

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Fakultät Agrarwissenschaften
Institut für Pflanzenproduktion und Agrarökologie in den Tropen und Subtropen



Die Auswirkungen von Mantelsaaten auf das Keimverhalten von Süßgräsern unter Wasserstress

Freie wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Science

Gwendolin Krauss

Stuttgart

Abgabedatum: 09.12.13

Für Meyke Johanna

1 Inhaltsverzeichnis	I
2 Abbildungsverzeichnis	II
3 Tabellenverzeichnis	III
4 Formelverzeichnis	IV
5 Einleitung	1
6 Literaturüberblick	2
6.1 Die getesteten Gräser	3
6.1.1 <i>Knaulgras Dactylis glomerata</i>	3
6.1.2 <i>Deutsches Weidelgras Lolium perenne</i>	3
6.1.3 <i>Rohrschwengel Festuca arundinacea</i>	3
6.2 Beschreibung der Additive im Saatgutmantel	3
6.2.1 <i>Der Einfluss von Stockosorb®</i>	3
6.2.2 <i>Der Einfluss von Biplanthol®</i>	4
6.2.3 <i>Der Einfluss von Huminsäure</i>	4
7 Material und Methoden	5
7.1 Samen und Behandlungen	5
7.2 Feststellung der Keimraten.....	5
7.3 Der Aufbau des Versuchsgestells.....	5
7.4 Untersuchung des Filterpapiers auf seine Wasserspeicherfähigkeit.....	7
7.4.1 <i>Vorversuch zur Wasserspeicherfähigkeit</i>	7
7.4.2 <i>Bestimmung der täglich zuzuführenden Wassermenge für die Behandlungen</i>	8
7.5 Versuchsaufbau und Versuchsablauf	9
7.6 Auswertung	11
7.6.1 <i>Datenerfassung und -aufbereitung</i>	11
7.6.2 <i>Statistische Auswertung</i>	11
8 Ergebnisse	13
8.1 Auswertung der Keimraten	13
8.2 Rolle der Wasserspeicherfähigkeit des Filterpapiers.....	17
8.3 Die physiologische Entwicklung von Nacktsaaten und Mantelsaaten unter Wasserstress.....	18
8.3.1 <i>Knaulgras</i>	21
8.3.2 <i>Deutsches Weidelgras</i>	23
8.3.3 <i>Rohrschwengel</i>	25
9 Diskussion	27
9.1 Die Auswirkungen von Mantelsaaten auf die Keimraten.....	27
9.2 Die Auswirkungen von Mantelsaaten auf die Keimlingsentwicklung unter Wasserstress.....	28
10 Anhang	32
10.1 Zusatzinformationen	32
10.2 Statistische Vorauswertung	37
10.3 Statistische Hauptauswertung	47
11 Literaturverzeichnis	59
12 Danksagung	62
13 Eidesstattliche Erklärung	63

2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufriss einer in den Versuchen verwendeten Plexiglasplatte. Bereitgestellt von Dufner Präzisionsteile GmbH (Göggingen, Deutschland). Zu sehen sind sechs eingreifraste Spiralen, es wurden jedoch lediglich 5 Spiralen aufgrund mangelnder Materialeigenschaften realisiert.....	7
Abbildung 2: Versuchsaufbau zur Wasserstressbehandlung. Für jede zu testende Grassorte wurde dieser Aufbau durchgeführt.....	7
Abbildung 3: Die Keimkurven der Nackt- und Mantelsaaten von Knaulgras, Deutsches Weidelgras und Rohrschwengel ab Imbibition (Tag 0)	15
Abbildung 4: Wurzellängen und Trockenmassen des Knaulgrases. Boxen mit dem gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Dunca Multiple Range Test).....	18
Abbildung 5: Wurzellängen und Trockenmassen des Deutschen Weidelgrases. Boxen mit dem gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Dunca Multiple Range Test).....	18
Abbildung 6: Wurzellängen und Trockenmassen des Rohrschwengels. Boxen mit dem gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Dunca Multiple Range Test) ..	18
Abbildung 7: Mantelsamen des Rohrschwengels einen Tag nach Imbibition. Links mit geringer Stockosorb®-Expansion, rechts mit enormer Stockosorb®-Expansion	28
Abbildung 8: Keimtest des Rohrschwengels, links Mantelsaaten, rechts Nacktsaaten	34
Abbildung 9: 11 Tage alter Versuchsaufbau der Mantelsaaten des Deutschen Weidelgrases	34
Abbildung 10: Spirale 2 der Wassergestressten Mantelsaaten des Deutschen Weidelgrases an Tag 9	35
Abbildung 11: Ernte einer wassergestressten Nacktsaat-Spirale (Deutsches Weidelgras) .	36
Abbildung 12: Ernte einer vollbewässerten Nacktsaat-Spirale (Deutsches Weidelgras)....	36

3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vierstufiger Bewertungsschlüssel für die Bestimmung der Boniturnoten und der damit zusammenhängenden empfohlenen Wassergabe mit Hilfe der Einordnung der Filterpapiereigenschaften durch visuelle und haptische Einschätzung. Innerhalb der empfohlenen Wassergaben lag die genaue zuzuführende Wassermenge im eigenen Ermessen.....	8
Tabelle 2: Versuchsdauer der einzelnen Durchläufe.....	7
Tabelle 3: Einteilung der Keimlinge in vier Gruppen abhängig von ihrer Position im Filterpapier	11
Tabelle 4: Täglich notierte Anzahl der Keimlinge ab Imbibition (24.8.).....	14
Tabelle 5: Absolutwassergehalte (a) und relative Wassergradienten (b) innerhalb eingerolltem, doppellagigem Filterpapier (40 cm x 40 cm) nach Befeuchtung mit 160 g Wasser nach 6, 12, 18, 24 Stunden. Die linke Seite der Quadrate befand sich immer Außen, die rechte Seite Innen. Unterschiedlich starke Blaufärbung soll den Wassergehalt hervorheben. Jedes doppellagige 10×10 cm große Filterpapierquadrat hat in trockenem Zustand ein Gewicht von 3,75 g. Werte der relativen Wassergradienten beziehen sich auf das Quadrat mit dem jeweils höchsten Wassergehalt (blau unterlegt).....	17
Tabelle 6: Die gemittelten Boniturnoten der Feuchtigkeitszustände. Über die Versuchsdauer einmal am Tag notierte und zum Schluss gemittelte Einzelnoten.....	18
Tabelle 7: Statistische Auswertung Knäulgras.....	22
Tabelle 8: Statistische Auswertung Deutsches Weidelgras.....	24
Tabelle 9: Statistische Auswertung Rohrschwinkel	26
Tabelle 10: Fünfstufiger Bewertungsschlüssel zur Bestimmung der Gesundheit der Jungpflanzen.....	32
Tabelle 11: Die gemittelten Boniturnoten der Keimlinge. Durchschnittsnote aller Keimlinge einer Spirale, von allen Spiralen einer Behandlung und den Kontrollspiralen..	32
Tabelle 12: Anzahl der toten Keimlinge in den Versuchsdurchläufen.....	32
Tabelle 13: Gesamtwassergaben in den Versuchsdurchläufen.....	32

4 Formelverzeichnis

Formel 1:

$$\text{Wassergehalt} = \text{Filterpapierquadratgewicht}_{\text{feucht}} - \text{Filterpapierquadratgewicht}_{\text{trocken}}$$

..... 7

Formel 2:

$$\text{relativer Wassergehalt} = \frac{\text{Absolutwassergehalt eines Filterpapierquadrates}}{\text{Absolutwassergehalt des schwersten Filterpapierquadrates}}$$

..... 7

Formel 3:

$$\text{Wurzel - Spross - Verhältnis} = \frac{\text{Wurzelmasse}}{\text{Trockenmasse}}$$

..... 11

Formel 4:

$$\begin{aligned} & \text{Durchschnittliches Trockenmasse Keimling}_n \\ & = \frac{\text{Trockenmasse Keimling}_n (\text{Spirale}_1 + \text{Spirale}_2 + \text{Spirale}_3)}{3} \end{aligned}$$

..... 11

5 Einleitung

Gräser sind Pflanzen, welche uns tagtäglich begegnen und trotzdem selten aktiv in unserem Leben wahrgenommen werden. Dennoch sind sie in vielen Wertschöpfungsketten, also „Stufen des Transformationsprozesses, die ein Produkt (...) durchläuft, vom Ausgangsmaterial bis zur endlichen Verwendung“ (Harting, 1994) beteiligt. Das heißt Gräser lassen sich in unserem Alltag in veränderter Form wiederfinden. Neben Wiesen, Gärten und Parks, die für Städter unerlässliche Erholungsinseln und wichtige Luftschneisen in der Stadtplanung sind, stellen Gräser auch eine wichtige Futterquelle für Weidetiere dar, welche als Nahrungsmittel, sei es als Fleisch, Milch oder Käse, auf unseren Speiseplan landen.

Sogar der Strom aus unserer Steckdose wird zum Teil aus Grünflächen produziert, da eine wachsende Anzahl von Biogasanlagen einen größer werdenden Teil ihrer Energie aus Grassilage beziehen um daraus Biogas für den Betrieb von Blockheizkraftwerken und zur Erzeugung von Elektrizität zu erzielen. Diese Entwicklung gewinnt zunehmend an Wichtigkeit, da der Verbrauch von fossilen Ressourcen drastisch reduziert werden muss, um dem Klimawandel entgegen zu wirken. Gleichzeitig jedoch darf grüne Energie nicht in Konkurrenz zur Ernährungssicherung der Weltbevölkerung stehen, sodass Pflanzen wie Mais und Getreide nicht länger den Hauptanteil der Silage ausmachen sollten. Grünlandschnittgut könnte ein geeignetes Substitut darstellen, welches durch seinen Anbau (auch in der Fruchtfolge) Bodenerosion verhindert, die Humusbilanz verbessert und sogar die Biodiversität erhöht (Hartmann et al., 2011). Obwohl Gräser eine unerlässliche Bodenschutzfunktion beinhalten und einen regelmäßigen Anbau anderer Feldfrüchte in einer gesunden ökologischen Umgebung erst möglich machen, konzentriert sich die Agrarforschung meist nur auf Stärkelieferanten wie Reis, Mais und Weizen.

Daher werden in dieser Arbeit drei Sorten Süßgräser auf ihre Keimfähigkeit und Jugendentwicklung unter Wasserstress untersucht und getestet, wie sich eine Saatgutummantelung darauf auswirkt.

Vorrausgehend zu diesem Projekt wurde überprüft, ob die einzusetzenden Materialien für den Hauptversuch die gewünschten Eigenschaften mit sich bringen. Es wurde eine Methode entwickelt, Grassamenkeimlinge über ein als Leitmedium dienendes Filterpapier unter Wassermangel zu setzen.

6 Literaturüberblick

Für die Pflanzenproduktion bisher unangetastete Gebiete sind zunehmend vom Flächenwandel betroffen, da die bisherigen Anbaugelände für Getreide nicht ausreichen werden, um die steigende Nachfrage abzudecken. Es ist nur eine Frage der Zeit, bis der Ertragsdruck die Produktion zwingt, in marginale Standorte vorzudringen, was bedeutet, dass dort keine optimalen Standortbedingungen zum Anbau von Nutzpflanzen gegeben sind (Rudel & Meyfroidt, 2014). Solche Flächen sind Grenzstandorte, welche man auch obligates Grünland nennt.

