



**Universität für Bodenkultur Wien
Department für Angewandte Pflanzenwissenschaften und
Pflanzenbiotechnologie**

**Wachstum von Wurzel und Spross bei Rispen- (*Panicum milliaceum*)
und Sorghum-Hirse (*Sorghum bicolor*) in Abhängigkeit von
unterschiedlichem Wasserangebot**

**Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades eines
Diplomingenieurs**

**Eingereicht von
Mirabbas
HOSSEINI ALIABAD**

**Betreut von
Ao.Univ.Prof. Dr. Ralph GRETZMACHER**

Wien, Jänner 2008

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich dem Initiator und Betreuer dieser Arbeit Herrn Prof. Dr. Ralph GRETZMACHER meinen Dank aussprechen. Durch seine Kollegialität, freundschaftliche Unterstützung und konstruktive Hilfe konnten die auftretenden Probleme und Aufgabenstellungen gemeistert werden.

Ich möchte mich bei meinem Onkel Herr Dr. Z.MAFI für die Ermöglichung des Studiums, Unterstützung und für alle Hilfestellungen bedanken.

Ich bedanke mich auch bei meinen Eltern für ihre liebevolle Unterstützung.

Mein besonderer Dank gilt meiner Frau, die mir durch hilfreiche Unterstützung und Geduld dieses Studium ermöglicht hat.

1. Einleitung	6
1.1. Problemstellung	6
1.2. Ziel der Diplomarbeit	11
1.3. Experimentelle Vorgangsweise.....	11
2. Literatur.....	13
2.1. Allgemein über Hirse.....	13
2.1.1. Das Wurzelsystem.....	14
2.1.2. Heilkräfte der Hirse.....	15
2.1.3. Landwirtschaft.....	16
2.1.4. Markt und Verbrauch	16
2.2. Rispenhirse (<i>Panicum miliaceum</i>).....	17
2.2.1. Geschichte.....	17
2.2.2. Botanik.....	17
2.2.3. Verbreitung.....	18
2.3. <i>Sorghum bicolor</i>	18
2.3.1. Geschichte.....	18
2.3.2. Inhaltstoff und Nährwert.....	18
2.3.3. Heimat und Landwirtschaft.....	19
2.3.4. Nudeln aus Sorghum.....	20
2.4. Mais.....	21
2.4.1. Das Wurzelsystem bei Mais.....	21
3. Material und Methoden.....	23
3.1. Versuchsplan.....	23
3.2. Material.....	24
3.2.1. Nährstoffversorgung.....	25
3.2.2. Beleuchtung.....	27
3.3. Anzucht und Saatgut	28
3.4. Wurzelanlage mit Tropfversorgung.....	29
3.5. Maßmethoden.....	34
3.5.1. Wurzelmasse.....	34

3.5.2 Spross Masse.....	35
3.6. Statistische Auswertungsverfahren.....	36
4. Ergebnisse.....	37
4.1. Mittelwert.....	37
4.2. Varianzanalysen.....	39
4.3. Grafische Darstellungen der Mittelwert.....	41
5. Diskussion.....	44
5.1. Statistische Analyse Bericht.....	49
6. Zusammenfassung	51
7. Abstract	52
8. Anhang.....	54
8.1. Fotos.....	54
8.2. Ergebnisse und Grafiken.....	60
9. Tabellenverzeichnis.....	65
10. Abbildungsverzeichnis.....	67
11. Abkürzung.....	68
12. Literaturverzeichnis.....	69

1. Einleitung

1.1. Problemstellung

Das Interesse des Pflanzenbaues an einer systematischen Erforschung des Wurzel Systems von Kulturpflanzen ist auf eine Vielzahl von Gründen zurückzuführen. Im Vordergrund steht das Bestreben nach besserem Verständnis der Wasser- und Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen, wie auch ihres Verhaltens gegenüber ackerbaulichen Maßnahmen. Auch die Standfestigkeit der Kulturpflanzen gehört zu denjenigen Merkmalen, die im Hinblick auf eine effiziente Pflanzenproduktion besondere Beachtung verdient.

Die Untersuchung des Wurzelsystems umfasst verschiedene Aspekte, wie Morphologie, Anatomie und Physiologie der Wurzeln. Vom praktischen Gesichtspunkt des Pflanzenbaues erscheint aber vor allem das Wachstum der Pflanzenwurzeln im Freiland und dessen Beeinflussung durch die Standortfaktoren, wie etwa den Mineralstoffvorrat im Boden, als Gegenstand intensiver Forschungen von Interesse. Die große Bedeutung dieser Forschungsrichtung, der Wurzelökologie, erkannte übrigens bereits JUSTUS von LIEBIG (1862), der Wegbereiter der Mineralstoffernährung der Pflanzen, gegen Mitte des vorigen Jahrhunderts.

Von der theoretischen Erkenntnis bis zur praktischen Durchführung von Untersuchungen war aber noch ein weiter Weg. Die Messung des Wachstums der Pflanzenwurzeln, die oft mehrere Meter in den Boden hinabreichen, über die gesamte Vegetationszeit erforderte nämlich zunächst die Entwicklung komplizierter und arbeitsaufwändiger Methoden. Die Wurzelgrabungen des französischen Botanikers und Pioniers der Wurzelforschung HENRI LOUIS DUHAMEL du MONCEAU an Waldbäumen um 1760 bleiben nämlich weitgehend unbekannt und eigneten sich auch keinesfalls für kaum verholzte Wurzelsysteme von Kulturpflanzen, Kräutern und Gräsern (DUHAMEL du MONCEAU, 1758).

Es kann daher als großer Fortschritt in der wissenschaftlichen Methodik angesehen werden, als der Botaniker JULIUS SACHS ebenfalls noch im vorigen Jahrhundert die Hydrokultur zwecks Untersuchung der Wurzelsysteme in Zusammenhang mit der Mineralstoffaufnahme der Pflanzen einführte (SACHS, 1860).

Der wesentliche Vorzug der zunächst so genannten „Wasser Kultur“ besteht nun darin, dass eine ständige in situ -

Beobachtung der Pflanzenwurzeln möglich ist. Man hat dabei allerdings in Kauf zu nehmen, dass die bei den Freilandbedingungen übertragen werden können, da Struktur und Wachstumsverhalten der Wurzeln naturgemäß vom umgebenden Substrat erheblich beeinflusst werden. Außerdem eignen sich Hydroponik - Gefäßversuche allgemein nur für Wurzeluntersuchungen im ersten Keimlings bzw. Jugendstadium der Pflanzen, da wegen der vorgegebenen Volumenbeschränkungen im Verlaufe der Entwicklung gewisse Wachstumsstörungen, wie etwa Wurzelkonzentration an den Gefäßwänden, auftreten.

Die Agrikulturtechniker, die weniger an der Wurzelmorphologie, sondern mehr an etwaigen Beeinflussungsmöglichkeiten des Wurzelwachstums durch natürliche Standortfaktoren, insbesondere Wasser und Nährstoffvorrat des Bodens, sowie anthropogene Düngung und Bearbeitungsmaßnahmen interessiert sind, bevorzugen darum Methoden, bei denen die Wurzelbiomasse als Kriterium der Substanzproduktion unter Versuchsbedingungen bestimmt wird (BÖHM, 1984). Auf diese Weise können die oben genannten Störungen durch die Versuchskonzeption weitgehend ausgeschaltet werden. Dies erscheint umso notwendiger, als die bedeutende Rolle des Wurzelwachstums und damit der Wurzelmorphologie für Wasser- und Nährstoffaufnahme, wie auch regulatorische Prozesse zwischen Sproß und Wurzel zweifelsfrei erwiesen sind. Untersuchungen des Wurzelwachstums von Kulturpflanzen ermöglichen daher die Klärung von Fragen in Zusammenhang mit der effektiven und ökonomischen Nutzung eingesetzter Wachstumsfaktoren (Düngung, Bewässerung) wie auch der Auswirkung von Bodenbearbeitungsmaßnahmen, sofern man für eine Standardisierung der Versuchsbedingungen, sowie eine Statistische Absicherung der Ergebnisse sorgt (MESCHKAT 1990).

Bei der Durchführung von Versuchen zum Wurzelwachstum von Kulturpflanzen hat man aber auch die Auswirkungen einer großen Anzahl von Umwelteinflüssen zu berücksichtigen, die zu oft beachtlichen Modifikationen des Wurzelwachstums sowie von Struktur und Ausdehnung des untersuchten Wurzelsystems führen. Zu diesen Umweltfaktoren, deren Einflussnahme auf verschiedene Kulturpflanzen zum Teil bereits eingehend untersucht wurde, gehören ohne Vollständigkeit beanspruchen zu wollen:

- . Nährstoffgabe (DREW und SAKER, 1978; HACKETT, 1968 und LONERAGAN, 1979),
- . Wasserangebot (GEISLER, 1983 und 1976; MAARUFI, 1974),
- . Temperatur (BROUWER, 1983; CUMBUS und NYE, 1982; GROBBELAAR, 1963; KRÜTZFELD, 1979), sowie
- . Luftfeuchtigkeit (LAMBERS und POSTHUMS, 1980).

Das Wasser ist für den Lebenshaushalt der Pflanze von größter Bedeutung. 70% bis 80% des Pflanzenkörpers bestehen durchschnittlich aus Wasser (TROLL 1954). Es dient dem Stoffkreislauf, der Entwicklung und Erhaltung des inneren Zelldruckes und dem Wärmeausgleich. Da der größte Teil des Wassers in der Regel durch die Wurzel aufgenommen wird, ist es für die Pflanze entscheidend, in welcher Weise die Wurzel dieser Aufgabe nachkommen kann. (KUTSCHERA 1960)

Pflanzen der gleichen Art haben außerdem die Fähigkeit, die Wurzelhaarbildung innerhalb bestimmter Grenzen den Standortverhältnissen anzupassen (KUTSCHERA 1960).

Neben den Wurzelhaaren dient die Verzweigung in Seitenwurzeln der Vergrößerung der Wurzeloberfläche (KUTSCHERA 1960). Schwarz 1946 fand bei Versuchen mit Tomaten und Kohl, dass im Trockenen Boden wachsende Wurzel wesentlich mehr Seitenwurzeln bildeten als im Boden wachsende.

Bei Trockenheit ändert sich auch die Wurzelfarbe. Im feuchten Boden gewachsene Wurzeln erscheinen vielfach hellweiß, im Trockenen Boden gewachsene gelblich bis bräunlich (KUTSCHERA 1960).

Infolge des verschiedenen Tiefensterbens der Wurzel sind selbst Pflanzen gleicher Wuchsorte oft sehr verschiedenen Feuchtigkeitsbedingungen ausgesetzt (KUTSCHERA 1960)

Viele Arten der Trockengebiete trachten daher, ihr Wurzelsystem nicht nach unten, sondern nach der Seite zu erweitern. Auf diese Weise können sie die Feuchtigkeit des Bodens in einem weiten Umkreis ausnützen und jeden Niederschlag, auch wenn er nur wenige Zentimeter in den Boden eindringt, sofort verwerten (KUTSCHERA 1960).

Das Verhältnis von Wurzel zu Spross wird durch die Feuchtigkeit wesentlich beeinflusst. Je trockener der Boden ist, desto mehr nimmt die Wurzelmasse im Vergleich zur Sprossmasse zu (KUTSCHERA 1960).

Die äußeren Unterschiede der Wurzelgestalt in Abhängigkeit vom Wasser stehen in engem Zusammenhang mit den inneren Vorgängen im Pflanzenkörper, die der Aufnahme und Leitung des

Wassers dienen. Die Wasseraufnahme durch die Wurzeln erfolgt zu einem großen Teil auf osmotischen Wegen. Dazu kommt die Aufnahme durch Quellung bei Zellen, die noch keine Vakuolen besitzen oder stark ausgetrocknet sind. Dabei kann das Wasser sowohl in flüssigem als auch in dampfförmigem Zustand übertreten (TROLL 1954).

Gleich dem Wasser werden die Mineralstoffe größtenteils durch die Wurzeln aufgenommen. Auch lässt sich eine aktive und passive Aufnahme unterscheiden. Die aktive Mineralstoffaufnahme erfolgt vor allem im Bereich der Wurzelspitzen und an den Spitzen der lebenden Wurzelhaare. Die passive Mineralstoffaufnahme geschieht mit Hilfe des Transpirationsstromes. Die gelösten Salze werden mit dem in die Wurzel eindringenden Wasserstrom mitgerissen. Im Gegensatz zur aktiven ist die passive Mineralstoffaufnahme daher an den Wassereinstrom gebunden. Bei diesem Vorgang vermag die Pflanze wenig Einfluss auf das Eindringen bestimmter Mineralstoffe auszuüben (KUTSCHERA 1960).

Der Entwicklungsgrad des Stresses hat einen wesentlichen Einfluss auf das Ausmaß der osmotischen Anpassung. HSIAO 1976 beobachtete bei Hirse die Aufrechterhaltung des vollen Turgors, wenn das Wasserpotential der Blätter täglich um 0,008 MPa abnahm. JONES und TURNER 1978 konnten hingegen nur die Aufrechterhaltung eines partiellen Turgors feststellen, wenn das Wasserpotential der Hirseblätter um 0,10 MPa pro Tag abnahm. JONES und RAWSON 1979 fanden ebenfalls bei Hirse, dass bei Trockenperiode, in der das Gesamtwasserpotential täglich zwischen 0,15 bis 0,7 MPa abnahm, die osmotische Anpassung insgesamt um nicht mehr als 0,5 – 0,6 MPa ausmachen. Wenn das Gesamtwasserpotential 1,2 MPa pro Tag abnimmt, ist die Pflanze nicht mehr in der Lage, eine osmotische Anpassung vorzunehmen. Die Schnelligkeit, mit der sich ein Wasser Defizit einstellt, ist eine Funktion des Bodenvolumens, des von den Wurzeln beanspruchten, der hydraulischen Leitfähigkeit des Bodens und der Pflanze, des stomatären Wiederstandes, der Blattfläche und der atmosphärischen Bedingungen, wie das Beispiel zeigt, können Pflanzen bei hoher Austrocknungsgeschwindigkeit oft die osmotische Anpassung nicht mehr durchführen. TURNER 1978 konnte bei Hirse feststellen, dass in einem Bereich von -1,2 bis -2,2 MPa des Blattwasserpotentials für jedes Absinken desselben um 0,1 MPa bei Hirse das am Turgorverlustpunkt gemessene osmotische Potential um 0,06 (60%) abnimmt. JONES und TURNER 1978 ließen in einem Glashauserperiment Hirsepflanzen einmal

austrocknen, bis das Blattwasserpotential vor Antritt der Dämmerung $-0,4$ MPa erreichte. Die osmotische Anpassung lag dann ungefähr bei $0,4$ MPa. Ließen sie durch weiteres Austrocknen das Blattwasserpotential auf $-1,6$ MPa sinken, betrug der Wert für die osmotische Anpassung ca. $0,7$ MPa. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass zumindest in voll entwickelten Blättern zunächst die osmotische Anpassung den vollen Turgor aufrecht erhalten kann, aber dass diese Fähigkeit abnimmt. Je mehr das Wasserdefizit an Bedeutung zunimmt (MUHAMMAD A.SALAM 1986).

HELLRIEGEL (1868) untersucht mit Gefäßversuchen das Trockengewicht von Getreide der Vegetationsperiode. Seine Beobachtungen zeigten ein Wurzel – Sprossverhältnis bei der Bestockung von 1: 1,7, beim Schossen 1: 2,6, bei der Blüte 1: 4,2 und zur Reife von 1 : 5,6 . Pro Gefäß zog er 12 Gerstenpflanzen, die ein Erntegewicht von 2,6 g Wurzeln und 19,22 g Sprossgewicht erbrachten.

NOBBE (1872) verwendete für seine Wurzeluntersuchungen erstmals die Methode der Wasserkultur und versuchte er mit einer 5 % Lösung aus Chlorkalium, Salpetersaurem Kalk, Magnesiumsulfat, einer Kaliummonophosphatverbindung und Eisenoxyd Weizen und Roggenpflanzen zu kultivieren. Die Wurzelbildungen sind in wässrigen Lösungen gestaltlich ähnlich den Pflanzen, die in festem Boden gezogen waren. Es gibt leider keine Angaben über Gewichte und Vegetationsdaten.

DETMER (1872) versuchte zur gleichen Zeit Unterschiede in der Wurzelentwicklung von Getreidearten bei verschiedenen Kulturmethoden zu erforschen. Er vergleicht die Wurzelentwicklung in Gartenerde, Sand und Nährlösung, Erde + Sand und in Nährlösung. Er hat hingewiesen, dass die Landwurzeln die Tendenz zeigten, größere Oberflächen zu entwickeln als die Wasserwurzeln, die weniger Wurzelhaare aufgewiesen hätten.

HABERLANDT (1879) widmete ein ausführliches Kapitel über die Wurzel, das Wurzelvermögen und das Wurzel-Sprossverhältnis in seinem Buch. Er beschreibt die Wurzelverästelung in trockenem Boden als dicht, in feuchtem Boden wenig und in der Nährlösung keine, die Wurzeln sind nach seinen Angaben glatt und gestreckt. Das Wurzelvermögen der Getreidepflanzen definiert er als das Verhältnis des Wurzelgewichtes zum Gewicht der Gesamtpflanzen (RUCKENBAUER 1967).

