



**ifz**  
raumberg  
gumpenstein

Lehr- und Forschungszentrum  
Landwirtschaft  
[www.raumberg-gumpenstein.at](http://www.raumberg-gumpenstein.at)

# Abschlussbericht ArtenSortenScreening

Wissenschaftliche Tätigkeit Nr. 100436

**Arten- und Sortenscreening von Gräsern, Kräutern und  
Leguminosen als Grundlage für Grünlandbewirtschaftung auf  
trockenen Standorten**

**Species and variety screening of grass, herbs and legumes as a  
basis for grassland management at dry sites**

**Projektleitung:**

Dr. Markus Herndl, LFZ Raumberg-Gumpenstein

**Projektmitarbeiter:**

Dr. Andras Bohner, LFZ Raumberg-Gumpenstein

Dr. Bernhard Krautzer, LFZ Raumberg-Gumpenstein

Dr. Wilhelm Graiss, LFZ Raumberg-Gumpenstein

Matthias Kandolf, LFZ Raumberg-Gumpenstein

**Projektlaufzeit:**

2008 – 2010



[lebensministerium.at](http://lebensministerium.at)

[www.raumberg-gumpenstein.at](http://www.raumberg-gumpenstein.at)

## Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Zusammenfassung</b> .....                               | <b>3</b>  |
| <b>Summary</b> .....                                       | <b>4</b>  |
| <b>Einleitung</b> .....                                    | <b>5</b>  |
| <b>Material und Methoden</b> .....                         | <b>6</b>  |
| ARTEN UND SORTEN .....                                     | 6         |
| VERNALISATION .....  | 8         |
| GEWÄCHSHAUSVERSUCH .....                                   | 8         |
| PFLANZRÖHREN .....   | 9         |
| INDUZIERUNG VON TROCKENSTRESS .....                        | 10        |
| QUANTIFIZIERUNG VON PFLANZENENTWICKLUNG UND -WACHSTUM..... | 10        |
| ERHEBUNG VON WURZELPARAMETERN .....                        | 11        |
| STATISTISCHE ANALYSE.....                                  | 11        |
| <b>Ergebnisse</b> .....                                    | <b>12</b> |
| PFLANZENENTWICKLUNG UND TROCKENHEITSTOLERANZ.....          | 12        |
| WURZEL / SPROSS-VERHÄLTNIS UND TROCKENHEITSTOLERANZ .....  | 16        |
| WURZELMASSEVERTEILUNG UND TROCKENHEITSTOLERANZ.....        | 18        |
| <b>Diskussion</b> .....                                    | <b>34</b> |
| <b>Schlussfolgerungen</b> .....                            | <b>37</b> |
| <b>Literatur</b> .....                                     | <b>38</b> |

## Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie, wurden 15 Gräserarten, fünf Gräserarten sowie fünf Kräuter- und fünf Leguminosenarten in einem Gefäßversuch im Gewächshaus hinsichtlich Eignung für trockene Standortbedingungen untersucht. Bei der Untersuchung auf Trockenheitstoleranz wurde auf zwei Trockenresistenzmechanismen geprüft: (i) Entwicklungsvorsprung bzw. -nachteil während der wasserreichen Phase d.h. vor der Trockenheit, (ii) bessere Wasseraufnahme durch Anpassung des Wurzelsystems während der Trockenheit (innerhalb der vegetativen Entwicklungsphase). Die Ergebnisse hinsichtlich (i) zeigen, dass die phänologische Entwicklung vor der Trockenphase bei den Gräsern generell mehr Einfluss auf den Biomassertrag hatte, als bei Kräutern und Leguminosen. Weiters zeigte sich, dass bei den Arten *Arrhenatherum elatius* und *Lolium perenne* (Guru) nur ein geringer Zusammenhang zwischen der Biomasse und der Entwicklung, sowohl vor der Trockenstressinduzierung als auch vor dem Zeitpunkt der Ernte bestand. Dies liegt vermutlich an der züchterischen Bearbeitung dieser Gräser, die auf eine relativ große Plastizität in Entwicklung und Trockenheitstoleranz selektiert wurden. Der Einsatz dieser Arten könnte daher auf Standorten, wo sich der Zeitpunkt der Trockenheit nur schwer voraussagen lässt, interessant sein. Ergebnisse bezüglich der Anpassung des Wurzelsystems während Trockenheit in der vegetativen Entwicklungsphase, 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) und sollten daher in weitere Versuche hinsichtlich Ertragsfähigkeit und Eignung für Grünlandsaatgutmischungen auf tiefgründigeren, saisonal trockenheitsgefährdeten Standorten integriert werden. Für flachgründige Standorte (Wurzeltiefe auf die obersten 20 cm beschränkt) sind *Cynosurus cristatus*, *Pimpinella saxifraga* und *Trifolium repens* die Arten, die am Besten bezüglich Trockenheitstoleranz abschnitten und daher für weitere Untersuchungen empfohlen werden können. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die angewandte Methode sehr gut geeignet ist, Unterschiede in der phänologischen Entwicklung und der Anpassung des Wurzelsystems an Trockenstressbedingungen zu beschreiben. Die aufgeführten Gräser, Kräuter und Leguminosen lassen sich je nach Anspruch in Versuche bezüglich Ertragsfähigkeit und Qualität für trockene Lagen integrieren und sollten Trockenheit vergleichsweise gut widerstehen können.

## Summary

In the present study, 15 grass species, five grass varieties as well as five herb and five legume species were tested in a pot experiment in a greenhouse regarding suitability for dry conditions. During the investigation on drought tolerance, two drying resistance mechanisms were examined: (i) development advance and delay during the water-rich phase i.e. before the drought, (ii) improved water uptake by adjustment of the root system during the drought (within the vegetative development phase). The results regarding (i) showed, that the phenological development before the drying phase had in general more influence to biomass yield of grasses than of herbs and legumes. Further it showed up, that there is only a slight connection between biomass and development, both before the drying stress inducing and before the time of the harvest for the species *Arrhenatherum elatius* and *Lolium perenne* (Guru). This fact may be due to the breeding adaptations of these grasses, which probably were selected on a relatively large plasticity in development and drought tolerance. The use of these species could be interesting at locations where the time of the drought can be forecasted only with difficulty. Results concerning adjustment of the root system during drought in the vegetative development phase proved the grass *Lolium perenne* (Guru), the herbs *Cichorium intybus* and *Daucus carota* and the legume *Lotus corniculatus* as relatively tolerant to drought. These species reacted on drying stress with a misalignment of the total root mass into deeper layers (root depth 40 cm) and should therefore be integrated into further experiments regarding yield capacity and suitability for grassland seed mixtures on sites with profound soils which tend to seasonal dryness. For shallow sites (root depth limited to the upper 20 cm) *Cynosurus cristatus*, *Pimpinella saxifraga* and *Trifolium repens* are the species, which performed best concerning drought tolerance and can therefore be recommended for further investigations. Concluding, the applied method seems suitable to examine phenological development and adjustment of the root system on drying stress conditions. The specified grasses, herbs and legumes can be integrated depending upon requirement into experiments concerning yield capacity and quality at dry locations and should be able to resist dryness comparable well.

## Einleitung

Das Dauergrünland in Österreich, nimmt vor allem in den höher gelegenen kühleren und feuchteren Gebieten, einen relativ großen Flächenanteil ein. Im Jahr 2006, wurden 78% (ca. 17.800 km<sup>2</sup>) des Dauergrünlandes landwirtschaftlich genutzt, während die restlichen 22% (ca. 5.000 km<sup>2</sup>) außerlandwirtschaftlich d.h. hauptsächlich für touristische Zwecke genutzt wurde (Herndl *et al.*, 2009). Grünlandbewirtschaftung ist im inneralpinen Bereich oft eng mit der Wiederkäuerhaltung verknüpft, wobei die Milchproduktion die Haupteinverrichtung einnimmt. Um Milchwirtschaft effizient und nachhaltig betreiben zu können, ist eine hohe Grundfutterleistung basierend auf hohem Ertrag bei guter Futterqualität des Grünlandbestandes wichtig. Um das zu erreichen, bedarf es neben effektiver Bewirtschaftung auch günstige klimatische Voraussetzungen wie z.B. ausreichend Niederschlag. Der mittlere Wasserbedarf von Grünland ist im Vergleich mit andern Kulturarten relativ hoch und beläuft sich auf ca. 600-800 mm/a, wobei der Tagesverbrauch Extreme bis etwa 3 mm erreichen kann (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 (Abb.1).

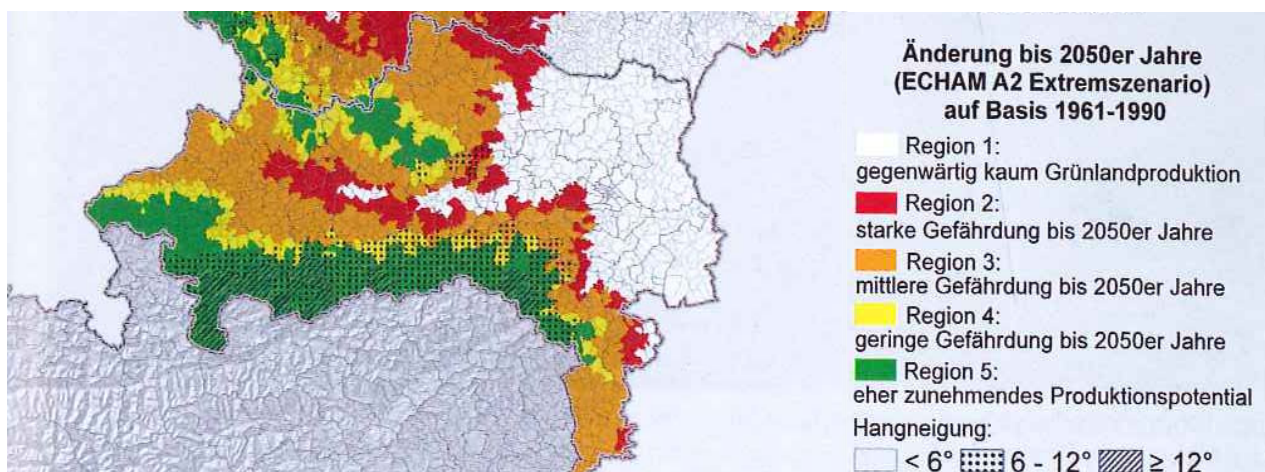


Abbildung 1: Änderung des Grünlandproduktionspotentials nach Berechnungen von Trnka *et al.* (2008)

In diesen Gebieten zeigen Klimaszenarien in den nächsten Dekaden einen deutlichen Trend zu wärmeren Temperaturen und zu einer Niederschlagsabnahme. Wie das Jahr 2003 bereits zeigte, bedeutet das für diese Regionen eine höheres Ertragsrisiko und damit verbunden ein geringeres Ertragspotential.

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. Weiters werden durch entstehende Lücken in der Grasnarbe vor allem Wurzelunkräuter wie z.B. der Stumpfbältrige Ampfer gefördert. Generell gilt, dass Anpassungen von Pflanzen an unterschiedliche Wachstumsbedingungen wie z.B. Trockenheit meist auf komplexen Prozessen die ein Produkt aus Interaktionen von Wurzel und Spross sind basieren. 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 (Vamerli *et al.*, 2003, Bell and Sultan 1999, Hsiao *et al.*, 2000). Die Ziele der Studie über die Eignung von Gräser-, Kräuter- und Leguminosenarten für eine Grünlandbewirtschaftung auf trockenen Standorten sind: (i) die Phänologie der Gräser-, Kräuter- und Leguminosenarten und –sorten in einem Gewächshausversuch zu beschreiben, (ii) im Gefäßversuch zu testen, ob und wie Arten/Sorten Trockenstress in frühen Entwicklungsstadien durch entsprechende Wurzelentwicklung entgegenwirken können, (iii) den Einfluss der Wurzeltiefenverteilung auf Ertragsfähigkeit unter trockenen Bedingungen zu quantifizieren, (vi) das Verhältnis Wurzel- zu Sprossmasse zu ermitteln, sowie erste Ergebnisse zu Wurzelplastizität der einzelnen Arten/Sorten zu gewinnen.

## **Material und Methoden**

### *Arten und Sorten*

Die Arten und Sorten für den Versuch wurden auf Grund der Verwendung in einem Vorversuch zu Trockenheitsverträglichkeit (Feldversuch an der Versuchstation Piber, 2006) und unter Berücksichtigung von Kriterien wie Verwendung in Grünlandneuansaat- und Nachsaatmischungen und F- und WT-Wert ausgewählt (Tab. 1).

**Tabelle1: Herkunft, Feuchtezahl (F-Wert), Wurzeltiefe (WT-Wert) und Qualitätsertrag (QE) der in der Studie verwendeten Arten und Sorten**

| Art                          | Sorte          | Herkunft         | F Wert <sup>a</sup> | WT Wert <sup>b</sup> | QE <sup>c</sup> [GJ] |
|------------------------------|----------------|------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| <u>Gräser</u>                |                |                  |                     |                      |                      |
| <i>Agrostis capillaris</i>   | Gudrun         | Österreich       | x                   | F                    | -                    |
| <i>Arrhenatherum elatius</i> | Arone          | Deutschland      | x                   | T                    | -                    |
| <i>Bromus erectus</i>        | Ökotyp         | Österreich       | 3                   | F                    | 61,7 (±5,5)          |
| <i>Bromus inermis</i>        | Keszthelyi-51  | Ungarn           | 4                   | -                    | 51,2 (±3,8)          |
| <i>Cynosurus cristatus</i>   | Cristal        | Österreich       | 5                   | F                    | -                    |
| <i>Dactylis glomerata</i>    | Beluga         | Frankreich       | 5                   | F                    | 63,6 (±2,5)          |
| <i>Dactylis glomerata</i>    | Tandem         | Österreich       | 5                   | F                    | 75,6 (±3,3)          |
| <i>Festuca arundinacea</i>   | Keszthelyi-50  | Ungarn           | 7                   | T                    | 71,0 (±6,1)          |
| <i>Festuca ovina</i>         | Bornito        | Deutschland      | x                   | F                    | -                    |
| <i>Festuca pratensis</i>     | Pradel         | Schweiz          | 6                   | F                    | 79,0 (±7,5)          |
| <i>Festuca pratensis</i>     | Preval         | Schweiz          | 6                   | F                    | 81,6(±10,3)          |
| <i>Festuca rubra</i>         | Echo           | Dänemark         | 6                   | F                    | 59,2 (±2,3)          |
| <i>Festuca rubra</i>         | Gondolin       | Dänemark         | 6                   | F                    | -                    |
| <i>Festulolium</i>           | Hycor          | Tschechoslowakei | -                   | -                    | 88,5 (±5,2)          |
| <i>Lolium perenne</i>        | Guru           | Österreich       | 5                   | F                    | -                    |
| <i>Lolium perenne</i>        | Tivoli         | Dänemark         | 5                   | F                    | -                    |
| <i>Poa angustifolia</i>      | Ökotyp         | Deutschland      | -                   | -                    | 58,4 (±3,7)          |
| <i>Poa pratensis</i>         | Lato           | Deutschland      | 5                   | F                    | -                    |
| <i>Poa pratensis</i>         | Oxford         | Niederlande      | 5                   | F                    | 43,4 (±4,8)          |
| <i>Trisetum flavescens</i>   | Gunther        | Austria          | x                   | F                    | -                    |
| <u>Kräuter</u>               |                |                  |                     |                      |                      |
| <i>Cichorium intybus</i>     | Ökotyp         | -                | 4                   | T                    | 41,8(±10,4)          |
| <i>Daucus carota</i>         | Ökotyp         | Österreich       | 4                   | T                    | 23,8 (±2,9)          |
| <i>Pimpinella saxifraga</i>  | Ökotyp         | Deutschland      | 3                   | T                    | 27,6 (±5,2)          |
| <i>Plantago lanceolata</i>   | Ökotyp         | -                | x                   | T                    | 41,8(±11,3)          |
| <i>Sanguisorba minor</i>     | Ökotyp Vicenca | Italien          | 3                   | T                    | -                    |
| <u>Leguminosen</u>           |                |                  |                     |                      |                      |
| <i>Lotus corniculatus</i>    | Rocco          | Germany          | 4                   | F                    | -                    |
| <i>Medicago sativa</i>       | Franken neu    | Deutschland      | 4                   | T                    | -                    |
| <i>Onobrychis viciifolia</i> | Ökotyp         | -                | 3                   | T                    | 30,8 (±4,9)          |
| <i>Trifolium pratense</i>    | Tedi           | Frankreich       | 5                   | T                    | -                    |
| <i>Trifolium repens</i>      | Milkanova      | Dänemark         | 5                   | F                    | -                    |

<sup>a</sup> F-Wert nach Ellenberg *et al.* (1992); x=indifferent

<sup>b</sup> WT-Wert nach Dierschke und Briemle (2002); F=Flach- bis Mitteltiefwurzler, T=Tiefwurzler

<sup>c</sup> Qualitätsertrag nach Buchgraber und Gindel (2004); Ertragsdaten stammen von einem Feldversuch der Versuchstation Piber (LFZ Raumberg-Gumpenstein) aus dem Jahr 2006

### *Vernalisation*

Das Saatgut der einzelnen Arten und Sorten wurde entsprechend ihrer Keimdauer gruppiert, angekeimt und anschließend in einer Kühlkammer bei 4°C 50 Tage lang vernalisiert. Die Keimlinge wurden einmal wöchentlich mit Wasser versorgt, wobei in der Kühlkammer Bedingungen von ca. 30% Luftfeuchtigkeit und Dunkelheit herrschten. Nach der Vernalisation, wurden die Keimlinge nach Größe aussortiert (ca. 10-20 mm; um alle Arten und Sorten in einem ungefähr gleichen Entwicklungsstadium zu halten) und in Anzuchtplatten ins Glashaus überführt (Abb. 2). Im 2-Blattstadium wurden die Pflanzen in Pflanzröhren im Glashaus ausgepflanzt.



