block 1 bis in eine Tiefe von 30 cm und waren sowohl im Parameter Wurzeloberfläche als auch Wurzeltiefe geringer als im Block 2. Für *Plantago lanceolata* war die Wurzellänge und -oberfläche in der Tiefe bis 10 cm in Block 1 und Block 2 annähernd gleich, differenzierte sich aber zugunsten von Block 2 ab einer Tiefe von 20 cm wobei die Tiefe in Block 2 bis 40 cm reichte. Bei *Plantago lanceolata* und *Pimpinella saxifraga* beschränkte sich der größte Anteil der Wurzeloberfläche und -länge in Block 1 auf die obersten 20 cm, wobei bei

Plantago lanceolata sich der Anteil gleichmäßig auf die Tiefen 10-20 und 20-30 cm aufteilte und diese Aufteilung annähernd gleich war wie in Block 2. Die Interpretation dieser Ergebnisse ist, dass *Plantago lanceolata* in den obersten 20 cm Wasser auch bei Trockenheit effizienter aufnehmen konnte als *Pimpinella saxifraga*. *Lotus corniculatus* teilte seine Wurzeloberfläche bzw. -länge unter Trockenstress relativ gleichmäßig auf die Wurzeltiefe 0-30 cm auf, im Gegensatz zu Block 2, wo der Hauptanteil in den obersten 10 cm lag. Auch hier kann angenommen werden, dass bei Trockenheit die Schichten 0-30 cm gleichmäßig genutzt werden können. *Abbildung 4c* zeigt die Wurzellänge und -oberfläche der Leguminosen *Lotus corniculatus* und *Trifolium pratense*. Die Wurzellänge bzw. -oberfläche von *Lotus corniculatus* in Block 2 war hauptsächlich auf die obersten 10 cm konzentriert, wobei die Wurzellänge in 10-20 cm in Block 1 annähernd gleich war wie in Block 2. Bei *Trifolium pratense* war in der Wurzeltiefe von 0-10 cm die komplette Wurzelmasse akkumuliert, während sowohl bei der Wurzellänge als auch bei der Wurzeloberfläche der Hauptanteil in Block 1 im Vergleich zu Block 2 zu finden war.

Der Anteil der Wurzeloberfläche und -länge bei *Trifolium pratense* lag bei annähernd 100% in den obersten 20 cm wobei sich ein eklatanter Unterschied in der Größenordnung zwischen Block 1 und 2 ergab. *Trifolium pratense* reagierte auf Trockestressinduzierung mit einer Reduzierung seiner Wurzeloberfläche und seiner Wurzellänge. Allgemein bestätigen die Versuchsergebnisse Untersuchungen von KULLMANN 1957, der eine höhere Durchwurzelungsintensität (Oberfläche) bei den Gramineen im Vergleich zu den Leguminosen feststellt. Weiters kann auch mit den Ergebnissen in dieser Studie bestätigt werden, dass nicht die Art mit den höchsten Wurzelgewichten auch die höchsten Oberflächenwerte aufweist.

Literatur

- ARSENAULT, J.L., S. POULEUR, C. MESSIER and R. GUAY, 1995: WinRhizo, a root measuring system with a unique overlap correction method. *Horticultural Science* 30, 906.
- BELL, D.L. and S.E. SULTAN, 1999: Dynamic phenotypic plasticity for root growth in *Polygonum*: a comparative study. *American Journal of Botany* 86, 807-819.
- BOHNER, A., G. EDER und M. SCHINK, 2007: Nährstoffkreislauf und Stoffflüsse in einem Grünland Ökosystem. Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 12. Gumpensteiner Lysimetertagung, 17.-18.4.2007, 91-99.
- BÖHM, W., 1979: Methods of studying root systems. *Ecological Studies: Analysis and Synthesis*, vol 33. Springer, Berlin Heidelberg New York.
- CHLOUPEK, O., M. SKACEL and M. EHRENBERGEROVA, 1999: Effect of divergent selection for root size in fieldgrown alfalfa. *Canadian Journal of Plant Science*, 79, 93-95.
- DIERSCHKE, H. und G. BRIEMLE, 2002: Kulturgrasland. Wiesen, Weiden und verwandte Staudenfluren. - Ulmer-Verlag, Stuttgart S.239.
- EITZINGER, J., K.C. KERSEBAUM und H. FORMAYER, 2009: Landwirtschaft im Klimawandel - Auswirkungen und Anpassungsstrategien für die Land- und Forstwirtschaft in Mitteleuropa. <http://de.agrimedia.com>, Agrimedia, D-29459 Clenze, Deutschland.
- ELLENBERG, H., H.E. WEBER, R. DÜLL, V. WIRTH, W. WERNER und D. PAULISSEN, 1992: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa, 2. Auflage, Scripta Geobotanika XVIII.
- HENDRY, G. and J. GRIME, 1993: Methods in Comparative Plant Ecology: A laboratory manual. Chapman & Hall, London, S.252.
- HERNDL, M., M. KANDOLF, A. BOHNER, B. KRAUTZER und W. GRAISS, 2010: Arten- und Sortenscreening von Gräsern, Kräutern und Leguminosen als Grundlage für Grünlandbewirtschaftung auf trockenen Standorten, Abschlussbericht.
- HSIAO, T.C. and L.K. XU, 2000: Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *Journal of Experimental Botany*, 51, 1595-1616.
- KLAPP, E., 1943: Über die Wurzelverbreitung der Grasnarbe bei verschiedener Nutzungsweise und Pflanzengesellschaft. *Zeitschrift Pflanzenbau* 19, 221-236.
- KMOCH, H.G., 1952: Über den Umfang und einige Gesetzmäßigkeiten der Wurzelmassenbildung unter Grasnarben. *Zeitschrift Acker- und Pflanzenbau* 95, 363-380.
- KULLMANN, A., 1957: Zur Intensität der Bodendurchwurzelung. *Zeitschrift Acker- und Pflanzenbau* 103, 189-197.
- PEDERSON, G.A., W.A. KENDALL and R.R. Jr. HILL, 1984: Effect of divergent selection for root weight on genetic variation for root and shoot characteristics in alfalfa. *Crop Science*, 24, 570-573.
- SAS INSTITUTE INC., 2000: SAS/STAT User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- TRNKA, M., K. SEMERADOVA und Z. ZALUD, 2008: Änderung des Grünlandproduktionspotentials (ECHAM Klimascenario 2050) In: (ed) J. Eitzinger, K. Kersebaum, 2009. Landwirtschaft im Klimawandel - Auswirkungen und Anpassungsstrategien für die Land- und Forstwirtschaft in Mitteleuropa. S. 197.
- VAMERALI, T., M. SACCOMANI, S. BONA, G. MOSCA, M. GUARISE and A. GANIS, 2003: A comparison of root characteristics in relation to nutrient and water stress in two maize hybrids. *Plant and Soil* 255, 157-167.