Morphologentische Einflüsse auf das Wurzelsystem von Kulturpflanzen vor allem in Bezug auf Längen und Biomasseentwicklung sind bereits seit einiger Zeit bekannt (WEAVER und CLEMENTS, 1938; WIERSUM, 1958; HACKETT, 1968). In neuester Zeit wurden Untersuchungen wieder aufgenommen, nach dem das Prinzip lokaler Nährstoffversorgung entwickelt worden war (SATTELMACHER und THOMS, 1989). Solche Einflüsse werden nämlich besonders deutlich erkennbar, wenn nur ein Teil des Wurzelsystems mit Nährstoffen versorgt wird. Anzahl und Länge von Lateralwurzeln können durch direkte Nährstoffzufuhr zu bestimmten Teilen der Pflanzenwurzeln signifikant erhöht werden (DREW und SAKER, 1978).

Lokal begrenzte Nährstoffversorgung wirkt sich nicht nur auf die Wurzelmorphologie aus, sondern wird auch die Aufnahmegeschwindigkeit von Nährstoffen im Zufuhrbereich beträchtlich steigern (RUSSEL und SAKER, 1981). Bei einem lokalen Nitratangebot kann es zu einer Verschiebung des Phytohormongleichgewichtes kommen, in deren Folge morphogenetische Effekte im Bereich der Nährstoffzufuhr wirksam werden (SATTELMACHER und THOMS, 1989).

1.2. Ziel der Diplomarbeit

Ob man in einem Versuch eine Beziehung zwischen Wassermangel und Wurzellänge feststellen kann.

1.3. Experimentelle Vorgangsweise

Die bisherigen Arbeiten über Wurzelwachstum von Getreidepflanzen deuten auf erhebliche morphogenetische Wirksamkeit der Faktoren Nährstoff und Wasserversorgung. Als Ziel der eigenen Untersuchung sollte eine möglichst ausgeprägte Anregung des Längenwachstums von Hirsepflanzen bei Hydroponikkultur erreicht werden. Es war ein Parameter wie Wasser und Nährstoffangebot bzw. Sauerstoffgehalt des Substrats vorzunehmen unter Festlegung einer lokalen Nährstoffversorgung. Für die Bestimmungsparameter des Wurzel- bzw. Sprosswachstums werden Längenmessung ausgewählt, und dafür sollte geeignete Anlagen entwickelt werden, um den für das Wurzelsystem und das Sprosswachstum des Hirsepflanzen auszuübenden Wasser und Nährstoffversorgungsstress in reproduzierbarer und genau zu messender Weise anzuwenden zu

können. Diese Arbeit wurde im Jahr 2006 am Institut für Pflanzenbau durchgeführt. Um die Ziele dieser Diplomarbeit erreichen zu können wurde im Keller vom Hauptgebäude an der Universität für Bodenkultur eine Versuchsanlage für die Kultivierung von Hirse aufgebaut. Es wurde Parameter wie Wurzellänge und Sprossgrosse sowie Blattzahl bestimmt.

2. Literatur

2.1. Allgemeines über Hirse

Hirse ist eine der ältesten Getreidearten und hat fast überall auf der Welt seine Spuren hintergelassen. Es gibt frühe Funde in Asien und in Ägypten aus der vordynastischen Zeit, in Europa aus der jüngeren Steinzeit, etwa in Skandinavien, Galizien, Jugoslawien, in Italien und in der Schweiz, die Gallier sollen fast ausschließlich Hirse angebaut haben. Der römische Geschichtsschreiber Plinius d.Ä bezeichnet sie als Hauptfrucht der Germanen neben dem Hafer im Mittelalter war die Hirse in Deutschland, Russland und Polen stark verarbeitet. Sie wurden durch Stampfen aus ihren Hüllen befreit. Im Ofengetrocknet dann zu Suppen und Brei verarbeitet. Heute ist Hirse in Europa ganz von anderen Getreiden verdrängt und ihre Anbauggebiete liegen jetzt in den trockenen Gebieten Asiens, in einigen Teilen der ehemaligen Sowjetunion, in Afrika und in beiden Teilen des Amerikanischen Kontinents. In manchen Ländern Afrikas, auf dem Balkan und in Russland bis hin zur Mongolei breitet man Hirsebier. In der Walachei wird das säuerliche Getränk „Braga“ genannt. Das Hirsekorn ist das kleinste unter dem Getreidekörnern. Die harte Schale muss immer entfernt werden und auch das geschälte Korn ist so hart, dass es nicht roh gegessen werden kann. Wie Hafer und Reis ist Hirse ein Rispengetreide. Eine spezielle Form des Fruchtstandes die Kolbenhirse auf, die als Vogelfutter bekannt ist. Da die Wurzel zahlreiche kräftige Wurzelhaare bildet, kann sie mit wenig Feuchtigkeit auskommen. In Asien wird sie daher jetzt noch in Gegenden angebaut, die für Reis zu wenig Wasser bietet. Sie stellt keine besondere Ansprüche, wächst allerdings am besten auf sandigem, mineralreichen Boden.

Hirse ist forstempfindlich und braucht viel Wärme für Wachstum und Reife. Es ist anzunehmen, dass sie in kühleren Gegenden Europas und anderer Kontinente vor allem in den Warmzeiten zwischen den Eiszeiten verbreitet war. Mit ihrer kurzen Vegetationszeit von etwa hundert Tagen genügen ihr drei sonnenreiche Sommermonate, so dass sie auch in nördlichen Regionen gut gedeihen kann.

Hirse wird flach gesät. Sie ist daher ein charakteristisches Getreide für Nomadenstämme und für den frühen Ackerbau. Nach Einführung des Pfluges wurde die Hirse mehr und mehr abgelöst von Weizen und Roggen, die sich auf Grund ihres Gehalts an Kleberweiß besonderes gut zum Brotbacken eignen.

Von der Hirse gibt es zahlreiche Formvarianten: von der nur dreißig Zentimeter hohen Bluthirse mit tiefroten Samen bis zur Zuckerhirse, die sieben Meter hoch werden kann, von der zarten Perlhirse bis zur Kolbenhirse mit ihren kompakte Fruchtständen.

Der Hirse ist trocken und warm: das harte Hirsekorn hat einen hohen Gehalt an Kieselsäure und übertrifft darin alle anderen Getreide. Wie ein kleiner runder Kieselstein sieht das Korn auch aus und beim kochen bildet sich kein Schleim

(KÜSTER H, NEFZGER U, WAECHTER N: Korn; Kulturgeschichte des Getreides, 1999).

2.1.1. Das Wurzelsystem

Das Wurzelsystem ist auf dem gut durchlüfteten, leicht zu durchwurzelnden Boden, der erst in den tieferen Schichten eine zunehmende Grundfeuchtigkeit aufweist, schmal zylinderförmig nach unten gerichtet. Es erreicht bei einer Sprosshöhe von 85 cm eine Tiefe von 84 cm und eine Seitenausdehnung von 22 cm im Durchmesser von einem einzigen rispenträgenden Halm, der keine Bestockungstriebe gebildet hat, entspringen an den grundständig gehäuften Knoten acht kräftige, lange, sprossbürtige Wurzeln, die zum Teil bis in den grundfeuchten Horizont hinabreichen. Das Wurzelsystem ist gegenüber dem Spross anfangs stark vorwüchsig. Die Wurzelfarbe ist hell gelbbraun bis gelbgrau (KUTSCHERA 1960).

Alle Wurzelstränge, mit Ausnahme der jüngsten, sind mit zahlreichen langfaserigen, mehr oder weniger sperrig abstehenden Seitenwurzeln erster Ordnung besetzt, die sich in dem einheitlich aufgebauten Boden ziemlich gleichmäßig über deren ganze Länge verteilt. Die kräftigen Wurzelstränge erreichen an ihrer Ursprungstelle einen Durchmesser von 2 mm (KUTSCHERA 1960).

Die rasch vorauseilenden Wurzeln vermögen den Wasserbedarf des viel langsamer wachsenden Sprosses leicht zu decken. Zudem weisen die dicken Wurzelstränge, wie vorher erwähnt, einen hohen Verdunstungsschutz auf und die zahlreichen langen Seitenwurzeln tragen zu einer beträchtlichen Vergrößerung der wasseraufnehmenden Wurzeloberfläche bei. Die Wassermenge, die die Pflanze zur Entwicklung ihres kräftigen Sprosses benötigt, dürfte jedoch nicht gering sein. Dafür spricht, dass sie bereits in den wärmeren Gebieten Mitteleuropas am besten auf Böden mit höherer wasserhaltender Kraft oder zusätzliche Grundfeuchtigkeit gedeiht (KUTSCHERA 1960).

Pflanzen haben unterschiedliche Ansprüche, die im Transpirationskoeffizient angegeben werden können. Dieser definiert sich als Wassermenge in Liter für die Produktion von 1 Kg Biomasse (Trockensubstanz). Wie unterschiedlich der Pflanzenwasserbedarf ist (siehe Tab.1.1)

Hirse	277
Mais	349
Sommerweizen	491
Kartoffeln	575
Luzerne	844

Tab.1.1: Transpirationskoeffizienten Verschiedener Kulturpflanzen für das gemäßigte Klima (shantz, zit. Nach Römer und Scheffer 1953), (www.agrecol.de).

Der Transpirationskoeffizient von Hirse (Relation Zwischen 1L Wasser zu 1 Kg gebildeter Trockenmasse) bei ca.200-300 (1H₂O/Kg TM). Im Vergleich dazu liegt dieser bei Mais bei 300-400, Roggen bei 400-500, die Sonnenblume bei 500-600 und Raps und Erbsen bei 600-700 (ZACHARIAS, www.kws-energie.de)

2.1.2.Heilkräfte der Hirse

Über die Ernährung aktiviert die Hirse den Kieselhaushalt im Organismus: heilsam wirkt sie gegen raue Haut, brüchige Fingernägel und sprödes Haar. Auch auf die Sehkraft wirkt sich eine Hirsediät positiv aus. Ähnlich wie beim Hafer ist der Fluorgehalt hoch, sodass beide Getreide wertvoll sind für die Vorbeugung gegen Karies – sicher unbedenklicher und sinnvoller als Fluorzugaben bei Lebensmitteln und Trinkwasser. Hirse wärmt von innen her und aktiviert den trägen Stoffwechsel. Früher war diese Wirkung wohl nur bei übermäßigem Hirsegenuss sogar gefürchtet. Bei Erkrankung von Haut und Sinnesorganen und zur allgemeinen Erwärmung des Organismus wird die Einhaltung einer Hirsediät für längere Zeit empfohlen (KÜSTER H, NEFZGER U, WAECHTER N: Korn; Kulturgeschichte des Getreides, 1999).

2.1.3. Landwirtschaft

Die echte Hirse wird hauptsächlich in Afrika und Südosteuropa gebaut in Mitteleuropa ging ihr Anbau in jüngerer Zeit stark zurück. Dank ihrer Trockenresistenz ist sie selbst in sommerwarmen Gebieten auf trockenen durchlässigen Böden bei ausreichender Düngung eine sehr sichere Sommerfrucht, die nach späträumenden Winterzwischenfrüchten oder missratenem Sommergetreide angebaut werden kann. Wegen ihrer anfangs langsamen Entwicklung, ihrer geringen Bestockung und ihres hohen Lichtbedarfes ist sie aber sehr empfindlich gegen Verunkrautung. Auf unkrautwüchsigen Standorten empfiehlt sich daher ihr Anbau nach starken Unkrautverdämmenden Winterzwischenfrüchten (KUTSCHERA 1960).

2.1.4. Markt und Verbrauch

Weltweit werden jährlich rund 1,9 Milliarden Tonen Getreide geerntet. Weizen steht dabei mit 30 % Anteil an der Spitze. Reis und Mais stellen mit 27% bzw. 25% weiteren großen Anteil. Auf Gerste entfallen knapp 10 % auf Hirse 5% und auf Hafer und Roggen je 2% der Weltgetreideernte. Die Bundesbürger verzehren pro Kopf und Jahr 76 kg Getreide. Diese Menge gliedert sich auf die einzelnen Getreidearten folgendermaßen auf:

Weizen	71%
Roggen	17%
Mais	6%
Reis	3%
Hafer	2%
Gerste	0,5%
Buchweizen, Dinkel und Hirse	0,5%

Tab.2.1: Markt und Verbrauch

(Becker . Hans – Georg: Buchweizen, Dinkel, Gerste, Hafer, Hirse, Mais, Reis, Müsli 1994/95)

2.2. Rispenhirse (*Panicum miliaceum*)

2.2.1. Geschichte

Die frühe Geschichte der Rispenhirse ist noch nicht vollständig geklärt. Man nimmt an, dass einzelne Pflanzen des in Zentral und Ostasien wachsenden Grases *Panicum spontaneum* in Kultur genommen wurden, und zwar wohl im Norden Chinas oder in der Mongolei. Rispenhirse muss dort schon vor mehr als 7000 Jahren angebaut worden sein. In Vorderasien war sie zunächst nicht bekannt, in Ost und sogar Mitteleuropa dagegen bereits im 5. Jahrtausend v. Chr. Die ersten Ackerbauern bauten sie in diesen Regionen gemeinsam mit Getreidearten aus dem Nahen Osten an. Beispielsweise mit Gerste, Einkorn oder Emmer. Die Landwirtschaft im Osten Europas erhielt also nicht nur aus dem Vorderen Orient, sondern auch aus Zentralasien Kulturpflanzen. Die frühen Funde der Rispenhirse belegt, dass es Bereits vor 7000 Jahren wirtschaftliche Kontakte zwischen dem Fernen und Mittleren Osten, Ost und Mitteleuropa gegeben haben muss. In der Bronzezeit, im 2 Jahrtausend v. Chr., wurde die Rispenhirse zu einer der wichtigste Getreidearten in Mitteleuropa. Im Mittelalter wurde Rispenhirse zum Getreide des kleinen Mannes, aber auch auf der Tafel höher stehender Bürger war sie geschätzt. Ihr Anbau ging später drastisch zurück oder wurde sogar eingestellt, weil seit 19. Jahrhundert mehr und mehr Kartoffeln statt Hirse angebaut wurde und immer mehr Reis nach Mitteleuropa importiert wurde. Rispen Hirse wird heute noch in der mutmaßlichen Urheimat der Pflanze, in Zentral und Ostasien angebaut aber auch in Osteuropa und auf dem Balkan (KÜSTER H, NEFZGER U, WAECHTER N: Korn; Kulturgeschichte des Getreides, 1999).

2.2.2. Botanik

Rispenhirse wird knapp einen Meter hoch. Am oberen Ende der Pflanzen befindet sich eine bis zu 20 Zentimeter lange, weit verzweigte Rispe mit zahlreichen kleinen Körnern; der Lateinische Name (von "Mille", also tausend, abgeleitet) suggeriert, es sein tausend pro Pflanze. Die sehr frostempfindliche Pflanze darf erst dann auf den Feldern ausgebraucht werden, wenn unter keinen Umständen mehr Frost droht. Weil Rispenhirse mit 60 bis 90 Tagen nur eine außergewöhnlich kurze Entwicklungsdauer von der Aussaat bis zur Ernte benötigt, kann man sie im Hochsommer ernten, wenn sie im Mai gesät worden ist.

2.2.3 Verbreitung

Obwohl die Rispenhirse in Mitteleuropa nicht mehr angebaut wird, ist sie hierzulande wohlbekannt; daher nennt man sie auch einfach „Hirse“. In vielen Märchen ist von dem aus ihr zubereiteten Brei die Rede, der in früheren Jahrhunderten eine sehr wichtige Speise war, besonders für die Armen.

2.3. Sorghum bicolor

2.3.1. Geschichte

Sorghumarten gehören mit zu den ältesten Kulturpflanzen der Erde, was Funde von Körnerresten in Pyramidengräbern und zeichnerische Darstellungen im alten Ägypten beweisen. In Indien scheinen sie im zweiten vor christlichem Jahrtausend auf und die Legende erzählt, dass sich Buddha vor Beginn seiner Fastenzeit von einem Hirsekorn am Tag ernährt hat (OBERMAIER 1970).

In der Weltgetreideproduktion nahm Sorghum (*Sorghum bicolor*) 1988 laut mit 59 Millionen Tonnen den fünften Platz ein, davon wurden 78% in Entwicklungsländern geerntet. Sorghum gehört zur Familie der Gramineae. Sorghum enthält kein Gluten (ROONEY und SERNA-SALDIVAR, 1993)

2.3.2. Inhaltstoff und Nährwert

Die Zusammensetzung von Sorghumkörnern variiert nach ROONEY und SERNA-SALDIVAR (1993) stark, je nach genetischen und Umwelt Einflüssen, und ist der von Mais (*Zea mays* L) ähnlich: 9 – 14 % Protein, 75 - 79% Stärke und 2,1 – 5 % Fett. Wobei der Proteingehalt von Sorghum stärker variabel und für gewöhnlich 1 – 2% höher als der von Mais ist.

Annähernd 80% des Proteins kommen im Endosperm und 16% im Keimling vor. Die Proteinhauptfraktion des Korns ist Prolamin (Kafarine), gefolgt von Glutelinen. Dabei macht der Alkohol lösliche Prolaminfraktion 50% des Proteins aus. Diese Proteine sind hydrophob, reich an Prolin und Glutaminsäure und enthalten wenig Lysin. Die Lysinreichen Fraktionen, Albumine und Globuline, überwiegen im Keimling (ROONEY und SERNA-SALDIVAR, 1993).

Sorghumstärke ist aus 70 – 80 % Amylopekin und 20 – 30% Amylose zusammengesetzt (ROONEY und SERNA-SALDIVAR, 1993)

Der Keimling enthält mit 80% den wesentlichen Anteil am gesamten Öl, das hauptsächlich aus den Fettsäuren Linolsäure (49%), Ölsäure (31%) und Palmitinsäure (14%) besteht (ROONEY und SERNA-SALDIVAR, 1993).