**Abbildung 2: Vernalisierte Keimlinge vor der Überführung in das Gewächshaus**

### *Gewächshausversuch*

Der Gewächshausversuch 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 (Abb. 3), wobei der Block 2 optimale Wasserversorgung (Feldkapazität) und Block 1 reduzierte Wasserversorgung (schrittweise Reduzierung der Wasserversorgung) waren. Die Nährstoffversorgung wurde dem Nährstoffbedarf angepasst und erfolgte zum Einen über einen Flüssigdünger (6% N, 5% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 5% K<sub>2</sub>O) der dem Gießwasser zugesetzt wurde und zum Anderen durch einen Langzeitdünger (Lewatit HD 50; 1,9% N 0,8% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 1,8% K<sub>2</sub>O) der gleichmäßig dem Quarzsand zugemischt wurde und als Ionenaustauscher diente.



### *Pflanzröhren*

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 (Abb. 4 und 5). Um ein freies dränen des Gießwassers zu ermöglichen, wurde das untere Ende der Röhre mit einem Vlies abgedeckt. Zusätzlich wurden die Rohre mit einer weißer PE - Folie umwickelt ein zu starkes erwärmen des Substrates zu verhindern.



Abbildung 3: Versuchsanordnung im Gewächshaus

### *Induzierung von Trockenstress*

Nach einer Etablierungsphase von 1 Monat (Gießmenge konstant bei 100 ml/Röhre und Tag), wurde bei den Varianten des Blockes 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% aufgegonnen. Diese Prozedur wurde in wöchentlichen Schritten auf 50 und abschließend auf 30% der Feldkapazität auf Block 1 angewandt.



**Abbildung 4: Gras nach der Auspflanzung**



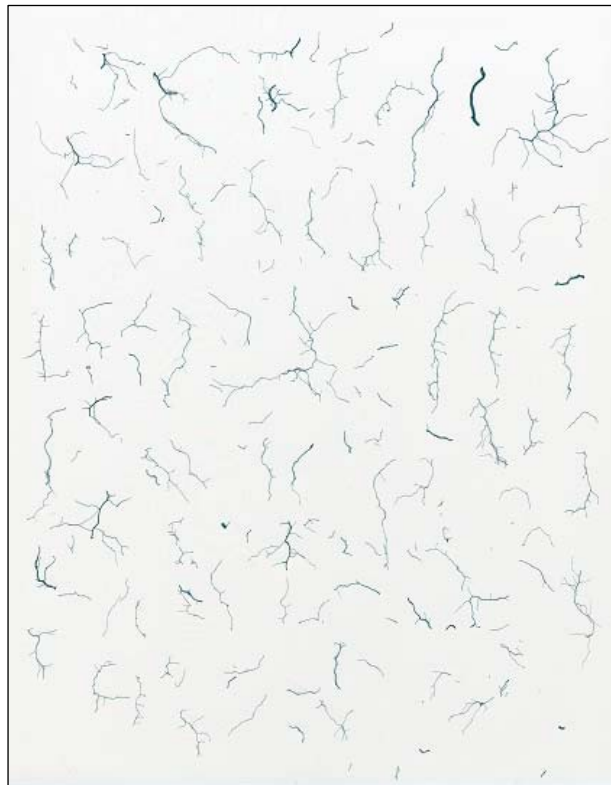
**Abbildung 5: Kraut nach der Auspflanzung**

### *Quantifizierung von Pflanzenentwicklung und -wachstum*

Während der Versuchsperiode, wurden phänologische Parameter wie etwa Blattanzahl, Bestockungsbeginn, Beginn Schossen, Blühbeginn und Anzahl Nodien durch Bonitur ermittelt. Um die Phänologie über die Arten und Sorten hinweg zeitlich darstellen zu können, wurde die Temperatur im Gewächshaus mittels Temperaturdatenlogger Testo171 (30 min Messintervall) aufgezeichnet und die Temperatursumme über die Entwicklungsdauer berechnet. Nach der Ernte der Pflanzen (30.06.) wurde der Parameter oberirdische Biomasse ermittelt.

### *Erhebung von Wurzelparametern*

Um den Einfluss von Trockenheit auch unterirdisch quantifizieren zu können, wurden die Pflanzröhren nach Ernte der Biomasse bei  $-20^{\circ}\text{C}$  tief gefroren und in einem nächsten Schritt 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  $10^{\circ}\text{C}$  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. Abbildung 6 zeigt einen Wurzelscann vor der Auswertung. Da diese Methode relativ zeitaufwendig ist, konnten diese Parameter nur für ausgewählte Arten ermittelt werden. Nach dem Scannen wurden die Wurzelproben bei  $105^{\circ}\text{C}$  getrocknet und die Wurzel trockenmasse ermittelt.



**Abbildung 6: Wurzelscann von *Arrhenatherum elatius* in der Wurzeltiefe 10-20 cm**

### *Statistische Analyse*

SAS Generalized Linear Models procedure (GLM) wurde verwendet um die Versuchsmittelwerte und Blockeffekte zu bestimmen (SAS Institute, 2000).

## Ergebnisse

Um Gräser, Kräuter und Leguminosen hinsichtlich Trockenheitstoleranz bewerten zu können, sind sowohl qualitative Größen wie Parameter der Pflanzenentwicklung (Blatt-, Nodienanzahl) als auch quantitative Messgrößen wie oberirdische Biomasse, Wurzelmasse und –tiefenverteilung von Bedeutung.

### *Pflanzenentwicklung und Trockenheitstoleranz*

Um Arten und Sorten hinsichtlich Eignung für Trockenstandorte fachlich korrekt vergleichen zu können, müssen diese in Bezug auf die phänologische Entwicklung bewertet werden. In dieser Studie ist vor allem der Bezug zum Entwicklungsstadium in der Trockenstress induziert wurde bzw. wie sich die weitere Entwicklung auf Messgrößen wie Biomasse, Wurzelgewicht und -verteilung auswirkt wichtig. Abbildung 7 zeigt das Entwicklungsstadium von Gräsern zum Zeitpunkt der Trockenstressinduzierung und die weitere phänologische Entwicklung in Block 1.

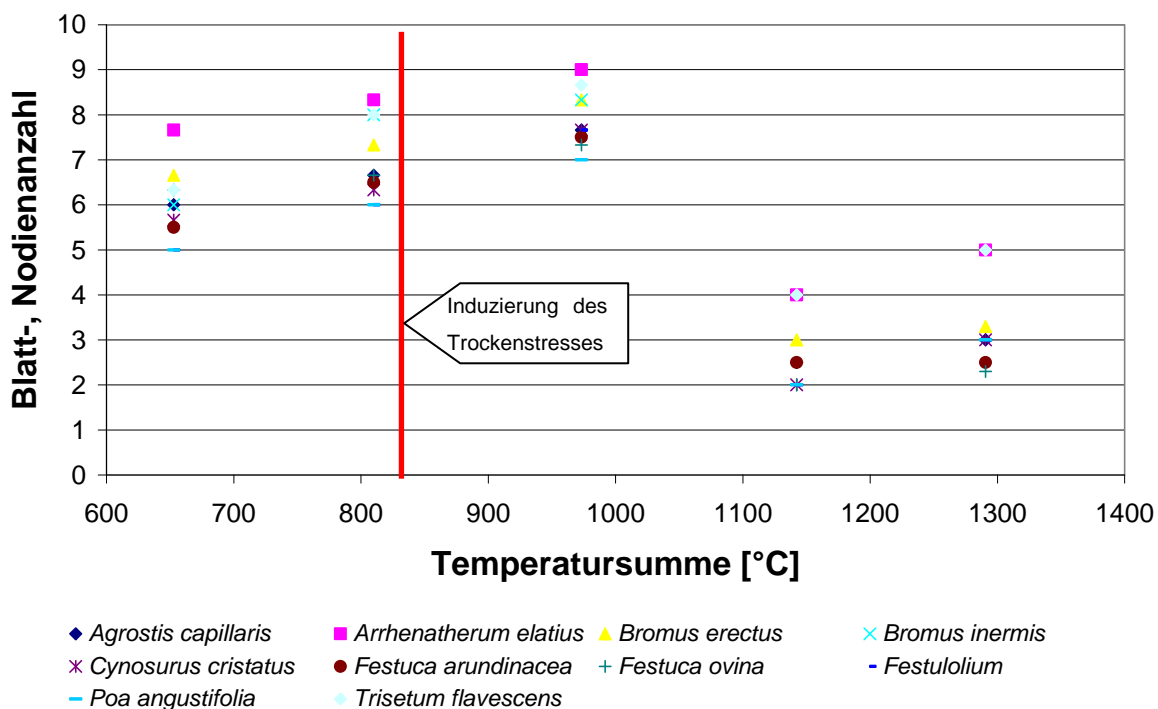
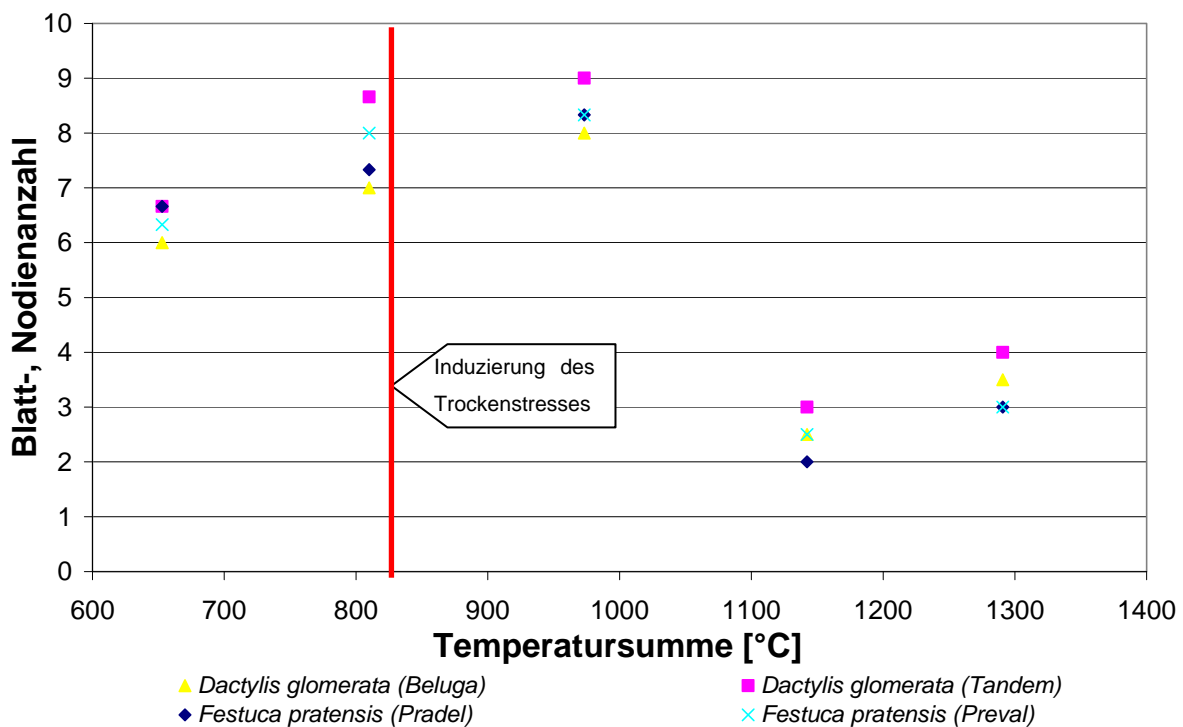


Abbildung 7: Blatt-, und Nodienanzahl von Gräsern in Block 1 in Abhängigkeit der Entwicklungsdauer ab Zeitpunkt Aussaat

Gräser wie z.B. *Arrhenatherum elatius* oder *Trisetum flavescens* waren bei der Stressinduzierung bereits im 8-Blattstadium wobei *Poa angustifolia* oder *Cynosurus cristatus* erst im 6-Blattstadium waren. Das Entwicklungsstadium bei Versuchsende zeigt in etwa das gleiche Bild, wobei es für einige Arten eine Verschiebung ergab.

Da neben dem Artenvergleich in dieser Studie auch die Sortenunterschiede von Interesse waren, ist für fünf agronomisch wichtige Grasarten *Dactylis glomerata*, *Festuca pratensis*, *Festuca rubra*, *Lolium perenne* und *Poa pratensis* ein Sortenvergleich hinsichtlich Entwicklungsunterschiede vorgesehen. Abbildung 8 zeigt die Sortenunterschiede in der Entwicklung der Knaulgrassorten Beluga und Tandem sowie der Wiesenschwingelsorten Pradel und Preval. Beim Vergleich über die Sorten hinweg fällt auf, dass sowohl Tandem als auch Preval zum Zeitpunkt der Trockenstressinduzierung weiter entwickelt waren als die Vergleichssorte. Zum Zeitpunkt Versuchsende zeigte sich eine Verschiebung der Reihenfolge zu Gunsten von Beluga. Die Entwicklungsunterschiede der Rotschwingelsorten Echo Gondolin bzw. der Englisch Raygrassorten Guru und Tivoli und der Wiesenrispensorten Lato und Oxford sind in Abbildung 9 aufgetragen. Sortenunterschiede hinsichtlich Entwicklung bei der Trockenstressinduzierung waren beim Rotschwingel nahezu keine, bei Englisch Raygrass- und Wiesenrispensorten waren Entwicklungsunterschiede erkennbar. Bei Versuchsende waren alle Arten im ungefähr gleichen Entwicklungsstadium bis auf die Wiesenrispensorte Oxford die in der Entwicklung etwas verzögert war.



