Universität für Bodenkultur Wien
University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

Department für Nachhaltige Agrarsysteme
Institut für Ökologischen Landbau

Nutzung der positiven allelopathischen Effekte von *Convolvulus arvensis L.* (Ackerwinde) zur Wachstumsförderung von Weizen in der biologischen Landwirtschaft

Masterarbeit

Masterstudium: 458, Ökologische Landwirtschaft

vorgelegt von
DI.-Ing. Verena Pold, Bakk. techn.

betreut von
Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Jürgen Kurt Friedel
Univ.Ass. Mag.rer.nat. Dr.nat.techn. Gabriele Gollner
Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Ines Fritz

Wien, Oktober 2014

Universität für Bodenkultur Wien
Gregor Mendel Straße 33
A-1180 Wien, Österreich

Department:
Department für Nachhaltige Agrarsysteme
Departmentleitung:
Univ. Prof. Dr. Dr. DI Christoph Winckler

Institut:
Institut für Ökologischer Landbau
Institutsleiter:
Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.Ing. Bernhard Freyer

Betreuer:
Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Jürgen Kurt Friedel
Institut für Ökologischer Landbau
Gregor Mendel Straße 33
A-1180 Wien, Österreich

Mitbetreuerin:
Univ.Ass. Mag.rer.nat. Dr.nat.techn. Gabriele Gollner
Institut für Ökologischer Landbau
Gregor Mendel Straße 33
A-1180 Wien, Österreich

Mitbetreuerin:
Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Ines Fritz
Institut für Umweltbiotechnologie
Konrad-Lorenz-Straße 20
3430 Tulln an der Donau

Abkürzungsverzeichnis

BIO	biologische Bewirtschaftungsart
h. s.	höchst signifikant
MAX	Maximum, größter Wert
MIN	Minimum, kleinster Wert
MW	Mittelwert
s.	signifikant
STABW	Standardabweichung
UFT	Universitäts- und Forschungszentrum Tulln

Inhaltsverzeichnis

1.Einleitung 8

2.Problemstellung 9

3.Stand des Wissens 11

3.1 Allelopathie 11

3.1.1 Phenolische Säuren 11

3.1.2 Ackerwinde 12

3.1.3 Weizen 15

4. Zielsetzung und Forschungsfragen 17

5. Material und Methode 17

5.1 Material 17

5.1.1 Pflanzenmaterial 17

5.1.2 Labor 17

5.1.3 Glashaus 18

5.2 Versuchsdurchführung und Methoden 18

5.2.1 Vorversuche 19

5.2.1.1 Vorversuch 1 19

5.2.1.2 Vorversuch 2 20

5.2.2 Hauptversuche 21

5.2.2.1 Hauptversuch A 22

5.2.2.2 Hauptversuch B 23

5.2.2.3 Hauptversuch C 23

5.2.2.4 Hauptversuch D 24

5.2.3 Raumklima 25

5.2.4 Bewässerungsmenge 25

5.3 Datenauswertung- und darstellung 26

6.Ergebnisse 28

6.1 Vorversuch 1 28

6.2 Vorversuch 2 ..... **29**

6.3 Hauptversuch A **30**

6.4 Hauptversuch B **32**

6.5 Hauptversuch C **34**

6.6 Hauptversuch D **36**

6.7 Wasser-Extrakte **38**

6.8 Ethanol-Extrakte **40**

7.Diskussion **42**

8.Schlussfolgerung und Ausblick **49**

9.Kurzzusammenfassung **50**

10. Abstract **50**

11. Literaturverzeichnis **51**

12.Abbildungsverzeichnis **56**

13.Tabellenverzeichnis **57**

14.Anhang **58**

Danksagung

Als allererstes gilt ein großer Dank meinen Eltern und meiner Familie, ohne die mein jetziger Werdegang nicht möglich gewesen wäre. Außerdem möchte ich allen Personen danken, die mich bei der Auswertung des Versuches tatkräftig unterstützt haben.

Zudem möchte ich mich bei meinen zwei Betreuerinnen und meinem Betreuer ganz herzlich für die tatkräftige Unterstützung und für die zahlreichen Hilfestellungen bedanken. Danke, dass dies alles ohne jegliche Komplikationen möglich war.

Danke für die Nutzung der Räumlichkeiten der Büroräume und der Laborräume am UFT Tulln!

Außerdem möchte ich all meinen Freundinnen und Freunden, die auch in schwierigen Situationen immer für mich da waren, für die stetige Unterstützung danken. Ganz Herzlichen Dank!

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig angefertigt und die mit ihr verbundenen Tätigkeiten selbstständig erbracht habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken und Wortlaute sind nach den Regeln wissenschaftlichen Arbeitens als solche kenntlich gemacht.

Diese Masterarbeit wurde bisher weder in gleicher noch in ähnlicher Form einer anderen in- oder ausländischen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Verena Pold Wien, 2014

1.Einleitung

Die Allelopathie ist in der Natur häufig verbreitet (Malkolmes, 2006, S.435). Sie wird definiert als die Wechselwirkungen, die durch die Abgabe von chemischen Stoffen zwischen höheren Pflanzen derselben oder verschiedener Arten und deren Effekte auf die Umwelt, entstehen. Die Ausscheidung von Stoffwechselprodukten können wachstumsfördernde und wachstumshemmende Effekte haben (Rice, 1984, S.67f). Chemische Stoffe, die allelopathischen Einfluss haben, werden Allelochemikalen genannt (Bhadoria, 2011, S.8) und werden entweder durch die Wurzeln, Blätter, Spross, Blüten, Früchte oder Samen an die Umwelt abgebeben (Soltys und Krasuska, 2013, S.519). Allelopathische Effekte sind sowohl von Beikräutern als auch von Kulturarten bekannt (Malkolmes, 2006, S.435).

Die Allelochemikalien können nach ihren Strukturen und Eigenschaften in verschiedene Kategorien eingeteilt werden (Soltys und Krasuska, 2013, S.518, Wang et al., 2010), wobei die Untergruppe der Phenole eine der wichtigsten Allelochemikalien darstellt (Hegab und Ghareib, 2010, S.334, Inderjit und Mallik, 2002, Chon et al., 2005). Diese pflanzlichen Phenole wurden schon als Stimulatoren für die Samenkeimung und als Wachstumsförderer von Pflanzen beschrieben, jedoch nur bei Vorhandensein geringer Konzentrationen (Hegab und Ghareib, 2010, S.334, Hegab 2005, Hegab et al., 2008, Hegab und Ghareib 2009, Ghareib et al., 2010). Einige dieser wachstumsfördernden phenolischen Säuren wurden in der Beikrautart Ackerwinde (*Convolvulus arvensis L.*) nachgewiesen (Hageb und Ghareib, 2010, S.338, Hegab et al., 2008). Die Ackerwinde ist eine ganzjährig keimende Pflanze, welche sich entweder durch Samen oder Wurzelknospen verbreitet.