Neben dem limitierenden Faktor Bodenqualität (McBratney et al., 2014) kann auch Wassermangel ein Hauptgrund für Missernten sein: Eine unzureichende Wasserversorgung bedeutet nicht nur physischen Stress für die Pflanzen, sondern induziert auch eine Reihe von abiotischen Stressen wie Bodenverdichtung, erhöhte Temperaturen und Strahlungsbelastung für die Pflanzen (Mittler, 2006). Doch auch bisher ertragreiche Produktionssysteme geraten unter Druck, da die jährlichen Niederschläge und Mittelwerttemperaturen immer öfter Extreme annehmen (Hillel & Rosenzweig, 2001) und den Pflanzen keine Chance auf die langwierige evolutionäre Anpassung geben. So passiert es, dass Trockenperioden Einzug halten und den Ertrag signifikant mindern, da sich die Pflanzen in einer stressanfälligen physiologischen Entwicklungsstufe befinden. Wasserstress in der Reproduktionsphase verursacht eine Verkümmerng der Blütenstände und deren Ovarien, wodurch eine Befruchtung ausbleibt oder zu einem späteren Zeitpunkt den Abbruch der Kornbildung und -füllung zur Folge hat (Ehlers & Goss, 2002). Dies ist die kritischste Phase um den maximalen Ertrag sicher zu stellen.

Vor allem arme Landwirte in Schwellenländern, deren Produktionssysteme alleinig mit Regenwasser gespeist werden, deren Intensität jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen, haben keine Möglichkeit der zusätzlichen Bewässerung ihrer Felder, da sowohl die Wasserressourcen als auch die Infrastruktur um solche Irrigationssysteme zu finanzieren und zu bauen, fehlen (Levine, 1977). Das macht es notwendig, (i) in Ländern in denen „genug“ Wasser vorhanden ist, die Bewässerung effizienter zu managen und Verschwendung einzudämmen und (ii) in Gebieten mit wiederkehrenden Perioden des Wassermangels von vornherein eine neue Methode zu finden, um Landwirten und Pflanzen zu helfen und deren Existenz nachhaltig zu sichern.

Die Dringlichkeit, global verantwortlich mit dem verfügbaren Frischwasser umzugehen und gleichzeitig effizientere Methoden der Pflanzenzüchtung zu bewerkstelligen steigt, womit das Ziel, nämlich eine Brücke zwischen Wasserknappheit und Kultivierung von Ackerflächen zu schlagen, in das Zentrum der heutigen Ressourcenforschung rückt.

Eine neue Methode wurde von der Firma Freudenberg Feldsaaten[®] GmbH entwickelt, welche in dieser Arbeit nähergehend untersucht werden soll: Grassamen, die mit einer Kombination aus Huminsäure, Biplantol[®] und einem Flüssigkeitsabsorber namens Stockosorb[®] ummantelt sind, um den Pflanzen auch unter suboptimalen Bedingungen eine leichtere und schnellere Jugendentwicklung zu ermöglichen.

Es ist notwendig, solch eine neue und vielversprechende Methode eingehen zu untersuchen, bevor man sie weiterempfiehlt. Schließlich bedeutet eine Saatgutbehandlung einen Mehraufwand, welcher sich in den Kosten des Saatguts niederschlägt. Außerdem sind bis auf Studien welche im Auftrag von Biplathol[®] und Freudenberg Feldsaaten[®] GmbH erstellt wurden, keine unabhängigen Untersuchungen bekannt und damit auch nicht, ob diese neue Saatgutbehandlung für Jungpflanzen tatsächlich einen Vorteil

darstellt, welcher sich eventuell in einem schnelleren Narbenschluss und Mehrertrag deutlich macht. Ebenso sind auch mögliche Wirkungen zum Nachteil der Pflanzen auszuschließen.

6.1 Die getesteten Gräser

6.1.1 Knaulgras *Dactylis glomerata*

Das Knaulgras ist ein mehrjähriges Horstgras mit der Futterwertzahl 7 (Elsäßer & Thumm, 2009), welches seine Blühperiode von Mai bis Juni hat, weit verbreitet ist und „trockene bis frische, lehmige tonige und humose Böden“ (Glas, 2005) bevorzugt. Dieses Gras verträgt Schatten sehr gut und verbreitet sich rasch auf Weiden (Hubbard, 1973).

6.1.2 Deutsches Weidelgras *Lolium perenne*

Das Deutsche Weidelgras ist eine mehrjährige, rasenbildende Untergrasart (bildet dichte Narben) mit der Futterwertzahl von 8. Es ist aufgrund seines Zuckergehalts (bis zu 35% i.d. TS) ein schmackhaftes Futtergras (Elsäßer & Thumm, 2009) und blüht zwischen Mai und September. Die Jugendentwicklung dieses Grases verläuft sehr schnell, und es ist das wichtigste Gras für Wiesen und Weiden sowie für Freizeitflächen (Glas, 2005). Deutsches Weidelgras bevorzugt maritimes Klima (Hubbard, 1973).

6.1.3 Rohrschwingel *Festuca arundinacea*

Der Rohrschwingel ist wie das Knaulgras und das Deutsche Weidelgras ein mehrjähriges Gras und blüht von Juni bis Juli. Da seine Blätter schnell an Lignin gewinnen und hart werden, ist es schlecht als Futtergras geeignet (Hubbard, 1973). Der Rohrschwingel ist recht unempfindlich gegen Staunässe und Trockenheit, ist sehr winterhart und wird aufgrund seiner Widerstandsfähigkeit bevorzugt auf Sportplätzen genutzt (Glas, 2005).

6.2 Beschreibung der Additive im Saatgutmantel

6.2.1 Der Einfluss von Stockosorb[®]

Die Absorberhülle soll nach Angaben des Herstellers (Feldsaaten Freudenberger GmbH, Krefeld, Deutschland) durch seine wasserspeichernden Polymere länger mehr Wasser für die Keimung bereit stellen und die Jungpflanzen auch dann ausreichend mit Wasser versorgen, wenn die frühe Entwicklung und das Heranwachsen eines geschlossenen Pflanzenstandes aufgrund von suboptimaler Wasserversorgung gefährdet ist und dabei helfen, kurzzeitige Wasserknappheit in der frühen und überlebenskritischen Wachstumsphase zu überbrücken. Die wasserspeichernden Polymere bilden bei Bewässerung eine schwammartige Haut um den Samen, um ihn vor einer vorzeitigen Austrocknung schützen. Die Stockosorb[®]-Polymere sind in einem dreidimensionalen Netzwerk miteinander verbunden welches expandiert, wenn es in Kontakt mit Wasser kommt. Die Granulate schwellen an und formen sich zu einzelnen, wasserspeichernden

Gelpartikeln. Bei eintretender Trockenheit verdunstet zuerst das von den Polymeren angesammelte Wasser, bevor der Feuchtigkeitsverlust den Samen angreift.

Stockosorb wird in der Literatur meist nur als Bodenzusatz und nicht als Saatgutzusatz beschrieben; Es sorgt dafür, dass der Boden mehr und länger Wasser speichern kann und den Pflanzen zur Verfügung stellt (Chirino et al., 2011), solange es nicht in zu hohen Mengen im Boden vorhanden ist. Denn Stockosorb kann bei einer Überdosierung das im Boden enthaltene Wasser pflanzenunverfügbar machen (Sarvaš et al., 2007, Hüttermann et al., 1999).

Ob diese Methode auch als Saatgutummantelung wirksam ist, ist in der Literatur noch umstritten; Während (Berdahl & Baker, 1980) keine positiven Effekte auf die Keimraten von suboptimal bewässerten Queckensamen beobachten konnten, kamen (Mangold et al., 2007) zu dem Schluss, dass eine Absorberummantelung für die Keimung und Frühentwicklung von Kammquecken von Vorteil sein kann.

6.2.2 Der Einfluss von Biplanthol[®]

Biplantol[®] ist eine Art Breitbanddünger und enthält in unbekannter Menge alle pflanzenrelevanten Nährstoffe¹. Es soll laut Herstellerversprechen „die Nährstoffaufnahme und –nutzung verbessern, die Wasseraufnahme erleichtern, die Humusbildung fördern und die Pflanze stärken“ (Würthle, 2002) als auch „die Resistenz gegenüber Schädlingen und Krankheiten erhöhen“ (Würthle, 2002, Shah-Rossi et al., 2009). Da Biplantol[®] in Anlehnung an die alternative humanmedizinische Homöopathie entstanden ist und Wirkstoffkonzentrationen mit einer Verdünnung von 1:1 bis hin zu 1:10²⁰⁰⁰ möglich sind, kann auf die genaue Mengenzusammensetzung nicht weiter eingegangen werden.

Dem Keimling soll eine optimale Versorgung in der sensiblen frühen Wachstumsphase geboten werden und ihn vor möglichen Mangelerscheinungen in nährstoffarmen Böden schützen.

6.2.3 Der Einfluss von Huminsäure

Huminsäure entsteht als Abbauprodukt bei der Zersetzung pflanzlicher Überreste und stellt einen wichtigen Bestandteil der Humusschicht dar. Es verbessert die Bodeneigenschaften, indem es die Verklumpung, Belüftung, Durchlässigkeit und Wasserspeicherfähigkeit erhöht (Tan & Nopamornbodi, 1979, Shahid et al., 2012) und den Pflanzen eine verbesserte (Mikro-) Nährstoff- (Epstein, 1956) als auch eine verbesserte Wasseraufnahmefähigkeit gewährleistet (Shahid et al., 2012). Die Huminsäure im Saatgutmantel schützt die Pflanzen vor freien Radikalen (Guo & Wang, 2011, García et al., 2012), welche Stoffwechselprozesse und die Proteinsynthese der Pflanzenzellen stören können. Die Effekte dieses Stoffes sind eher an Wurzeln festzustellen, als an der oberirdischen Trockenmasse. So stimuliert Huminsäure das Wurzelwachstum und regt eine intensivere Durchwurzelung an (Evan & Lee, 2002). Diese positiven Eigenschaften sind boden- und pflanzenphysiologisch zu beobachten, solange die Konzentration der Huminsäure gewisse Grenzwerte nicht überschreitet (Lee & Barlett, 1976). Es wird vermutet, dass Huminsäure wachstumshormonähnlich wirkt, oder dass die Huminsäure die

¹ Mikronährstoffe: Eisen (Fe), Mangan (Mn), Zink (Zn), Kupfer (Cu) und Molybdän (Mo), Chlor (Cl) und Bor (B)

Makronährstoffe: Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O), Wasserstoff (H), Stickstoff (N), Phosphat (P), Kalium (K), Schwefel (S), Calcium (Ca) und Magnesium (Mg)

6 Literaturüberblick

Wachstumshormone der Pflanze aufnimmt, sie für sie unverfügbar macht (Atiyeh et al., 2002) und so in die Steuerung des Pflanzenwachstums eingreift.

7 Material und Methoden

7.1 Samen und Behandlungen

Samen vom Knaulgras *Dactylis glomerata* (Züchtung TRERANO), Deutschem Weidelgras *Lolium perenne* (Züchtung ACURAT) und Rohrschwengel *Festuca pratensis* (Züchtung SUSANA) wurden von Freudenberger Feldsaaten[®] GmbH (Krefeld, Deutschland) bereitgestellt und in allen Experimenten benutzt. Von diesen drei Grasarten wurden sowohl unbehandelte Nacktsaaten, als auch Mantelsaaten in ihrer frühen physiologischen Entwicklung unter Wassermangel untersucht. Der Versuch bestand damit aus zwei Behandlungen: (i) den Nacktsaaten und (ii) den Mantelsaaten mit einer Kombination aus Stockosorb[®], Biplanthol[®] und Huminsäure.