**Abbildung 8: Blatt-, und Nodienanzahl von Knaulgras- und Wiesenschwingelsorten in Block 1 in Abhängigkeit der Entwicklungsdauer ab Zeitpunkt Aussaat**

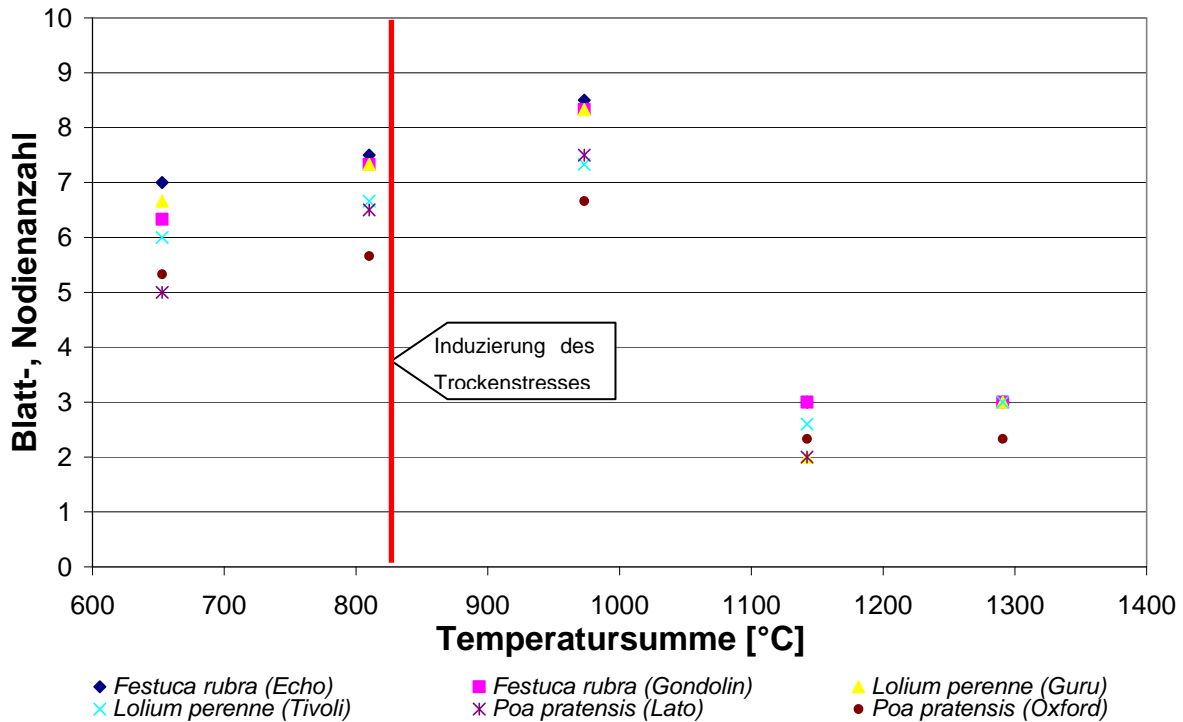
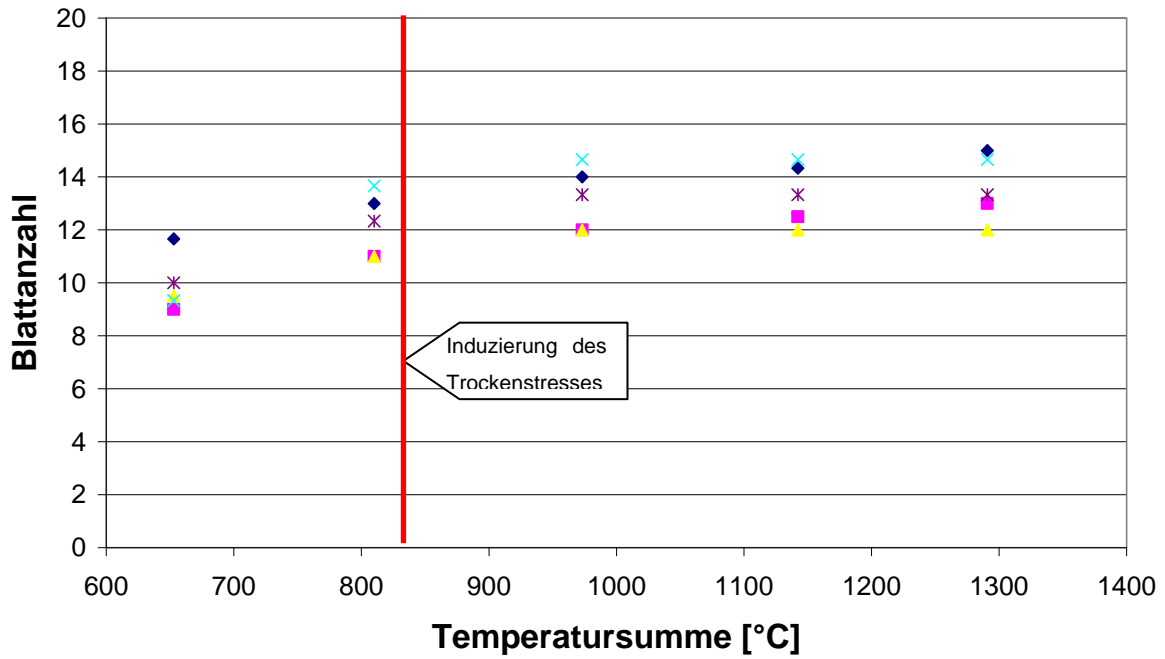


Abbildung 9: Blatt-, und Nodienanzahl von Rotschwengel-, Englisch Raygras-, und Wiesenrispensorten in Block 1 in Abhängigkeit der Entwicklungsdauer ab Zeitpunkt Aussaat

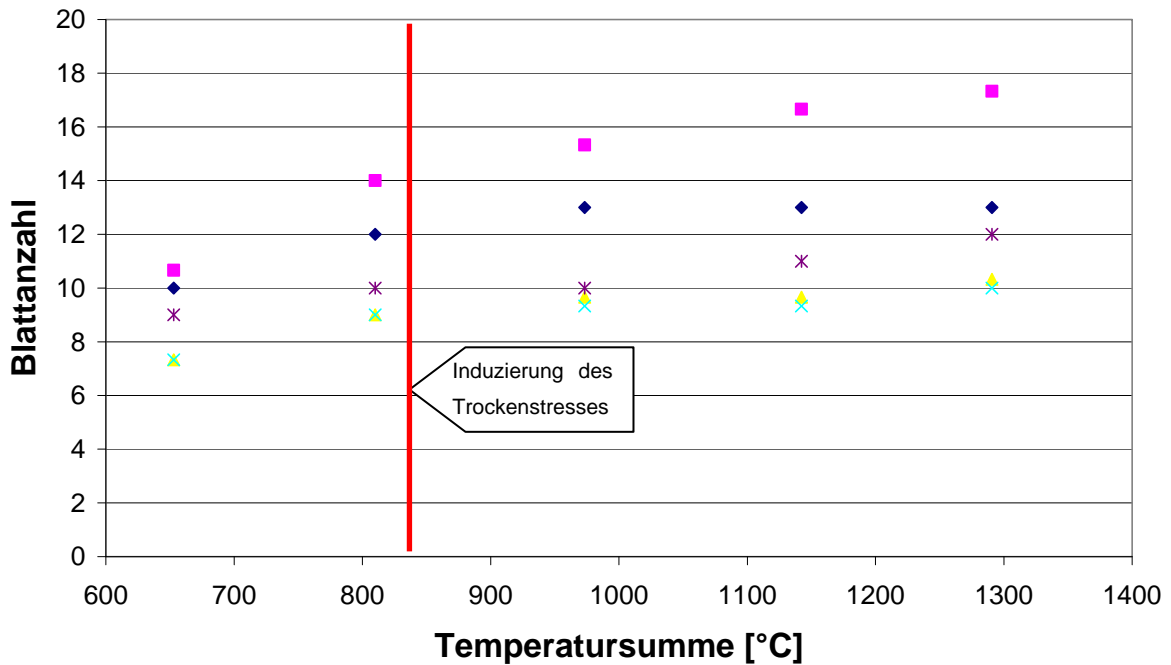
Die Entwicklungsunterschiede von Kräutern und Leguminosen darzustellen stellt sich als komplexer heraus, da zum Einen keine definierte Boniturskala für diese Arten existiert und zum Anderen viele Kräuter 2-jährig sind und daher im Ansaatjahr nicht in die generative Phase übergehen. Um eine halbwegs nachvollziehbare Quantifizierung der Entwicklungsunterschiede darstellen zu können, sind die Darstellungen auf die Anzahl der Blätter beschränkt. Abbildung 10 und 11 zeigen die Anzahl Blätter in Block 1 der geprüften Kräutern und Leguminosen. *Plantago lanceolata* hatte bei der Stressinduzierung 14 Blätter ausgebildet, *Pimpinella saxifraga* und *Daucus carota* erst 11. Bei den Kräutern und Leguminosen zeigte sich generell keine Entwicklungsverzögerung bzw. -beschleunigung in Block 1 über alle Arten hinweg.

Wenn man sich den Vergleich zwischen Blatt-, Nodienanzahl und Sprosstrockenmasse bei der Trockenstressinduzierung und beim Versuchsende ansieht (Abb. 12 und Abb.13) fällt auf, dass der Zusammenhang bei den Kräutern und Leguminosen beim Versuchsende vergleichsweise höher war als bei den Gräsern. Die Sprosstrockenmasse der Arten *Arrhenatherum elatius* und *Lolium perenne* (Guru) – rot umrandet – zeigten an beiden Zeitpunkten einen geringen Zusammenhang mit der phänologischen Entwicklung.



◆ *Cichorium intybus* ■ *Daucus carota* ▲ *Pimpinella saxifraga* × *Plantago lanceolata* ✱ *Sanguisorba minor*

Abbildung 10: Blattanzahl von Kräutern in Block 1 in Abhängigkeit der Entwicklungsdauer ab Zeitpunkt Aussaat



◆ *Lotus corniculatus* ■ *Medicago sativa* ▲ *Onobrychis viciifolia* × *Trifolium pratense* ✱ *Trifolium repens*

Abbildung 11: Blattanzahl von Leguminosen in Block 1 in Abhängigkeit der Entwicklungsdauer ab Zeitpunkt Aussaat

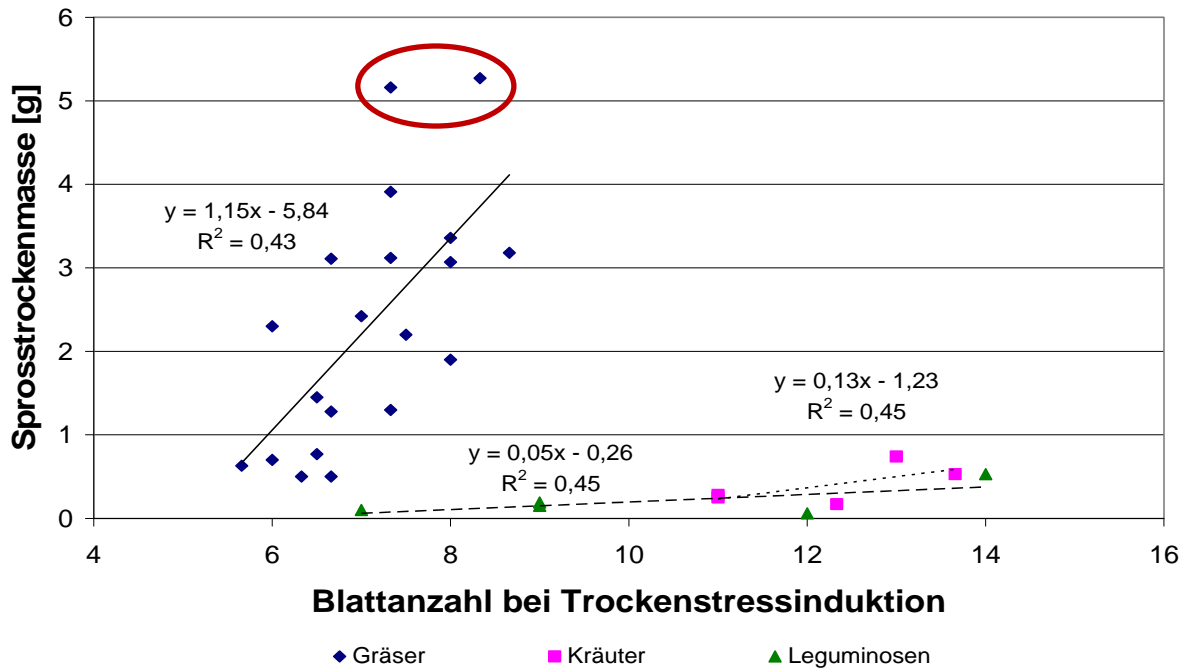


Abbildung 12: Zusammenhang von Blattanzahl und Sprosstrockenmasse in der trockenstressinduzieren Variante (Block 1) zum Zeitpunkt der Trockenstressinduktion

### Wurzel / Spross-Verhältnis und Trockenheitstoleranz

Ein weiteres wichtiges Merkmal zur Bewertung der Trockenheitstoleranz ist das Wurzel / Spross-Verhältnis. Das Wurzel / Spross-Verhältnis ist ein Maß für die Biomassenallokation, also wie viele Assimilate der Blätter in die Wurzel transportiert werden. Tabelle 4 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, die eine Art bzw. Sorte eindeutig von allen anderen unterscheiden würde. Die Gruppe mit dem höchsten Wurzel / Spross-Verhältnis beinhaltet die Arten *Bromus inermis*, *Cynosurus cristatus* und *Lolium perenne* (Guru). Beim Vergleich zwischen Block 1 und 2 im Merkmal Wurzel / Spross-Verhältnis bei den Kräutern und Leguminosen war lediglich *Pimpinella saxifraga* signifikant höher im Block 1 als im Block 2. Die Gruppe mit dem höchsten Wurzel / Spross-Verhältnis über die Kräuter hinweg beinhaltet die Arten *Cichorium intybus* und *Daucus carota*. 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. Die Arten und Sorten innerhalb der Blöcke, unterschieden sich bei den Gräsern und Kräutern nicht eindeutig, jedoch *Medicago sativa* war sowohl beim Merkmal Wurzelrockenmasse als auch Sprosstrockenmasse im Block 1 signifikant unterschiedlich zu allen anderen Leguminosen.



**Tabelle 3: Wurzeltrockenmasse (TM Wurzel) und Sprosstrockenmasse (TM Spross) sowie das Wurzel / Spross-Verhältnis (W/S Verh.) der geprüften Arten und Sorten**

| Art                                   | Sorte         | Block 1       |               |           | Block 2       |               |           |
|---------------------------------------|---------------|---------------|---------------|-----------|---------------|---------------|-----------|
|                                       |               | TM Wurzel [g] | TM Spross [g] | W/S Verh. | TM Wurzel [g] | TM Spross [g] | W/S Verh. |
| <u>Gräser</u>                         |               |               |               |           |               |               |           |
| <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 <sub>5</sub>                      |               | 0,30          | 2,68          | 0,10      | 0,48          | 3,82          | 0,10      |
| LSD <sub>5</sub> (Block1 und Block 2) |               | 0,28          | 2,39          | 0,07      | 0,28          | 2,39          | 0,07      |
| <u>Kräuter</u>                        |               |               |               |           |               |               |           |
| <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 <sub>5</sub>                      |               | 0,38          | 2,13          | 0,08      | 0,86          | 3,81          | 0,12      |
| LSD <sub>5</sub> (Block1 und Block 2) |               | 0,39          | 2,00          | 0,07      | 0,39          | 2,00          | 0,07      |
| <u>Leguminosen</u>                    |               |               |               |           |               |               |           |
| <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 <sub>5</sub>                      |               | 0,24          | 1,38          | 0,17      | 0,45          | 5,19          | 0,11      |
| LSD <sub>5</sub> (Block1 und Block 2) |               | 0,21          | 2,31          | 0,10      | 0,21          | 2,31          | 0,10      |

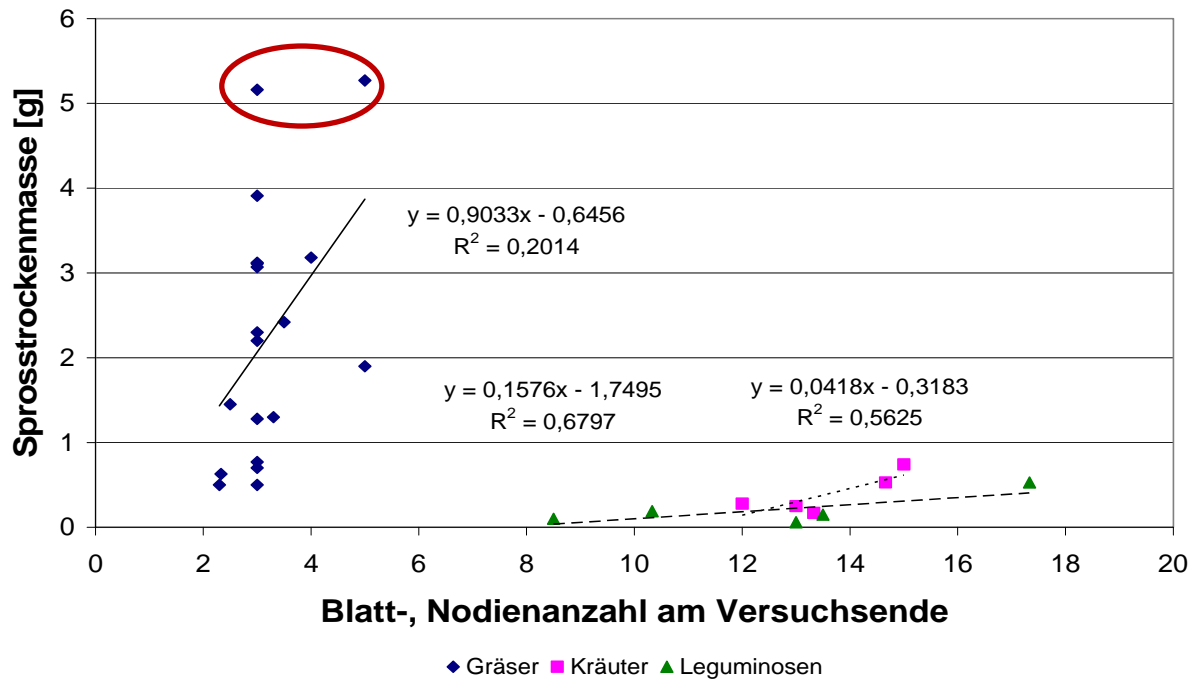


Abbildung 13: Zusammenhang von Blatt-, Nodienanzahl und Sprosstrockenmasse in der trockenstressinduzierten Variante (Block 1) zum Zeitpunkt der Ernte

### Wurzelmasserverteilung und Trockenheitstoleranz

Um die Ursachen von Trockenheitstoleranz genauer bewerten zu können, müssen vor allem Wurzelparameter wie Wurzeltiefe und Wurzelmasseverteilung über die gesamte Wurzeltiefe untersucht werden. Abbildungen 14a-e zeigen 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. Für *Agrostis capillaris*, *Festuca arundinacea*, *Festuca pratensis* (Preval), und *Festuca rubra* (Gondolin) war die Wurzeltiefe in Block 2 größer als in Block 1. 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 lässt. Die anderen Gräser zeigten Reaktionen in die eine oder andere Richtung, die Anteile waren aber nur von geringer Bedeutung. Auch sortenbedingte Unterschiede waren nur gering und bewegten sich in einem kleinen Bereich. Die einzige Ausnahme war *Dactylis glomerata* (Tandem) welche die Wurzelmasse in Block 2 in die Tiefe (10-20 cm) verlagerte.