Alle Sorghumarten enthalten Phenolsäuren und die meisten auch Flavonoide, aber nur die braunen Sorghumarten auch Kondensierte Tannin. Sorghum hat eine ähnliche Zusammensetzung, Aminosäuregehalte und Nährwerte wie Mais. Die Verdaulichkeit des Proteins ist aber niedriger als die der meisten anderen Getreidearten. Durch Fermentation, Mälzung oder andere Prozesse kann der Nährwerte aber bedeutend verbessert werden. Braune Sorghumarten haben zudem niedrigere Nährwerte als solche ohne Tanningehalt, da Tannin die Verdaulichkeit der Proteine und die Futtereffizienz vermeiden. Lysin und Threonin sind die zwei wichtigsten limitierenden Aminosäuren (ROONEY und SERNA-SALDIVAR, 1993).

Der Prozess zur Herstellung von Sorghumtorillas ist der von Maistorillas sehr ähnlich, mit der Ausnahme, dass Sorghum niedrigere Kalkgehalte und kürzere Kochzeiten erfordert (MURTY und KUMAR, 1995).

2.3.3.Heimat und Landwirtschaft

Der Größe Formenreichtum der Sorgumarten legt mehrere Ursprungszentren nahe. So nimmt WERTH 1937 Indien als Genzentrum an und vermutet ein Sekundärzentrum in Äthiopien. MUDRA 1953 berichtet von je einem Ursprungszentrum in Äquatorialafrika und Äthiopien, sowie einem dritten in Indien.

Der Fähigkeit, in ariden und semiariden Gebiete Erträge an Grünmasse und Körnern bilden zu können, verdanken die Sorgumarten ihre weltweite Verbreitung. Nach DEMIDENKO (1957) wurden sie im 15.Jahrhundert von Genuesen und Venezianern nach Europa eingeführt und verbreiteten sich in Süd und Südosteuropa bis hinein nach Russland. MARTIN und LEONHARD (1964) berichten, dass Saatgut von Sorghum sacharatum aus Frankreich in die USA gebracht wurde und im Jahre 1857 folgte eine Sendung von 16 weiteren Sorten aus Natal,

Südafrika. 1874 wurden schließlich braune und weiße Durrahirse aus Ägypten nach USA eingeführt. Seit dieser Zeit werden die Sorgumarten dort intensiv züchterisch bearbeitet und stellen heute eine wirtschaftliche bedeutsame Kultur dar.

Die große Vielfalt der Nutzungsrichtungen von Sorgumarten ist bekannt. Sie reicht von der Verwendung der ganzen Pflanzen oder Körner als Viehfutter, über den Gebrauch zur menschlichen Ernährung, die Gewinnung von Zucker und Alkohol, die Bierbereitung und Besenerzeugung, die Verwendung in der Papierindustrie, die Farbstoff- und Wachsgewinnung, bis zur Verwendung der Mohrenhirse als Ziergas. Ihre Hauptbedeutung haben die Sorgumarten jedoch in der menschlichen Ernährung und in der Tierfütterung. Bei letzterer werden sowohl Korn und Stroh, als auch die Grünmasse genutzt (OBERMAIER 1970).

Der Anbau von Sorgum-Hirsen zur Futtergewinnung wird weder in Nationalen noch FAO-Statistiken erfasst, gewinnt zahlreichen Autoren zu Folge auf der ganzen Erde stetig an Flächen. (VOIGT 1961-1962, MARTIN und LEONHARD 1964, SCHUSTER 1964, QUINBY und MARION 1967).

MARTIN (1957) weist darauf hin, dass die Züchtung von Hybridsorghum der des Hybridmais in der Bedeutung nicht nachstehe. In den ausgedehnten Trockengebieten Amerikas, Afrikas und Australiens wird der Maisanbau vielfach zugunsten der trockenresistenteren Sorgumarten zurückgedrängt. SCHUSTER und WREDE (1967) empfehlen Sorghumhirse für den Feldfutterbau und als Stoppelfrucht nach frühräumenden Früchten auch im mitteleuropäischen Raum auf wärmeren, trockenen Standorten, wo sie auf Grund Zweischnittigkeit ihre Überlegenheit erweisen. ATANASIU und SHAABAN 1966 konnten nachweisen, dass Sorgumarten im Gesamtertrag dem Siloertrag von Mais überlegen sind, Höchsterträge an Eiweiß und Zucker sind dabei durch geteilte, hohe Stickstoffgaben erziehbar.

2.3.4. Nudeln aus Sorghum

MURTY und KUMAR (1995) berichteten, dass dampfgekochte Produkte aus Sorghum in China populär sind: Sorghumteig wird gedämpft, um Produkte herzustellen. Sorghumnudeln sind in China ein wichtiges Lebensmittel. (BURGER M, 1998)

2.4. Mais

2.4.1. Das Wurzelsystem bei Mais

Von den übrigen Getreidearten unterscheidet sich Mais nicht nur durch Eigentümlichkeiten bei Blüte und Fruchtbildung sondern auch in Bezug auf die Wurzelanlage. Diese besteht aus mehreren Wurzeltypen wie Keimwurzel, Mesokotylwurzeln, Kronenwurzeln, Luft oder Stützwurzeln (SCHÜTZ 1987).

Die Wurzelbildung der Maispflanze in den ersten Entwicklungsstadien wird durch die folgenden Darstellungen veranschaulicht. Die Hauptmasse des primären Wurzelsystems einer Maispflanze breitet sich danach vorwiegend horizontal aus und bildet daher in den obersten Bodenschichten konzentriert (MESCHKAT 1990).

Mit zunehmendem Alter der Pflanze verlagert sich der Schwerpunkt der Wurzelentwicklung aus den bodennahen Schichten immer mehr in die Tiefe. Mais ist daher gleichzeitig Flach- und Tiefwurzel, wie die ausschließende Skizze des Wurzelsystems einer ausgewachsenen Maispflanze erkennen lässt (MESCHKAT 1990).

Das Wurzelsystem einer reifen Maispflanze besteht aus zwei Hauptbüscheln. Davon dehnt sich eines in einem flachen Boden der Oberfläche nach allen Seiten aus, um danach in die Tiefe zu wachsen (KUTSCHERA 1960).

In wärmeren Gegenden und bei längerer Vegetationszeit erreichen Maispflanzen eine maximale Tiefe um 2,5 m (WEAVER 1926).

Rang	Land	Produktion(MT)	
1	Indien	9000000	*
2	Nigeria	6282000	F
3	China	2100800	*
4	Niger	2100000	F
5	Mali	974676	F
6	Burkina Faso	937630	F
7	Uganda	700000	F
8	Senegal	688946	
9	Sudan	663000	*
10	Russland	457000	*

Produktion aus den Jahren 1999-2001

*: nichtamtliche Zahlen

F: FAO estimate

Tabl.2.2: Die 10 größten Hirsen Produzierenden Länder/
Preisvergleich (FAO, die Statistikabteilung 2005)

3. Material und Methoden

Das Experiment wurde in der Zeit von 08.03.2006 bis 02.06.2006 durchgeführt.

Die eigenen Untersuchungen des Wurzelwachstums von Hirse wurden mit Hilfe einer direkten Methode durchgeführt, die sich allgemein wie bereits durch geringen Zeitbedarf ein hohes Maß an Reproduzierbarkeit und genaue Einstellbarkeit der variierenden Parameter auszeichnen. Noch wichtiger erscheint freilich die Tatsache, dass die Wurzeln während der Gesamtdauer ihres Wachstums ungehindert beobachtet werden können. Man erhält aber auch Zugang zu einer Vielzahl weiterer Daten, da gleichzeitig mehrere Pflanzen kultiviert werden können. Die Anzucht der Versuchspflanzen erfolgt im Sand in Anzuchtkistchen.

3.1. Versuchsplan

1. Zwei Arten von Hirse
2. Fünf Varianten der Nährlösungsversorgung
3. Sieben Wiederholungen



Abb.3.1. Versuchsanlage

Datum	Vegetationsübersicht
08.03.06	Samen im Sand gesät
14.03.06	Nährlösung gewechselt
23.03.06	In Butterdosen verpflanzt und Nährlösung gewechselt
19.04.06	Begin Versuch in der Hauptanlage
26.04.06	Nährlösung gewechselt, Die Pflanzen gemessen
04.05.06	Nährlösung gewechselt, Die Pflanzen gemessen
11.05.06	Nährlösung gewechselt, Die Pflanzen gemessen
19.05.05	Nährlösung gewechselt, Die Pflanzen gemessen
29.05.06	Nährlösung gewechselt, Pflanzen wurden genau gemessen (Wurzel, Spross), Blätter gezählt
02.06.06	Ernte des Versuches, Trockengewicht gewogen

Tab.3.1: Versuchsplan

3.2. Material

Einige relevante Eigenschaften und Merkmale derjenigen Materialien, wie Saatgut und Nährlösung, werden im Folgenden angeführt.

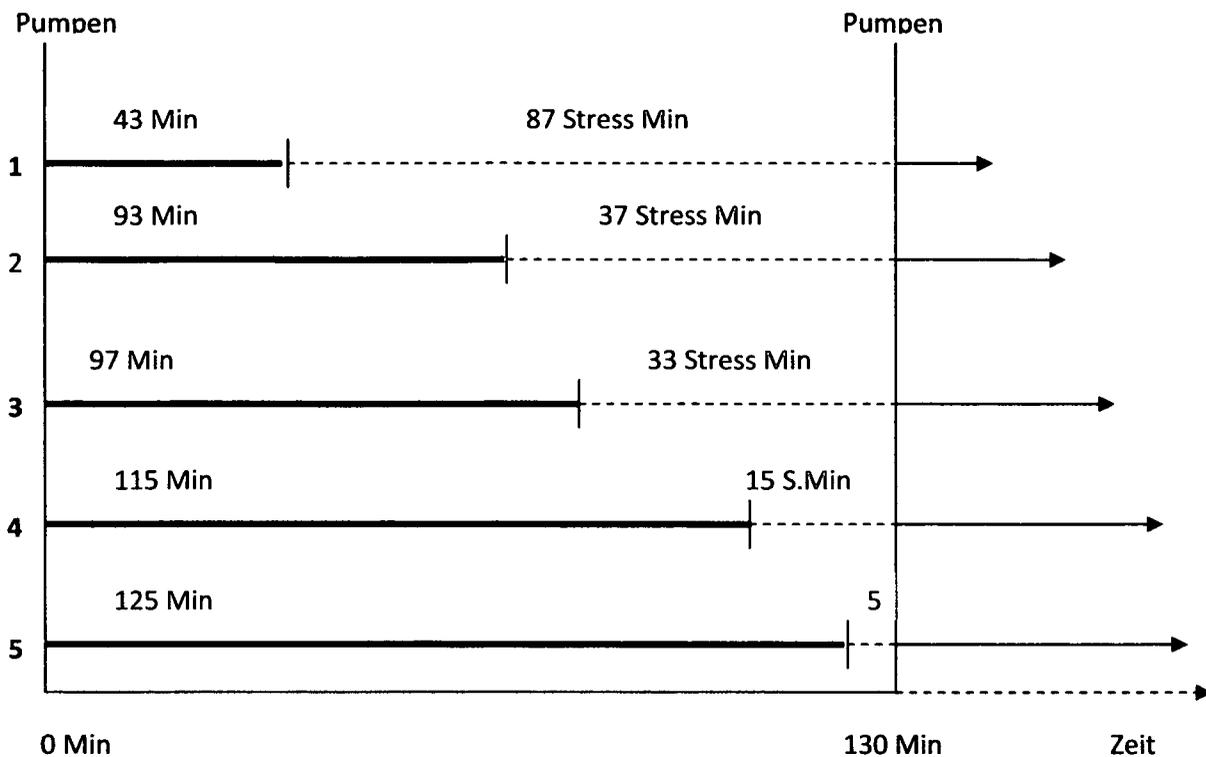


Abb.3.2: Schema von Zeiten der Nährlösungsversorgung (_) und der Stresszeiten(---)

3.2.1. Nährstoffversorgung

Für den gesamten Versuch geplanten Nährlösungen wurden von Frau Evelyn Holub am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung zum Einsatz gemacht (EDELBAUER 1971)

Diese Nährlösung enthält alle für Pflanzen erforderlichen Nährstoffe. Es wurden alle drei Wochen insgesamt 500 Liter neue Nährlösung hergestellt und 150 Liter pro Woche in den wannenförmigen Sammel tank nachgefüllt.

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	2M	100 ml
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	20M	500 ml
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1M	100 ml

Spurenelemente A-E

G / l
Wasser

A-Lösung	Sequestren
----------	------------

60 g

B-Lösung	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
----------	--

2,6 g

(Natriumtetraborat)

C-Lösung	CuSO_4
	MnSO_4
	ZnSO_4

0,615

g

CuCl_2

Oder

0,9 g CuSO_4

2,662g

MnCl_2

Oder

3,0 g MnSO_4

0,568

g

ZnCl_2

Oder

1,199 ZnSO_4

D-Lösung	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
	NiSO_4
	$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
	LiCl
	$\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
	KJ
	KBr
	$\text{Ti}(\text{IV})\text{O}_2$

0,056 g

0,056 g

0,056 g

Oder

0,046 g $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

0,028 g

0,028 g

0,028 g

0,028 g

0,056 g

E-Lösung	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
	O
	(Ammoniummolybdat)

0,146 g

Hauptnährstoffe

m/1	KNO_3	11
m/2	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	
m/20	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	
m/1	MgSO_4 p.A.	

Tab.3.2: Zusammensetzung der Nährlösung (EDELBAUER 1971)

3.2.2. Beleuchtung

Für eine vom Tageslicht unabhängige Beleuchtung der Hirsepflanzen, wurden 6 Hochdrucklampen (Radium Elektrizitäts- Ges. m. b. H) verwendet. Diese zeichnen sich durch gute Lichtausbeute und lange Nutzbrenndauer bei hoher Wirtschaftlichkeit aus. Sie würden in etwa 110 cm Höhe über den Pflanzen eingestellt.

	Werte
Lampentype	HRL 400 W
Leistungsaufnahme	400 W
Lichtstrom	220 V
Außendurchmesser	120 mm
Längemaximum	290 mm
Sockel	E 40

Tab.3.3: Daten der Lampe

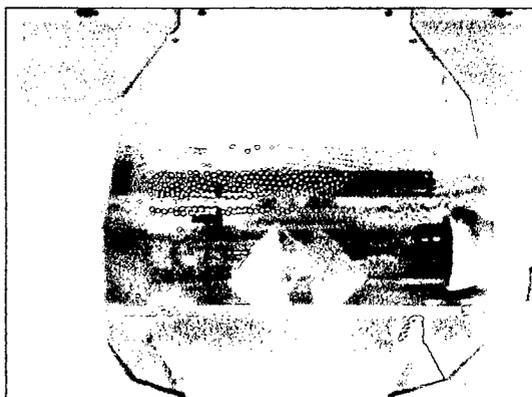


Abb.3.3. Lampe

3.3. Anzucht und Saatgut

Die Samen wurden von der Firma AUSTROSAAT Österreich. Samenzucht- u. Handels- AG erhalten und im Sand in einem Plastikbehälter(60x30x6 cm) gesät, den jeder Samen im ca. 2 Zentimeter (der Abstand von Korn zu Korn betrage 2 Zentimeter) waren. Es wurde zwei Hirsearten: Rispenhirse (*Panicum milliaceum*) (Sorte heißt Kornberger, die beim Versuch K genannt wurde), und Sorghum bicolor (Sorte heißt Rosus, die beim Versuch R genannt wurde) am 08.03.2006 im Behälter gelegt. Die zwei Arten wurden gleich behandelt.

Die Körner der verwendeten Hirsearten wurden im der Forschungsglashaus in Quarzsand in eine Kunststofftasse (60x30x6 cm) ausgebracht, die als Saatbeet Quarzsand diente. Innerhalb einer Saatreihe wird zwischen den Samenkörnern ein gleichmäßiger Abstand von ca.2 cm eingehalten. Unter diesen Umständen tritt bereits 10 Tagen nach der Aussaat Wurzelbildung ein, die wir für den Versuch verwenden konnten. Sämtliche für die Versuche verwendeten Hirsesorten zeigen im Forschungsglashaus einen raschen und einheitlichen Aufgang fast ohne nennenswerte Keimungsverluste. Sobald die Wurzeln die eine Länge von 5 bis 10 cm erreicht haben, erfolgt die Umsetzung der Hirsesämlinge in dem ersten Versuchsplan.

Die Hirsepflanzen wurden am 23.03.2006 in Butterdosen und mit Schwamm und kleinen Steinen fixiert und in Kunststoffplatten eingesetzt. Jede Platte hat 10 Löcher für die Aufnahme der Dosen. Die Kunststoffbehälter für die Nährlösung fassen 10 Liter, werden aber nur 8 Liter befüllt. Die Nährlösung wurde jede Woche gewechselt.