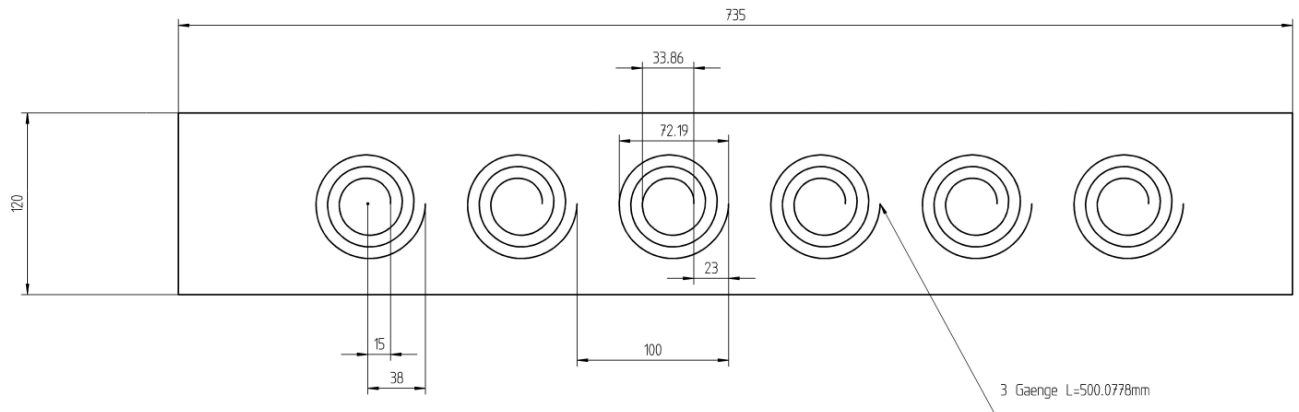
7.2 Feststellung der Keimraten

Zur Feststellung der Keimungsraten wurden von jeder Grasart jeweils 50 Nacktsaaten und 50 Mantelsaaten zufällig ausgewählt. Auf das Vorhandensein eines Fruchtkörpers wurde geachtet. Die Grassamen wurden nach Arten und Behandlung getrennt und in lichtdurchlässigen PET Keimkästen mit einem Abstand von 2 cm zueinander eingesetzt, welche mit Filterpapier MN 818 der Firma Macherey-Nagel ausgelegt und mit deionisiertem Wasser befeuchtet wurden. Die präparierten Keimkästen wurden in eine Klimakammer, E-75A (Percival Scientific, Iowa, USA), bei 20 °C mit einer 12-Stunden-Photoperiode gegeben. Der Keimversuch erstreckte sich über eine Dauer von 20 Tagen. Jeden Vormittag zur selben Uhrzeit wurde die Anzahl der Keimlinge notiert. Ausschlaggebend dafür war eine sichtbare Wurzelentwicklung.

7.3 Der Aufbau des Versuchsgestells

Um die als Leitmedium dienenden Filterpapiere senkrecht aufstellen zu können, wurden die Versuche mit Hilfe von Gestellen durchgeführt. Diese bestanden aus zwei Plexiglasplatten, in welche 5 Spiralen mit jeweils 50 cm Länge eingefräst wurden (Abbildung 1). An den Ecken der beiden Platten wurden Gewindestangen angebracht. Der Abstand der Plexiglasplatten zueinander betrug ca. 15 cm. Die Spiralen und der eingestellte Abstand garantierten eine gleichbleibende Einrollung der Filterpapiere oben und unten und verhinderten das Herausrutschen der Filterpapierbögen bei zunehmendem Feuchtigkeitsgrad und damit einhergehender abnehmender Stabilität. Die Filterpapiere standen an ihrem unteren Ende in Plastikformen, über die die Wasserversorgung erfolgte.

Abbildung 1: Aufriss einer in den Versuchen verwendeten Plexiglasplatte. Bereitgestellt von Dufner Präzisionsteile GmbH (Göggingen, Deutschland). Zu sehen sind sechs eingrefräste Spiralen, es wurden jedoch lediglich 5 Spiralen aufgrund mangelnder Materialeigenschaften realisiert.



7.4 Untersuchung des Filterpapiers auf seine Wasserspeicherfähigkeit

7.4.1 Vorversuch zur Wasserspeicherfähigkeit

Um das Wasserspeichervermögen des Filterpapiers MN 818 (Macherey & Nagel, Düren, Deutschland) zu untersuchen, wurde im Vorfeld ein Verdunstungstest in einer Klimakammer, E-75A (Percival Scientific, Iowa, USA), durchgeführt.

Zwei Lagen des MN 818 Filterpapiers mit den Maßen 40×40 cm wiegen ungefähr 60 g und besitzen ein maximales Wasserspeichervermögen von 160 g. Um festzustellen, wo und wie stark die Verdunstung an dem Leitmedium greift, wurden vier doppelagige Filterpapierbögen in das Versuchsgestell eingeführt. Ihre unteren Enden standen jeweils in eigenen Gefäßen, in welche 160 g Wasser eingefüllt wurde. Ab der Wasserbereitstellung wurde im 6-Stunden-Rhythmus ein doppelagiger Bogen entnommen, in 16 Quadrate geschnitten und gewogen. Da ein trockenes Quadrat von 10×10 cm 3,75 g wiegt, wurde von dem gewogenen, feuchten Filterpapierquadrat das Papiergewicht abgezogen um den Wassergehalt feststellen zu können:

$$\begin{aligned}
 \text{Wassergehalt} &= \text{Filterpapierquadratgewicht}_{\text{feucht}} \\
 &\quad - \text{Filterpapierquadratgewicht}_{\text{trocken}}
 \end{aligned}
 \tag{Formel 1}$$

Der relative Wassergradient wurde mit folgender Formel festgestellt:

$$\begin{aligned}
 \text{relativer Wassergehalt} &= \frac{\text{Absolutwassergehalt eines Filterpapierquadrates}}{\text{Absolutwassergehalt des schwersten Filterpapierquadrates}}
 \end{aligned}
 \tag{Formel 2}$$

7.4.2 Bestimmung der täglich zuzuführenden Wassermenge für die Behandlungen

Um Wasserstress induzieren zu können, musste die den Pflanzen bereitgestellte Wassermenge quantifiziert werden. Da eine Bestimmung der für die Keimlinge zur Verfügung stehenden Wassermenge während der Hauptversuche mangels geeigneter Testgeräte nicht möglich war, wurde eine Methode gewählt die Feuchtigkeitszustände über visuelle und haptische Einschätzung der Filterpapierspiralen durchzuführen. Je nachdem wie hoch der Wassergehalt des Filterpapiers war, veränderte sich sein Verhalten gegenüber Licht sowie seine Griffigkeit. So war wassergesättigtes Filterpapier sehr durchscheinend, die Papierrolle fühlte sich sehr weich an und hinterließ einen Wasserfilm auf der Haut. Eine sehr trockene Filterpapierrolle, erschien sehr blickdicht, das Papier fühlte sich sehr rau und hart an ohne einen Feuchtigkeitsfilm auf der Haut zu hinterlassen. Diese Beobachtung führten zu einem vierstufigen Bewertungsschlüssel (Tabelle 1), der es möglich machte die täglich zuzuführende Wassermenge für die jeweilige Trockenstressbehandlung zu bestimmen.

Da die Verdunstung innerhalb der Wärmekammer nicht gleichmäßig auftrat, sondern aufgrund der Belüftungsventilatoren an der Hinterwand der Klimakammer stärker griff, konnte die bereitgestellte Wassermenge im Hauptversuch nicht für jede Filterpapierrolle vereinheitlicht werden, sondern es musste eine Methode gefunden werden, die unterschiedlich starke Verdunstung zu Quantifizieren und so auch die Wassergaben in Abhängigkeit von dem Standort des Versuchsgestells zu variieren, sodass ein möglichst gleichmäßiger, kontrollierter Wassermangel induziert werden konnte. Dafür wurde die Versuchsreihe der Mantelsaaten immer im hinteren Bereich der Wärmekammer aufgestellt und erhielt deutlich höhere Gesamtwassergaben. Die Bestimmung der genauen Wassergabe innerhalb der vorgegebenen Mengeneinheit lag im persönlichen Ermessen. Über den gesamten Versuchszeitraum wurde die durchschnittliche Boniturnote 1 angestrebt.

Tabelle 1: Vierstufiger Bewertungsschlüssel für die Bestimmung der Boniturnoten und der damit zusammenhängenden empfohlenen Wassergabe mit Hilfe der Einordnung der Filterpapiereigenschaften durch visuelle und haptische Einschätzung. Innerhalb der empfohlenen Wassergaben lag die genaue zuzuführende Wassermenge im eigenen Ermessen.

Bewertungsschlüssel Filterpapierwasserzustand	Boniturnote	Wassergaben Nacktsaat [g]	Wassergaben Mantelsaat [g]
Filterpapier fühlt sich hart und rau an, es ist nicht durchscheinend, die Blätter sind schlaff	0	90 – 75	130 – 105
Filterpapier fühlt sich klamm und rau an, es ist nicht durchscheinend aber biegsam, die Blätter stehen meist aufrecht	1	70 – 45	100 – 70
Filterpapier fühlt sich weich und feucht an, es ist lichtdurchlässig und angequollen, Blätter stehen aufrecht	2	40 – 20	65 – 30
Filterpapier aufgequollen, fühlt sich sehr weich an, es ist anfällig für Risse und glänzt, sehr lichtdurchlässig, Blätter stehen aufrecht und vital	3	15 – 0	25 – 0

7.5 Versuchsaufbau und Versuchsablauf

Von jeder Grasart wurden sowohl Nacktsaaten als auch Mantelsaaten getrennt voneinander in Keimkästen mit Filterpapier MN 818 (Macherey-Nagel, Düren, Deutschland) und deionisiertem Wasser zu Keimung gebracht, um eine Wechselwirkung der Mantelsaaten auf die Nacktsaaten zu verhindern. Da die Samen nicht alle gleichzeitig auflaufen, sondern die Keimkurven von Gräsern sigmodal verlaufen (Bewley & Black, 1994), ist es von Anfang an notwendig, eine ausreichende Menge von Grassamen für die Keimung bereit zu stellen. Der Versuch musste mit gleichaltrigen Keimlingen, welche sich im selben Entwicklungsstadium befinden, durchgeführt werden, da ältere Keimlinge und Jungpflanzen eine größere Toleranz gegenüber Wassermangel haben und das Testergebnis verfälschen würden. Des Weiteren sollten eventuell auftretende frühe physiologische Veränderungen und Anpassungen aufgrund des Wassermangels möglichst gleichzeitig in allen Pflanzen induziert werden.

Sobald genügend Keimlinge mit einer Keimblattlänge von 3-5 mm für den Durchlauf vorhanden waren, wurden jeweils 4 doppelagige Filterpapierbögen in zwei Plexiglasgestelle eingeführt und je 33 Keimlinge pro Spirale in die obere Ritze mit 1 cm Abstand zueinander eingesetzt (Abbildung 2). Die Keimlinge wurden von Außen nach Innen mit den Zahlen 1-33 durchnummeriert. Alle Versuchsdurchläufe wurden bei 20° C und einer 12-Stunden-Photoperiode durchgeführt.