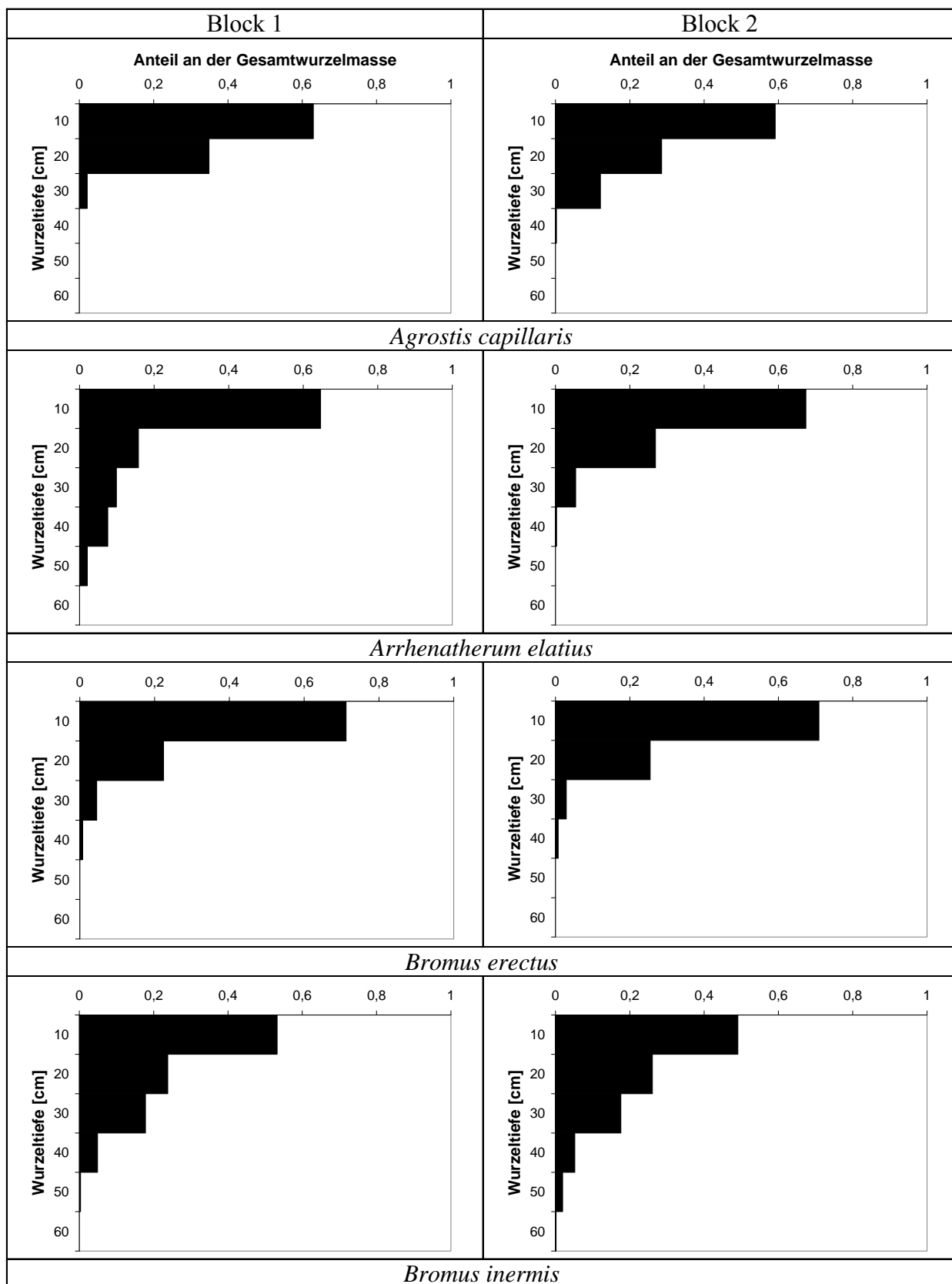


Abbildung 14a: Anteil der Gesamtwurzelmasse in den unterschiedlichen Wurzeltiefen der geprüften Gräser

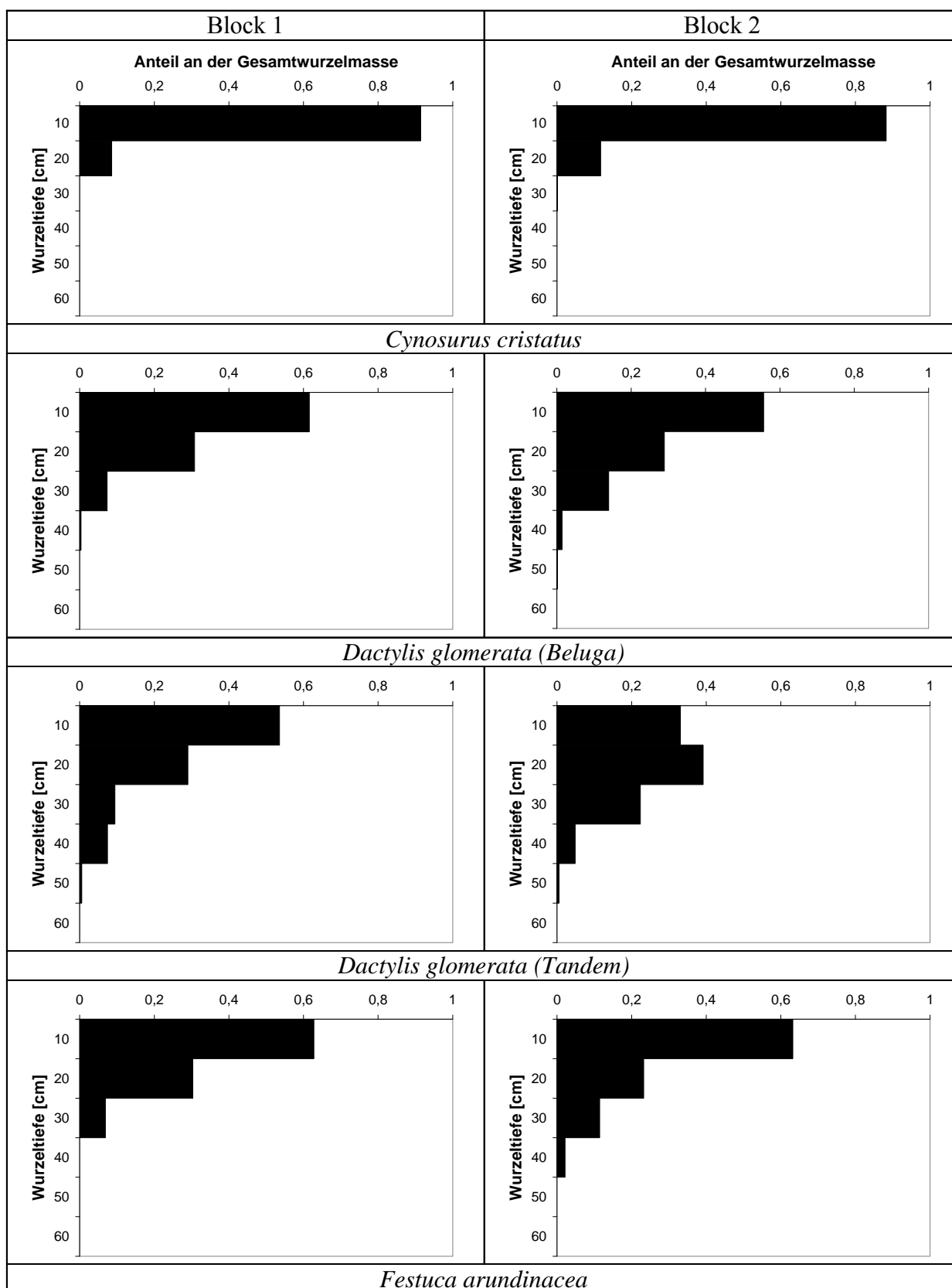


Abbildung 14b: Anteil der Gesamtwurzelmasse in den unterschiedlichen Wurzeltiefen der geprüften Gräser

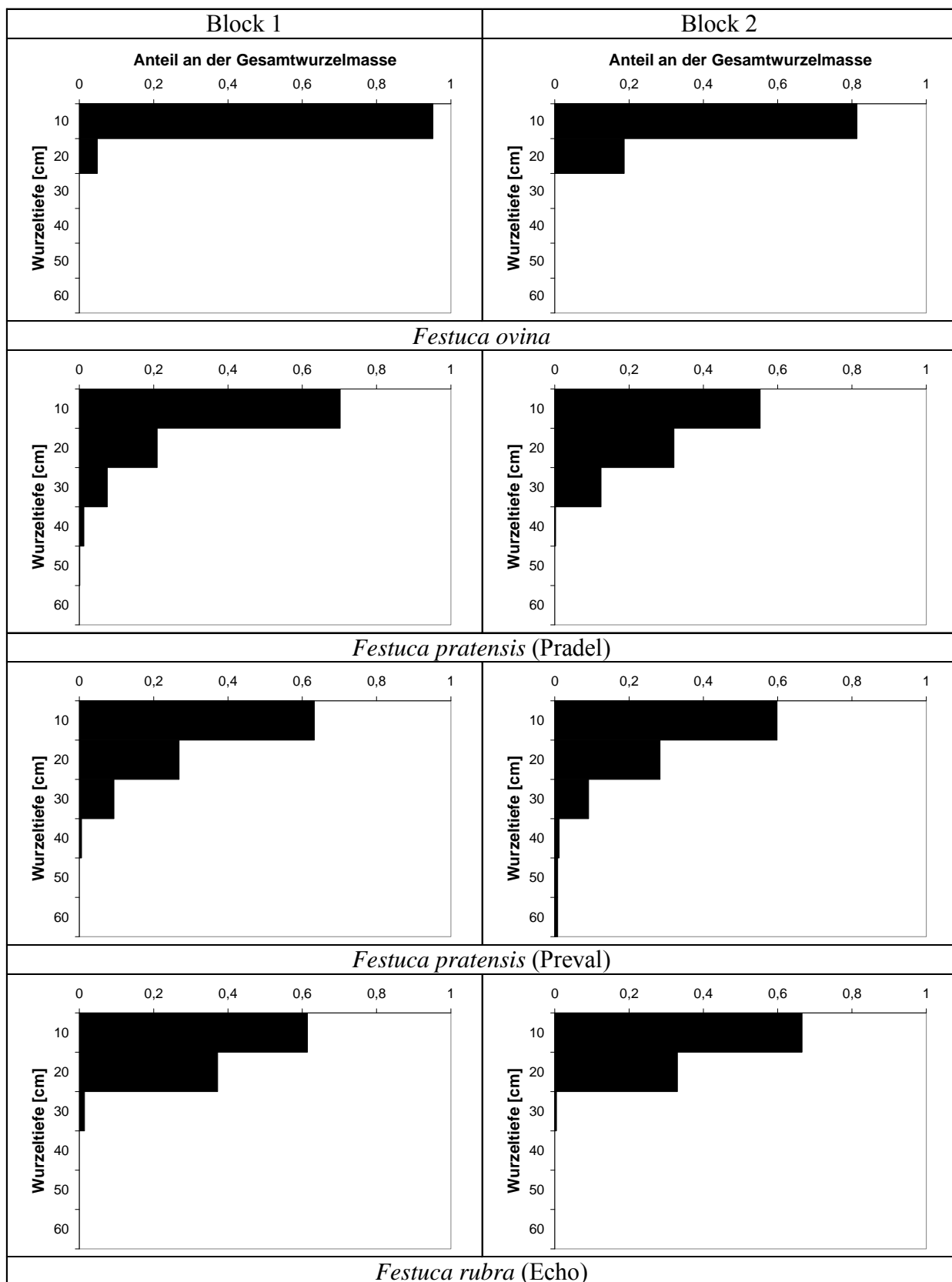


Abbildung 14c: Anteil der Gesamtwurzelmasse in den unterschiedlichen Wurzeltiefen der geprüften Gräser

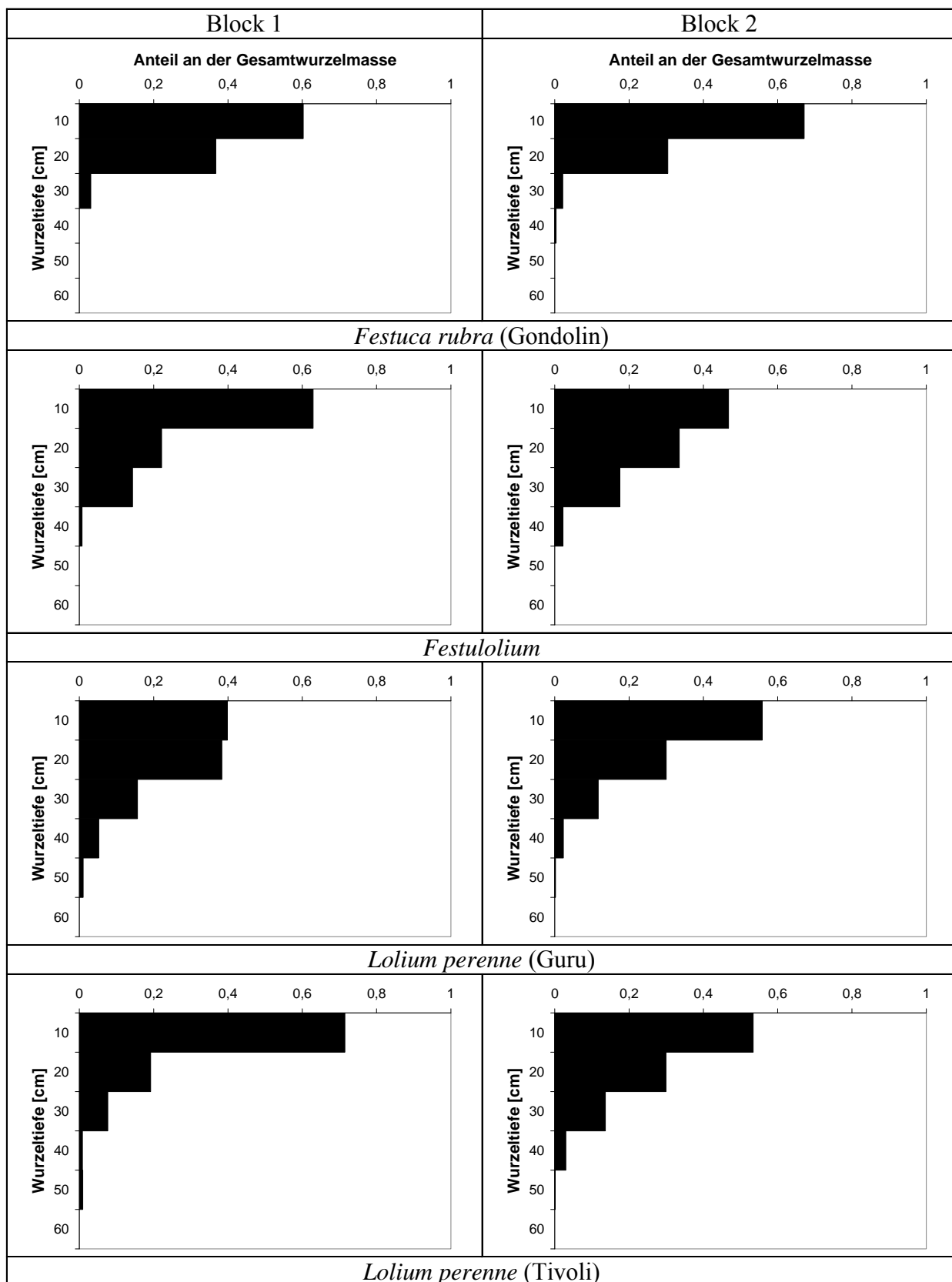


Abbildung 14d: Anteil der Gesamtwurzelmasse in den unterschiedlichen Wurzeltiefen der geprüften Gräser