Abb.3.4. Jungehirsepflanzen im Behälter zum Zeitpunkt des Auspflanzens

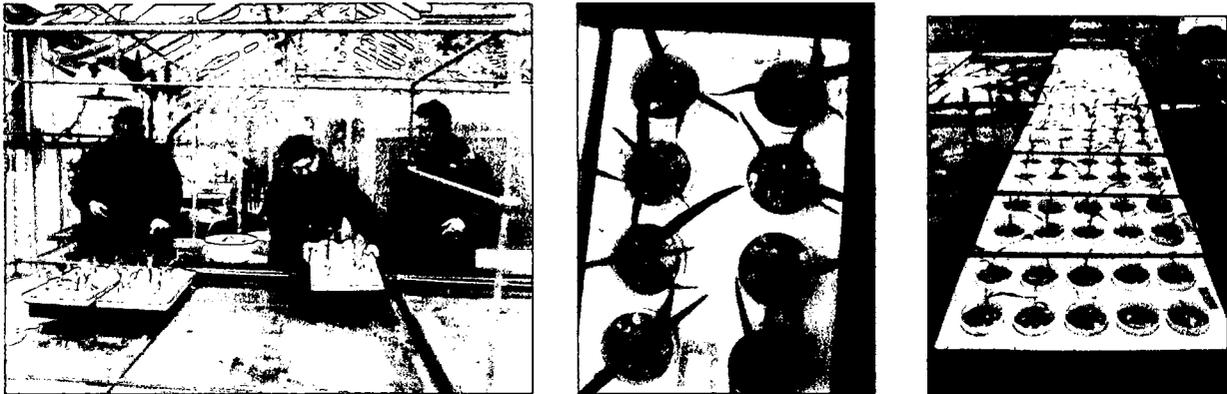


Abb. 3.5. Anzucht der Hirsepflanzen

3.4. Wurzelanlage mit Tropfversorgung

Das Tropfversorgungssystem ermöglicht eine kontinuierliche Zufuhr von Nährlösung zu den Versuchspflanzen, um die Entwicklung besonders intensiv anzuregen. Es wurde ein Viereck Anlage (230 x 170 cm) gebaut. Im Zentrum der Anlage liegen 10 Platten (110 x 14cm), die auf einem aus Lochprofileisten verschraubten Gestell fixiert wurden. In fünf Reihen von Bohrungen (zu je 14 Stück) auf diesen Platten werden die Versuchspflanzen mit Hilfe von Butterdosen fixiert, wobei allerdings aus Raumgründen nur (2x7) Bohrungen in jede Reihen für die Versuche herangezogen werden.



Abb.3.6. Die Platten

Von Jeder mit Versuchspflanzen besetzten Bohrung läuft eine 150 cm lange Dachrinne unter einem Winkel von etwa 75° steil nach abwärts und ermöglicht so eine Ableitung der auf die Wurzeln unterhalb des Wurzelhalses aufgetroffen Nährlösungen. Um eine Austrocknung der nicht direkt mit Nährlösung versorgten Wurzelteile zu verhindern, wird eine Abdeckung aus transparenter Kunststoffolie verwendet.

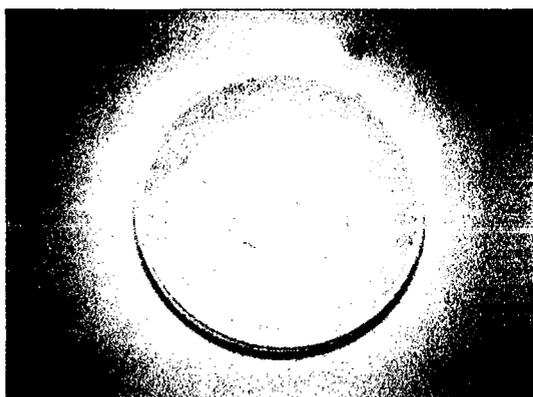


Abb.3.7. Butterdose



Abb.3.8. Anlage mit Decke

Die über die einzelnen Dachrinnen ablaufende Nährlösung wird in einen Plastiktank geleitet und von dort durch eine Tauchpumpe mit Schwimmerregelung periodisch (alle 130 min.) in einen Hochtank (Max 1000 L) gefördert, der etwa 2,20 m oberhalb der Platte mit den Pflanzen angebracht ist.

Anschluss-Spannung	230 V
Pumpenleistung	300W
Max. Förderungshöhe	11 m
Max. Förderleistung	2,2 m/h

Tab.3.5: Kenndaten der Tauchpumpe GARDENA Typ 2000/1 mit Schwimmerschalter

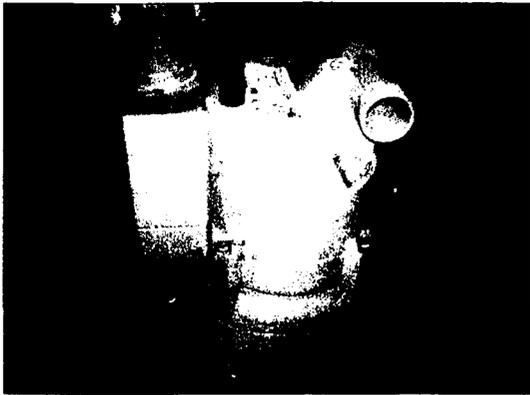


Abb.3.9. Tauchpumpe

Der ebenfalls aus Kunststoff gefertigte Hochtank (Maximales Fassungsvermögen 1000 L) wird mittels eines 3/4 Zoll Gartenschlauches (Länge etwa 4 m) an den wannenförmigen Sammeltank angeschlossen, sodass die Nährlösung in der Anlage zirkulieren kann. Vom Hochtank gelangt die Nährlösung über eine Zulaufleitung, sowie mehrere stufenweise geschaltete Dreiecksverteiler zu dem mit den Versuchspflanzen besetzten Reihen. Die Zufuhr der Nährlösung über die Reihen erfolgt mit Silikonschläuchen (Durchmesse 1/2 Zoll), die Einzelpflanzen werden nach Anbringen eines Übergangsstückes mit Schläuchen aus dem gleichen Material, aber geringeren Durchmessers (ca. 6 mm) versorgt. Unmittelbar vor den Öffnungen der Einzelschläuche werden Drahtklemmen angelegt, durch deren Regulierung eine gleichmäßige Versorgung der einzelnen Pflanzen erreicht wird. Wie in Abb.3.11. gezeigt, ergeben sich durch verschieden hoch angebrauchte Auslässe verschieden lange Laufzeiten der Nährlösung (Abb.3.2)

In der Anlage zirkulieren jeweils 120 L Nährlösung, wobei eine einmalige Umwälzung des gesamten Inhalts der Anlage etwa 5 Minuten dauert (Für die Füllungs- des .Hochtanks)

Die Hirsepflanzen in einer Reihen bekommen alle gleich lang die Nährlösung. Dieser Versuchsstand ist im Keller des Universitätshauptgebäudes aufgebaut. Zunächst werden je 14 Pflanzen von 2 verschiedenen Sorten ab 08.03.2006 (Tag der Aussaat) bis 02.06.2006 (Ernte) in der Anlage kultiviert, die Nährlösungszufuhr erfolgt zwischen Wurzelhals und Wurzelspitze. Die Nährlösung, die in der Anlage mit Hilfe einer Pumpe(GARDENA) im Kreislauf geführt wird, würde jede Woche gewechselt.

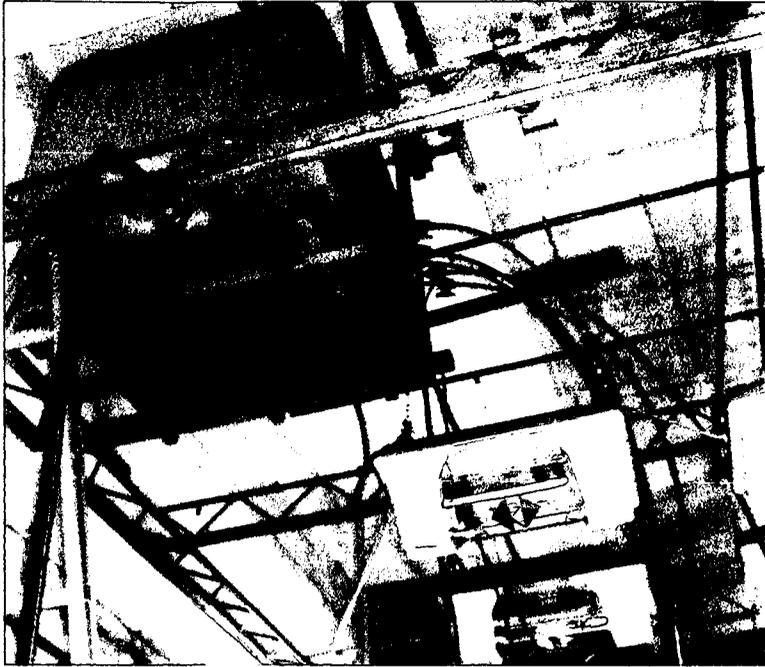


Abb.3.10. Hochtank

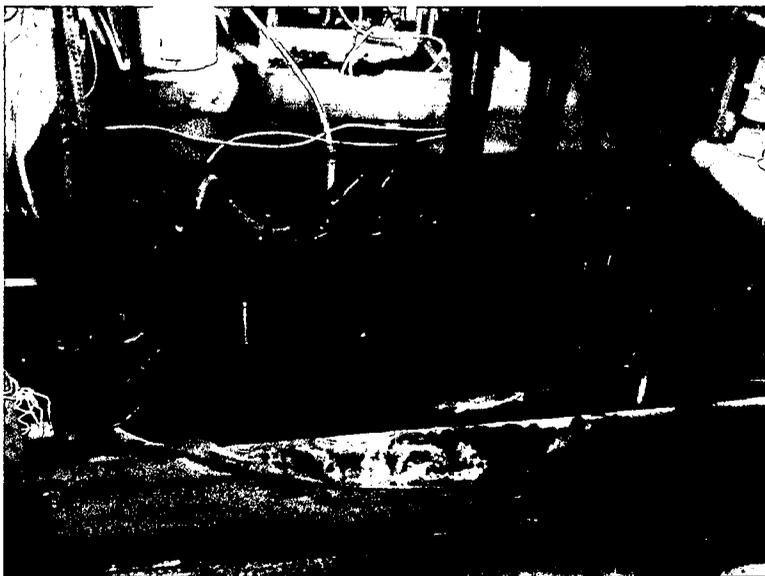
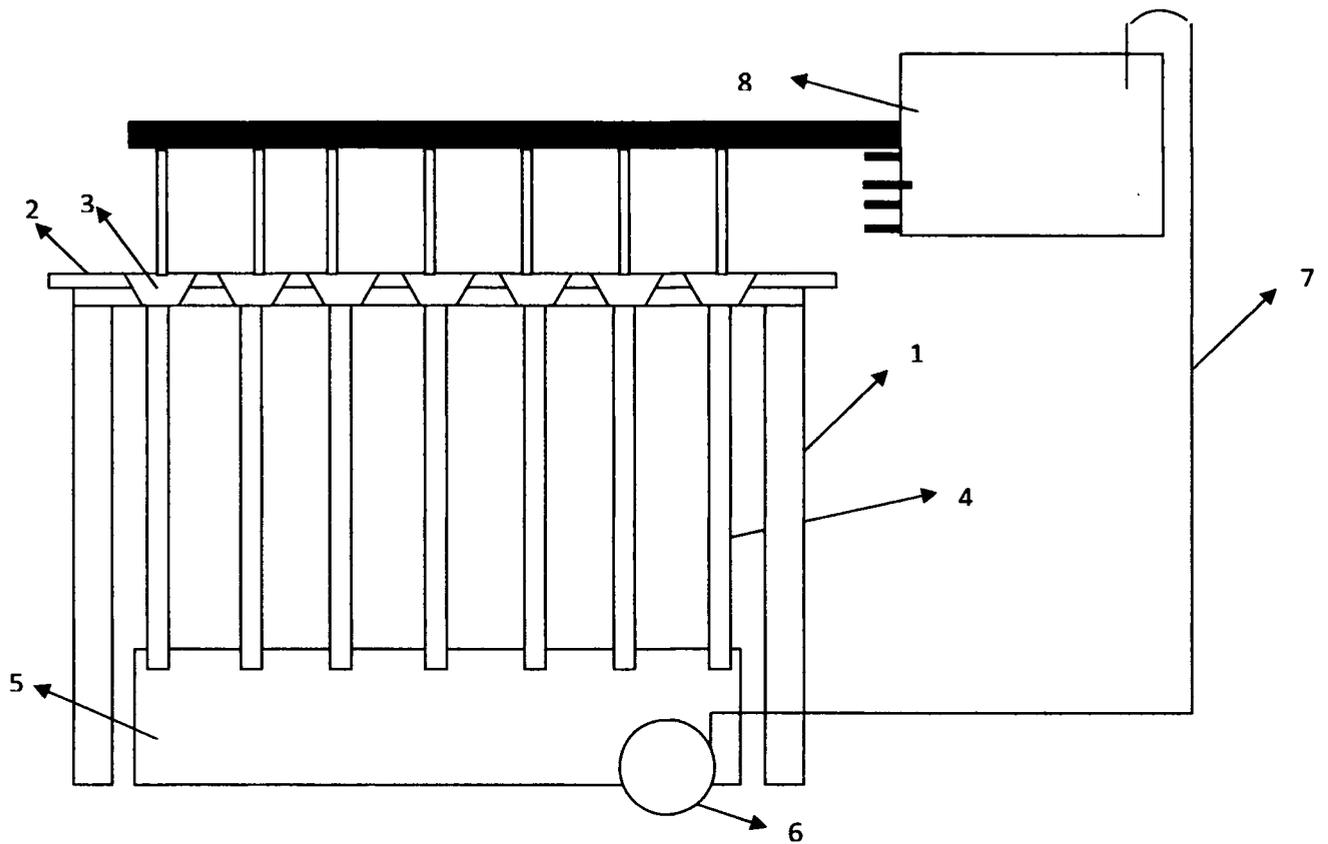


Abb.3.11. Sammeltank



Diese Abbildung zeigt die Nährlösungsversorgung für Variante 1

- 1.Traggerüst aus Profileisten-2.Platte-3.Butterdosen mit Jungpflanzen-
- 4.Dachrinne-5.Sammeltank-6.Tauchpumpe-7.Gartenschlauch-
- 8.Hochtank mit fünf verschiedene Auslässe

Abb.3.12. Anlage im Keller

3.5. Maßmethoden

Für die Charakterisierung des Wachstumsverlaufes der Hirsepflanzen werden folgende Merkmale herangezogen:

1. Blätter Anzahl
2. Wurzellänge
3. Sprosslänge

sowie die Maßbildung getrennt und zusammen nach den genannten Pflanzenteilen im trockenen Zustand. Die Messung dieser Größen wird nach standardisierten Vorgangsweisen vorgenommen, um möglichst geringe externe Variabilität zu verursachen.

Zwecks Erfassung der Längenentwicklung von Spross- bzw. Wurzelteil der Versuchspflanzen werden laufend Messungen mit einem Metallbandmaß ausgeführt. In Abständen von jeder Woche werden die Längen der genannten Pflanzenteile in gestrecktem Zustand getrennt und zusammen ermittelt. Die Sprosslänge wird durch Anlegen des Maßstabes an die Pflanze, beginnend von der Oberseite der Hirsepflanzen erfasst. Zum Unterschied davon werden die Wurzellängen als Distanz von der ,Unterseite der erwähnten Abdeckplatte bis zur Maximal entfernten Wurzelspitze festgelegt.

3.5.1. Wurzelmasse

Am Ende der Versuchsdauer werden die zu erntenden Pflanzen sorgfältig aus dem Kulturmedium herausgehoben und aus der Haltung der Butterdose gezogen. Hier trennt man die Pflanzen auf einer glatten Unterlage mittels eines scharfen Messers in Wurzel und Sprosssteile, nachdem das anhaftende Wasser zuvor abtropfen gelassen wird. Das Frischgewicht der Wurzeln kann hier mit Hilfe einer Digitalwaage bestimmt werden.

Zur Ermittlung der Trockenmasse werden alle Pflanzenwurzeln unmittelbar quantitativ in einen tarierten, geeignet markierten Papierbeutel übergeführt und bei 60 °C für 72 Stunden im Trockenschrank im Forschungsglashaus belassen. Die Nettoauswaage stellt die Wurzeltrockenmasse(Wurzel und Spross) dar.

3.5.2 Sprossmasse

Nach Ernte der Pflanzen und Abtrennen der Wurzelmasse werden die oberirdischen Anteile (Spross) wie oben behandelt. Die Spross Trockenmasse wird in üblicher Weise nach Trockenschrank bei 60°C für 72 Stunden ermittelt.



Abb.3.13. Trockenschrank im Forschungslab



Abb.3.14. Digitalwaage

3.6. Statistische Auswertungsverfahren

Sowohl die Ergebnisse der Längemessungen wie auch der Ernteparameter werden zur Absicherung einer statistischen Prüfung unterzogen. Die Berechnungen wurden mit Hilfe eines Speziellen Programmsystems durchgeführt. Für die Berechnung wurde der SPSS Programmsystem ("Statistical Package for the Social Sciences) verwendet.