Jede zu testende Grassorte zählte als ein Versuchsdurchlauf, jede Spirale als Wiederholung; Jeder Versuchsdurchlauf wurde zeitlich getrennt zu den anderen Durchläufen durchgeführt. Mit den Samen vom Knäulgras *Dactylis glomerata*, dem Deutschen Weidelgras *Lolium perenne* und dem Rohrschwengel *Festuca pratensis* gab es insgesamt drei Durchläufe mit drei Wiederholungen in der Gruppe der wassergestressten Nacktsaaten als auch der wassergestressten Mantelsaaten und jeweils eine Kontrollspirale, welche über den ganzen Versuchszeitraum vollbewässert wurde.

Am jeweils ersten Tag des Versuchsdurchlaufes erhielten die Keimlinge eine Vollbewässerung von 160 g pro Spirale. Nach dem Verstreichen des ersten Tages, welcher zum Anwachsen gedacht war, folgte der zweite Tag, an dem aufgrund der Verdunstung keine optimale Versorgung der Pflanzen mehr bereitgestellt war und somit mit der Wasserstressbehandlung begonnen wurde.

Ab dem dritten Tag wurde den Pflanzen alle 24 Stunden immer zur selben Zeit des Folgetages Wasser bereitgestellt. Die benötigte Wassermenge wurde über visuelles und haptisches Einschätzungsvermögen bestimmt (Tabelle 1) und so angesetzt, dass die Jungpflanzen gerade ausreichend Wasser zum Überleben aber zu wenig für eine gesunde physiologische Entwicklung erhielten (Trockenstressvariante) oder ausreichend wasserversorgt waren (Kontrollvariante). Die Boniturnoten wurden täglich notiert.

Die Versuchsdauer wurde nach eigenem Ermessen beendet, wenn über drei Tage kein Wachstum der Blattlänge und eine zunehmende Gelbfärbung der Blätter zu beobachten war (Tabelle 2). Anschließend wurden die Blätter und die Hauptwurzeln der Jungpflanzen vermessen, danach für 24 h bei 50° C getrocknet und das Gewicht der Blätter als auch der Wurzeln mit einer Feinwaage (Precisa 220A, Gravimetrics AG, Dietikon, Schweiz) festgestellt.

Alle Daten wurden in Microsoft Excel (2010) eingetragen.

7 Material und Methoden

Abbildung 2: Versuchsaufbau zur Wasserstressbehandlung. Für jede zu testende Grassorte wurde dieser Aufbau durchgeführt

Wasserstress Mantelsaaten			vollbewässerte Kontrolle
Spirale 1	Spirale 2	Spirale 3	Spirale 4
Wasserstress Nacktsaaten			vollbewässerte Kontrolle
Spirale 1	Spirale 2	Spirale 3	Spirale 4

Tabelle 2: Versuchsdauer der einzelnen Durchläufe

Grassorte	Versuchsdauer in Tagen
Knautgras	19
Deutsches Weidelgras	17
Rohrschwingel	14

7.6 Auswertung

7.6.1 Datenerfassung und -aufbereitung

Die Trockenmasse, Blattlänge, Blattmasse, Wurzellänge und Wurzelmasse jedes Keimlings wurde festgestellt und in Microsoft Excel (2010) eingetragen. Mit Hilfe der Wurzelmasse und der Gesamttrockenmasse wurde das Wurzel-Spross-Verhältnis berechnet:

$$\text{Wurzel – Spross – Verhältnis} = \frac{\text{Wurzelmasse}}{\text{Gesamttrockenmasse}} \quad \text{Formel 3}$$

Um gemittelte Werte für die drei Filterpapierrollen der Wasserstresswiederholungen zu erhalten, wurden die Messdaten jedes Keimlings mit den Keimlingen der anderen Spiralen der gleichen Platzzahl addiert und durch drei geteilt. Die dafür benutzte Formel anhand des Beispiels der Trockenmasse sah folgendermaßen aus und kann auf alle die Kategorien Blattlänge, Blattmasse, Wurzellänge und Wurzelmasse übertragen werden:

$$\begin{aligned} & \text{Durchschnittliche Trockenmasse Keimling}_n \\ & = \\ & \frac{\text{Trockenmasse Keimling}_n (\text{Spirale}_1 + \text{Spirale}_2 + \text{Spirale}_3)}{3} \end{aligned} \quad \text{Formel 4}$$

7.6.2 Statistische Auswertung

Die Daten der Keimtests wurden in SigmaPlot eingelesen und graphisch dargestellt. Zusätzlich wurden sie über Chi-Quadrat-Tests ausgewertet, um festzustellen, ob sich die Keimraten von ummanteltem und unummanteltem Saatgut signifikant unterscheiden ($p \leq 0.05$).

Um zu überprüfen, ob sich der induzierte Wassermangel gleichmäßig auf alle Keimlinge innerhalb derselben Spirale auswirkt hat, wurden die Keimlinge vor der eigentlichen statistischen Auswertung nach ihrer Position innerhalb der Spirale in vier Gruppen aufgeteilt (Tabelle 3). Da bekannt ist, dass die Wurzellänge und die Trockenmasse einer Pflanze Indikatoren für Wassermangel sind (Kage et al., 2004, Huang & Fry, 1998), wurde die vierstufige Gruppeneinteilung benutzt, um Schlüsse über das Ausmass des induzierten Trockenstresses innerhalb der Spirale zu ziehen. Dafür wurden ANOVA's zum Signifikanzniveau $p \leq 0,05$ durchgeführt und geprüft, ob die unterschiedlichen Wassergaben signifikante Unterschiede in Trockenmassen und Wurzellängen zwischen den Positionsgruppen zur Folge hatten. Im Anschluss wurden Post-Hoc Tests (Duncan Multiple Range Tests) durchgeführt.

Für die weitere Auswertung wurden die ausgewählten Keimlinge mit ANOVA's zum Signifikanzniveau $p \leq 0,05$ untersucht und geprüft ob die Ummantelung und die Wassergaben sowie (gegebenenfalls) deren Wechselwirkungen signifikant waren. Bei nicht signifikanten Wechselwirkungen wurden die Untersuchungen auf Wechselwirkungen aus den ANOVA's herausgenommen. Um festzustellen, welche Mittelwerte sich signifikant voneinander unterscheiden, wurden im Anschluss Post-Hoc Tests (Duncan Multiple Range Tests) durchgeführt. Für die Auswertungen wurde das Statistikprogramm R (R Development Core Team, 2008) verwendet.

Tabelle 3: Einteilung der Keimlinge in vier Gruppen abhängig von ihrer Position im Filterpapier

Keimlingsgruppe	Position
1	1-8
2	9-16
3	17-24
4	25-33

8 Ergebnisse

8.1 Auswertung der Keimraten

Beim Deutschen Weidelgras und dem Rohrschwengel (Abbildung 3 b und c) sind Veränderungen der Keimungskurven zu erkennen; Sie sind beide deutlich nach rechts verschoben. Während die Nacktsaaten des Deutschen Weidelgrases für die Bewältigung des größten Keimlingszuwachsrate, nur rund sechs Tage ab Imbibition benötigen, nehmen die Mantelsaaten rund neun Tage in Anspruch. Auch hier gibt es zwar eine Phase der sehr aktiven „Massen-Keimung“, jedoch ist diese auf sieben Tage verteilt, anstatt wie bei den Nacktsaaten auf nur fünf. Knaulgras und Deutsches Weidelgras bleiben den Keimraten ihrer Nacktsaaten nahezu treu, während ausschließlich bei den Mantelsaaten der Rohrschwengel eine signifikante Minderung der Keimungsrate festzustellen war ($p \leq 0,05$) (Tabelle 4).

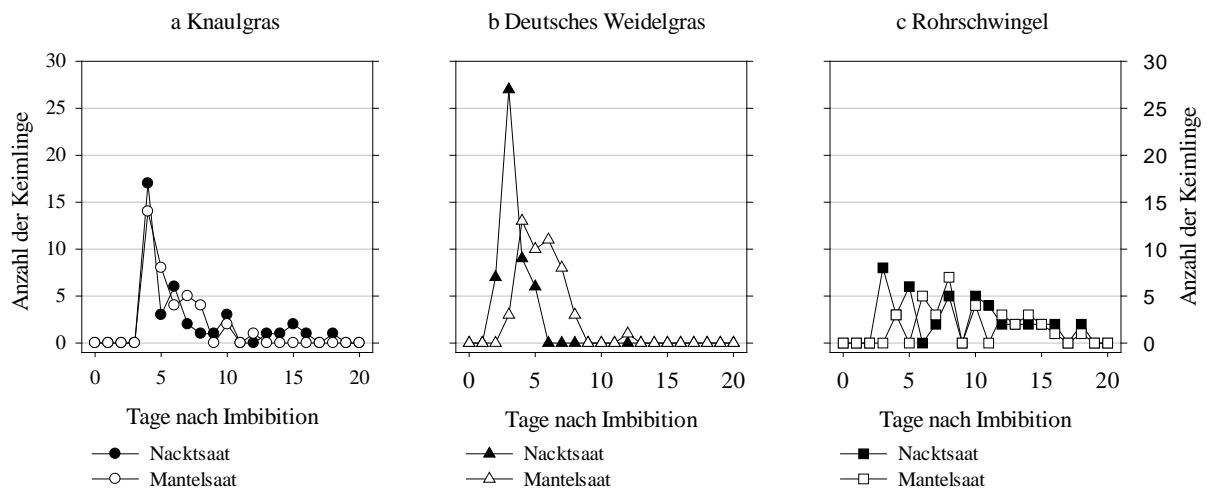
8 Ergebnisse

Tabelle 4: Täglich notierte Anzahl der Keimlinge ab Imbibition (24.8.)

		24.8.	25.8.	26.8.	27.8.	28.8.	29.8.	30.8.	31.8.	1.9.	2.9.	3.9.	4.9.	5.9.	6.9.	7.9.	8.9.	9.9.	10.9.	11.9.	Signifi- kanz
Knaulgras	Nackts.	-	-	-	-	17	20	26	28	29	30	33	33	33	34	35	37	38	38	39	n.s.
	Mantels.	-	-	-	-	14	22	26	31	34	34	36	36	37	37	37	37	37	37	37	
Deutsches Weidelgras	Nackts.	-	-	7	34	43	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	n.s.
	Mantels.	-	-	-	3	16	26	37	45	48	48	48	48	49	49	49	49	49	49	49	
Rohr- schwingel	Nackts.	-	-	-	8	11	17	17	19	24	24	29	33	35	37	39	41	43	43	45	s.
	Mantels.	-	-	-	-	3	3	8	11	18	18	22	22	25	27	30	32	33	33	34	

8 Ergebnisse

Abbildung 3: Die Keimkurven der Nackt- und Mantelsaaten von Knaulgras, Deutsches Weidelgras und Rohrschwingel ab Imbibition (Tag 0)



8.2 Rolle der Wasserspeicherfähigkeit des Filterpapiers

In den Tabellen 5 a ist deutlich zu erkennen, dass die Transpiration an der oberen äußeren Filterpapierschicht am stärksten greift und die Innenseite, vor allem die untere Innenseite das Wasser am längsten speichern kann, da hier weniger Luftbewegung und damit weniger Transpiration stattfindet. Auch der Wassergradient zeigt eine deutliche Feuchtigkeitszunahme von außen nach innen und von oben nach unten (Tabelle 5 b).