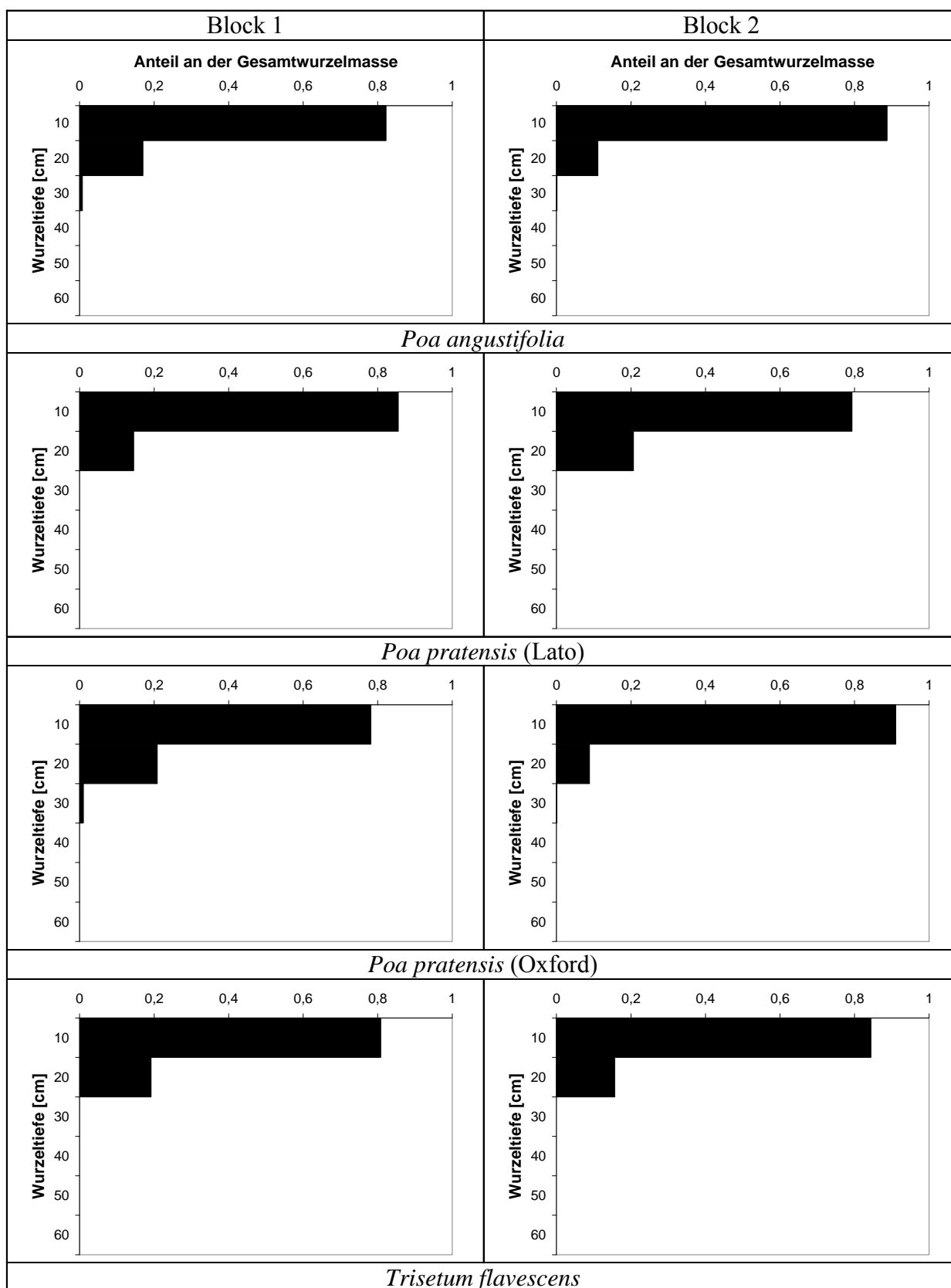


Abbildung 14e: Anteil der Gesamtwurzelmasse in den unterschiedlichen Wurzeltiefen der geprüften Gräser

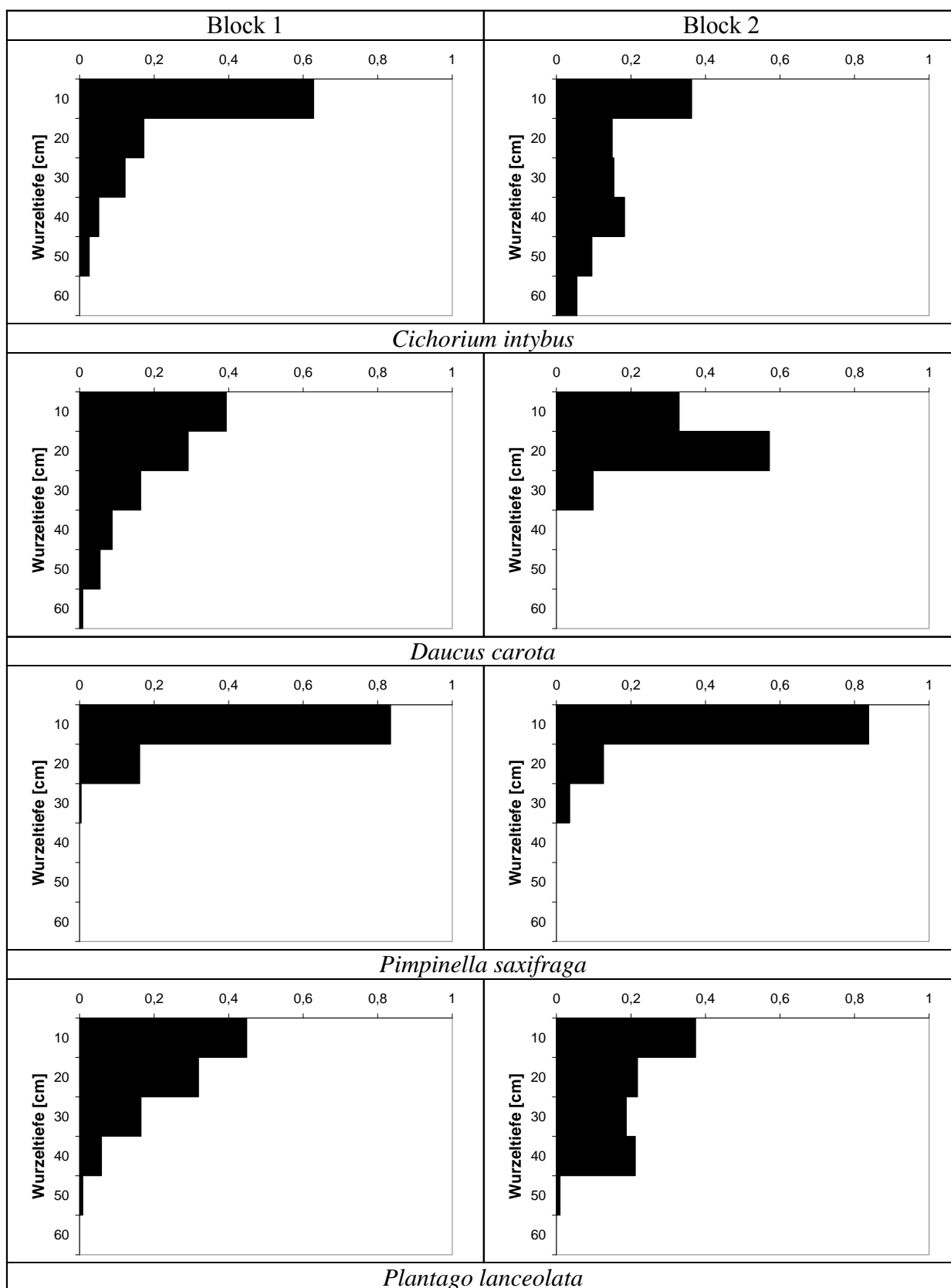


Abbildung 15a: Anteil der Gesamtwurzelmasse in den unterschiedlichen Wurzeltiefen der geprüften Kräuter



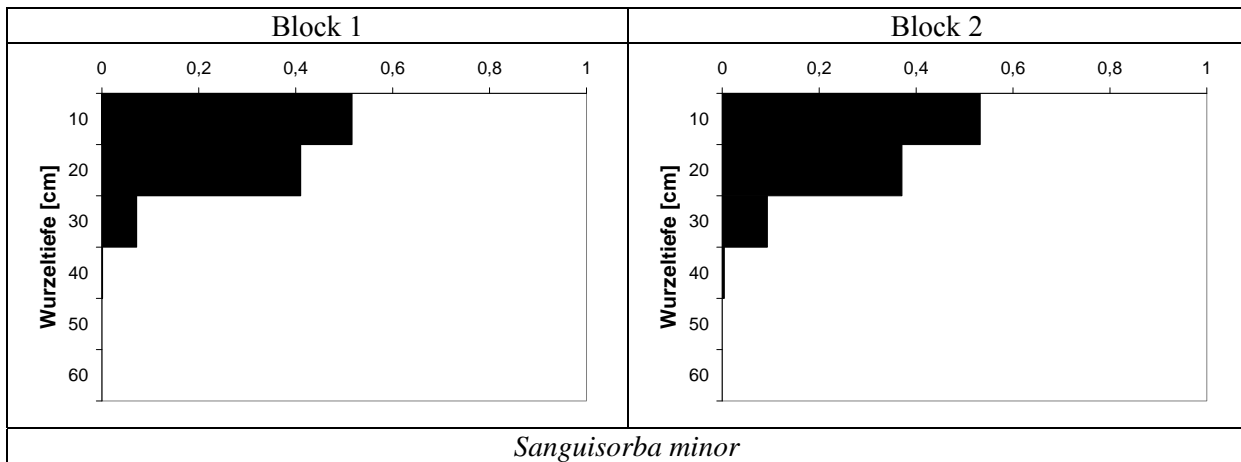


Abbildung 15b: Anteil der Gesamtwurzelmasse in den unterschiedlichen Wurzeltiefen der geprüften Kräuter

Abbildungen 15a und 15b zeigen 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. Bei *Cichorium intybus* erfolgte das Gleiche in Block 2. Die anderen Kräuter zeigten keine wesentlichen Veränderungen bei der Induzierung von Trockenstress im Vergleich zur ungestressten Variante.

Die Verteilung der Gesamtwurzelmasse der geprüften Leguminosen sind in Abbildung 16a und 16b 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 Trockenstress auf die Wurzeltiefenverteilung festzustellen.

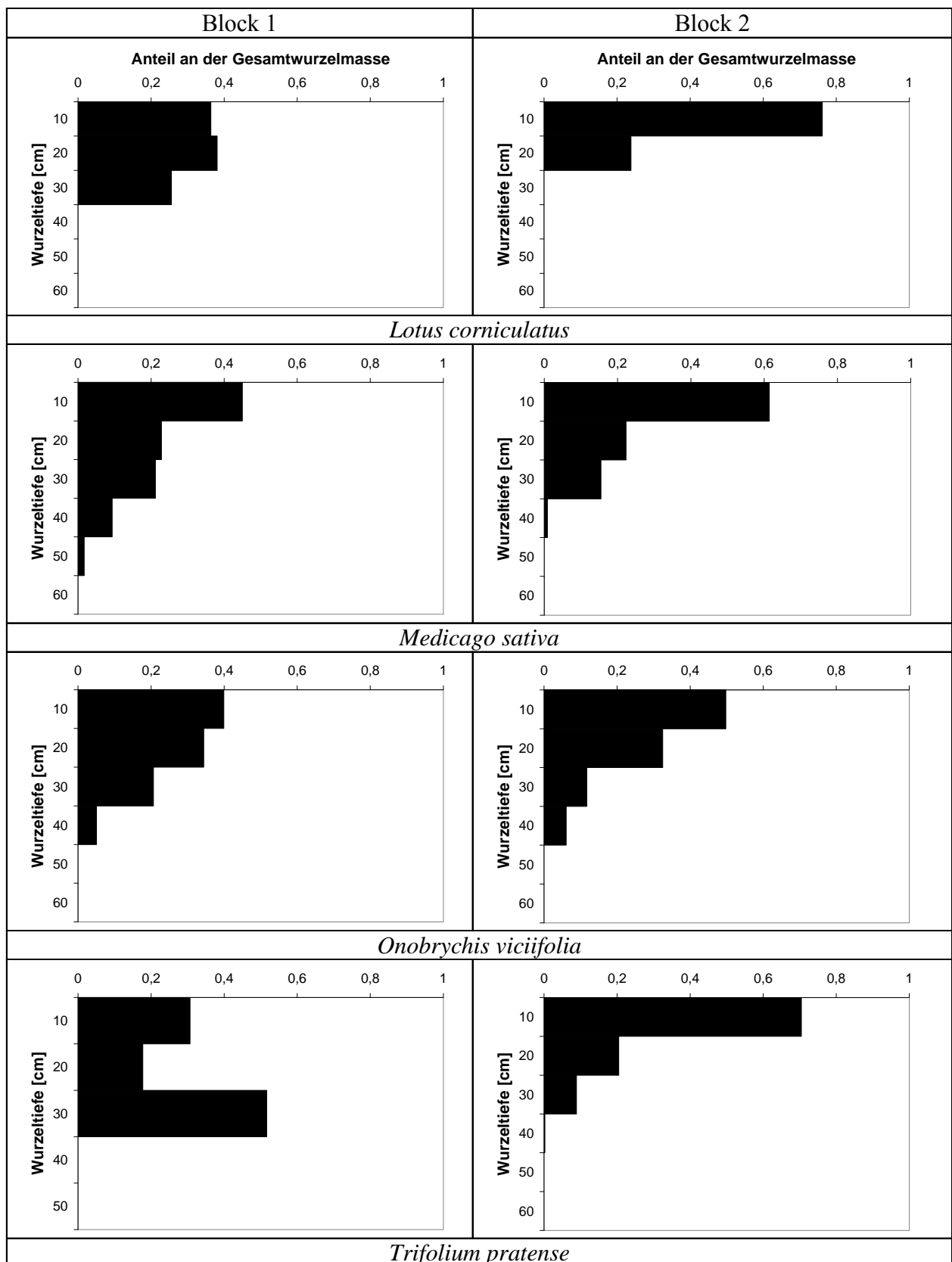


Abbildung 16a: Anteil der Gesamtwurzelmasse in den unterschiedlichen Wurzeltiefen der geprüften Leguminosen

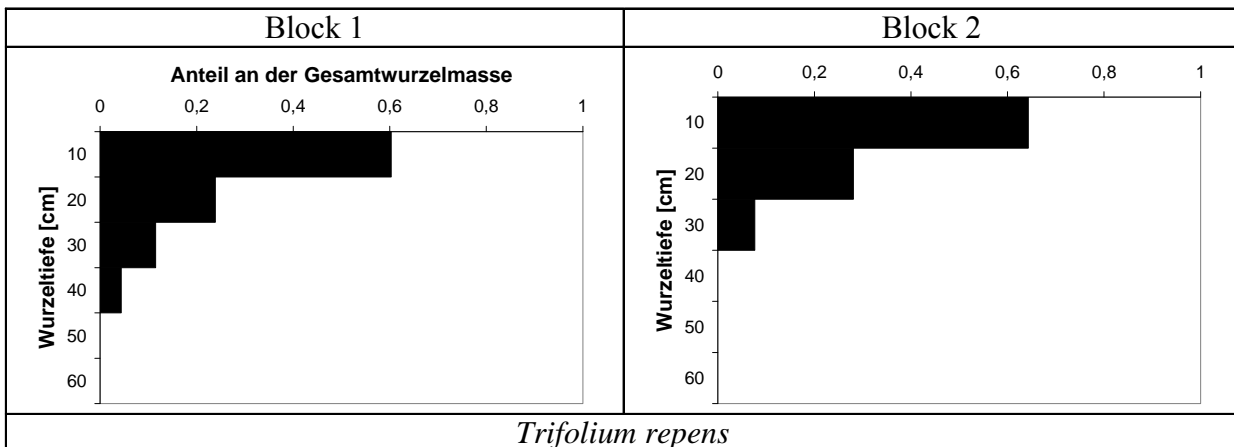


Abbildung 16b: Anteil der Gesamtwurzelmasse in den unterschiedlichen Wurzeltiefen der geprüften Leguminosen

*Wurzeloberfläche und –länge und Trockenheitstoleranz*

Wurzellänge und Wurzeloberfläche sind Parameter die das Potential Wasser aufzunehmen aufzeigen sollen. Abbildungen 17a und 17b bzw. 18a und 18b zeigen 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 tiefere 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.