4. Ergebnisse

4.1. Mittelwerte

Stress Minuten	26.Apr	26.Apr	04.Mai	04.Mai	11.Mai	11.Mai	19.Mai	19.Mai	29.Mai	29.Mai
	K	R	K	R	K	R	K	R	K	R
5 Min	31,71	44	40,71	48,86	59	54	74	56,29	78,14	58,71
15 Min	24,29	41,71	26,43	48,14	27	52	28,29	58,71	29,29	62,43
33 Min	24,86	25	26,29	27	28,14	28,43	28,43	28,86	30,57	30,57
37 Min	22,29	34,57	25	38,71	25	39,43	27	39,86	29	29
87 Min	18,29	18,43	20,43	21,43	20,43	21,43	20,43	21,43	20,43	21,43

Tab.4.1: Mittelwert Sprosslänge

Stress Minuten	26.Apr	26.Apr	04.Mai	04.Mai	11.Mai	11.Mai	19.Mai	19.Mai	29.Mai	29.Mai
	K	R	K	R	K	R	K	R	K	R
5 Min	35,3	17,93	40	19,71	45,58	20	55,14	24,71	60,43	22,14
15 Min	22,6	19,86	24,43	19,21	25,29	29,64	28,21	37,1	29,29	41,43
33 Min	19,71	13,43	21	14,79	24,43	16,24	24,71	20,43	26,43	17,29
37 Min	20,6	17,71	23	19,43	24,14	20,5	27,29	25,29	26,29	22,43
87 Min	20,43	14,86	22	16,14	22,58	16,71	22,86	17,86	22,86	17

Tab.4.2: Mittelwert Wurzellänge

Stress Minuten	26.Apr	26.Apr	04.Mai	04.Mai	11.Mai	11.Mai	19.Mai	19.Mai	29.Mai	29.Mai
	K	R	K	R	K	R	K	R	K	R
5 Min	5,43	5,43	5,43	5,43	7,57	5,57	8,57	6,14	9,72	5,43
15 Min	2,57	5,86	2,57	5,86	2,57	6,71	2,57	7,57	3,29	5
33 Min	3,57	3,86	3,57	3,86	4,57	4,43	5,43	4,58	5,43	4,86
37 Min	3	4,14	3	4,14	3,29	4,71	3,28	4,71	3	4,14
87 Min	2,57	3,86	2,57	3,86	2,57	3,86	2,57	3,86	2,71	4,14

Tab.4.3: Mittelwert Blätter

	K	R
5 min.	2,99	0,17
15 min.	0,33	2,04
33 min.	0,33	0,24
37 min.	1,19	0,22
87 min.	0,03	0,24

Tab.4.4: Trockengewicht Wurzel

	K	R
5 min.	1,76	2,16
15 min.	0,3	2,36
33 min.	0,94	0,82
37 min.	1,63	2,13
87 min.	0,021	0,027

Tab.4.5: Trockengewicht Spross

	K	R
5 min.	4,74	2,33
15 min.	0,63	4,39
33 min.	1,27	1,06
37 min.	2,82	2,35
87 min.	0,053	0,051

Tab.4.6: Gesamte Trocken gewicht Pflanzen

4.2. Varianzanalysen

Die Varianzanalysen für die Wurzelwachstum, Sprosswachstum, Blätterzahl, trockengewicht von Wurzel und Spross und gesamte Pflanzen sind in den Tabellen 4.2.1 bis 4.2.6 dargestellt.

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	212569,286	1	212569,286	297,417	,000
sorte	4728,806	1	4728,806	6,616	,013
stressminuten	9942,074	4	2485,519	3,478	,013
sorte * stressminuten	8033,269	4	2008,317	2,810	,033
Error	42883,014	60	714,717		

Tab.4.7: Varianzanalyse für Wurzelwachstum

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	428890,011	1	428890,011	262,212	,000
sorte	4435,760	1	4435,760	2,712	,105
stressminuten	47410,674	4	11852,669	7,246	,000
sorte * stressminuten	10340,640	4	2585,160	1,580	,191
Error	98139,714	60	1635,662		

Tab.4.8: Varianzanalyse für Sprosswachstum

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	9641,626	1	9641,626	247,705	,000
sorte	50,540	1	50,540	1,298	,259
stressminuten	504,389	4	126,097	3,240	,018
sorte * stressminuten	354,217	4	88,554	2,275	,072
Error	2335,429	60	38,924		

Tab.4.9: Varianzanalyse für Blätterzahl

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	51,805(a)	9	5,756	2,482	,018
Intercept	103,069	1	103,069	44,445	,000
sorte	5,691	1	5,691	2,454	,122
stressminuten	35,472	4	8,868	3,824	,008
sorte * stressminuten	10,642	4	2,660	1,147	,343
Error	139,140	60	2,319		
Total	294,014	70			
Corrected Total	190,945	69			

Tab.4.10: Dependent Variable Trockengewicht Spross

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	63,783(a)	9	7,087	2,760	,009
Intercept	40,098	1	40,098	15,619	,000
sorte	3,327	1	3,327	1,296	,260
stressminuten	22,645	4	5,661	2,205	,079
sorte * stressminuten	37,812	4	9,453	3,682	,010
Error	154,040	60	2,567		
Total	257,922	70			
Corrected Total	217,823	69			

Tab.4.11: Dependent Variable Trockengewicht Wurzel

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	175,212(a)	9	19,468	2,706	,010
Intercept	271,742	1	271,742	37,771	,000
sorte	,316	1	,316	,044	,835
stressminuten	104,398	4	26,099	3,628	,010
sorte * stressminuten	70,499	4	17,625	2,450	,056
Error	431,671	60	7,195		
Total	878,625	70			
Corrected Total	606,883	69			

Tab.4.12: Dependent Variable gesamte Trockengewicht Pflanzen

4.3. Grafische Darstellungen der Mittelwerte

Die Mittelwerte der aller erhobenen Merkmale sind in den Abbildungen 4.3.1 bis 4.3.6 dargestellt. In diesen Diagrammen wurden die Mittelwerte für Wurzellänge, Sprosslänge, Blätterzahl, Trockengewicht von Wurzel, Trockengewicht von Spross, und der gesamte Trockengewicht der Pflanzen dargestellt.

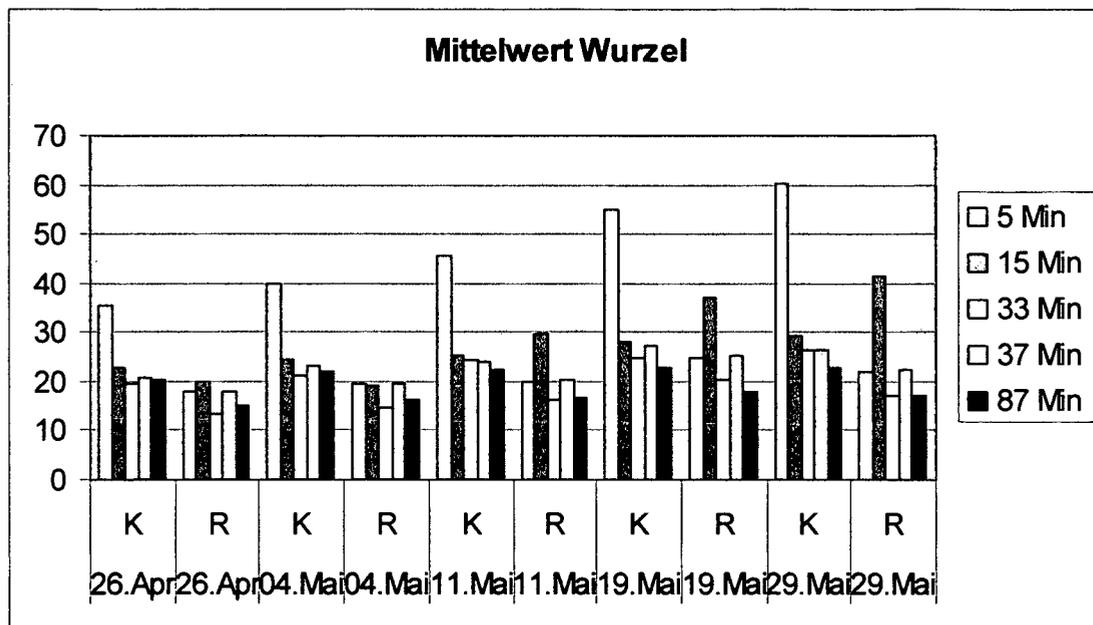


Abb.4.1. Mittelwert Wurzel

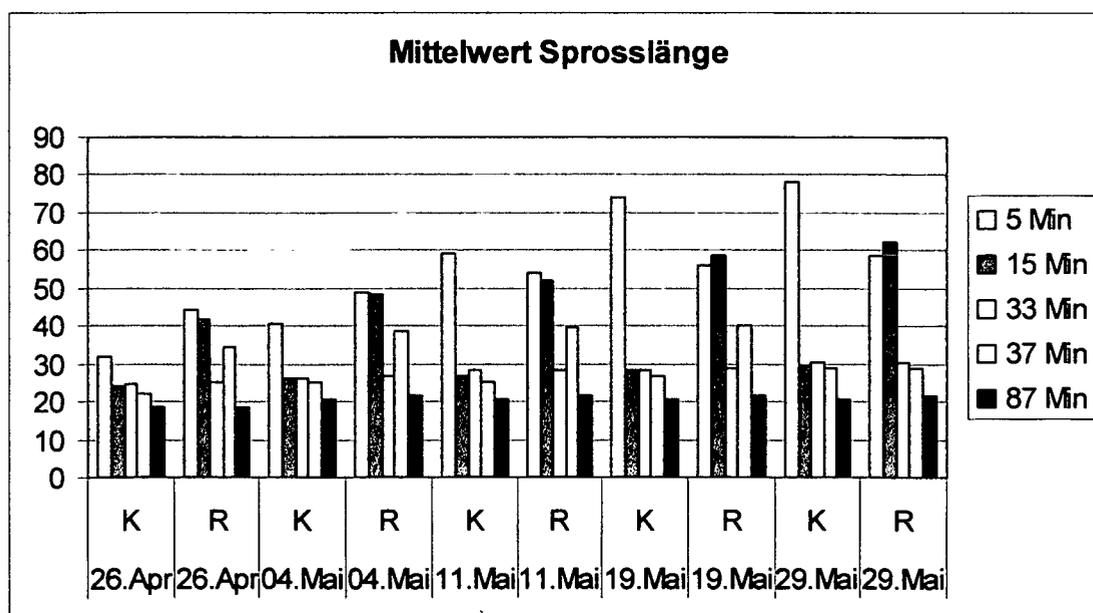


Abb.4.2. Mittelwert Spross

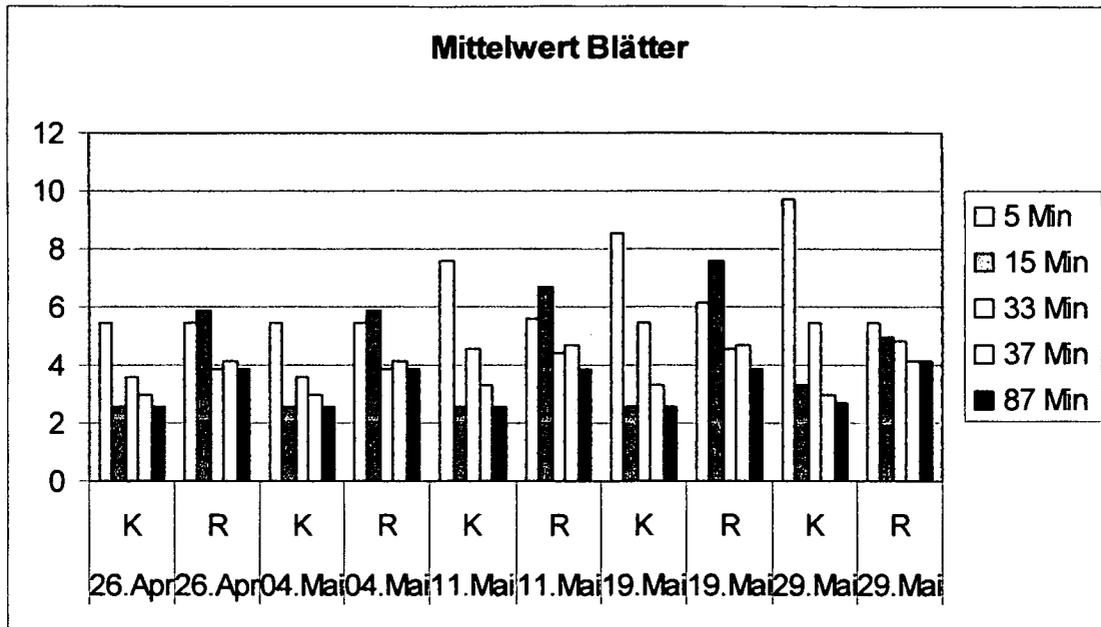


Abb.4.3. Mittelwert Blätterzahl

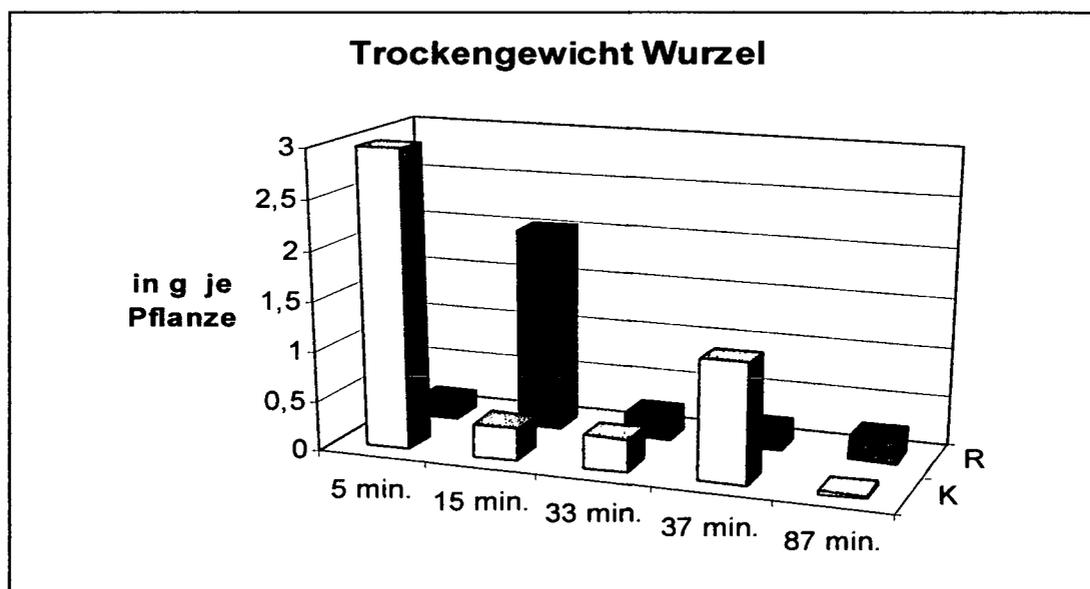


Abb.4.4. Mittelwert Trockengewicht Wurzel

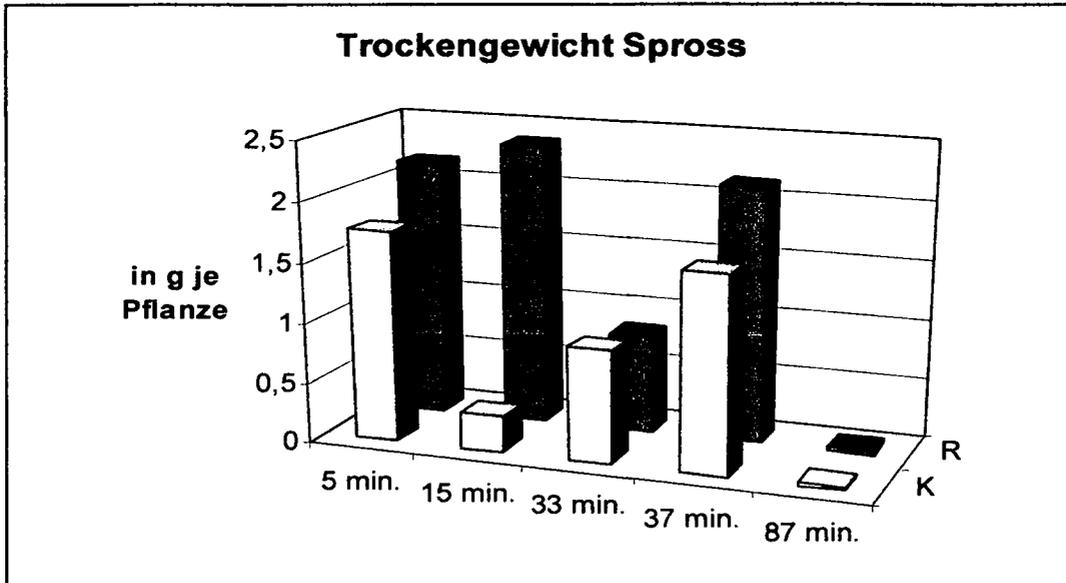


Abb.4.5. Mittelwert Trockengewicht Spross

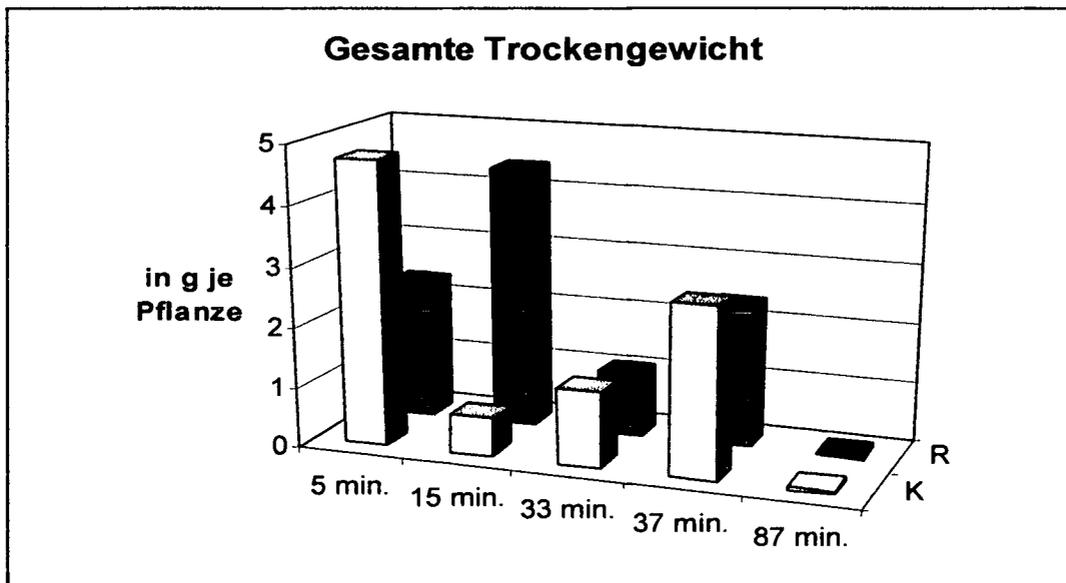


Abb.4.6. Mittelwert gesamte Trockengewicht Pflanzen

5. Diskussion

Die Wasseraufnahme der Wurzeln aus dem Boden erfolgt durch die Druckdifferenzen zwischen dem Wasser im Boden und in der Wurzel (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1979), da beim Eindringen der Wurzel in den Boden die Bodenteilchen zur Seite gedrängt werden müssen, wird die nächste Umgebung der Wurzel verdichtet. Der Effekt dieser Verdichtung ist der gleiche wie der eines zusammengedrückten Schwammes (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1979). Wichtig für die Wasserversorgung der Pflanze ist auch die Wasserleitfähigkeit eines Bodens. Zwischen der Wasserleitfähigkeit und dem Wassergehalt gibt es einige Beziehungen. Denn mit abnehmendem Wassergehalt zum Beispiel wird die Wasserleitfähigkeit erheblich herabgesetzt (GEISLER 1980).