Die Vermutung liegt also nahe, dass den Keimlingen die sich weiter innen in der Spirale befanden, mehr Wasser zur Verfügung stand. Diese bessere Wasserversorgung hat womöglich einen geringer ausfallenden oder gar ausbleibenden Wasserstress zur Folge. Bereits in Abschnitt 7.6.2 wurde beschrieben, dass die Mittelwerte der Parameter Trockenmasse und Wurzellänge der Keimlinge 1 bis 33 in vier Gruppen eingeteilt wurden (Tabelle 3). Diese Daten wurden anschließend visuell mit Sigmaplot 12.5 (Systat Software, Richmond, USA) dargestellt und mit den Ergebnissen der statistischen Vorauswertungen beschriftet (Abbildung 5-7). In den Abbildungen 5 bis 7 ist zu erkennen, dass die Keimlinge aller drei Grassorten auf die Wasserstressbehandlung reagierten und deren Parameter Trockenmasse und Wurzellänge Unterschiede zu den Kontrollgruppen aufwiesen. Da sich die Signifikanzen bei allen drei Grassorten wiederholen und nur bei den Gruppenpositionen 1 und 2 ein vergleichbarer Wasserstress herausstellte, wurden die Gruppenpositionen 3 und 4 aus der weiteren statistischen Untersuchung herausgenommen, um eine homogene der Datengrundlage zu erlangen. Nach dieser Eingrenzung der Daten wurden nur noch die Keimlinge der Positionen 1-16 auf Signifikanzen und (gegebenenfalls) Wechselwirkungen untersucht.

Tabelle 5: Absolutwassergehalte (a) und relative Wassergradienten (b) innerhalb eingerolltem, doppelagigem Filterpapier (40 cm x 40 cm) nach Befeuchtung mit 160 g Wasser nach 6, 12, 18, 24 Stunden. Die linke Seite der Quadrate befand sich immer Außen, die rechte Seite Innen. Unterschiedlich starke Blaufärbung soll den Wassergehalt hervorheben. Jedes doppelagige 10×10 cm große Filterpapierquadrat hat in trockenem Zustand ein Gewicht von 3,75 g. Werte der relativen Wassergradienten beziehen sich auf das Quadrat mit dem jeweils höchsten Wassergehalt (blau unterlegt).

a)

6 h				12 h				18 h				24 h			
6,9	6,9	7,3	7,6	3,6	3,8	4,6	4,7	2,7	3,0	3,2	3,2	0,2	0,3	1,6	2,9
7,4	7,4	7,5	7,9	4,2	4,4	4,6	5,3	3,4	3,3	3,5	3,7	0,2	0,6	2,4	3,3
7,6	7,7	7,8	8,1	5,3	5,2	5,5	5,5	3,6	4,1	4,0	4,3	0,1	0,8	2,8	3,5
7,6	8,1	8,4	8,4	5,6	5,4	5,8	6,1	4,4	4,6	4,6	4,4	0,5	1,1	2,9	3,2

b)

6 h				12 h				18 h				24 h			
0,82	0,82	0,87	0,90	0,59	0,62	0,75	0,77	0,58	0,65	0,69	0,69	0,04	0,07	0,45	0,83
0,88	0,88	0,89	0,94	0,69	0,72	0,75	0,87	0,74	0,71	0,76	0,80	0,04	0,16	0,68	0,94
0,90	0,92	0,93	0,96	0,87	0,85	0,90	0,90	0,78	0,89	0,87	0,93	0,01	0,22	0,80	1,00
0,90	0,96	1,00	1,00	0,92	0,88	0,95	1,00	0,96	1,00	1,00	0,96	0,13	0,30	0,83	0,91

8 Ergebnisse

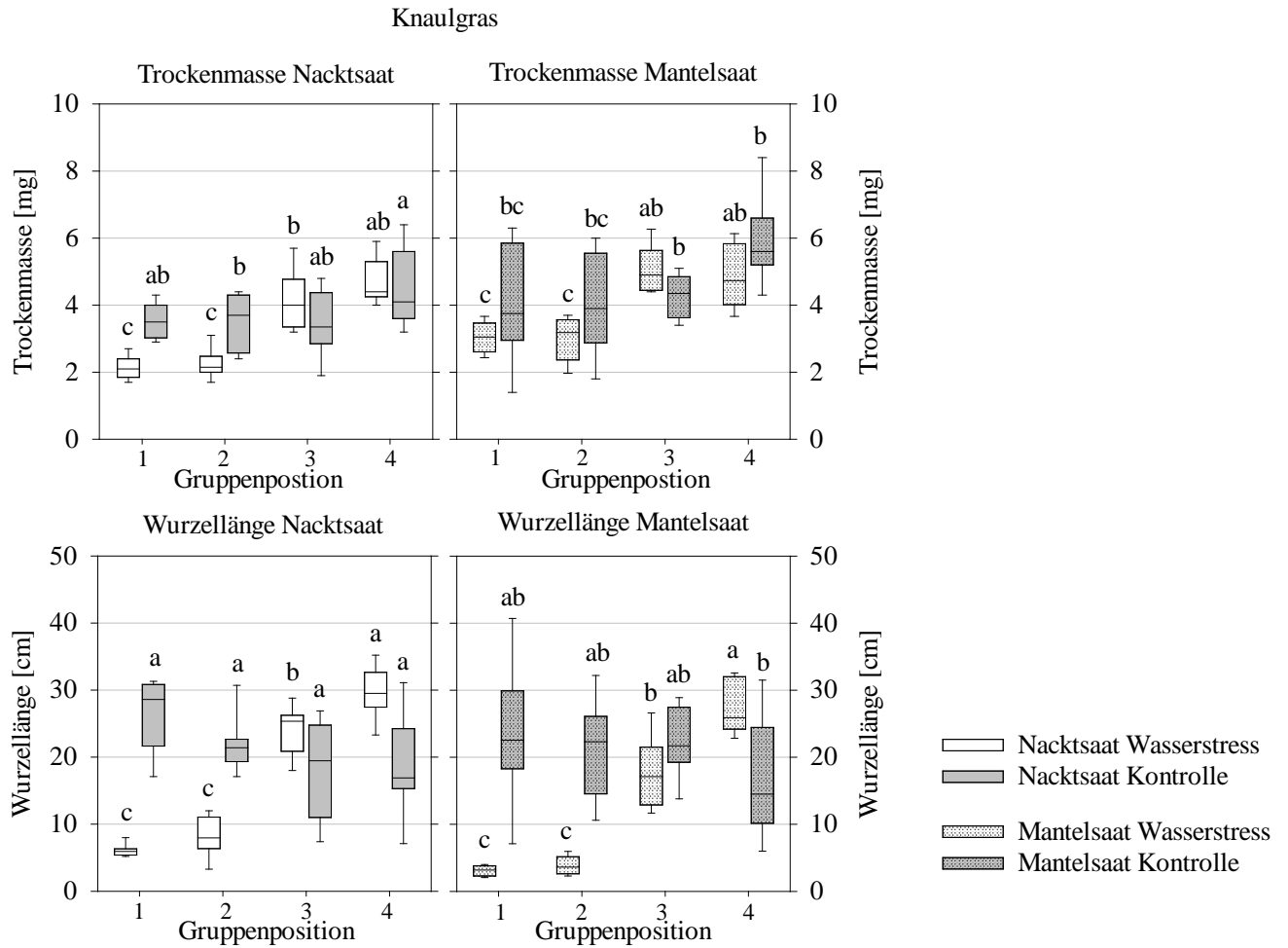


Abbildung 4: Wurzellängen und Trockenmassen des Knaulgrases. Boxen mit dem gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Duncan Multiple Range Test)

8 Ergebnisse

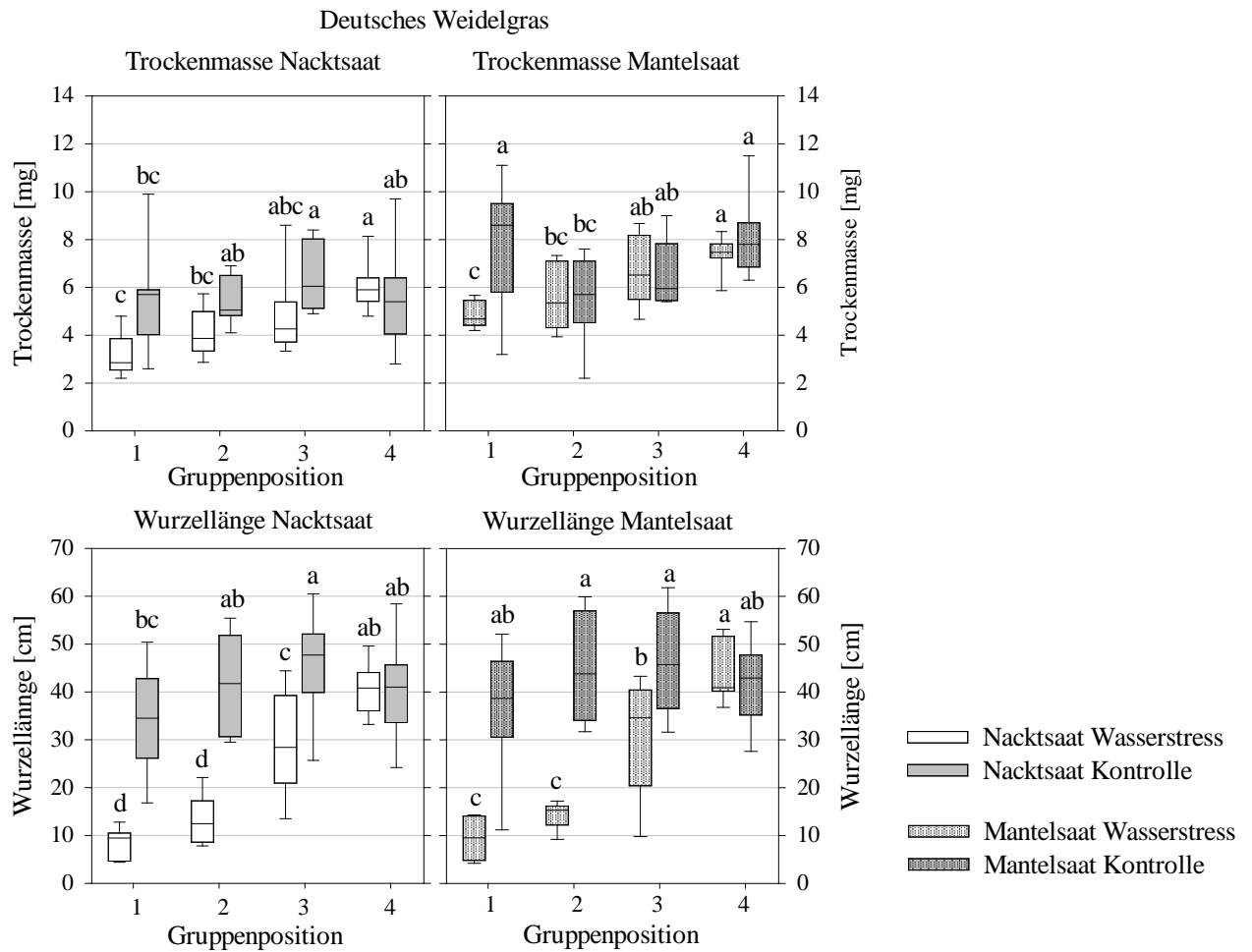


Abbildung 5: Wurzellängen und Trockenmassen des Deutschen Weidelgrases. Boxen mit dem gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Duncan Multiple Range Test)