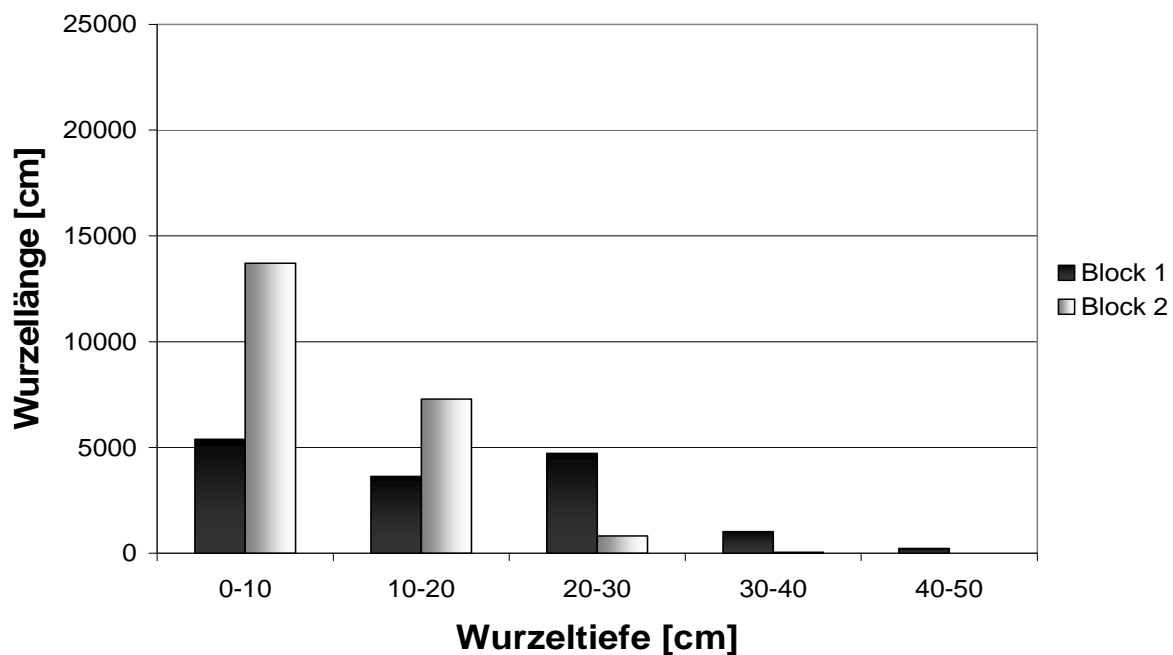


Abbildung 17a: Wurzellängenverteilung über die Wurzeltiefe von *Arrhenatherum elatius*

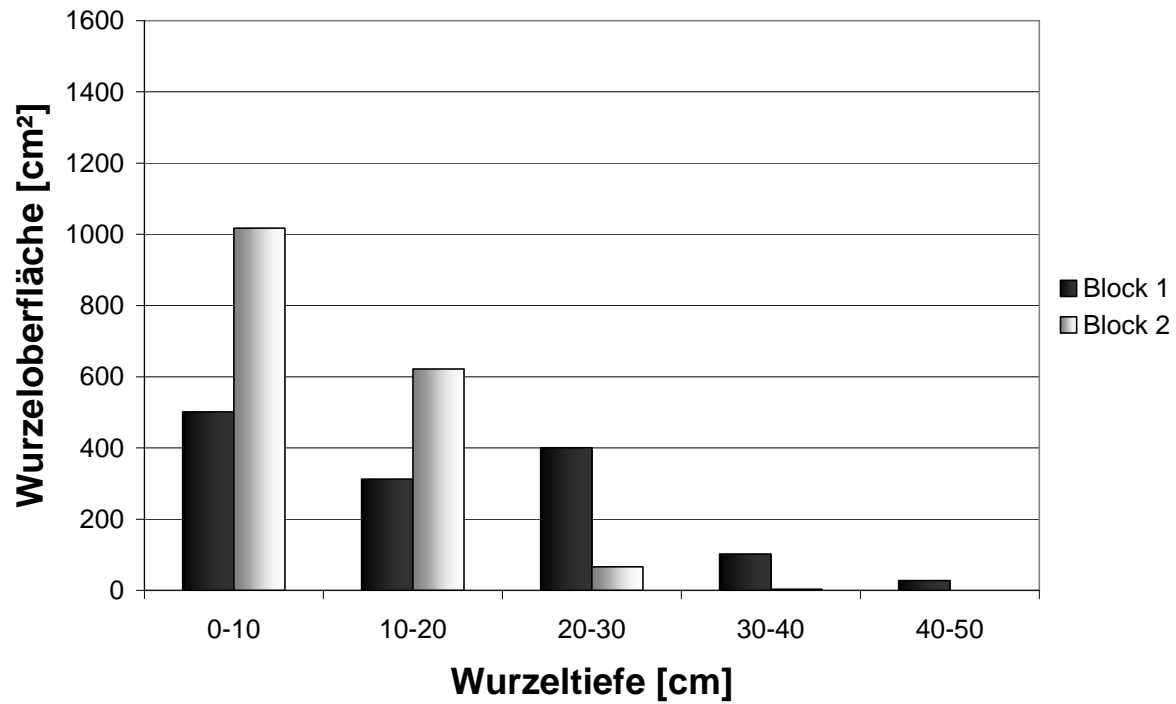


Abbildung 17b: Wurzeloberflächenverteilung über die Wurzeltiefe von *Arrhenatherum elatius*

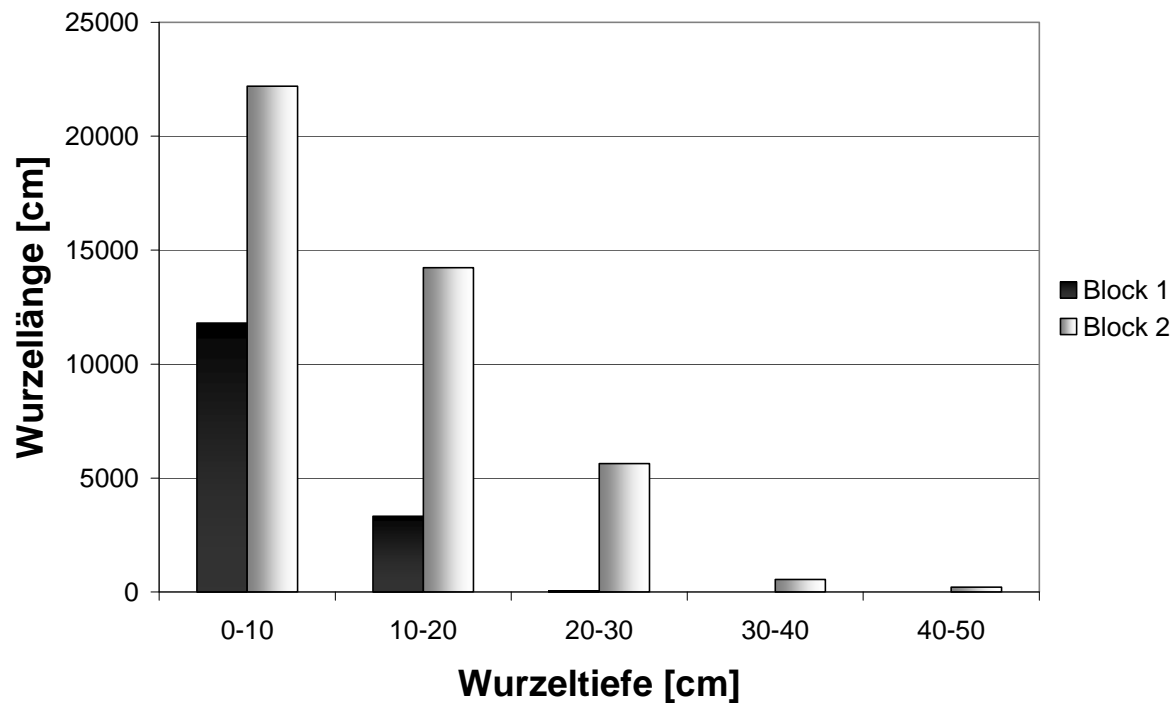
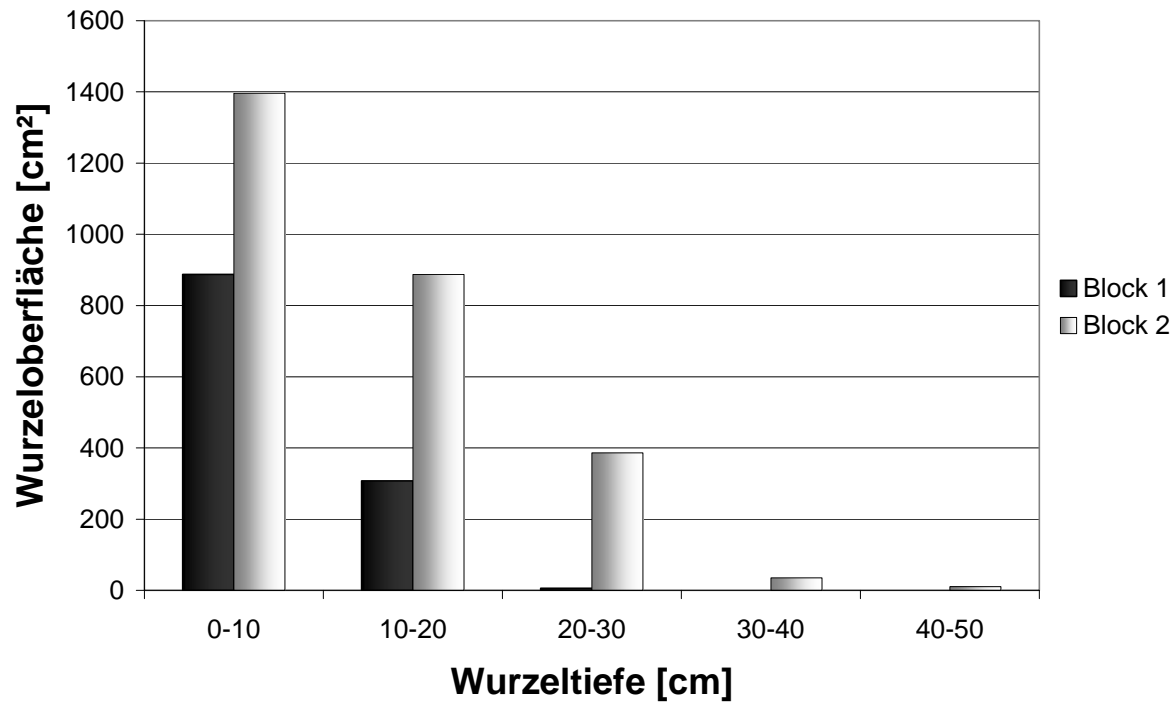


Abbildung 18a: Wurzellängenverteilung über die Wurzeltiefe von *Lolium perenne* (Tivoli)



**Abbildung 18b: Wurzeloberflächenverteilung über die Wurzeltiefe von *Lolium perenne* (Tivoli)**

Bei den Kräutern wurden die Arten *Pimpinella saxifraga* und *Plantago lanceolata* hinsichtlich Wurzellänge und Wurzeloberfläche untersucht (Abb. 19a und 19b bzw. 20a und 20b). 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.

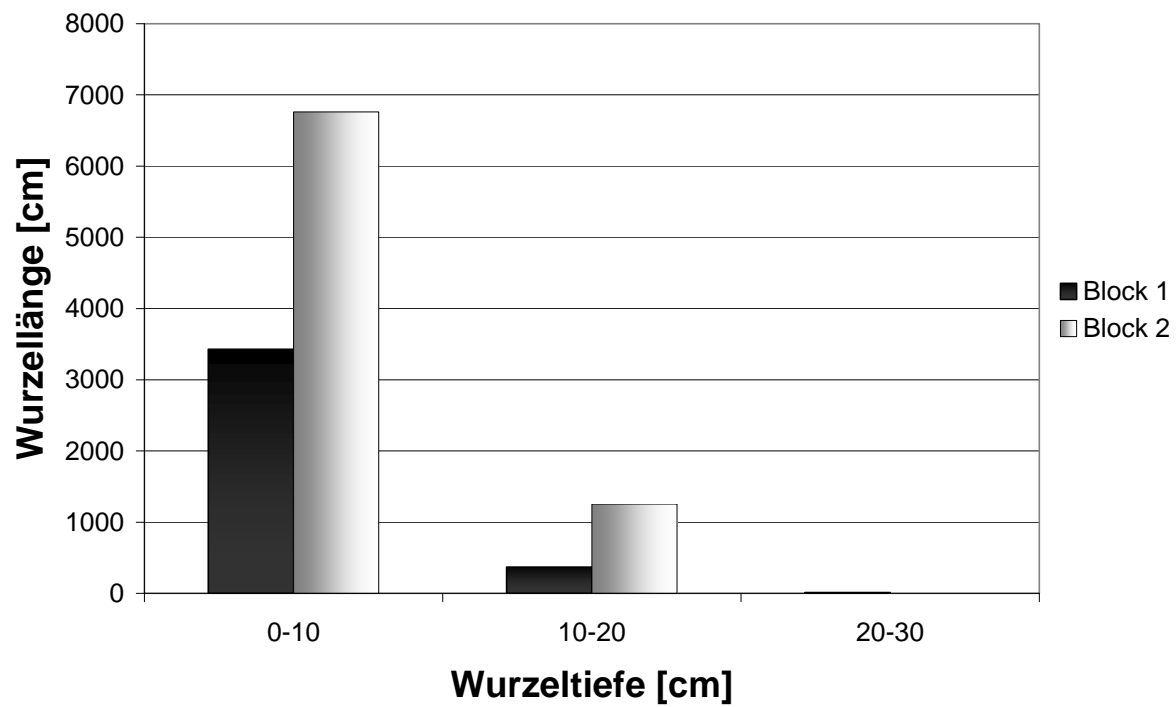


Abbildung 19a: Wurzellängenverteilung über die Wurzeltiefe von *Pimpinella saxifraga*