Je geringer die Wasserleitfähigkeit eines Boden ist, desto stärker müssen die Wurzeln dem Wasser nachwachsen und umso dichter muss die Durchwurzelung für die Wasseraufnahme sein (JANG 1971).

Die Wasseraufnahme der Wurzel steigt je größer ihre wasseraufnehmende Oberfläche ist. Diese Vergrößerung der Oberfläche wird durch die Ausbildung von Wurzelhaaren und durch die Verzweigung der Seitenwurzeln erreicht (KUTSCHERA 1960).

Die Aufzucht von Pflanzen in Nährlösungen weist den entscheidenden Vorteil auf, dass die Wurzeln direkt der Beobachtung zugänglich sind, ohne erst ein zeitraubendes Abtrennungsverfahren vom Substrat anwenden zu müssen. Aufgrund der speziellen Bedingungen einer Hydroponikkultur klingt diese Frage, inwieweit die erhaltenden Resultate relevant und mit Feldversuchen Vergleichbar sind.

Für Physiologische Untersuchungen sind Hydroponikversuche allerdings unerheblich (SUMMERFIELD und MINCHIN 1976).

Der geringe Zeitbedarf für die Untersuchungen, wie die Möglichkeit gleichzeitig mehrere Pflanzen beobachten zu können, öffnet diesem Verfahren eine breite Anwendung. Die größere Anzahl von Wiederholungen gibt die Absicherung der Ergebnisse, da oft unbekannte extreme Faktoren erhebliche Variabilitäten Verursachen. Aus Gründen der Reproduzierbarkeit können sich Hydroponik Untersuchungen nicht nur auf Kurzzeitstudien an Jungpflanzen beschränken. Die Ergebnisse

von Länger Kultivierten Versuchspflanzen können aber nur bei gleichzeitigem Vorliegen von den Feldversuchen unter natürlichen Bedingungen zutreffend beurteilt werden (BÖHM 1979).

Das Wurzel- und Sprosslängewachstum von Hirse lässt sich innerhalb bestimmter Grenzen durch verschiedene Faktoren steuern. Besonders wirksam erweisen sich in diesem Zusammenhang Variationen des Wasser und Nährstoffangebotes wie auch bei eigenen Versuchen nachgewiesen werden könnte. Die Kultur der Hirsepflanzen erfolgt bei der vorliegenden Arbeit unter Permanenten, jedoch exakt kontrolliertem Wasser und Nährstoffstress, sodass es infolge der dadurch ausgelösten Resituation zu merkbaren Veränderungen des Wachstums kommt.

Wurzelstudien unter der Wirkung von den Nährstoffmangeln sind schon seit Längerem an verschiedenen Kulturpflanzen ausgeführt worden. Es wurde die Wurzel von Kohlgemüse und Tomaten in Trocken Substrats (Boden) kultiviert, wodurch verstärktes Tiefenwachstum in Richtung zu größerem Wassergehalts angeregt wird. Außerdem kommt es in Bodenzonen mit verminderter Feuchtigkeit zur Ausbildung von sogenannten „Trockenwurzelsätzen“, also Lebenden Jungwurzeln meist geringer Länge, die im Falle der Durchfeuchtung des Substrats rasch weiterwachsen und hohes Wasseraufnahmevermögen zeigen (SCHWARZ, 1946).

Der Bodefeuchtigkeitsgrad übt übrigens eine starke morphogenetische Wirkung auf das Wurzelsystem der Pflanzen, wie beispielsweise Sprosskohl aus: die in Trockener Erde endigenden Wurzel besitzen eine etwa doppelt so große Anzahl von Seitenwurzelsätzen als Absorptionswurzeln, die unmittelbar mit Tiefreichenden Wurzel (Wassersucher) in Verbindung stehen (SCHWARZ, 1946).

Das Wurzel Spross Verhältnis kann so mit stiegen, die Wasseraufnehmende Fläche wird vergrößert, die transpirierende Fläche durch verringertes Blattwachstum verkleinert (BRUNOLD, RÜEGSEGGER, BRÄNDLE, 1996).

Höhere Stickstoffkonzentrationen üben im allgemein eine negative Wirkung auf die Längenentwicklung der Hauptwurzel von Maispflanzen aus (BERGMAN, 1954). Jedoch könnte auch der gegenteilige Effekt

beobachtet werden, da Maissorten diesbezüglich oft erhebliche genotypische Variabilität aufweisen (MACKAY und BARBER 1986).

Bei geringen Stickstoffkonzentrationen (bis zu etwa 250 ppm) erfährt die Wurzellänge von Mais kaum Veränderungen (SCHUTZ, 1987). Der Bodenfeuchtigkeitsgrad übt übrigens eine starke morphogenetische Wirkung auf das Wurzelsystem der Pflanzen, wie beispielweise bei Sprossen Kohl aus (SCHWARZ 1946).

TUCKER und SEELTORST (1898) stellten fest, dass Verhältnisse von Wurzel und Sprossgewicht(in g) bei Hafer in Abhängigkeit von der Bodenfeuchtigkeit verschieden ist.

Zwischen Wasserversorgung und Nährstoffversorgung der Pflanze bestehen enge Zusammenhänge, daher je günstiger die Wasserversorgung, umso besser ist auch die Nährstoffanlieferung, können nur bei guter Wasserversorgung ökonomisch verwendet werden (AMBERGER 1979).

SCHWARZ (1946) hat festgestellt, dass die Tomaten in die trockenen in die trockenen Boden wachsenden hat Wurzel wesentlich mehr Seitenwurzelsätze bilden, als diejenigen, die in deuchten Böden wachsen.

Nach Beobachtung von KUTSCHEA (1960) zeigt Weizen auf den relativ feuchten Braunerböden in Kärnten einen Wesentlich geringeren Besatz an Wurzelhaaren, als der Weizen auf der trockenen Kalkbraunerde in Niederösterreich.

Bei dem Versuch wurde herausgefunden, dass die Gewichte und die Sprosslänge und die Wurzellängen der Hirsepflanzen zwischen der Stressreihe von 5 und 87 min unterschiedlich sind. Bei 87 min Stressreihe sind die jeweiligen Werte niedriger als bei 5 min Stressreihe und dazu kann man behaupten, dass die Pflanzen keine Chance zu Überleben haben.

Bei der Entwicklung der Wurzellänge bei Sorte K in 5 Stressminuten sieht man eine deutliche Zunahme des Wurzelwachstums um 41,58 %. Bei gleicher Stressbelastung bei Sorte R sieht es aber anders aus (eine Zunahme um 19,02 %). Die Sorte R entwickelt sich gut in 15 Stressminuten um 52,06 %. In 15 Stressminuten entwickelte sich Sorte K sehr unterschiedlich zu Sorte R um nur 22,84 %.

Bei anderen Stressminuten wie 87 Min, 33 und 37 Min sind beide Sorten fast gleich gewachsen aber man sieht, dass der Trockenzeit zuviel für die Wurzelentwicklung ist.

Bei dem Trockengewicht der Wurzel zeigt es sich ebenso wie oben. Die Sorte K hat gut in 5 Stressminuten zugenommen (bis Ca. 3 g) und Sorte R in 15 Stressminuten (Ca. 2 g).

Die Sprosslänge sowie die Wurzellänge wird auch beeinflusst durch die Dauer des Wasserstress. Bei Sorte K mit 5 Stressminuten ist der Spross um 59,41 % gewachsen aber der Sorte R mit dem gleichen Stress weniger als Sorte K nur um 25,05 % gewachsen.

Bei 15 Minuten Stress ist es umgekehrt, Sorte R hatte eine Zunahme um 34,16% aber bei Sorte K waren es nur 17,07%.

Bei noch längerer Stressbelastung fielen viele Pflanzen wegen der zu langen Trockenzeiten aus.

Weiter wurde das Trockengewicht des Sprosses gewogen. Da wurde festgestellt, dass die Sorte K bei 5, 33 und 37 Stressminuten eine gute Zunahme hatte. Die Sorte R hat bei 15 Stressminuten ein hohes Gewicht, ebenso bei Stressminuten 5 und 37 erreicht.

Man entdeckt bei diesem Versuch, dass Sorte K mehr Feuchtigkeit als Sorte R braucht, um sich besser zu entwickeln, und eine höhere Wurzellänge und Sprosslänge zu schaffen.

Um ein Verhältnis zwischen Wurzelwachstum und Sprosswachstum beider Sorten zu finden, wurden die Wachstum von Wurzel und Spross für beide Sorte in 5 und 15 Stressminuten miteinander verglichen:

	Wurzelwachstum K	Sprosswachstum K	Wurzelwachstum R	Sprosswachstum R
5 Stressminute	41,58%	59,41%	19,02%	25,05%
15 Stressminute	22,84%	17,07%	52,06%	34,16%

Tab.5.1.: Wurzel- und Sprosswachstum über die gesamte Beobachtungsdauer bei 5 und 15 Stressminuten

Aus den Daten der Tab.1.1. sieht man, dass bei der Sorte K und R bei 5 Stressminuten, das Wurzelwachstum weniger als das Sprosswachstum ist, und der Vergleich mit 15 Stressminuten ist interessant, dass das Verhältnis zwischen Wurzelwachstum und Sprosswachstum umgekehrt ist.

Der Versuch hat gezeigt, dass bei Sorghumhirse eine Verlängerung des Wasserstress über 5 Minuten hinaus keine Stimulation des Wurzelwachstums bewirkt. Bei Rispenhirse ist eine stressabhängige Verlängerung des Wurzelsystems durch 15 minütige Stressdauer feststellbar.

5.1. Ergebnisse der statistischen Analyse

Als ersten Überblick habe ich beim Trockengewicht eine zweifaktorielle univariate Varianzanalyse gerechnet mit dem Gesamt-Trockengewicht als abhängige Variable und der Sorte sowie der Stressbedingung als Faktoren.

Ergebnis: Der Haupteffekt Stressminuten ist signifikant mit $p=0,010$, die Wechselwirkung ist fast signifikant mit $p=0,056$. Der Haupteffekt Sorte ist nicht signifikant ($p=0,835$). (siehe Abb.4.3.6)

Hier habe ich das Gesamtgewicht anschließend aufgeteilt in Trockengewicht Wurzel und Trockengewicht Spross.

Ergebnis Wurzel: Der Haupteffekt Stressminuten ist signifikant mit $p=0,079$, ebenso die Wechselwirkung mit $p=0,010$. Der Haupteffekt Sorte ist nicht signifikant ($p=0,260$). (siehe Abb.4.3.4)

Wie man in der Grafik (Abb.4.3.1) sieht, unterscheiden sich die Stressbedingungen, dies ist allerdings aufgrund der signifikanten Wechselwirkung mit Vorsicht zu genießen.

Ergebnis Spross: Der Haupteffekt Stressminuten ist signifikant mit $p=0,008$. Der Haupteffekt Sorte ist genauso wenig signifikant ($p=0,122$), wie die Wechselwirkung ($p=0,343$). (siehe Abb.4.3.5)

Es wurde für die Auswertung der Sprosslänge ein General Linear Model gerechnet. Der Haupteffekt Stressminuten ist signifikant mit ($p=0,000$). Der Haupteffekt Sorte ist nicht signifikant ($p=0,105$). Die Wechselwirkung ist auch nicht signifikant ($P=0,191$).

Bei der Auswertung der Wurzellänge ist der Haupteffekt Stressminuten signifikant mit $p=0,013$. Der Haupteffekt Sorte ist genauso signifikant ($p=0,013$), wie die Wechselwirkung ($p=0,033$).

Ergebnis Blätterzahl: Der Haupteffekt Stressminuten ist signifikant mit $p=0,018$, ebenso die Wechselwirkung mit $p=0,072$. Der Haupteffekt Sorte ist nicht signifikant ($p=0,259$).

	Haupteffekt Stressminuten	Haupteffekt Sorte	Wechselwirkung
Wurzellänge	signifikant	signifikant	signifikant
Sprosslänge	signifikant	Nicht signifikant	Nicht signifikant
Blätterzahl	signifikant	Nicht signifikant	signifikant
Gesamte Trockengewicht	signifikant	Nicht signifikant	signifikant
Trockengewicht Wurzel	signifikant	Nicht signifikant	signifikant
Trockengewicht Spross	signifikant	signifikant	signifikant

Tab.5.2: Zusammenfassung von Analyse Berichte

6. Zusammenfassung

Es wurde das Wachstum von zwei Hirsearten: Rispenhirse (*Panicum milliaceum*) (Sorte Kornberger, die beim Versuch K genannt wurde), und *Sorghum bicolor* (Sorte Rosus, die beim Versuch R genannt wurde) bei verschiedenem Wasserstress untersucht. Daher wurden 70 Pflanzen in 2 Gruppen in 5 Reihen mit (2x 7) Wiederholungen eingeteilt. Je nach Versuchsreihen wurden die Pflanzen unterschiedlichem Wasserstress wie folgend ausgesetzt: 5, 15, 33, 37, 87 Stressminuten, d.h. in dieser Zeit wurden die Pflanzen nicht mit Nährlösung versorgt. Die Wirkung der Behandlung zeigt sich besonderes beim Wurzelwachstum bei 5 und 15 Stressminuten und Verhältnis zwischen. Wurzel und Spross Wachstum. Bei vergleich zwischen von 5 und 15 Stressminuten und bei 87 Stressminute findet man folgende Ergebnisse:

Wurzellänge bei 5 Stressminuten bei Sorte K um 41,58% und bei Sorte R um 19,02%

Sprosslänge bei 5 Stressminuten bei Sorte K um 59,41% und bei Sorte R um 25,05%

Wurzellänge bei 15 Stressminuten bei Sorte K um 22,84% und bei Sorte R um 52,06%

Sprosslänge bei 15 Stressminuten bei Sorte K um 17,07% und bei Sorte R um 34,16%

Wurzellänge bei 87 Stressminuten bei Sorte K um 10,63% und bei Sorte R um 12,59%

Sprosslänge bei 87 Stressminuten bei Sorte K um 10,47% und bei Sorte R um 13,99%

Der Versuch hat gezeigt, dass bei Sorghumhirse eine Verlängerung des Wasserstresses über 5 Minuten hinaus keine Stimulation des Wurzelwachstums bewirkt. Bei Rispenhirse ist eine stressabhängige Verlängerung des Wurzelsystems durch 15 minütige Stressdauer feststellbar.

7. Abstract

The growth of Millet (*Panicum milliaceum*) variety K (Kornberger) and Sorghum (*sorghum bicolor* variety R (Rosus)) was examined at 5 levels of water stress. Hence, 70 plants were divided into 2 groups in 5 rows with (2x 7) repetitions. The stress was varied by 5, 15, 33, 37 and 87 stress minutes, not supplied with cultural solution. The effects of the treatment appear special with the root growth with 5 and 15 stress minutes and relation between root and shoot growth. In comparison between from 5 and 15 stress minutes and with 87 stress minutes one finds the following results:

Root length with 5 stress minutes with kind K about 41.58% and with kind R about 19.02%

Shoot length with 5 stress minutes with kind K about 59.41% and with kind R about 25.05%

Root length with 15 stress minutes with kind K about 22.84% and with kind R about 52.06%

Shoot length with 15 stress minutes with kind K about 17.07% and with kind R about 34.16%

Root length with 87 stress minutes with kind K about 10.63% and with kind R about 12.59%

Shoot length with 87 stress minutes with kind K about 10.47% and with kind R about 13.99%

The attempt has shown that with sorghum a lengthening of the water stress more than 5 minutes causes no stimulation of the root growth. Millet shows a lengthening of the Roots with widening the stress up to 15 minutes.

چکیده پایان نامه:

در این تحقیق عملکرد رشد ریشه و ساقه و رابطه بین آنها در حالت‌های مختلف آبیاری تحت کنترل مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور دو گونه از گیاه ارزن انتخاب گردید. در مجموع 70 نشاء و از هر نوع 35 عدد که در 5 ردیف در سطح تخته هایی که بر روی آنها حفره های برای جا گذاری گیاهان مذکور تعبیه شده بود قرار گرفتند. زمان دریافت محلول مغذی برای هر ردیف متفاوت بوده و به شرح زیر میباشد:

ردیف اول در هر 130 دقیقه (فاصله زمانی پمپاژ اول محلول از مخزن پایین به مخزن بالا تا پمپاژ دوم) 5 دقیقه محلول مغذی دریافت نکرد.