Die Allelopathie kann als natürliches und umweltfreundliches Werkzeug eingesetzt werden, um beispielsweise den Ertrag von Getreide zu steigern (Hegab und Ghareib, 2010, S. 334). In Österreich nimmt die Produktion von Weichweizen in der biologischen als auch in der konventionellen Landwirtschaft die größte Anbaufläche von allen Getreidearten in Anspruch (AMA_1, 2014, S.1). Das Ertragsniveau ist im biologischen Landbau generell geringer als im konventionellen, wobei zusätzlich eine höhere Ertragsvariabilität vorhanden sein kann (Ponti et al., 2011, S.8).

Die vorliegende Arbeit behandelt deshalb die Aspekte der allelopathischen Effekte der Ackerwinde zur Nutzung der Wachstumsförderung von Weizen im biologischen Landbau.

2.Problemstellung

Weizen hat von allen Getreidearten die höchsten Ansprüche an den Standort, denn ideal sind Böden, welche reich an Nährstoffen und tiefgründig sind. Zudem sollte das Wasserspeichervermögen gut sein (Fischl et al., 2013, S.7). Das Wachstum und die Entwicklung ist unter anderem von der eingesetzten Sorte, der Verfügbarkeit an Nährstoffen, dem Druck an Krankheiten, den Managementmaßnahmen und dem Klima abhängig (Weih et al., 2008, S.100).

In Österreich wurde im Jahr 2014 laut Mehrfachantrag der AgrarMarkt Austria 29.636 Hektar biologischer Weichweizen angebaut, wobei über die Hälfte der gesamten Anbaufläche im Bundesland Niederösterreich angebaut wurde (AMA_1, 2014, S.2). Die biologischen Fruchtfolgen in Niederösterreich enthielten in den Jahren 2009 bis 2011 etwa 18 Prozent Weizenanteil (Fischl et al., 2013, S.11). Die Summe der Anbaufläche biologisch und konventionell belief sich auf 280.387 Hektar und war tendenziell steigend im Vergleich zu der Fläche im Jahr 2013 (AMA_1, 2014, S.1). Die Marktleistung für den Zeitraum Juli 2013 bis Mai 2014 wurde von der AMA auf 87.684 Tonnen biologischen Weichweizen (inklusive Dinkel) und auf 1.127.653 Tonnen für den gesamten Weichweizen (konventionell und biologisch) geschätzt (AMA_2, 2014, S.4). Bei den Vermahlungsmengen an biologischem Getreide in Mühlen in Österreich war Weichweizen (inklusive Dinkel) im obengenannten Zeitraum an erster Stelle und auch bei der Verarbeitung in Mischfutterwerken in Österreich spielte biologischer Weichweizen eine zentrale Rolle (AMA_2, 2014, S.5).

Für einen erfolgsversprechenden Anbau von Winterweizen in der biologischen Landwirtschaft ist vor allem ein Saatgut mit guter Keimfähigkeit von Bedeutung. Zudem sollte das Saatgut beste Triebkraft aufweisen (Bistrich und Lafferty, 2008, S.42).

Generell wird im biologischen Landbau ein geringer Ertrag aufgrund der unterschiedlichen Produktionsbedingungen, im Vergleich zur konventionellen Wirtschaftsweise, erzielt (Ponti et al., 2011, S.8). In Österreich liegen die durchschnittlichen Erträge bei BIO-Weizen bei rund zwei Drittel des erzielten Ertrages in der konventionellen Landwirtschaft (BMLFUW, 2013, S.60). In der biologischen Landwirtschaft besteht ein „Verbot der Verwendung chemisch synthetischer Pflanzenschutzmittel und synthetischer Düngemittel“ (Europäische Kommission, 2013). Zudem gilt das Verbot der Verwendung von chemisch-synthetischen Wachstumsregulatoren (Münzing, 2010, S.4).

Bei der Produktion von Weichweizen ist für die Weiterverarbeitung ein hoher Proteingehalt wichtig. Das Stickstoffangebot im Boden und die gewählte Sorte bilden die Grundlage für diesen Parameter. In der biologischen Landwirtschaft ist das Angebot an Stickstoff im Boden

häufig limitiert, um die vorhandenen Ressourcen effizient zu nutzen, ist die Ausbildung eines ausgedehnten Wurzelsystems von Vorteil (Schweiger et al., 2008, S.288).

Der Durchschnitt des Nettoerzeugerpreises im Jahr 2013 für eine Tonne Biospeiseweizen belief sich auf rund 370 €, wenn ein Rohproteingehalt von über 13 Prozent vorhanden war (Fischl et al., 2013, S.5). Die Erträge und der Proteingehalt des Bioqualitätsweizen könnten prinzipiell mit leicht löslichem Handelsdünger erhöht werden, ähnlich wie bei der konventionellen Wirtschaftsweise, bei der Stichstoffmineraldünger eingesetzt wird (Fischl et al., 2013, S.22). Grundsätzlich ist diese Vorgehensweise mit dem Nachhaltigkeitsgedanken der biologischen Landwirtschaft nicht vereinbar und trägt zu einer Konventionalisierung der biologischen Landwirtschaft bei (Fischl et al., 2013, S.5). Generell bietet der Anbau von Leguminosen als Vorfrüchte eine gute Stickstoffversorgung für den Weizen und dadurch kann der Ertrag bzw. der Proteingehalt erhöht werden (Fischl et al., 2013, S.13).