8 Ergebnisse

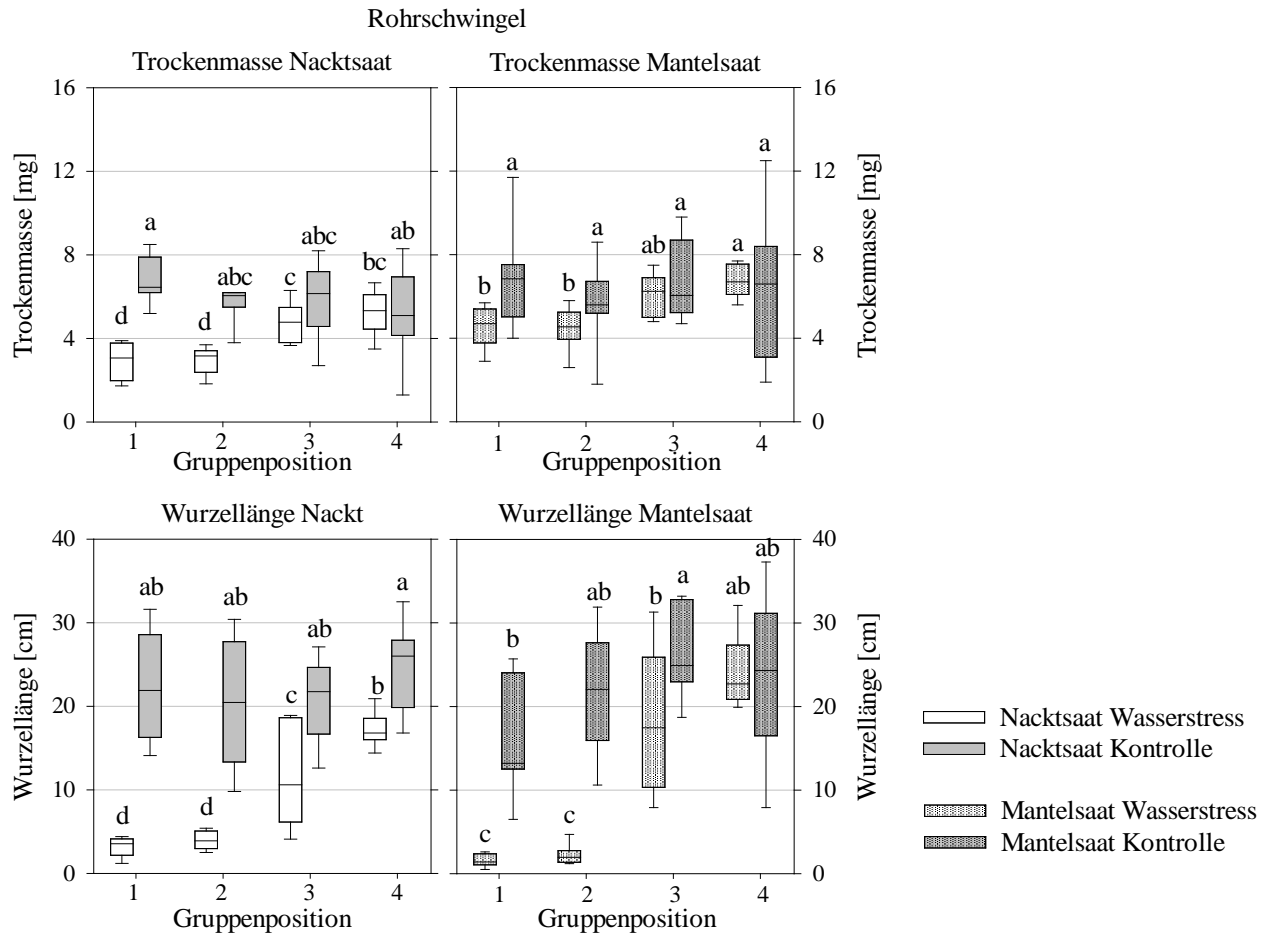


Abbildung 6: Wurzellängen und Trockenmassen des Rohrschwengels. Boxen mit dem gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Duncan Multiple Range Test)

8.3 Die physiologische Entwicklung von Nacktsaaten und Mantelsaaten unter Wasserstress

Während des Versuchsdurchlaufes wurde täglich die Boniturnoten des Filterpapierwasserzustands (Tabelle 1) notiert und am Ende der Testreihen gemittelt (Tabelle 6). Wie beabsichtigt bewegen sich die Durchschnittsnoten der Wasserstressbehandlungen um die Boniturnote 1 und die Durchschnittsnoten der Kontrollgruppen in der Boniturnote 4. Lediglich die Mantelsaaten des Deutschen Weidelgrases erlitten einen um 0,5 Punkte niedrigeren Boniturdurchschnitt und damit stärkeren Wassermangel als die

Tabelle 6: Die gemittelten Boniturnoten der Feuchtigkeitszustände. Über die Versuchsdauer einmal am Tag notierte und zum Schluss gemittelte Einzelnoten.

	Behandlung	Spirale 1	Spirale 2	Spirale 3	Ø der Spiralen 1, 2 und 3	Kontrolle
Knautgras	Nacktsaat	1.3	1.1	0.9	1.1	4.0
	Mantelsaat	1.3	1.2	1.2	1.2	4.0
Deutsches Weidelgras	Nacktsaat	1.1	1.1	1.1	1.1	4.0
	Mantelsaat	0.6	0.6	0.6	0.6	4.0
Rohrschwengel	Nacktsaat	0.8	0.8	0.8	0.8	4.0
	Mantelsaat	0.8	0.8	0.9	0.9	4.0

8 Ergebnisse

8.3.1 *Knautgras*

Knautgras unter Trockenstress bildet signifikant kürzere Wurzeln und Blätter sowie eine signifikant geringere Blattmasse. Alle übrigen Parameter weisen ebenfalls auf einen negativen Effekt von Trockenstress auf das Wachstum hin.

Innerhalb der ausreichend wasserversorgten Pflanzen treten zwischen Mantelsaat und Nacktsaat bezüglich der Parameter Trockenmasse, Wurzel-Spross-Verhältnis und Wurzelmasse Unterschiede auf.

Unter Trockenstress bilden Pflanzen mit ummanteltem Saatgut eine höhere Trockenmasse, ein höheres Wurzel-Spross-Verhältnis, mehr Wurzelmasse und längere Wurzeln.

8 Ergebnisse

Tabelle 7: Statistische Auswertung Knaulgras

	Trockenmasse			Wurzel-Spross-Verhältnis			Wurzelmasse			Wurzellänge			Blattmasse			Blattlänge		
	Gruppe (Duncan Test)	Mittelwert [mg]	Standardfehler [mg]	Gruppe (Duncan Test)	Mittelwert	Standardfehler	Gruppe (Duncan Test)	Mittelwert [mg]	Standardfehler [mg]	Gruppe (Duncan Test)	Mittelwert [cm]	Standardfehler [cm]	Gruppe (Duncan Test)	Mittelwert [mg]	Standardfehler [mg]	Gruppe (Duncan Test)	Mittelwert [cm]	Standardfehler [cm]
Kontrolle Mantel-saat	a	4,08	1,55	b	0,64	0,14	a	2,45	0,79	a	22,6	8,69	a	1,57	0,90	a	6,33	2,13
Kontrolle Nacktsaat	ab	3,52	0,67	bc	0,58	0,09	b	2,0	0,33	a	24,12	5,27	a	1,53	0,54	a	6,59	1,39
Wasser-stress Mantel-saat	b	3,01	0,51	a	0,72	0,07	ab	2,16	0,39	b	3,51	1,08	b	0,84	0,26	b	4,21	0,71
Wasser-stress Nacktsaat	c	2,91	0,39	c	0,53	0,11	c	1,16	0,29	c	7,1	1,97	b	1,03	0,30	b	5,04	0,82

8 Ergebnisse

8.3.2 *Deutsches Weidelgras*

Deutsches Weidelgras unter Trockenstress bildet signifikant weniger Trockenmasse und kürzere Wurzeln und Blätter. Die übrigen Parameter, mit Ausnahme der Blattmasse, weisen ebenfalls auf einen negativen Effekt von Trockenstress auf das Wachstum hin.

Innerhalb der ausreichend wasserversorgten Pflanzen treten zwischen Mantelsaat und Nacktsaat nur bezüglich der Parameter Wurzel-Spross-Verhältnis und Wurzelmasse und Blattmasse Unterschiede auf.

Unter Trockenstress bilden Pflanzen mit ummanteltem Saatgut eine signifikant höhere Trockenmasse, ein höheres Wurzel-Spross-Verhältnis und mehr Wurzelmasse.

Der Parameter Blattmasse zeigte keine eindeutigen Reaktionen bezüglich Wasserversorgung oder Saatgutbehandlung auf.

8 Ergebnisse

Tabelle 8: Statistische Auswertung Deutsches Weidelgras

	Trockenmasse			Wurzel-Spross-Verhältnis			Wurzelmasse			Wurzellänge			Blattmasse			Blattlänge		
	Gruppe (Duncan Test)	Mittelwert [mg]	Standardfehler [mg]	Gruppe (Duncan Test)	Mittelwert	Standardfehler	Gruppe (Duncan Test)	Mittelwert [mg]	Standardfehler [mg]	Gruppe (Duncan Test)	Mittelwert [cm]	Standardfehler [cm]	Gruppe (Duncan Test)	Mittelwert [mg]	Standardfehler [mg]	Gruppe (Duncan Test)	Mittelwert [cm]	Standardfehler [cm]
Kontrolle Mantel-saat	a	6,74	2,47	a	0,81	0,06	a	5,49	2,12	a	41,06	12,55	b	1,24	0,57	a	8,34	2,12
Kontrolle Nacktsaat	a	5,51	1,66	b	0,67	0,07	b	3,70	1,18	a	37,81	10,25	a	1,81	0,68	a	7,55	1,31
Wasser-stress Mantel-saat	b	5,1	0,93	b	0,67	0,10	b	3,51	0,57	b	11,78	4,36	ab	1,6	0,74	b	5,4	1,20
Wasser-stress Nacktsaat	c	3,59	1,05	c	0,56	0,10	c	1,94	0,34	b	10,77	3,85	ab	1,73	0,94	b	5,6	1,28

8 Ergebnisse

8.3.3 Rohrschwengel

Rohrschwengel unter Trockenstress bilden signifikant weniger Trockenmasse, kürzere Wurzeln sowie eine geringere Blattmasse also auch eine geringere Blattlänge. Der Parameter Wurzelmasse weist ebenfalls auf einen negativen Effekt von Trockenstress auf das Wachstum hin. Eine Ausnahme bildet das Wurzel-Spross-Verhältnis, welches bei Mantelsaaten unter wasserstress am höchsten ausfällt.

Innerhalb der ausreichend wasserversorgten Pflanzen treten zwischen Mantelsaaten und Nacktsaaten nur bezüglich der Parameter Wurzelmasse und Blattlänge Unterschiede auf.

Unter Trockenstress bilden Pflanzen mit ummanteltem Saatgut eine höhere Trockenmasse und Wurzelmasse als auch ein höheres Wurzel-Spross-Verhältnis.