ردیف دوم در هر 130 دقیقه (فاصله زمانی پمپاژ اول محلول از مخزن پایین به مخزن بالا تا پمپاژ دوم) 15 دقیقه محلول مغذی دریافت نکرد.

ردیف سوم در هر 130 دقیقه (فاصله زمانی پمپاژ اول محلول از مخزن پایین به مخزن بالا تا پمپاژ دوم) 33 دقیقه محلول مغذی دریافت نکرد.

ردیف چهارم در هر 130 دقیقه (فاصله زمانی پمپاژ اول محلول از مخزن پایین به مخزن بالا تا پمپاژ دوم) 37 دقیقه محلول مغذی دریافت نکرد.

ردیف پنجم در هر 130 دقیقه (فاصله زمانی پمپاژ اول محلول از مخزن پایین به مخزن بالا تا پمپاژ دوم) 87 دقیقه محلول مغذی دریافت نکرد.

تأثیرات این نوع آبیاری بین ردیفهای که 5 و 87 دقیقه دچار کم آبی شده بودند به وضوح دیده میشود. گیاهانی که در ردیفهای سوم، چهارم و پنجم که دقایق بیشتری نسبت به ردیفهای اول و دوم دچار کم آبی شده بودند فرصتی برای رشد پیدا نکرده و به تدریج در طول آزمایش از بین رفته اند.

در جدول زیر میتوان عملکرد رشد ریشه و ساقه را در سه زمان مختلف کم آبی مشاهده کرد:

	رشد ریشه در گونه K به درصد	رشد ریشه در گونه R به درصد	رشد ساقه در گونه K به درصد	رشد ساقه در گونه R به درصد
5 دقیقه	41,58	19,02	59,41	25,05
15 دقیقه	22,84	52,06	17,07	34,16
87 دقیقه	10,63	12,59	10,47	13,99

همانطوری که در جدول بالا مشاهده میشود تفاوت رشد گیاه بین بیشترین و کمترین شوک ناشی از عدم دریافت آب مشهود میباشد. به طور خلاصه میتوان اظهار داشت که گیاه ارزن از نوع:

(*Panicum milliaceum*)

احتیاج به آبیاری و رطوبت بیشتری دارد

و نوع

(*Sorghum Bicolor*)

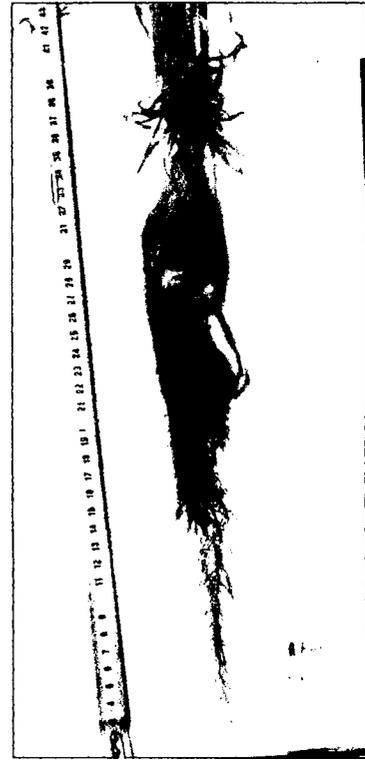
در مقابل کم آبی از خود مقاومت بیشتری نشان داده و در رطوبت زیاد رشدش کم میگردد.

8. Anhang

8.1. Fotos



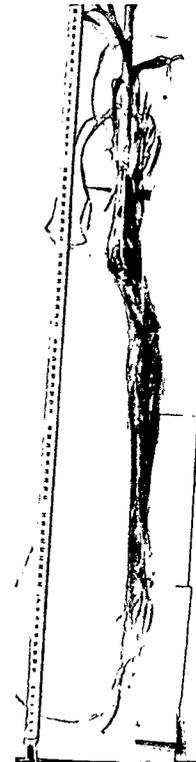
Sorte R Reihe 2 (37 min Stress)



Sorte R Reihe 2 (37 min Stress)



Sorte R Reihe 1 (5 min Stress)



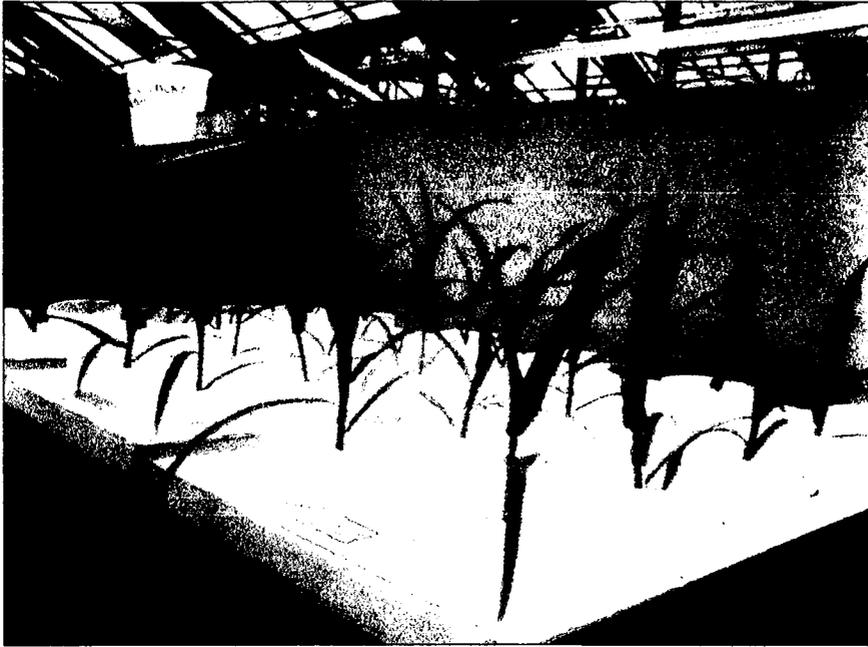
Sorte K Reihe 1 (5 min Stress)



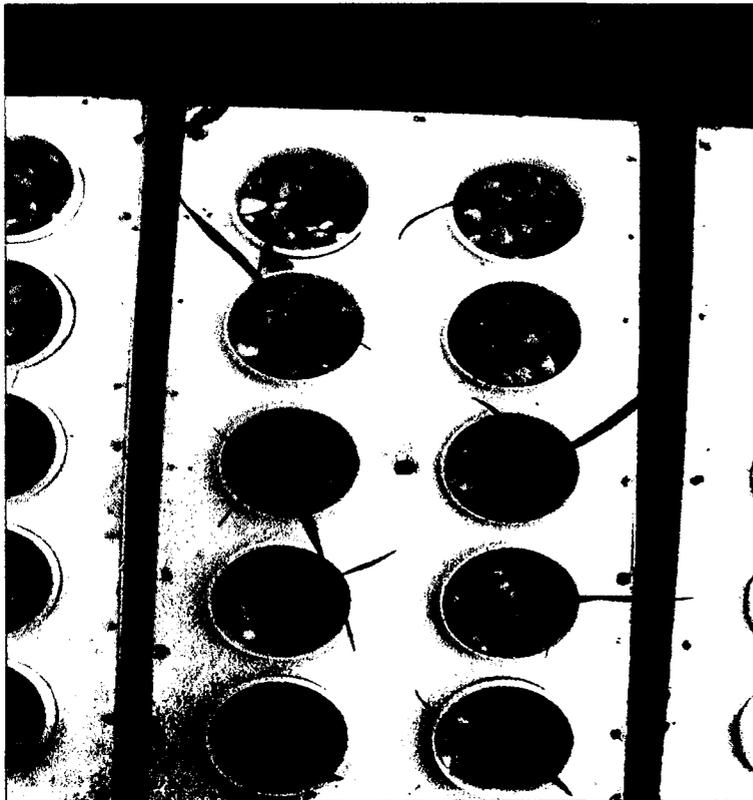
Versuchanlage



Versuchanlage



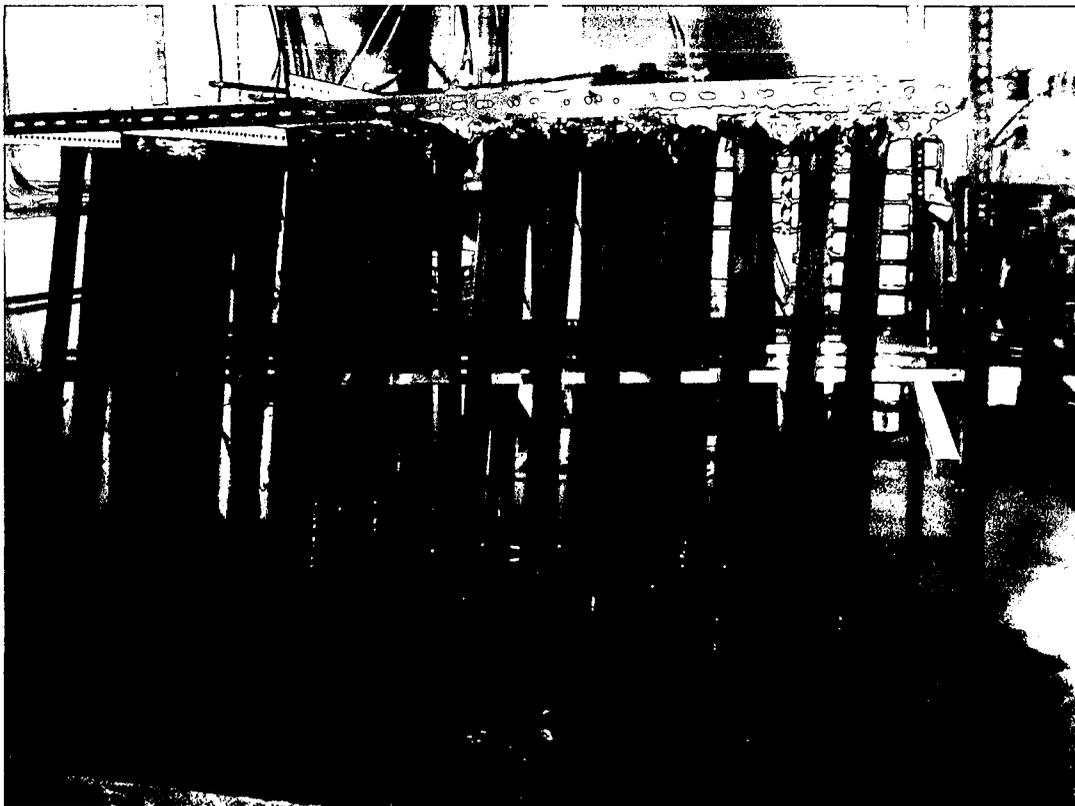
Junge Hirsepflanzen bei Anzuch



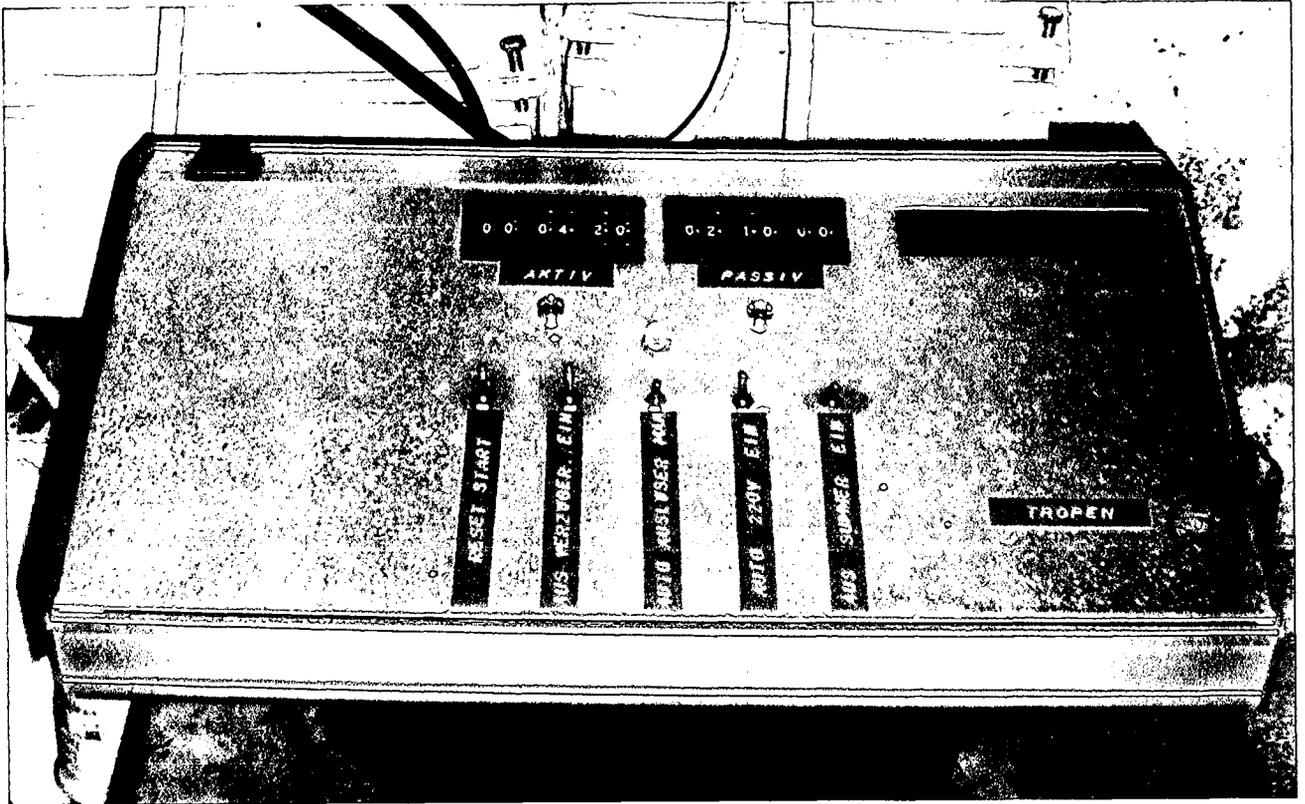
Junge Hirsepflanzen bei Anzuch



Versuch Anlage vor der Kultivierung



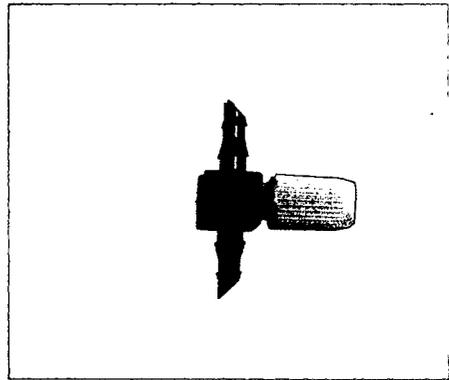
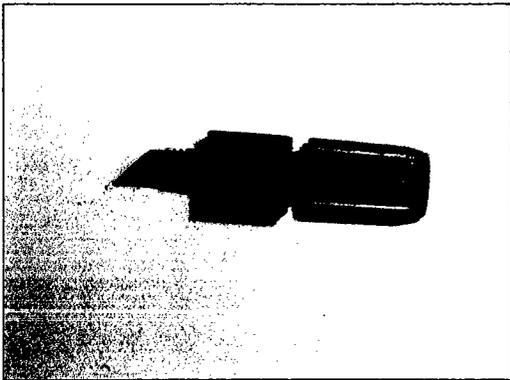
Versuch Anlage vor der Kultivierung



Aktiv und Passiv Gerät



Lampen

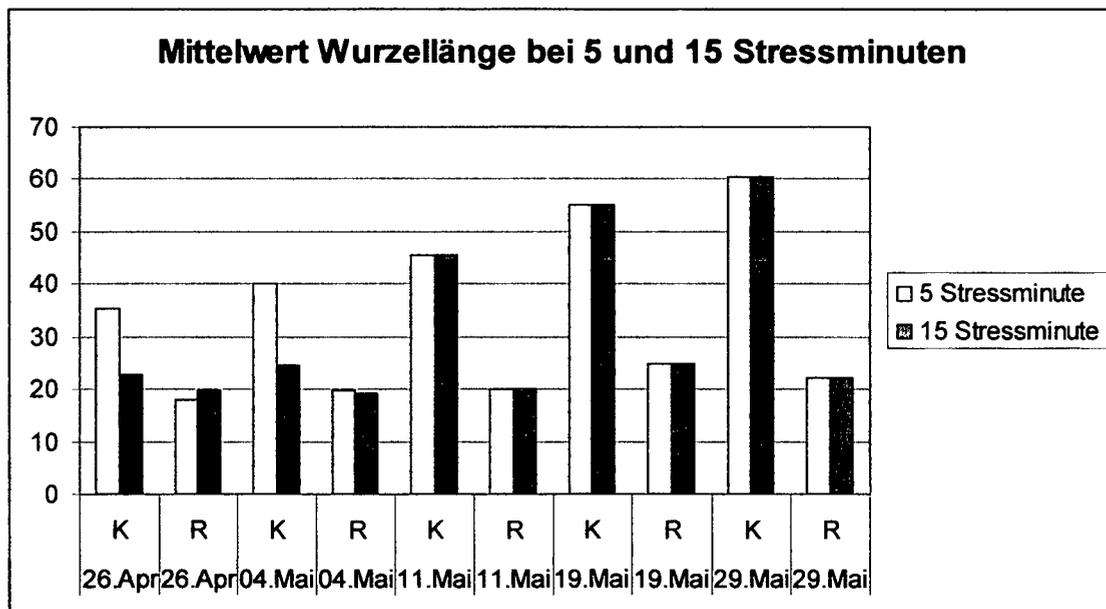


Tropfer

5.2. Ergebnisse und Grafiken

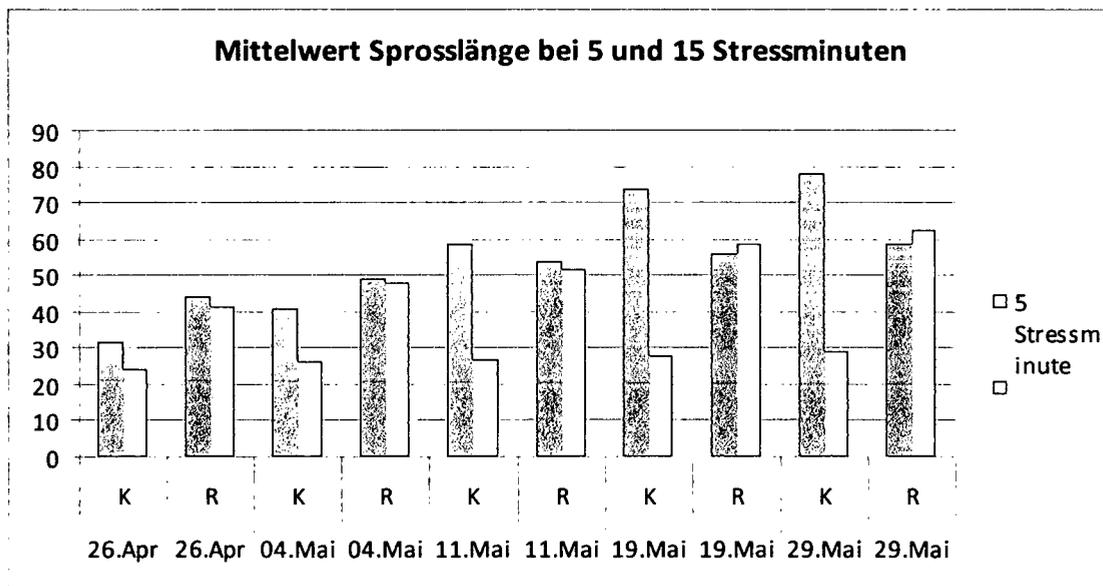
Mittelwert Wurzellänge bei 5 und 15 Stressminuten