Bis dato ist keine praktikable biologische Alternative zur Wachstumsförderung von Weizen bekannt. Ghareib und Hegab (2010) bewiesen mit einem Gefäßversuch, dass ein Methanol-Extrakt von *Convolvulus arvensis L.* (aus Sprossteilen) durchaus Potential als Bioeffektor hat. Bioeffektoren können Mikroorganismen oder natürliche Wirkstoffe aus Pflanzen sein, die das Wachstum von Kulturpflanzen und die Resistenz von Stressfaktoren fördern können (BIOFECTOR, 2014). In dem Gefäßversuch von Ghareib und Hegab (2010) wurde eine tägliche Bewässerung mit dem Ackerwinden-Extrakt durchgeführt. Das Hauptproblem in der Anwendung für den landwirtschaftlichen Praxisbetrieb ist das Ausbringen des Extraktes mit einem Spritzgerät. Dies bedeutet einen hohen organisatorischen Aufwand und ist für einen biologisch wirtschaftenden Betrieb nicht im Sinne der Nachhaltigkeit, da ein zusätzlicher Arbeitsschritt entstehen würde. Das im Versuch von Ghareib und Hegab (2010) verwendete Extraktionsmittel Methanol ist gesundheitsgefährdend, insofern für den Einsatz im biologischen Landbau nicht geeignet. Eine mögliche Alternative ist die Vorbehandlung von Weizensaatgut mittels „seed priming“ und Ethanol oder destilliertes Wasser als Extraktionsmittel. Es gibt allerdings dazu noch keine Untersuchungen, die Auskunft über die Verdünnungsstufen des Extraktes und dessen Auswirkungen bzw. positive allelopathische Effekte gibt.

Es ist deshalb zu prüfen, ob mithilfe der Allelopathie und der „seed priming“-Technik ein umweltfreundlicher, biologischer und in der Praxis anwendbarer Wachstumsförderer speziell für die Kulturart Weizen hergestellt werden kann.

3.Stand des Wissens

3.1 Allelopathie

Hans Molisch zeigte im Jahr 1937 in einfachen Laborversuchen, dass toxische Ausscheidungsprodukte das Wachstum anderer Pflanzen beeinflussen können. Chemische Ausscheidungsprodukte werden Allelochemikalien genannt (Mallik, 2005, S.27). Allelochemikalien werden von lebenden Organismen produziert, im Speziellen von höheren Pflanzen und haben eine stimulierende oder hemmende Wirkung auf das Wachstum der benachbarten Pflanzen. In der Interaktion zwischen zwei Pflanzen werden allelopathische Wachstumshemmungen durch Eingriff in die Photosynthese, Atmung, Wasserhaushalt, Membranpermeabilität, Proteinsynthese und Enzymaktivität erzeugt. In den Pflanzen sind die Allelochemikalien in den Samen, Blüten, Pollen, Blättern, Spross oder Wurzeln vorhanden (Haig, 2008, S.63).

Zeng et al. (2008) zeigten den aktuellen Forschungsstand der Geschichte der Allelopathie, der Allelochemikalien und deren Mechanismus und die Einsatzmöglichkeiten von Allelopathie in der nachhaltigen Landwirtschaft und Forstwirtschaft. Narwal (1999) veröffentlichte den internationalen Forschungsstand der Allelopathie von Europa, Asien und Südamerika, wobei auch die allelopathischen Effekte zwischen Beikräutern und Kulturpflanzen sowie deren Einfluss auf den Ertrag näher beleuchtet wurden. Kalburtji (1999, S.37) konnte damals ein starkes Interesse für Allelopathie aufgrund der Entwicklung der biologischen Landwirtschaft feststellen.

Das allelopathische Potential verschiedener Pflanzen kann auf unterschiedliche Weise in Agrar-Ökosystemen zum Einsatz kommen, die Forschung reicht von der Nutzung im Beikrautmanagement (An et al., 1998, s. p.), bis zur Wirkung der allelopathischen Effekte auf die Mikroorganismen im Boden (Malkomes,1996, Qu und Wang, 2008). Außerdem gibt es zahlreiche Studien, die die alleopathischen Effekte zwischen Unkräutern und Kulturpflanzen, Pflanzen in Mischkulturen und Pflanzenernterückstände aufzeigen (An, 2005, S.153).

3.1.1 Phenolische Säuren

Die Allelochemikalien können aufgrund ihrer Struktur in zehn verschiedene Gruppen unterteilt werden (Soltys und Krasuska, 2013, S.518). Dazu zählen organische Säuren, Lactone, langkettige Fettsäuren, Chinone, Phenole, Zimtsäure und deren Derivate,

Cumarine, Flavonoide, Tannine und Steroide. Phenole sind die am häufigsten vorkommenden sekundären Stoffwechselprodukte und Allelochemikalien in Pflanzen (Dai und Mumper, 2010, S.7313). Phenolische Säuren enthalten einen oder mehrere aromatische Ringe und ein oder mehrere Hydroxygruppen und sind leicht wasserlöslich.

Phenolische Säuren sind in vielen höheren Pflanzen vorhanden. In den meisten Fällen treten diese nicht als einzige Substanz, sondern als Mischung auf. Darum wird die allelopathische Wirkung nicht durch eine einzige Substanz bestimmt (Haig, 2008, S.69). Phenolische Säuren können in die zwei Klassen der Derivate der Benzoesäure und der Derivate der Zimtsäure eingeteilt werden (Dai und Mumper, 2010, S.7314).

Phenolische Substanzen können von frischen, getrockneten oder gefrorenen Pflanzenteilen extrahiert werden. Generell wird das Pflanzenmaterial vor der Extraktion gemahlen. Die Extraktion mit einem Lösungsmittel ist die übliche Form, um diese Säuren aus den Pflanzenteilen zu lösen. Die Ausbeute der Extraktion hängt von dem Extraktionsmittel, der Extraktionsdauer und Temperatur, dem Verhältnis von Pflanzenmaterial zu Extraktionsmittel und den chemischen und physikalischen Eigenschaften des Pflanzenmaterials ab (Dai und Mumper, 2010, S.7316). Ethanol ist ein gutes Extraktionsmittel für phenolische Säuren und ist nicht, wie Methanol, gesundheitsgefährdend. Lange Extraktionszeiten und Temperaturen können den Ertrag an phenolischen Säuren reduzieren, deswegen sind Temperaturen von 20 bis 50°C bei der Extraktion ratsam (Dai und Mumper, 2010, S.7317). Die Partikelgröße des Pflanzenmaterials hat ebenso einen Einfluss auf die Löslichkeit, denn je kleiner die Partikelgröße desto größer ist der Output (Dai und Mumper, 2010, S.7319).
Reigosa et al. (1999) stellten Methanol-Extrakte mit verschiedenen Heidekrautgewächsen, die phenolische Säuren enthalten, her. Anschließend wurde ein Extrakt mit destilliertem Wasser erzeugt. Es zeigte sich, dass die Anzahl an gelösten phenolischen Säuren bei beiden Extraktionsmitteln ähnlich, jedoch die Konzentration an phenolischen Säuren mit destilliertem Wasser als Extraktionsmittel geringer war.