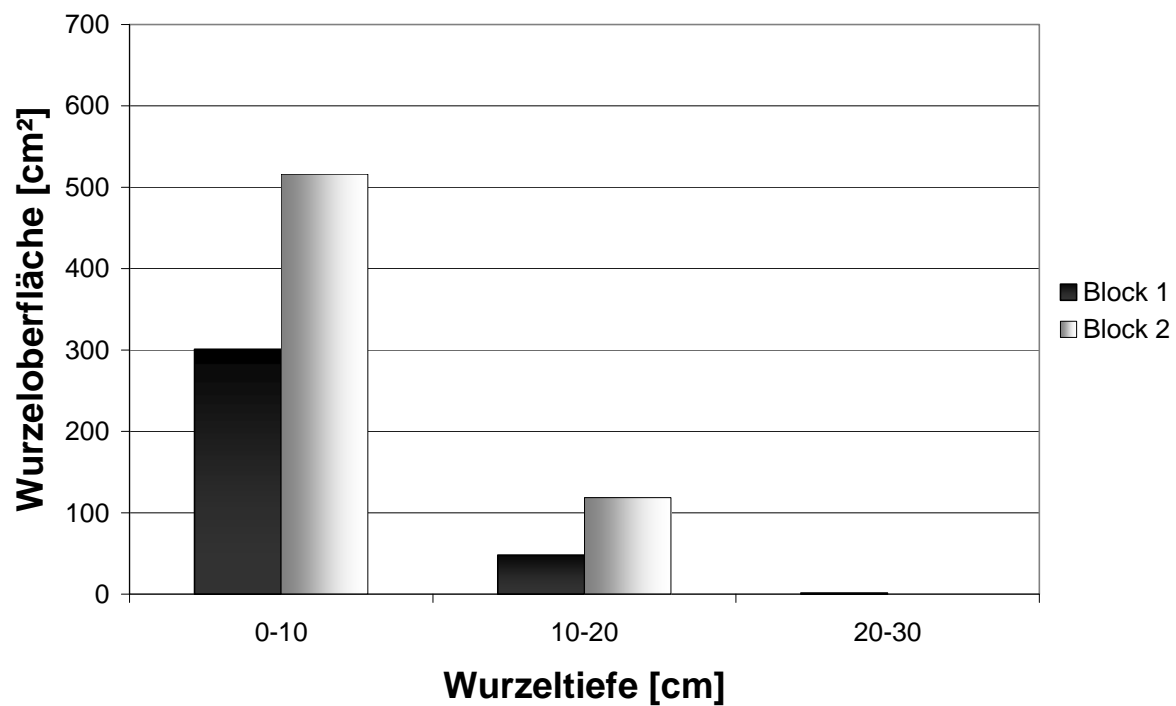


Abbildung 19b: Wurzeloberflächenverteilung über die Wurzeltiefe von *Pimpinella saxifraga*

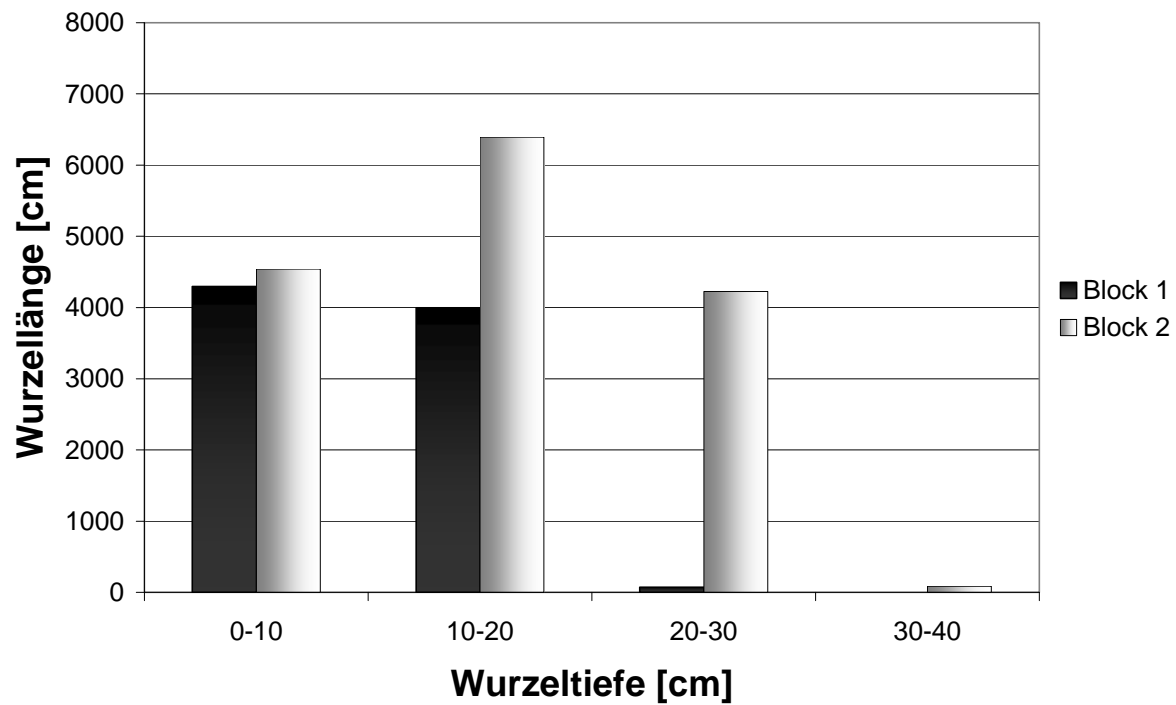


Abbildung 20a: Wurzellängenverteilung über die Wurzeltiefe von *Plantago lanceolata*

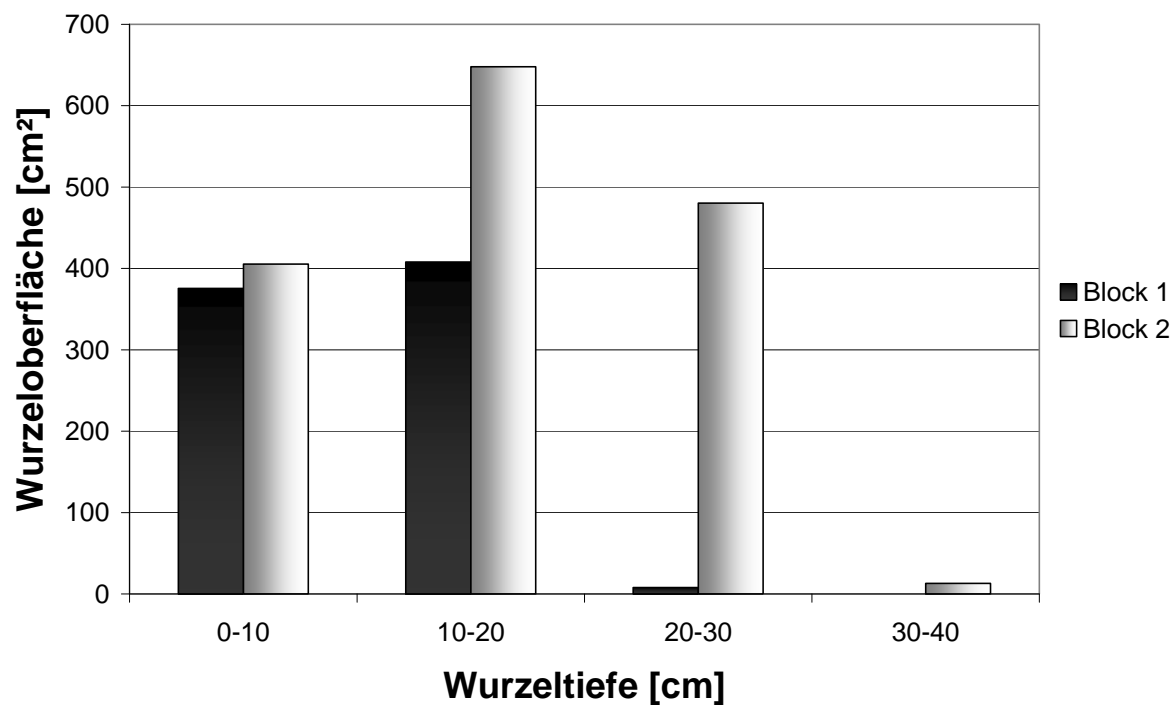


Abbildung 20b: Wurzeloberflächenverteilung über die Wurzeltiefe von *Plantago lanceolata*

Abbildung 21a und 21b bzw. 22a und 22b zeigen die Wurzellänge und –oberfläche der Leguminosen *Lotus corniculatus* und *Trifolium repens*. 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 repens* 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.

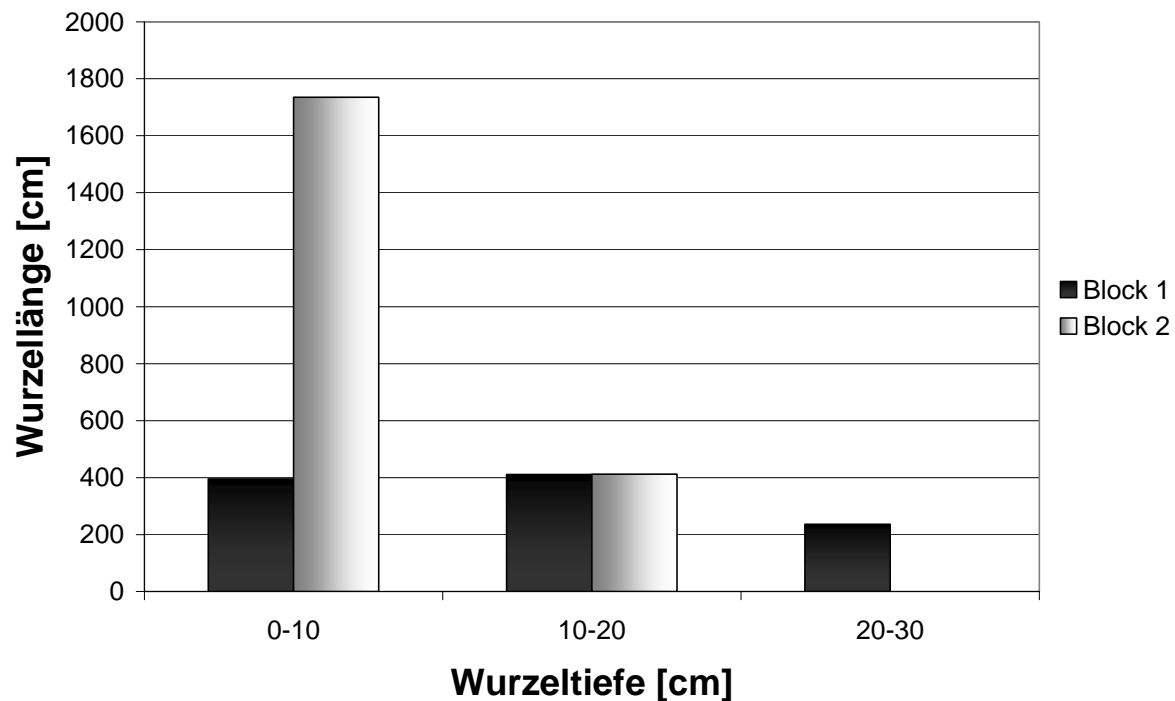


Abbildung 21a: Wurzellängenverteilung über die Wurzeltiefe von *Lotus corniculatus*



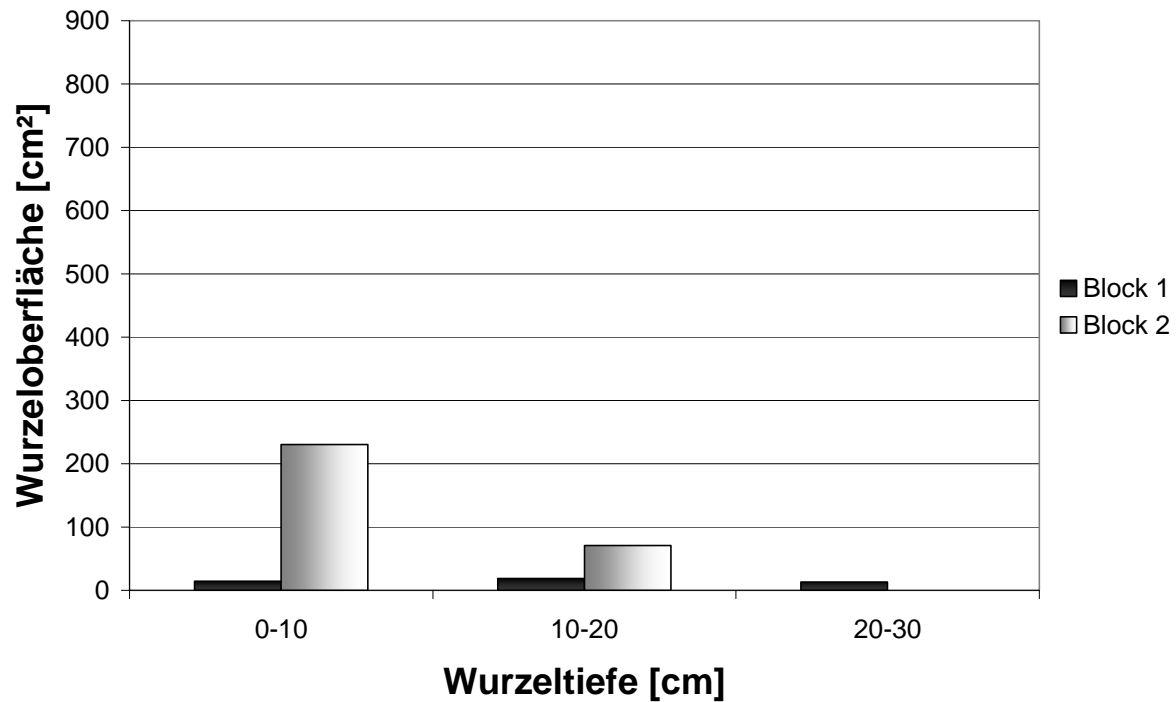


Abbildung 21b: Wurzeloberflächenverteilung über die Wurzeltiefe von *Lotus corniculatus*

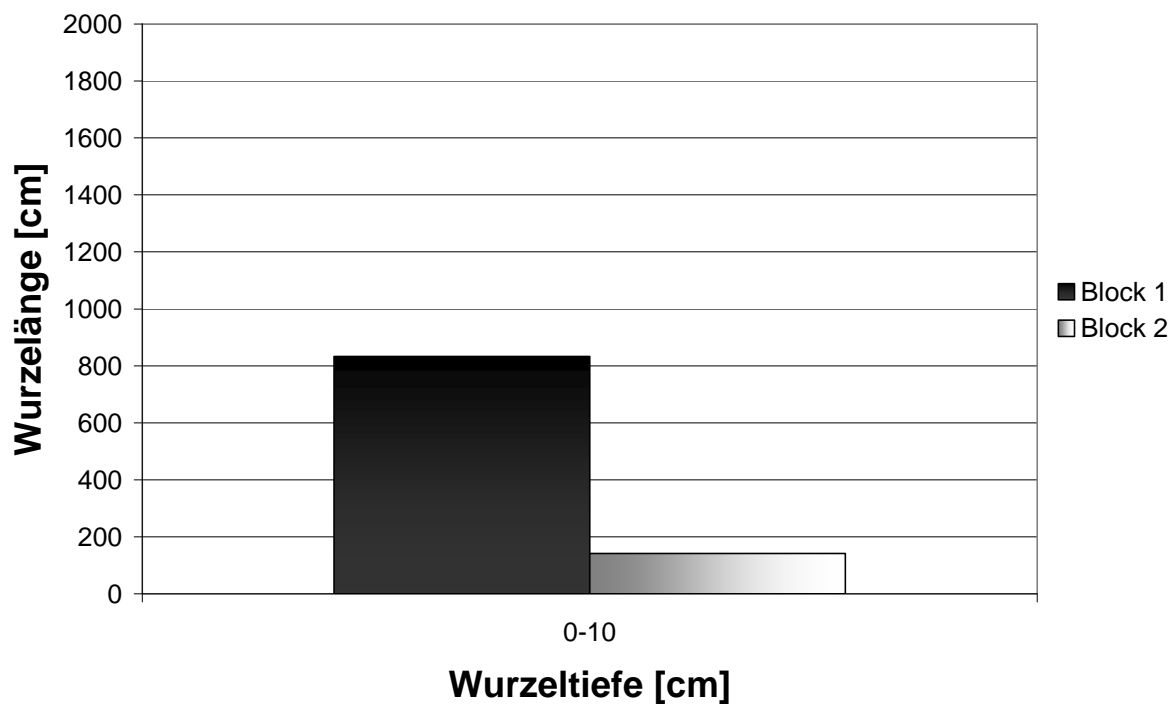


Abbildung 22a: Wurzellängenverteilung über die Wurzeltiefe von *Trifolium repens*