	26.Apr	26.Apr	04.Mai	04.Mai	11.Mai	11.Mai	19.Mai	19.Mai	29.Mai	29.Mai
	K	R	K	R	K	R	K	R	K	R
5 Stressminute	35,3	17,93	40	19,71	45,58	20	55,14	24,71	60,43	22,14
15 Stressminute	22,6	19,86	24,43	19,21	45,58	20	55,14	24,71	60,43	22,14



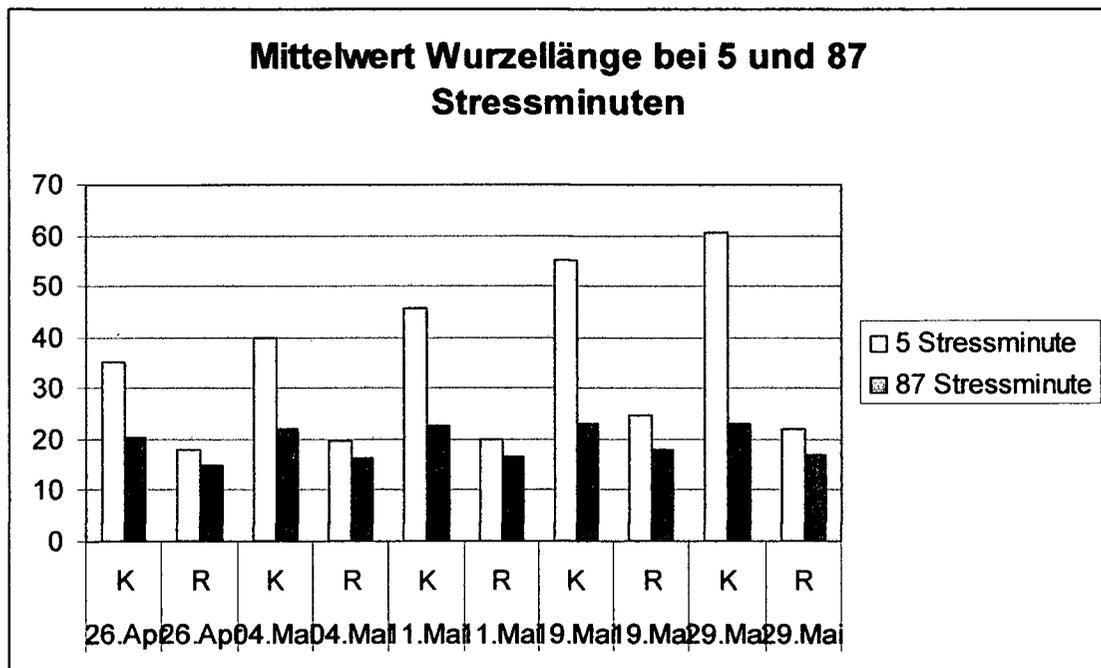
Mittelwert Sprosslänge bei 5 und 15 Stressminuten

	26.Apr	26.Apr	04.Mai	04.Mai	11.Mai	11.Mai	19.Mai	19.Mai	29.Mai	29.Mai
	K	R	K	R	K	R	K	R	K	R
5 Stressminute	31,71	44	40,71	48,86	59	54	74	56,29	78,14	58,71
15 Stressminute	24,29	41,71	26,43	48,14	27	52	28,29	58,71	29,29	62,43



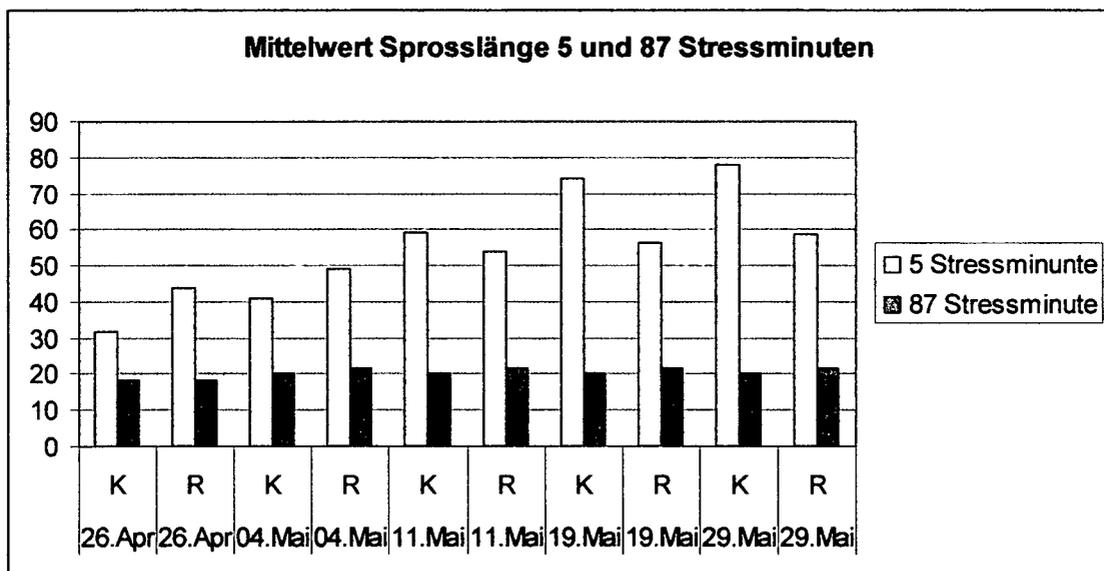
Mittelwert Wurzellänge bei 5 und 87 Stressminuten

	26.Apr	26.Apr	04.Mai	04.Mai	11.Mai	11.Mai	19.Mai	19.Mai	29.Mai	29.Mai
	K	R	K	R	K	R	K	R	K	R
5 Stressminute	35,3	17,93	40	19,71	45,58	20	55,14	24,71	60,43	22,14
87 Stressminute	20,43	14,86	22	16,14	22,58	16,71	22,86	17,86	22,86	17



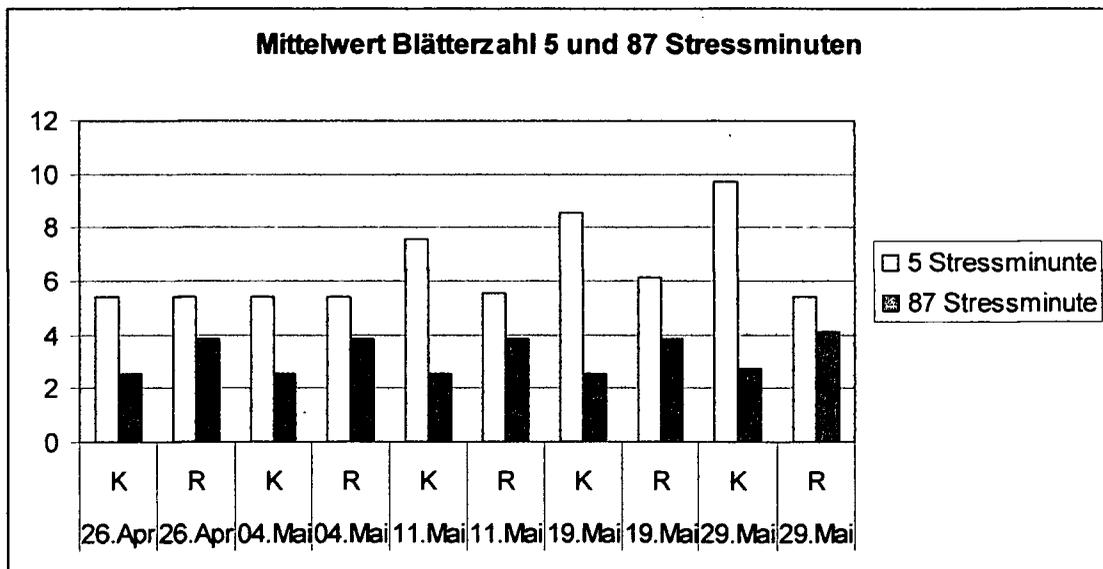
Mittelwert Sprosslänge 5 und 87 Stressminuten

	26.Apr	26.Apr	04.Mai	04.Mai	11.Mai	11.Mai	19.Mai	19.Mai	29.Mai	29.Mai
	K	R	K	R	K	R	K	R	K	R
5 Min	31,71	44	40,71	48,86	59	54	74	56,29	78,14	58,71
87 Min	18,29	18,43	20,43	21,43	20,43	21,43	20,43	21,43	20,43	21,43



Mittelwert Blätterzahl 5 und 87 Stressminuten

	26.Apr	26.Apr	04.Mai	04.Mai	11.Mai	11.Mai	19.Mai	19.Mai	29.Mai	29.Mai
	K	R	K	R	K	R	K	R	K	R
5 Min	5,43	5,43	5,43	5,43	7,57	5,57	8,57	6,14	9,72	5,43
87 Min	2,57	3,86	2,57	3,86	2,57	3,86	2,57	3,86	2,71	4,14



9. Tabellenverzeichnis

Tab.1.1: Transpirationskoeffizienten Verschiedener Kulturpflanzen für das gemäßigte Klima.....	15
Tab.2.1: Markt und Verbrauch.....	16
Tabl.2.2: Die 10 größten Hirsen Produzierenden Länder.....	22
Tab.3.1: Versuch Plan.....	23
Tab 3.2: Zusammensetzung der Nährlösung	25
Tab.3.3: Daten der Lampe.....	26
Tab.3.5: Kenndaten der Tauchpumpe GARDENA Typ 2000/1 mit Schwimmerschalter.....	29
Tab.4.1: Mittelwert Sprosslänge.....	37
Tab.4.2: Mittelwert Wurzellänge.....	37
Tab.4.3: Mittelwert Blätter.....	37
Tab.4.4: Trockengewicht Wurzel.....	38
Tab.4.5: Trockengewicht Spross.....	38
Tab.4.6: Gesamte Trocken gewicht Pflanzen.....	38
Tab.4.7: Varianzanalyse für Wurzelwachstum.....	39
Tab.4.8: Varianzanalyse für Sprosswachstum.....	39
Tab.4.9: Varianzanalyse für Blätterzahl.....	39
Tab.4.10: Dependent Variable Trockengewicht Spross.....	40
Tab.4.11: Dependent Variable Trockengewicht Wurzel.....	40
Tab.4.12: Dependent Variable gesamte Trockengewicht Pflanzen.....	40

Tab.5.1.: Wurzel- und Sprosswachstum über die gesamte Beobachtungsdauer bei 5 und 15 Stressminuten.....48

Tab.5.2: Zusammenfassung von Analyse Berichte.....50

10. Abbildungsverzeichnis

Abb.3.1. Versuchsanlage.....	23
Abb.3.2. Schema von Zeiten der Nährlösungsversorgungen.....	25
Abb.3.3. Lampe.....	27
Abb.3.4. Junges Hirsepflanzen im Behälter zum Zeitpunkt Der Auspflanzen	28
Abb. 3.5. Anzucht der Hirsepflanzen.....	29
Abb.3.6. Die Platten.....	29
Abb.3.7. Butterdose.....	30
Abb.3.8. Anlage mit Decke.....	30
Abb.3.9. Tauchpumpe.....	31
Abb.3.10. Hochtank.....	32
Abb.3.11. Sammeltank.....	32
Abb.3.12. Anlage im Keller.....	33
Abb.3.13. Trockenschrank im Forschungsglashaus.....	35
Abb.3.14. Digitalwaage.....	35
Abb.4.1. Mittelwert Wurzel.....	41
Abb.4.2. Mittelwert Spross.....	41
Abb.4.3. Mittelwert Blätterzahl.....	42
Abb.4.4. Mittelwert Trockengewicht Wurzel.....	42
Abb.4.5. Mittelwert Trockengewicht Spross.....	43
Abb.4.6. Mittelwert gesamte Trockengewicht Pflanzen.....	43

11. Abkürzungen

Abb.	Abbildung
Tab.	Tabelle
°C	Grad Celsius
Cm.	Zentimeter
K.	Kornberger (<i>Panicum milliaceum</i>)
R.	Rosus (<i>Sorghum bicolor</i>)
Sig.	Signifikant
g.	Gramm
L.	Liter

12. Literaturverzeichnis:

AHMAD. L: Die Wirkung eines Stickstoff Kali Dauerdüngungsversuches auf Ertragskomponenten und ertrag von drei verschiedenen Getreidearten (1993).

BÖHM. W: Methods of studging Root Systems Ecological studies (Hrsg. Billings W.D. et al) (1979).

BURGER, M: Versuche zur Herstellung von glutenfreien Teigwaren aus Hirse und Amaranth (1998).

DETMER, W: Über den Einfluss äußerer Verhältnisse auf die Wurzelentwicklung (1872).

EDELBAUER. A: Spezifische Wirkung der Nährstoffe Kalzium, Magnesium, Phosphor und Schwefel auf Ertragsbildung und Nährstoffaufnahme der Pflanze. Dissertation an der Universität für Bodenkultur (1971)

GEISLER. G: Pflanzenbau Biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion (1980).

HABERLANDT, F: Der allgemeine Pflanzenbau (1879).

HANNA K: Wachstum von Maispflanzen in Abhängigkeit von Unterschiedlichem Wasserangebot (2001)

HELLRIEGEL, H: Beiräge zu den Naturwiss. Grundlage des Ackerbaues unter besonderer Berücksichtigung der Sandkultur (1868).

JONES, M.M and N.C. TURNER: Osmotic adjustment in leaves of sorghum in response to water deficits (1978).

JUNES, H.M and RAWSON: Influence of a rate of development of leaf water deficits upon photosynthesis, leaf conductance, water use efficiency and osmotic potential in sorghum (1979).

KUTSCHERA. L: Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen (1960).

KÜSTER H, NEFZGER U, WAECHTER N: Korn; Kulturgeschichte des Getreides (1999).

MURTY and KUMAR: Traditional uses of sorghum and millets (1995).

MESCHKAT M: Einfluss von Stressbedingungen auf des Wurzeltiefenwachstum von Maissorten (Hybrid und Inzuchtlinien) in Hydroponikkultur (1990).

MUNCK, L: New milling technologies and products: whole plant utilization by milling and separation of the botanical and chemical components (1995).

OBERMAIER F: Anbau und Bewässerungsversuche mit Futterhirsen in tripolitien (1970).

ROONEY und SERNA-SALDIVAR: Sorghum in: Encyclopaedia of food science, food technology, and nutrition (1993).

RUCKENBAUER. P: Untersuchungen über Sortenspezifische Wurzel- Sprossverhältnisse bei Getreide in Nährlösungen (1967).

SHWARZ L. Wurzelstudien bei Tomaten und Kohl- Massenbereitschaft lebender Jungwurzeln in tiefen wärts austrocknendem Boden (1946).

SUMMERFIELD und MINCHIN, Root growth in Cowpea (1976).

SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL. F: Lehrbuch der Boden Kultur Ferdinand Enke (1984).

SCHWARZ L: Wurzelstudien bei Tomate und Kohl (1946).

SACHS J: Bericht über die physiologische Tätigkeit an der Versuch – Station in Tharandt. II. Wurzel – Studien (1860).

SALAM . M.A: Untersuchungen der Beziehung zwischen Saugkraft und Trockenresistenz von SORGHUM BICOLOR L. MUENCH (Zuckerhirse) (1986).

TROLL W: Praktische Einführung in die Pflanzenmorphologie (1954).

WIERSUM L: Density of root branchig as affected by substrate and separate ions (1958).

www.fao.org

www.agrecol.de

www.kwsenergie.de