3.1.2 Ackerwinde

Die Ackerwinde (*Convolvulus arvensis L.*) gehört zu der Familie der Windengewächse (*Convolvulaceae*). Sie ist eine ganzjährig keimende Pflanze, welche sich entweder durch Samen oder durch Wurzelknospen verbreiten kann (Kaur und Kalia, 2012b, S.162). Ihre Pfahlwurzel kann bis zu 3 Meter lang werden. Diese Eigenschaften ermöglichen es der Ackerwinde trotz Bodenbearbeitung und anderer störenden Einflüssen von außen Stand zu halten (Weaver und Riley, 1982, S.465).

Sie ist vorwiegend in Obstgärten, auf brachgelegten Ackerflächen, im Grünland oder in Getreidefeldern vorzufinden (Weaver und Riley, 1982, S.461). Die Ackerwinde zählt zu den „Top 10 weeds of the world“. Es wird über das Vorkommen der Ackerwinde in 54 Ländern in 32 verschiedenen Kulturarten berichtet. Die Ackerwinde kommt mit sehr nährstoffreichen Standorten sowie mit nährstoffarmen, bedingt durch steinigen bis sandigen Untergrund, Bedingungen zu Recht (Weaver und Riley, 1982, S.464). Dennoch bevorzugt sind lehmige und tonhaltige Böden, mit neutralem oder basischen pH-Wert (Kaur und Kalia, 2012a, S.38). Besonders im biologischen Gemüsebau tritt die Ackerwinde als Problem-Beikraut auf (Niggli und Dierauer, 2000, S.3).

Generell ist in den Sprossteilen der Ackerwinde ein höherer Gehalt an phenolischen Säuren als in den Wurzeln enthalten (Kazinczi, 2007, S.173). In den oberirdischen Pflanzenteilen der Ackerwinde wird vorwiegend über das Vorkommen folgender Säuren berichtet: Protocatechusäure, Kaffesäure, Gentisinsäure, Syringasäure, Vanillinsäure, P-Cumarsäure, Ferulasäure, P-Hydroxyphenylessigsäure, P-Hydroxybenzoesäure (Gallussäure) (Kaur und Kalia, 2012a, S.39). Hegab und Ghareib (2010, S.338) fanden mittels HPLC-Analyse P-Cumarsäure mit der höchsten Konzentration in einem Methanol-Extrakt aus Ackerwinden-Sprossteilen, gefolgt von P-Hydroxybenzoesäure. Außerdem war Syringasäure, Ferulasäure, Salizylsäure, Pyrogallussäure in hoher Konzentration vorhanden. In geringen Mengen wurden Proticatechusäure, Kaffesäure, Zimtsäure, Chlorogensäure und Resorcin identifiziert.
In der Literatur wird häufig beschrieben, dass Rückstände der Beikrautart Ackerwinde im Boden einen negativen Effekt auf das Wachstum und den Ertrag der Kulturart Weizen haben (Yarnia, 2010; Bogatek et al., 2005; James et al., 2002). Qasem (1999, S.238) führte einen Topfversuch im Glashaus durch, in dem Rückstände von getrockneten Winden-Sprossteilen (*Convolvulus althaoides L.*) in die Versuchserde (8g/kg) eingemischt und der Effekt auf das Wurzel- und Sprossgewicht von Weizenpflanzen erhoben wurde. Generell war die Keimfähigkeit der Weizenpflanzen mit Rückständen der Winde geringer, die Wurzeltrockenmasse war gegenüber der Kontrollgruppe um die Hälfte reduziert. Das Sprossgewicht war nur gering minimiert.

Andererseits können die oben beschriebenen negativen allelopathischen Effekte, mithilfe von Feststellung der optimalen Verdünnung und Anwendungstechnik, positiv genutzt werden. Phenolische Säuren werden bei geringer Konzentration als Keimungs- und Wachstumsfördernd beschrieben (Hegab und Ghareib, 2010, S.334). An (2005, S.167) beschrieb diesen Effekt als „Hormesis“ und zeigt anhand eines Models, dass die fördernde Wachstumswirkung bei geringen Konzentrationen von Allelochemikalien vorhanden ist. Bei höheren Konzentrationen wird eine Hemmung erzielt.

Kolb (S.380) berichtete bereits im Jahr 1960 eine Förderung des Spross- und Wurzelgewichts von Sommerweizen durch Ackerwindenpflanzen in einem Wasserkulturversuch. Ziel dieser Untersuchung war es, die gegenseitige Beeinflussung im Wurzelbereich von Kulturart und Beikraut zu zeigen (Kolb, 1960, S.400), indem Ackerwindenpflanzen in einem gekoppelten Röhrensystem mit Weizenpflanzen standen und eine Nährstoffzugabe erfolgte. Somit waren die Effekte der Förderung auf die Nährstoffkonkurrenz, welche durch die Nährstoffzugabe limitiert war, und die Wurzelallelopathie beschränkt (Kolb, 1960, S.401).

Ghareib und Hegab (2010) zeigten anhand eines Topfversuches unter Glashausbedingungen, dass ein Methanol-Extrakt von *Convolvulus arvensis L.* (aus Sprossteilen) durchaus Potential als Bioeffektor hat. Die tägliche Bewässerung der Körner von *Triticum vulgare L. var.* mit niedrigerer Konzentration (75, 150 und 300 ppm) des Methanol-Extraktes hatte einen positiven Einfluss auf die Länge und das Trockengewicht von Wurzel und Spross bei 20 Tage alten Weizenpflanzen. Bei Anwendung einer höheren Konzentration (600 ppm) des Extraktes zeigten sich jedoch hemmende Effekte auf diese Wachstumsparameter.

Gupta und Mittal (2012) führten einen Petrischalen Test mit Konzentrationen von 10 %, 8 %, 6 %, 4 % und 2 % von Wasser-Extrakten aus Blättern, Wurzeln und Sprossen der Ackerwinden durch, um die Effekte auf die Keimfähigkeit, die Sprosslänge und das Sprossgewicht von Weizen zu zeigen. Je höher die Konzentration, desto niedriger war das Wachstum der Weizenkeimlinge. Die Keimfähigkeit, die Sprosslänge und das Trockengewicht der Weizenkeimlinge waren bei Extrakten aus Blättern der Ackerwinde stets geringer als jene aus Sprossen und Wurzeln der Ackerwinde.

3.1.3 Weizen

Die Allelochemikalien von Weizen wurden schon in zahlreichen Studien untersucht, wobei phenolische Säuren in allen Pflanzenteilen (Wurzel, Spross, Blätter, Samen, Stroh) identifiziert wurden. Die allelopathische Aktivität von Weizenrückständen im Boden hängt von dem Gesamtgehalt an phenolischen Säuren ab (Ma, 2005, S.100). Lam et al. (2012, S.979) veröffentlichten den aktuellen Forschungsstand des allelopathischen Potentials von Weizen.