8 Ergebnisse

Tabelle 9: Statistische Auswertung Rohrschwengel

	Trockenmasse			Wurzel-Spross-Verhältnis			Wurzelmasse			Wurzellänge			Blattmasse			Blattlänge		
	Gruppe (Duncan Test)	Mittelwert [mg]	Standardfehler [mg]	Gruppe (Duncan Test)	Mittelwert	Standardfehler	Gruppe (Duncan Test)	Mittelwert [mg]	Standardfehler [mg]	Gruppe (Duncan Test)	Mittelwert [cm]	Standardfehler [cm]	Gruppe (Duncan Test)	Mittelwert [mg]	Standardfehler [mg]	Gruppe (Duncan Test)	Mittelwert [cm]	Standardfehler [cm]
Kontrolle Mantel-saat	a	6,84	2,16	b	0,57	0,11	a	3,96	1,59	a	18,88	7,50	a	2,88	0,90	a	8,73	1,76
Kontrolle Nacktsaat	a	6,23	1,11	b	0,52	0,07	b	3,23	0,51	a	21,39	6,90	a	3,0	0,85	b	7,63	1,47
Wasser-stress Mantel-saat	b	4,45	0,94	a	0,7	0,10	b	3,12	0,67	b	1,93	0,70	b	1,38	0,61	c	3,43	0,79
Wasser-stress Nacktsaat	c	2,9	0,80	b	0,58	0,08	c	1,67	0,46	b	3,61	1,12	b	1,26	0,41	c	3,58	0,68

9 Diskussion

9.1 Die Auswirkungen von Mantelsaaten auf die Keimraten

Freudenberger Mantelsaaten wurden entwickelt, um die Widerstandsfähigkeit und die Vitalität von heranwachsenden Pflanzen zu verbessern, aber auch um die Haltbarkeit während längerer Lagerung und das möglichst gleichmäßige Auflaufen der Keimlinge zu verbessern und zu gewährleisten.

Nach den vorangegangenen Keimtests ist der Schluss zu ziehen, dass die Ummantelung keinen Einfluss auf die Gleichmäßigkeit des Auflaufens besitzt und unter Umständen die Keimfähigkeit deutlich verringert, da eine signifikante Minderung der Keimungsraten des Rohrschwingels und eine leichte, aber nicht signifikante Minderung der Keimungsraten des Knaulgrases festzustellen war. Die Verschiebung der Keimkurven nach rechts (Abbildung 6 b und c) spricht entweder für ein späteres Auflaufen der Samen oder findet seinen Grund darin, dass die Feststellung einer Verlängerung der Wurzeln aufgrund der Ummantelung später als bei den Nacktsaaten festzustellen war.

Ein Grund für die (signifikante) Minderung der Keimraten könnte die zu gering ausfallende Luftzufuhr sein, die dafür sorgt, dass die Samen dormant bleiben. Wichtig für die Keimung von Samen ist die Verfügbarkeit von Wasser, passende Temperatur und ein Sauerstoffgehalt, der einen gewissen Grenzwert nicht unterschreiten darf, wenn die Samenruhe unterbrochen werden soll. Sauerstoff wird zur Respiration gebraucht um die gespeicherten Reserven mobilisieren zu können. Da die Mantelsaaten mit dicken Schichten verschiedener Substanzen umhüllt sind, darunter die Absorberhülle, welche aufgrund seiner wasserspeichernden Polymere expandiert und eine recht stabile Luftbarriere darstellt (Abbildung 8), ist es möglich, dass die Sauerstoffzufuhr des Samens dadurch beeinträchtigt wird (Gorim & Asch, 2012). Dieses Problem kommt vor allem dann zum Tragen, wenn die Absorberschicht der Mantelsaaten ungleichmäßig verteilt ist.

Zu erwähnen bleibt dennoch, dass eine verringerte Keimungsrate der Mantelsaaten auch darauf zurückzuführen sein könnte, dass bei der Umhüllung der Samen auch Spelzen mitbehandelt wurden. Vor der Saatgutbeizung wird ein Großteil leichter Fremdkörper und Spelzen mit Hilfe von Luftströmung vom eigentlichen Saatgut abgetrennt. Dennoch ist eine gewisse Restverunreinigung nicht auszuschließen. Bei den Nacktsaaten konnte während der Samenauswahl darauf geachtet werden, nur solche mit deutlich vorhandenem Fruchtkörper zu verwenden, bei den Mantelsaaten was dies freilich nicht möglich.

Die Beobachtungen sind ohne Augenmerk auf das Herstellerdatum der Mantelsaaten erfolgt, sodass dieser Eindruck nachträglich durch weitergehende Untersuchungen gefestigt werden muss.



Abbildung 7: Mantelsamen des Rohrschwingels einen Tag nach Imbibition. Links mit geringer Stockosorb®-Expansion, rechts mit enormer Stockosorb®-Expansion

9.2 Die Auswirkungen von Mantelsaaten auf die Keimlingsentwicklung unter Wasserstress

Vor Beendigung der Versuchsreihen war nicht sicher, wie sich die Ummantelung als auch der Wassermangel auf die Jugendentwicklung der Grassorten entwickeln würde. Natürlich lag die Vermutung nahe, dass die vollbewässerten Kontrollgruppen bei allen Grassorten einen deutlichen Vorteil zu den Gruppen unter Wassermangel haben würden. Nach der Auswertung der Ergebnisse lässt sich diese Tendenz bestätigen.

Betrachtet man die Gruppen der unterschiedlichen Wassergaben getrennt voneinander, und vergleicht speziell die Nackt- mit den Mantelsaaten so sind auch hier Unterschiede in den Ergebnissen festzustellen. Sehr verallgemeinert kann man die Aussage treffen, dass eine ausreichende Bewässerung und eine Ummantelung der Samen die Jugendentwicklung der Grassorten begünstigt. Betrachtet man speziell die Versuchsreihen unter Wassermangel, war eine ausnahmslose Erhöhung der Trockenmasse, Wurzelmasse und des Wurzel-Spross-Verhältnisses der Mantelsaaten festzustellen, Knautgras zeigte sogar zusätzlich eine Erhöhung seiner Wurzellängen.

Den Keimlingen scheint die Ummantelung eine Expansion der Wurzeln zu ermöglichen, auch wenn die Wasserversorgung suboptimal ist. Diese Begünstigung der unterirdischen Trockenmasse lässt sich so erklären:

Verringert sich der Bodenwassergehalt in der Erde, in der die Pflanze wächst, so verringert sich auch die Wasserkontaktfläche der Wurzelhaare zum Wasser und seine Verfügbarkeit nimmt ab. Wurzelspitzen geben in diesem Fall Stresshormone frei, welche die Schließung der Stomata veranlasst und im weiteren Verlauf helfen, sich mit der Osmoregulation an diese Situation anpassen. Hierfür werden organische und anorganische Substanzen in den Wurzeln gesammelt, welche das osmotische Potential sinken und das Druckpotential ansteigen lässt. Der dadurch resultierende erhöhte Turgordruck wirkt auf die Zellwände ein, unterstützt somit die Zellstreckung und lässt die Wurzeln wachsen um mehr Wasser erschließen zu können. Kann die Pflanze durch verstärktes (Tiefen-) Wachstum trotzdem nicht mehr Wasser erreichen, trocknet sie langsam aus und damit auch ihre Wurzeln, wodurch wiederum der Bodenkontakt abnimmt und sich die Wassermangelsituation verschlimmert. Eine Folgeerscheinung sind gestörte Nährstoffströme und somit Nährstoffmangel. Außerdem können die Wurzeln keine Exudate² und Mucilage³ mehr absondern, was die Verfügbarkeit von ohnehin schwer löslichen Pflanzennährstoffen weiter verschlechtert. Wird die Pflanze soweit in ihrer normalen physiologischen Funktionsweise gestört, wird der Überschuss von Assimilaten der Blätter in die Wurzeln verlagert und die Bildung neuer oberirdischer Trockenmasse gehemmt wodurch das Wurzel-Spross-Verhältnis ansteigt. Dieses Verhalten wird auch als „Vermeidungsstrategie“ bezeichnet, da die Pflanze so versucht, dem Wassermangel zu entkommen.

Nicht nur die Wurzeln reagieren auf Stresshormone der Pflanzen, sondern auch die Spaltöffnungen der Blättern. Erreicht sie dieses Signal, so werden osmotisch wirksame Substanzen in die Nachbarzellen der Stomata geleitet, sodass das Wasser in Richtung der angereicherten Zellen fließt. Die Stomata schließen sich und können weder Wasserdampf abgeben, noch CO₂ aufnehmen. Dieser Regelkreislauf schützt die Pflanzen vor der Austrocknung indem er die Evaporation verhindert. Allerdings hemmt er ebenso die Photosynthese, da die Kohlenstoffdioxidassimilation beeinträchtigt wird. Neben diesem kurzfristigen Instrument zur Wassereinsparung werden auf längere Zeit gesehen, geringere Anzahlen an Blättern mit insgesamt kleinerer Fläche produziert, als es bei einer Vollbewässerung der Fall gewesen wäre (van den Berg & Zeng, 2006).

Betrachtet man die Ergebnisse und legt den Schwerpunkt der Betrachtung auf das Wurzel-Spross-Verhältnis, so zeigen Knautgras und Rohrschwengel einen hohen Anteil von Wurzelmasse im Bezug zu ihrer Trockenmasse. Es liegt die Schlussfolgerung nahe, dass die Mantelsaaten stärker unter Wassermangel leiden und sich dies im Wurzel-Spross-Verhältnis niederschlägt.

Um keine falschen Schlussfolgerungen zu ziehen, darf man nicht vergessen, dass Gräser grundsätzlich eine größere Wurzelmasse im Verhältnis zu ihrer Blattmasse aufweisen, als andere Pflanzen und wasserstresstolerante Arten ein generell höheres Wurzel-Spross-Verhältnis haben als empfindliche Arten (Herndl et al., 2011).

Des Weiteren beziehen sich die Ergebnisse dieser Untersuchung nicht auf adulte Pflanzen, die sich in ihrer Umgebung etabliert haben, sondern auf Jungpflanzen, welche direkt nach

² Wurzeln geben organische Säuren und Chelatbildner ab. Diese Wurzelexudate stimulieren die Freigabe von Ionen der Bodenminerale und steigern dadurch die Bioverfügbarkeit von Nährstoffen, die sonst nur sporadisch gelöst vorhanden sind

³ Wurzeln entlassen Schleim der den Boden aufgrund von Mikroaggregatbildung festigt und attraktiv macht für Mykorrhizen

der Keimung unter Wassermangel gesetzt wurden. In dieser Phase haben Pflanzen allgemein eine im Verhältnis zur Blattmasse höhere Wurzelmasse, da die Wurzelexpansion und die damit zusammenhängende Nährstoff- und Wassererschließung zu Beginn ihres Wachstums eine unerlässliche Überlebenssicherung darstellt, die die Photoautotrophie erst ermöglicht (Ehlers & Goss, 2002). Ist dieser Schritt abgeschlossen, beginnt das Blatt- und Sprosswachstum langsam das Wurzelwachstum zu übersteigen.

Gerät eine Pflanze vor Erreichen der Photoautotrophie unter Wasserstress, so wird sich zwar ihre Wurzelrockenmasse, die totale Wurzellänge und die Durchwurzelungsintensität erhöhen, aber sie wird keine tieferliegenden Bodenregionen erschließen, als eine Pflanze die vollbewässert wird (Hamblin et al., 1990, Blum, 1996).