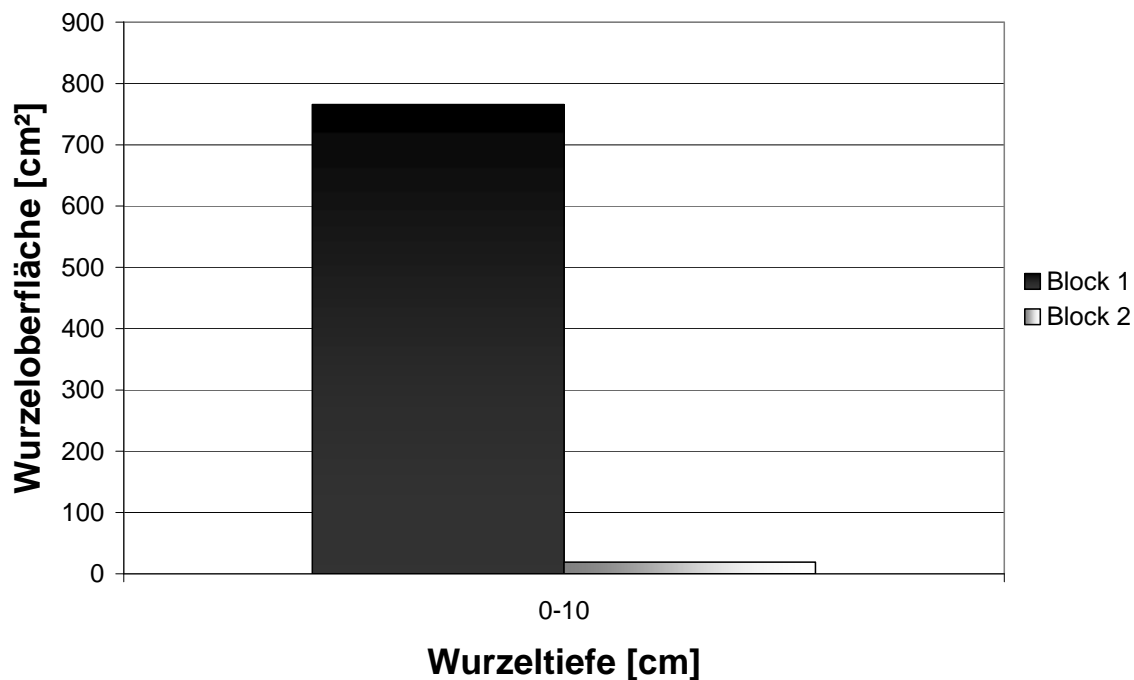


Abbildung 22b: Wurzeloberflächenverteilung über die Wurzeltiefe von *Trifolium repens*

## Diskussion

Die Methode Gräser-, Kräuter-, und Leguminosenarten bzw. Sorten in sandbefüllten Rohren hinsichtlich phänologischer Entwicklung und Wurzelparameter zu screenen, erwies sich als sehr erfolgreich. Die kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus bzw. der definierte Nährstoff-, und Wasserhaushalt im Sandsubstrat ermöglichte es, zusätzlich Aussagen über die Reaktion von Wurzel und Spross auf Trockenstress machen zu können. Natürlich hat diese Methode auch Schwächen da das Wurzelwachstum nicht denen unter Feldbedingungen entspricht und das Wurzelsystem unnatürlich abgebildet wird, aber zahlreiche Studien bestätigen die Vorteile dieser Methode, vor allem im Vergleich von genetischer Variation bezüglich Wurzel-, und Sprossparametern (Lehman und Engelke 1991; Bonos *et al.*, 2004, Crush *et al.*, 2005).

In natürlichen Ökosystemen haben Pflanzen drei Hauptstrategien um Trockenheit entgegen zu wirken: (i) Trockenheit durch Entwicklungsbeschleunigung bzw. –verzögerung zu entkommen, (ii) Trockenheit durch Anpassung von Wasseraufnahme und –abgabe zu vermeiden, (iii) Trockenheit durch physiologische Veränderungen zu tolerieren (Levitt, 1972). Bei der Bewertung von Trockenheitstoleranz in dieser Studie wurde nur auf die ersten beiden Strategien fokussiert, wobei in Punkt zwei hauptsächlich auf die Maximierung von Wasseraufnahme durch z.B. tiefere Wurzeln, erhöhtes Wurzel / Spross-Verhältnis, Wurzeltiefenverteilung, Wurzellänge und –oberfläche Rücksicht genommen wurde.

Der Zusammenhang der phänologischen Entwicklung und Trockenheitstoleranz hat sich in dieser Studie in vielfältiger Weise gezeigt. Beim Artenvergleich über die Gräser hinweg stellte sich heraus, dass *Arrhenatherum elatius* und *Trisetum flavescens* sowohl bei der Stressinduzierung als auch bei Versuchsende am weitesten entwickelt waren, der Abstand in der Entwicklung zu den andern Arten war jedoch bei Versuchsende größer. Auch Sorten wie z.B. die Knaulgrassorte Beluga war zum Versuchsende vergleichsweise weiter entwickelt als die Vergleichssorte bzw. die anderen Arten. Eine Entwicklungsverzögerung konnte bei der Wiesenrispensorte Oxford zu Versuchsende beobachtet werden.

Der Artenvergleich über Kräuter und Leguminosen zeigte eine sowohl zum Zeitpunkt der Induzierung von Trockenstress als auch am Versuchsende weitgehend konstante Entwicklung über alle Arten hinweg.

Bei der Betrachtung aller Ergebnisse hinsichtlich phänologischer Entwicklung und dessen Auswirkung auf die oberirdische Biomasse fällt auf, dass bei Gräsern das Entwicklungsstadium beim Eintritt in die Trockenphase mehr Rolle spielte als das bei den Kräutern und Leguminosen der Fall war. Diese Feststellung traf nicht für alle Gräserarten im gleichen Maße zu, insbesondere nicht für schnellwachsende und biomassereiche Arten wie *Arrhenatherum elatius* und *Lolium perenne* (Guru). Eine Erklärung für diese Ergebnisse könnte in der intensiveren züchterischen Bearbeitung der Gräser liegen, deren Ertragsbildung oft mit der phänologischen Entwicklung gekoppelt ist. Weiters ist bei einigen Arten die Bandbreite der Sorten so groß, dass es für die Pflanzenentwicklung sogenannte Reifegruppen gibt innerhalb derer der Ertrag optimiert wurde (BSA, 2010).

Stresstoleranz hinsichtlich Trockenheit steht oft in Verbindung mit dem Parameter Wurzel / Spross-Verhältnis. Stresstolerante Pflanzen weisen ein hohes Wurzel / Spross-Verhältnis auf, d.h. sie investieren im Verhältnis viel in die unterirdische Biomasse (Hendry und Grime, 1993). Die Ergebnisse dieser Studie zeigten für Gräser und Leguminosen im Parameter Wurzel / Spross-Verhältnis keine signifikanten Unterschiede zwischen den Blöcken. Bei den Kräutern wies lediglich *Pimpinella saxifraga* ein signifikant höheres Wurzel / Spross-Verhältnis in Block 1 als in Block 2 auf was zu einer im Vergleich erhöhten Investition in die unterirdische Biomasse als in die Oberirdische unter Trockenstress geführt hat. Über alle Arten und Sorten hinweg gab es einige Artengruppen die sich in Block 1 signifikant von Anderen unterscheiden. Für die Bewertung der Ergebnisse ist es jedoch sinnvoll nur die absolut höchste Gruppe zu nennen und sie damit als trockenheitsverträglicher als alle andern Arten und Sorten einzustufen. Bei den Gräsern ist das *Bromus inermis*, *Cynosurus cristatus* und *Lolium perenne* (Guru). Als trockenstresstoleranter als alle anderen Kräuter einstufen kann man *Cichorium intybus* und *Daucus carota*. Bei den Leguminosen gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Arten.

Den Zusammenhang von tieferer Durchwurzelung und Trockenheitstoleranz bei Rasengräsern wurde in einigen Studien untersucht (z.B. Sheffer *et al.*, 1987; White *et al.*, 1993). Die Selektion bei *Alfalfa* auf Wurzelgewicht und Wurzelsystemgröße um die Trockenheitstoleranz zu fördern wurde in Untersuchungen von Peterson *et al.* (1984) und Cloupek (1999) erörtert. Wurzeltiefe bzw. die Verteilung der Wurzelmasse über die Wurzeltiefe wurde in den Untersuchungen dieser Studie über alle Arten und Sorten hinweg

erhoben. 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 alle Leguminosen bei der trockenstressinduzierten Variante eine Verlagerung der Gesamtwurzelmasse in tiefere Schichten erfolgte, obwohl das Wurzel / Spross-Verhältnis relativ niedrig war. Untersuchungen bezüglich Wurzellänge und -oberfläche besagen, dass mit zunehmender Länge und Oberfläche das Potential Wasser aufzunehmen bzw. bei Trockenheit das Wasser effizienter aufnehmen zu können (Ryser, 2006, Vamerli *et al.*, 2003). Die Ergebnisse dieser Untersuchungen hinsichtlich Wurzeloberflächen- und -längenverteilung lassen wegen des hohen Aufwandes für dessen Erhebung nur artspezifische Bewertungen zu. 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 *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* verteilte 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. Der Anteil der Wurzeloberfläche und -länge bei *Trifolium repens* lag bei 100% in den obersten 10 cm wobei sich ein eklatanter Unterschied in der Größenordnung zwischen Block 1 und 2 ergab. *Trifolium repens* reagierte auf Trockestressinduzierung mit einer Vervielfachung seiner Wurzeloberfläche und einer Vervierfachung seiner Wurzellänge. Abschließend kann gesagt werden, dass diese Parameter sehr viel auch in Zusammenhang mit überirdischen Messgrößen wie z.B. Biomasse oder LAI aussagen könnten, die Ermittlung dieser Parameter über alle Arten und Sorten hinweg aber zeitaufwendig wären und nur im Rahmen eines größeren Projektes gemacht werden könnten.

## Schlussfolgerungen

Die Resultate der Studie lassen einige Schlussfolgerungen für die Eignung der geprüften Gräser, Kräutern und Leguminosen für trockenen Standortbedingungen zu und sind damit Grundlage für weitere Untersuchungen hinsichtlich Ertrag und Futterqualität bzw. Basis für weiterführende Grünlandsaatgutmischungsversuche. Bei den Gräsern zeigten die schnellwüchsigen biomassereichen Arten wie *Arrhenatherum elatius* und *Lolium perenne* (Guru) unter Trockenstressbedingungen im Gegensatz zu den anderen Arten einen geringen Zusammenhang des Biomasseertrages mit ihrer phänologischen Entwicklung. Diese Eigenschaft könnte vor allem auf Standorten wo Trockenperioden nur schwer voraussagbar sind von Vorteil sein.

*Pimpinella saxifraga* reagierte auf Trockenheit mit einer erhöhten Investition in die unterirdische Biomasse und konnte Trockenstress in dieser Untersuchung über alle Arten und Sorten hinweg am besten tolerieren. Zusammen mit der Feststellung, dass das Optimum an Wasseraufnahme in den obersten 20 cm erfolgte, könnte diese Eigenschaft für flachgründige und trockene Standorte vorteilhaft sein. Als relativ trockenstresstolerantes Gras könnte *Lolium perenne* (Guru) bezeichnet werden, dass auf Trockenheit mit Verlagerung der Wurzelmasse in tiefere Schichten reagierte und damit für tiefgründige Standorte in denen saisonale Trockenheit herrscht interessant sein könnte. Sieht man sich die Resultate des Feldversuches der Versuchsstation Piber von 2006 an (Tab. 1), so ist für diese Art auch ein relativ guter Qualitätsertrag unter trockenen Bedingungen zu erwarten. *Cynosurus cristatus* wies in dieser Studie ebenso eine vergleichsweise hohe Trockenheitstoleranz auf, könnte aber auf Grund ihres flachen Wurzelsystems nur für flachgründige Standorte einsetzbar sein.

Als trockenstresstoleranter als alle anderen Kräuter einstufen kann man *Cichorium intybus* und *Daucus carota* die beide ein tiefes Wurzelsystem ausbildeten, wobei *Cichorium intybus* im Gegensatz zu *Daucus carota* auf Trockenheit mit einer Verlagerung der Wurzelmasse in tiefere Schichten reagierte.

Bei den Leguminosen zeigte sich, dass *Trifolium repens* in den obersten 10 cm das Wasser effizient aufnehmen konnte, *Lotus corniculatus* hingegen das Wasser durch die Wurzeln bei Trockenstress relativ gleichmäßig über eine Tiefe von 0-30 cm aufnahm. Je nach Ansprüchen sind diese beiden Leguminosen für trockene Standorte in weiterführenden Versuchen zu befürworten.

## Literatur

- Arsenault, J. L., Pouleur, S., Messier, C., Guay, R. (1995) WinRhizo, a root measuring system with a unique overlap correction method. *Horticultural Science*, 30, 906.
- Bell, D.L., Sultan, S.E. (1999) Dynamic phenotypic plasticity for root growth in *Polygonum*: a comparative study. *American Journal of Botany*, 86, 807-819.
- Bohner, A., Eder, G., Schink, M. (2007) Nährstoffkreislauf und Stoffflüsse in einem Grünland Ökosystem. Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 12. Gumpensteiner Lysimetertagung, 17.-18.4.2007, 91-99.
- Bonos, S.A., Rush D., Hignight K. and Meyer W.A. (2004) Selection for deep root production in tall fescue and perennial ryegrass. *Crop Science*, 44, 1770-1776.
- Böhm, W. (1979) Methods of studying root systems. *Ecological Studies: Analysis and Synthesis*, vol 33. Springer, Berlin Heidelberg New York.
- BSA, 2010. Verfügbar unter <http://www.bundessortenamt.de/internet30/index.php?id=20> [Verifiziert am 13.05.2010]
- Buchgraber, K. und Gindl, G. (2004) Zeitgemäße Grünlandbewirtschaftung. 2., neu bearbeitete Auflage. Graz – Stuttgart: Leopold Stocker Verlag.
- Chloupek, O., Skacel, M., Ehrenbergerova M. (1999) Effect of divergent selection for root size in field-grown alfalfa. *Canadian Journal of Plant Science*, 79, 93-95.
- Crush, J.R., Waller, J.E., Care, D.A. (2005) Root distribution and nitrate interception in eleven temperate forage grasses. *Grass and Forage Science*, 60, 385-392.
- Dierschke, H., Briemle, G. (2002) Kulturgrasland. Wiesen, Weiden und verwandte Staudenfluren. - Ulmer-Verlag, Stuttgart S.239.
- Eitzinger, J., Kersebaum, K. C., Formayer, H. (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., Weber, H.E., Düll, R., Wirth, V., Werner, W., Paulißen, D. (1992) Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa, 2. Auflage, *Scripta Geobotanica XVIII*
- Hendry, G. Grime, J. (1993) *Methods in Comparative Plant Ecology: A laboratory manual*. Chapman & Hall, London, S.252.
- Herndl, M., Krautzer, B., Schaumberger, A. (2009) Permanent grassland as turf grass for landscape, sport and tourism. Research needs and future perspectives in Austria. *Grassland Science in Europe*, 14, 54-57.
- Hsiao, T.C., Xu, L.K. (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.

- Lehman, V.G., Engelke M.C. (1991) Heritability estimates of creeping bentgrass root systems grown in flexible tubes. *Crop Science*, 31, 1680–1684.
- Levitt, J. (1972) Responses of plants to environmental stresses. Academic Press, NY.
- Pederson, G.A., W.A. Kendall, Hill, R.R. Jr. (1984) Effect of divergent selection for root weight on genetic variation for root and shoot characteristics in alfalfa. *Crop Science*, 24, 570–573.
- Ryser, P. (2006) The mysterious root length. *Plant and Soil* 286, 1-6.
- Sheffer, K.M., Dunn, J.H., Minne, D.D. (1987) Summer drought response and rooting depth of three cool-season turfgrasses. *Horticultural Science* 22, 296–297.
- SAS Institute Inc., 2000. SAS/STAT User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA
- Statcon, 2010. Verfügbar unter [http://www.statcon.de/statconshop/product\\_info.htm?products\\_id=50](http://www.statcon.de/statconshop/product_info.htm?products_id=50)  
[Verifiziert am 13.05.2010]
- Trnka, M., Semerádová, K., Zalud, Z. (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.
- Vamerli, T., Saccomani, M., Bona, S., Mosca, G., Guarise, M., Ganis, A. (2003) A comparison of root characteristics in relation to nutrient and water stress in two maize hybrids. *Plant and Soil*, 255, 157-167.
- Voigtländer, G., Jacob, H. (1987) Grünlandwirtschaft und Futterbau. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- White, R.H., Bruneau, A.H., Cowett, T.J. (1993) Drought resistance of diverse tall fescue cultivars. p. 607–613. In R.N. Carrow et al. (ed.) Proc. of the 7th Int. Turfgrass Soc. Res. Conf., Palm Beach, FL. 18–24 June 1993. Intertec Publ., Overland Park, KS.