Das Vorkommen von phenolischen Säuren in 17 Tage alten Weizenpflanzen wurde von Wu et al. (2008, S.241) bestätigt. In den Wurzeln waren P-Hydroxybenzoesäure, Vanillinsäure, P-Cumarsäure (cis und trans), Syringasäure, Ferulasäure (cis und trans) die identifizierten phenolischen Säuren. Die dominierende phenolische Säure war trans-Ferulasäure. In den Sprossen von 17-tägigen Weizenpflanzen wurden dieselben phenolischen Säuren festgestellt. Die Allelochemikalien sind in der Weizenpflanze unterschiedlich verteilt, generell enthalten die Wurzeln einen höheren Gehalt als die Sprosse (Wu et al., 2000, S.2141). Dias et al. (1999, S.94) identifizierten ebenfalls die obengenannten Säuren in Weizenstroh. Die höchsten allelopathischen Effekte der Weizenpflanze wurden festgestellt, wenn die Jungpflanze in den Wurzeln und in den Sprossen signifikant höhere Mengen im Vergleich zur Kontrollgruppe an Allelochemikalien hatte und diese auch in großen Mengen durch die Wurzeln an das Wachstumsmedium abgab (Wu et al., 2008, S.242).

Weizen ist bekannt für seine allelopathischen Effekte gegenüber Beikräutern und anderen Kulturarten (Roggen, Gerste, Sojabohne, Hirse, Sonnenblume) (Lam et al., 2012, S.980), wobei dies unter anderen auf die enthaltenen phenolischen Säuren zurückzuführen ist (Lam et al., 2012, S.979). Kashif et al. (2014, S.178) belegte die allelopathische Wirkung von Weizen auf die Beikrautunterdrückung von kleinem Glanzgras (*Phalaris minor*) durch das Vorhandensein von phenolischen Säuren. Bertholdsson (2005, S.94) zeigte, dass eine Beikrautunterdrückung von dem vorhandenen allelopathischen Potenzial, das heißt der Menge an Allelochemikalien, abhängt. Je höher dieses ist, desto höher ist die Beikraut-Unterdrückung.

3.2 Seed priming

Seed priming ist eine vorkeimende Saatgut-Behandlung, bei welcher das Saatgut in einer Flüssigkeit vorquellt und die Flüssigkeitsaufnahme gewährleistet wird. Die Ausbildung der Keimwurzel wird jedoch verhindert, da die Körner in Flüssigkeiten mit hohen osmotischem Potential vorgequellt werden (Yari et al., 2010, S.1). Danach wird das Saatgut wieder auf das Ausgangsgewicht rückgetrocknet und kann anschließend angebaut werden. Diese Technik wird angewandt, um die Keimfähigkeit zu verbessern, die Keimdauer zu verringern und den Ertrag zu erhöhen. Während dieses Vorganges laufen physiologische und biochemische Prozesse ab (Basra et al., 2003, S.121).

Basra et al. (2003, S.122) führten einen „seed priming"-Versuch mit variierenden Vorquellzeiten von 6 Stunden, 12 Stunden und 24 Stunden durch und kamen zu dem Gesamtergebnis, dass die Vorquellzeit von 24 Stunden signifikant die besten Ergebnisse für die Keimungsrate und das Wurzel- und Sprossgewicht im Vergleich zur Kontrollgruppe erreichte. Lediglich die Spross- und Wurzellänge von Keimlingen, die 12 Stunden vorgequollen wurden, waren signifikant länger.

Yasmeen et al. (2013, S.513) stellten Extrakte im Verhältnis 1:10 und 1:30 mit *Moringa oleifera (Meerrettichbaum*) her, um mit diesem das Wachstum von Weizen zu beschleunigen. Es wurde ebenso seed priming mit einer Dauer von 12 Stunden angewandt. Nach 75 Tagen war die Spross- und Wurzellänge und das Spross- und Wurzelgewicht der Weizenkörner, welche nur mit destilliertem Wasser vorgequollen waren, signifikant höher als die Ergebnisse der Kontrolle. Die besten Ergebnisse für diese Parameter erzielte der Extrakt 1:30.

Lemrasky und Hosseini (2012, S.564) zeigten die Auswirkungen auf die Keimfähigkeit und morphologischen Parameter von Weizen bei 7 verschiedenen seed priming Flüssigkeiten und 3 variierenden Vorquellzeiten (15, 30 und 45 Stunden). Die Effekte von unterschiedlichen Vorquellzeiten (12, 24 und 36 Stunden) und Temperaturen (20, 23, 28 °C) auf die Keimfähigkeit und das Keimverhalten von Weizen wurden von Yari et al. (2010, S.1) aufgezeigt. Die besten Ergebnisse wurden bei einer Vorquellzeit von 24 Stunden und einer Temperatur von 20 °C erzielt.

4. Zielsetzung und Forschungsfragen

Das Ziel dieser wissenschaftlichen Arbeit ist die Herstellung von Extrakten aus den Sprossteilen der Ackerwinde (*Convolvulus arvensis L.*) und die Durchführung eines Keimversuches mit einer Dauer von 7 Tagen mit biologischem Winterweizen. Als Extraktionsmittel werden Ethanol und destilliertes Wasser benutzt. Die Auswirkungen und Effekte der jeweiligen Extrakt-Verdünnungen sollen aufgezeigt werden. Es soll überprüft werden, welche Extrakt-Verdünnungen einen fördernden und einen hemmenden Einfluss auf die Keimungsrate, die Länge der Keimwurzel und des Keimlings und das Trockengewicht von Keimwurzel und Keimling haben.

- Hat die Verdünnung des Ethanol-Extraktes/Wasser-Extraktes von *Convolvulus arvensis L*. einen Einfluss auf die Keimungsparameter von Weizen?
- Welche Extrakt-Verdünnung und welches Extraktionsmittel hat fördernden oder hemmendenden Einfluss auf die Keimungsrate, die Länge und das Trockengewicht der Keimwurzel sowie Länge und Trockengewicht des Weizen-Keimlings?

5. Material und Methode

5.1 Material

5.1.1 Pflanzenmaterial

Als Versuchssaatgut für die Hauptversuche wurde biologischer Winterweizen der Sorte Capo verwendet. Für die Vorversuche wurde aufgrund der Verfügbarkeit Winterweizen der Sorte Capo mit einer Beizung verwendet (*Cerall-Pseudomonas chlororaphis*). Das Ackerwinden-Spross-Material wurde im August 2013 in der Weinstraße am Standort Wildendürnbach im nördlichen Weinviertel gesammelt. Die Pflanzen befanden sich in der Blüte. Es wurde mit Papiersäcken transportiert und auf Backpapier ausgebreitet und bis zur Verwendung luftgetrocknet und lichtgeschützt gelagert.