Angestrebt wird eine Vergrößerung der wasseraufnahmefähigen Wurzeloberfläche um die limitiert vorkommende Komponente bestmöglich ausschöpfen zu können. Befinden sich zwei gleichaltrige Keimlinge im selben Entwicklungsstadium und wird dem einen zu wenig und dem anderen genügend Wasser zur Verfügung gestellt, so wird der wassergestresste Keimling früher den Schwerpunkt seiner Biomasseallokation auf die Wurzelexpansion legen, als der vollbewässerte. Möglich ist das, da die Stressanfälligkeit der Pflanze abhängig von dem ablaufenden Prozess ist. So sind Pflanzen zum Beispiel sehr anfällig für Wassermangel während der Zellstreckung, jedoch scheint die Zellteilung und die Verlagerung von Assimilaten weniger stressanfällig zu sein (Ehlers & Goss, 2002). In den Ergebnissen ist damit eine Vergrößerung der Wurzelmasse als positiv anzusehender Wasserstressindikator zu betrachten, da die Keimlinge mit einem erhöhten Anteil der Wurzelmasse an der Trockenmasse eher in der Lage waren, mehr Assimilate in Richtung der Wurzel zu verlagern. Da sowohl die Trockenmasse, als auch die Wurzelmasse und das Wurzel-Spross-Verhältnis der Mantelsaaten signifikant besser ausfiel als die gleichen Daten der gegenübergestellten Nacktsaaten, scheint sich die Ummantelung positiv auf die Prozesse der Biomasseallokation auszuwirken. War nicht das Wasser der limitierende Faktor, so zeigten alle Mantelsaaten eine signifikant höhere Wurzelmasse als die ihnen gegenübergestellten Nacktsaaten. Daraus ist der Schluss zu ziehen, dass die Ummantelung tatsächlich Einfluss auf die Jungpflanzen besitzt und ihnen bei Nährstoffmangel eine Vergrößerung der Wurzeloberfläche ermöglicht um die knappen Ressourcen voll erschließen zu können: „For greater production, the plant can use the growth factor that is available at a minimum level, the more the other growth factors are within the plant's optimum range“ (Claupein, 1993, Water Dynamics in Plant Production).

Leider kann über den tatsächlichen Einfluss des pflanzenhomöopathischen Produktes Biplantol[®] nur wenig ausgesagt werden, da seine Nährstoffkonzentrationen dem Herstellergeheimnis unterliegen. Zu Beginn der Keimung und in der frühen Entwicklungsphase des Keimlings bezieht die wachsende Pflanze ihren ganzen Versorgungsbedarf aus den im Korn gespeicherten Nährstoffen und Kohlehydraten. Sobald der Keimling die Grenze zur Photoautotrophie erreicht, benötigt er mehr Mikro- und Makronährstoffe für das Zellwachstum, die Regulierung von Stoffwechselprozessen und des Wasserhaushaltes. Natürlich ist es möglich, dass die in der Ummantelung enthaltenen Nährstoffe den Keimling zusätzlich stärken und nicht absorbierte Nährstoffe später in das Filterpapier (den Boden) diffundieren und dort wieder Wurzel- und somit Pflanzenverfügbar werden.

Der Einfluss von Stockorsorb[®] spielte in diesem Versuch keine große Rolle, da der Versuch erst nach Beendigung der Keimtätigkeit begonnen wurde. Seine Wirkung ist auf die frühe Zeit ab der Imbibition bis zur ersten Verlängerung der Wurzeln begrenzt, da der Keimling im Weiteren Entwicklungsverlauf früh damit beginnt Flüssigkeit über die Wurzeln aufzunehmen, wodurch die Samenhülle mit Absorberzusatz nutzlos wird. Bis

dahin jedoch kann die aufgequollene Polymerhülle den Bodenkontakt im Vergleich zu Nacktsaaten vergrößert und mehr Wasser aus seiner Umgebung aufnehmen. Später, nach der Rhizomverlängerung, würde lediglich eine Durchmischung von Stockosorb® mit der Bodenstruktur die Bodenwasserspeicherkapazitäten und die Pflanzenverfügbarkeit verbessern.

Huminsäure hingegen scheint Einfluss auf das frühe Pflanzenwachstum zu nehmen, wie bereits die Literaturrecherche im Vorfeld der Untersuchungen andeuten lies (6.2.3). Dennoch ist es nicht möglich, eine eindeutige Aussage darüber zu treffen, welcher der einzelnen Bestandteile der Ummantelung im Einzelnen die Effekte ausgelöst hat.

Weiterhin bleibt ein Einfluss der frühen Keimlingsentwicklung in Abhängigkeit der Manteldicke in dieser Arbeit offen. So haben Gorim & Asch (2012) gezeigt, dass die Dicke der Ummantelung einen signifikanten Einfluss auf die Bereitstellung der in dem Samen gespeicherten Nährstoffe und Kohlehydrate hat. Je dicker der Samenmantel ist, desto schneller läuft das Wachstum bis zur photoautotrophen Pflanze ab. Während des Prozesses der Keimung und Entwicklung zur photoautotrophen Pflanze verliert die Jungpflanze aufgrund der respiratorischen und sehr energieaufwändigen Abläufe viel an Masse und benötigt mehr Zeit, diese Verluste wieder aufzuholen. Die Ummantelung sorgt dafür, dass dem Keimling mehr Nährstoffe für das Wachstum bereitgestellt werden und minimiert diese anfallenden Verluste, sodass die Phototautrophie schneller erreicht werden kann, als es bei Nacktsaaten der Falls ist. Daher ist anzunehmen, dass die Mantelsaaten bereits bei der Mobilisierung der im Samen gespeicherten Nährstoffe über einen Vorteil verfügen.

Bezüglich der durchgeführten Versuche bleibt zu kritisieren, dass keine Randomisierung durchgeführt wurde und die vollbewässerten Kontrollgruppen keine Wiederholungen beinhalteten. Dennoch sind positive Effekte von Mantelsaaten auf die frühe Keimlingsentwicklung von Süßgräsern unter Wasserstress festzustellen.

11 Literaturverzeichnis

Atiyeh R M, Lee S, Edwards C A, Arancon N Q, & Metzger J D (2002). The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource technology*, 84(1), 7-14

Berdahl J D & Barker R E (1980). Germination and emergence of Russian wildrye seeds coated with hydrophilic materials. *Agronomy Journal*, 72(6), 1006-1008

Bewley J D & Black M (1994). SEEDS Physiology of Development and Germination. *Plenum The Language of Science Publishing Corporation*

Blum A (1996). Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. *Plant Growth Regulation* 20(2), 135-148

Chirino E, Vilagrosa A, & Vallejo V R (2011). Using hydrogel and clay to improve the water status of seedlings for dryland restoration. *Plant and Soil*, 344(1), 99-110

Ehlers W, & Goss M (2002). Water Dynamics in Plant Production, *CABI Publishing*

Elsäßer M & Thumm U (2009), Wichtige Gras- und Leguminosenarten des Wirtschaftsgrünlandes und von Rasenflächen, *Vorlesungsunterlagen Graslandwissenschaften*

Epstein E (1956). Mineral nutrition of plants: mechanisms of uptake and transport. *Annual Review of Plant Physiology*, 7(1), 1-24

Evan M R & Li G (2002). Effect of humic acids on growth of annual ornamental seedling plugs. *HortTechnology*, 13(4), 661-665

García A C, Berbara R L L, Farías L P, Izquierdo F G, Hernández O L, Campos R H, & Castro R N (2012). Humic acids of vermicompost as an ecological pathway to increase resistance of rice seedlings to water stress. *African Journal of Biotechnology*, 11(13), 3125-3134

Glas H (2005), Faszination Gräser, *Advanta*

Gorim L & Asch F (2012). Effects of Composition and Share of Seed Coatings on the Mobilization Efficiency of Cereal Seeds During Germination. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 198(2), 81-91

Guo W, & Wang Q (2011). Effects of seed soaking with humic acid on wheat seedlings antioxidant system under salt-alkali stress. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 22(10), 2539-2545

Hamblin A, Tennant D & Perry MW (1990). The cost of stress: dry matter partitioning changes with seasonal supply of water and nitrogen to dryland wheat. *Plant and Soil*, 122(1), 47-58

Harting D (1994). Wertschöpfung auf neuen Wegen. *Beschaffung aktuell*

11 Literaturverzeichnis

- Hartmann S, Diepolder M, & Lichti F (2011). Grünland für die Biogasanlage. *Bayern Biogas Forum*,1
- Herndl M, Kandolf M, Bohner A, Krautzer B, Graiss W & Schink M (2011). Wurzelparameter von Gräsern, Kräutern und Leguminosen als Grundlage zur Bewertung der Trockenheitstoleranz im Grünland. *Tagung der Österreichischen Gesellschaft für Wurzelforschung*, 45 – 54
- Hillel D, & Rosenzweig C (2001). Desertification in Relation to Climate Variability and Change. *Advances in agronomy*,77, 1-38
- Huang B, & Fry J D (1998). Root anatomical, physiological, and morphological responses to drought stress for tall fescue cultivars. *Crop Science*, 38(4), 1017-1022
- Hubbard C E (1973). Gräser, Botanik Agrar- Forst- und Gartenbauwissenschaften. *UTB*
- Hüttermann A, Zomporodi M, & Reise K (1999). Addition of hydrogels to soil for prolonging the survival of *Pinus halepensis* seedlings subjected to drought. *Soil and Tillage Research*, 50(3-4), 295-304
- Kage H, Kochler M, & Stützel H (2004). Root growth and dry matter partitioning of cauliflower under drought stress conditions: measurement and simulation. *European Journal of Agronomy*, 20(4), 379-394
- Lee Y & Bartlett R J (1976). Stimulation of plant growth by humic substances. *Soil Science Society of America Journal* 40(6), 876-879
- Levine G (1977). Management components in irrigation system design and operation. *Agricultural Administration*, 4(1), 37-48
- Mangold, Jane M., and Roger L. Sheley (2007). Effects of soil texture, watering frequency, and a hydrogel on the emergence and survival of coated and uncoated crested wheatgrass seeds. *Ecological Restoration* 25(1), 6-11
- McBratney A, Field D J, & Koch A (2014). The dimensions of soil security. *Geoderma*, 213, 203-213
- Mittler R (2006). Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in plant science*, 11(1), 15-19
- Rudel T K, & Meyfroidt P (2014). Organizing anarchy: The food security-biodiversity-climate crisis and the genesis of rural land use planning in the developing world. *Land Use Policy*, 36, 239-247
- Sarvaš M, Pavlenda P, & Takáčová E (2007). Effect of hydrogel application on survival and growth of pine seedlings in reclamations. *Journal of Forest Science*, 53(5), 204-209

11 Literaturverzeichnis

Shahid S A, Qidwai A A, Anwar F, Ullah I, & Rashid U (2012). Effects of a novel poly (AA-co-AAm)/AlZnFe 2O₄/ potassium humate superabsorbent hydrogel nanocomposite on water retention of sandy loam soil and wheat seedling growth. *Molecules*, 17(11), 12587-12602

Shah-Rossi D, Heusser P, & Baumgartner S (2009). Homeopathic treatment of *Arabidopsis thaliana* plants infected with *Pseudomonas syringae*. *TheScientificWorldJournal*, 9, 320-330

Tan K H & Nopamornbodi V (1979). Effect of different levels of humic acids on nutrient content and growth of corn (*Zea mays* L.). *Plant and soil* 51(2), 283-287

van den Berg L, & Zeng Y J (2006). Response of South African indigenous grass species to drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) 6000. *South African Journal of Botany*, 72(2), 284-286

Würthle R (2002). Homöopathie für Garten- und Zimmerpflanzen, *blv*

12 Danksagung

Diese freie wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Science wurde im Institut für Pflanzenproduktion und Agrarökologie in den Tropen und Subtropen der Universität Hohenheim unter der Leitung von Prof. Dr. Folkard Asch mit der großen Unterstützung von Dipl. agr. biol. Marc Schmierer und Dipl. agr. biol. Julia Hartmann verfasst. Ohne die Mithilfe dieser drei Personen wäre diese Abschlussarbeit nicht möglich gewesen. Ich bin sehr Dankbar für die mir entgegengebrachte fachliche und zwischenmenschliche Beratung und Unterstützung.