5.1.2 Labor

Als Laborräumlichkeiten diente das Labor des Institutes für Landtechnik der Universität für Bodenkultur Wien, welches sich am Standort Tulln des Universitäts- und Forschungszentrum (UFT) befindet.

Zum Abwiegen der Materialien wurde die Waage Denver Instrument SI-234 genutzt. Zum Zerkleinern des Pflanzenmaterials der Ackerwinde wurde ein Multizerkleinerer der Firma Kennwood verwendet. Zur Herstellung der Extrakte wurde 70%-iger Ethanol verwendet. Für den 2. Vorversuch wurde Karl-Fischer Methanol (Rotihydrant D, trocken, <0.01 % H_20) benutzt. Für die Pipetiertätigkeit wurde je nach nötiger Menge eine Einweg-Kunststoff-Pipette mit Peleusball oder eine manuelle Mikropipette mit Einweg-Pipettenspitzen verwendet.

Für die Filtration des Extraktes wurde die im Labor zur Verfügung stehende Vakuumfiltration genutzt. Die benutzen Faltenfilter waren von der Firma Whatman mit der Kennzeichnung 597 ½ mit einem Durchmesser von 150 mm. Es wurde die im Labor zur Verfügung stehende Abzugshaube angewandt.

5.1.3 Glashaus

Es wurde die Glashauskabine 9 des UFT-Tulln genutzt. Für den Wachstumsversuch wurden 40 Plastikboxen mit 17,5 cm Länge und einer Breite von 10 cm verwendet. Es wurde Küchenrolle mit einer Größe von 16 cm Länge und Breite von 9 cm für die Plastikboxen genutzt, welche vorab mit einer Schere geschnitten wurden. Zum Bewässern der Plastikboxen wurde das zur Verfügung stehende Leitungswasser herangezogen, welches mit einem 100 mL Plastikbecherglas abgemessen und zugeführt wurde.

Die durchschnittliche Temperatur der Glashauskabine der Vorversuche 1 und 2 belief sich auf 18,7 °C (MIN=14, MAX=23) bei einer mittleren Raumfeuchte von 47,7 % relativer Luftfeuchtigkeit (MIN=28, MAX=64). Der Durchschnitt der Raumtemperatur der Hauptversuche A bis D betrug 20,4 °C (MIN=18, MAX=31) bei einem Mittel von 44,6 % relativer Luftfeuchtigkeit (MIN=8, MAX=74). Die detaillierten Informationen zum Raumklima der Glashauskabine 9 im Versuchszeitraum können dem Kapitel 5.2.4 Raumklima entnommen werden.

5.2 Versuchsdurchführung und Methoden

Die Versuche wurden im Zeitraum Jänner 2014 bis Mai 2014 durchgeführt. Die Vorversuche 1 und 2 wurden im Jänner 2014 ausgeführt. Der Hauptversuch A fand im Februar 2014 statt, Hauptversuch B im März 2014 und die Hauptversuche C und D im Mai 2014. Es standen 40 Plastikboxen zur Verfügung. Aufgrund dessen konnten jeweils 10 verschiedene Behandlungen durchgeführt werden, wobei in eine Plastikbox jeweils 25 Weizenkörner kamen.

Jede Behandlung hatte 4 Wiederholungen, damit insgesamt 100 Körner pro Behandlung vorhandenen waren. Das grundsätzliche Versuchsdesign wird in der Abbildung 1 dargestellt.

A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1	I1	J1
A2	B2	C2	D2	E2	F3	G2	H2	I2	J2
A3	B3	C3	D3	E3	F2	G3	H3	I3	J3
A4	B4	C4	D4	E4	F4	G4	H4	I4	J4

Abbildung 1: Generelles Versuchsdesign (10 Behandlungen A-J, 4 Wiederholungen (A1-A4), 25 Weizenkörner pro Box, 100 Körner pro Behandlung)

Die Wiederholungen des Buchstaben A wurden immer für die Kontrollgruppe ohne jegliche Behandlung verwendet. Die Wiederholungen des Buchstaben B waren stets die Kontrollgruppe, welche mit destilliertem Wasser oder mit Ethanol vorgequollen wurden.

5.2.1 Vorversuche

Die Vorversuche wurden zum Erfassen der geeigneten Bewässerungsmenge und zur Bestimmung der Verdünnung von Ethanol als Lösungsmittel, bei der keine negativen Einflüsse auf die Wachstumsrate der Weizenkörner bestehen, durchgeführt.

5.2.1.1 Vorversuch 1

Es wurden 10 mal 100 Weizenkörner abgezählt. Danach wurden in je 4 Boxen je 25 Weizenkörner in eine Plastikbox gezählt, welche mit 2 Stück Küchenrolle ausgelegt waren. Die Körner wurden 8 Tage lang bewässert und am Tag 9 wurden die Sprosslänge und die Wurzellänge gemessen. Die verwendete Bewässerungsmenge in mL ist in der Tabelle 1 ersichtlich.

Tabelle 1: Vorversuch 1- Bewässerungsmenge in mL je Box

Tag/ Be-handlung	**1** Früh	**2** Früh /Abend	**3** Früh/ Abend	**4** Früh/ Abend	**5** Früh/ Abend	**6** Früh/ Abend	**7** Früh/ Abend	**8** Früh/ Abend
A	20	20 / -	20 / -	20 / -	- / -	- / -	10 / -	- / -
B	20	10 / 10	10 / 10	10 / -	- / -	10 / 10	- / 10	- / 10
C	10	10 / 10	10 / 10	10 / 10	-/-	10 / 10	-/10	- /10
D	20	5 / 5	5 / 5	5 / 5	5 / 5	5 / 5	5 / 5	5 / 5

E	10	5 / 5	5 / 5	5 / 5	5 / 5	5 / 5	5 / 5	5 / 5
F	20	10 / 10	10 / 10	10 / 10	- / -	5 / 5	- / 5	- / 5
G	10	10 / 10	10 / 10	10 / 10	- / -	5 / 5	- / 5	- / 5
H	30	10 / -	10 / -	10 / -	5 / -	10 / -	10 / -	5 / -
I	30	10 / 10	10 / 10	- / 10	- / 10	- / 10	- / 10	- / 10
J	30	20 / -	20 / -	20 / -	- / -	- / -	- / -	- / -

Die Anfangsbewässerungsmenge wurde von 10 mL bis 30 mL variiert. Danach unterschieden sich die Bewässerungsbehandlungen hinsichtlich des Zeitintervalls (12 Stunden oder 24 Stunden) und der Menge an Millilitern (5, 10 oder 20).

5.2.1.2 Vorversuch 2

Im Vorversuch 2 sollte bestimmt werden, welche Verdünnung an Lösungsmittel (Ethanol oder Methanol) das Wachstum der Weizensprosse- und wurzeln nicht negativ beeinflusst.

Dazu wurden 10 Mal 100 Weizenkörner in 100 mL Bechergläser abgezählt, gewogen und das Anfangsgewicht notiert. Danach wurde die jeweilige Verdünnung, welche in der nächsten Tabelle ersichtlich ist, hergestellt, wobei die generelle Menge an „Vorquell-Flüssigkeit“ 20 mL war. Zudem wurden eine Kontrolle mit gänzlich unbehandelten Weizenkörnern und eine mit destilliertem Wasser durchgeführt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Versuchsdesgin Vorversuch 2

Behandlung	**Verdünnung**	**Bedarf**
A	Kontrolle	
B	Kontrolle-destilliertes Wasser	
C	Ethanol pur	20 mL Ethanol
D	1:2	10 mL Ethanol
E	1:4	5 mL Ethanol
F	1:8	2.5 mL Ethanol
G	Methanol pur	20 mL Methanol
H	1:2	10 mL Methanol
I	1:4	5 mL Methanol
J	1:8	2.5 mL Methanol

Die Weizenkörner wurden 24 Stunden in der Flüssigkeit vorgequollen, danach mit Küchenrolle abgetrocknet und weitere 24 Stunden unter der Abzugshaube bis auf ihr

Anfangsgewicht getrocknet. Danach wurden jeweils 25 Weizenkörner in eine Plastikbox gegeben, welche mit 2 Stück Küchenrolle ausgelegt wurde. Die Bewässerungsdauer betrug 7 Tage.

5.2.2 Hauptversuche

In den vier Hauptversuchen wurden Extrakte der Ackerwinden-Sprosse mit den Lösungsmitteln destilliertes Wasser und/oder Ethanol hergestellt. Das Schema der Herstellung der Extrakte und die Vorgehensweise war bei jedem Hauptversuch dasselbe und wird nachfolgend beschrieben. Die vier Hauptversuche unterscheiden sich nur in den unterschiedlichen Verdünnungen der Extrakte und Kontrollgruppen.

Vor jedem Versuchsdurchgang wurden zehn Mal 100 Weizenkörner pro Behandlung in ein 100 mL oder ein 150 mL Becherglas gezählt, abgewogen und das jeweilige Anfangsgewicht notiert.

Die Sprosse der Ackerwinde wurden auf etwa 2 mm große Stücke zerkleinert. Zur Herstellung des Ethanol-Ackerwinden-Extraktes wurde in ein 50 mL Becherglas die Menge an Ackerwinde eingewogen, sodass das Verhältnis Ethanol zu Ackerwinde 1:10 (0,5 g Ackerwinde/ 5 mL Ethanol) betrug. Anschließend wurde das Becherglas auf eine Heizplatte gestellt und mittels Magnetrührer 30 Minuten bei 40 °C gerührt. Bei der Herstellung des destillierten Wasser-Ackerwinden-Extraktes wurde ebenso ein Verhältnis von 1:10 herangezogen (5 g Ackerwinde/50 mL destilliertes Wasser). Dieser Extrakt wurde in einem 100 mL Becherglas 30 Minuten bei 60 °C mit einem Magnetrührer gerührt. Nachdem wurde die jeweilige verdunstete Menge, die durch die vorab gezogene Linie sichtbar war, mit dem jeweiligen Lösungsmittel aufgefüllt. Anschließend wurde der Ethanol-Ackerwinden-Extrakt durch einen Glastrichter mit Faltenfilter filtriert. Das Filtrat wurde in einem 250 mL Erlenmeyerkolben aufgefangen, welcher mit einem Gummischutz ausgestattet war. Aufgrund der geringen benötigten Menge an Ethanol-Ackerwinden-Extrakt wurde keine Vakuumfiltration genutzt, da der Extrakt in etwa 30 Minuten vollkommen filtriert war. Die Filtration des Wasser-Ackerwinden-Extraktes wurde mit derselben Gerätschaft durchgeführt, aber mit Hilfe von Vakuumfiltration, um den Prozess zu beschleunigen. Diese Filtration dauerte 2,5 Stunden.

Danach wurden der Ethanol-Ackerwinden-Extrakt (1:10) und der Wasser-Ackerwinden-Extrakt (1:10) auf die jeweilige Verdünnung gebracht, wobei immer von einer gesamten „seed priming“- Flüssigkeit von 20 mL für 100 Körner pro Behandlung ausgegangen wurde. Die exakten Verdünnungen können den Kapiteln Hauptversuch A-D entnommen werden (Tabelle 3 bis 6). Aufgrund labortechnischer Zugangsbeschränkungen wurde eine „seed priming“-Dauer von 24 Stunden gewählt.

Danach wurden die Weizenkörner mit Küchenrolle abgetrocknet und wiederum 24 h in der Abzugshaube in den Bechergläsern (A-J) auf ihr Anfangsgewicht getrocknet. Sobald das Anfangsgewicht erreicht wurde, wurden je 25 Weizenkörner der jeweiligen Behandlung in eine Plastikbox, welche mit zwei Stück Küchenrolle ausgelegt war, gegeben. Es wurde alle 24 Stunden 7 Tage lang bewässert. Die jeweilige Bewässerungsmenge ist dem Kapitel 5.2.4 „Bewässerungsmenge“ zu entnehmen.

5.2.2.1 Hauptversuch A

In dieser Versuchsreihe wurden Behandlungen mit Wasser-Ackerwinden-Extrakt und Ethanol-Ackerwinden-Extrakt mit den nachfolgenden Verdünnungen durchgeführt. Zusätzlich wurde eine Kontrolle ohne jegliche Behandlung, eine Kontrolle mit „seed priming“ in destilliertem Wasser durchgeführt und eine Kontrolle mit „seed priming“ in Ethanol-destilliertem Wasser im Verhältnis 1:8 (Tabelle 3).

Tabelle 3: Versuchsaufbau Hauptversuch A

Behandlung	Verdünnung	Konzentration (Ackerwinde in mg / L)	Bedarf Wasser-Extrakt (1:10)	Bedarf Ethanol-Extrakt (1:10)
A	Kontrolle			
B	Kontrolle- destilliertes Wasser			
C	1:2	50000	10 mL	-
D	1:16	6250	1.25 mL	-
E	1:64	1560	0.31 mL	-
F	1:2560	390	7.81 µL	-
G	Kontrolle-Ethanol-destilliertes Wasser 1:8			
H	1:8	12500	-	2.5 mL
I	1:64	1560	-	0.31 mL
J	1:10240	9,7	-	1.95 µL

Es wurde bewusst mit Verdünnungen aus der 8-Reihe gearbeitet um mögliche Effekte vorab erkennen zu können und um Pflanzenmaterial einzusparen.

5.2.2.2 Hauptversuch B

In diesem Versuch wurden Behandlungen mit Wasser-Ackerwinden-Extrakten und Ethanol-Ackerwinden-Extrakten ausgeführt. Als Kontrollgruppen wurden wiederum eine gänzlich unbehandelte Kontrollgruppe, eine Kontrollgruppe mit Vorquellen mit destilliertem Wasser und eine mit Ethanol-destilliertem Wasser im Verhältnis 1:8 gewählt (Tabelle 4).

Tabelle 4: Versuchsaufbau Hauptversuch B

Behandlung	Verdünnung	Konzentration (Ackerwinde in mg / L)	Bedarf Wasser-Extrakt (1:10)	Bedarf Ethanol-Extrakt (1:10)
A	Kontrolle			
B	Kontrolle-destilliertes Wasser			
C	1:64	1560	312.5 µL	-
D	1:128	781	156.2 µL	-
E	1:256	390	78.1 µL	-
F	1:512	195	39.06 µL	-
G	Kontrolle-Ethanol-destilliertes Wasser 1:8			
H	1:4096	24,4	-	4.88 µL
I	1:8192	12,2	-	2.44 µL
J	1:16384	6,1	-	1.22 µL

Es wurden für beide Extrakte höhere Verdünnungen gewählt, um deren Effekte zu verdeutlichen, wobei die Verdünnung bei beiden Extrakten dem Schema der Verdopplung folgt.

5.2.2.3 Hauptversuch C

In Hauptversuch C wurden nur Wasser-Ackerwinden-Extrakt Behandlungen durchgeführt, demnach gab es als Kontrollgruppe eine gänzlich unbehandelte und eine Kontrolle mit destilliertem Wasser vorgequollen (Tabelle 5).

Tabelle 5: Versuchsaufbau Hauptversuch C

Behandlung	Verdünnung	Konzentration (Ackerwinde in mg / L)	Bedarf Wasser-Extrakt (1:10)
A	Kontrolle		
B	Kontrolle-destilliertes Wasser		

C	1:4	25000	5 mL
D	1:8	12500	2.5 mL
E	1:16	6250	1.25 mL
F	1:64	1560	0.31 mL
G	1:256	390	78.1 µL
H	1:512	195	39.0 µL
I	1:1024	97,6	9.76 µL
J	1:4096	24,4	4.88 µL

Die Versuchsreihe begann bei einer Verdünnung von 1:4, um Ackerwindenmaterial einzusparen und da die Filtration mit einer hohen Einwaage an Ackerwinde-Material mit destilliertem Wasser als Extraktionsmittel sehr zeitintensiv ist. Die Verdünnungsstufen wurden verdoppelt, ausgenommen der Behandlung J, bei der die Verdünnungsstufe vervierfacht wurde.

5.2.2.4 Hauptversuch D

In diesem Versuchsdesign wurden nur Ethanol-Ackerwinden-Extrakt Behandlungen vollzogen, wiederum mit einer unbehandelten Kontrolle und einer mit destilliertem Wasser vorgequollen (Tabelle 6).

Tabelle 6: Versuchsaufbau Hauptversuch B

Behandlung	**Verdünnung**	**Konzentration (Ackerwinde in mg / L)**	**Bedarf Ethanol-Extrakt (1:10)**
A	Kontrolle		
B	Kontrolle-Ethanol-destilliertes Wasser 1:8		
C	1:8	12500	2.5 mL
D	1:16	6250	1.25 mL
E	1:64	1560	0.31 mL
F	1:128	781	156.2 µL
G	1:256	390	78.1 µL
H	1:1024	97,6	19.5 µL
I	1:4096	24,4	4.88 µL
J	1:16384	6,1	1.22 µL

Als Kontrollgruppen diente die Behandlung A ohne gänzliche Vorbehandlung und Behandlung B, welche mit einem Gemisch aus Ethanol und destilliertem Wasser (1:8) vorgequollen wurde.

Die Verdünnung 1:8 galt als Ausgangspunkt, jene Verdünnung bei der in dem Vorversuch 2 das Wachstum der Weizensprosse- und wurzeln nicht gehemmt wurde. Dann wurde das Prinzip der Verdopplung der Verdünnungsstufe gewählt, wobei wiederum die Behandlung J die Vierfache Verdünnungsstufe von I war.

5.2.3 Raumklima

Die durchschnittliche Temperatur und Luftfeuchtigkeit der Glashauskabine 9 zum jeweiligen Versuchszeitpunkt ist in der Tabelle 7 ersichtlich.

Tabelle 7: Informationen zum Raumklima (Temperatur, Luftfeuchtigkeit)

Versuch	**Raumtemperatur (°C) Mittelwert (Minimum-Maximum)**	**Raumfeuchte (% rF) Mittelwert (Minimum-Maximum)**
Vorversuch 1	19.2 (14-23)	53.4 (46-64)
Vorversuch 2	18.2 (16-22)	42.0 (28-52)
Hauptversuch **A**	19.4 (18-24)	42.1 (9-54)
Hauptversuch **B**	20.3 (18-31)	40.2 (8-60)
Hauptversuch **C**	20.8 (18-29)	43.1 (12-65)
Hauptversuch **D**	21.4 (18-30)	53.2 (19-74)

5.2.4 Bewässerungsmenge

Die aufgrund der Ergebnisse des Vorversuches 1 gewählte Bewässerungsmenge für Vorversuch 2 und Hauptversuch A bis D ist in der Tabelle 8 aufgezeigt. Es erfolgte jedoch eine subjektive Anpassung der Bewässerungsmenge an die klimatischen Verhältnisse in der Klimakammer (Raumtemperatur, Luftfeuchtigkeit).

Tabelle 8: Bewässerungsmenge in mL pro Tag von Vorversuch 2 und Hauptversuch A bis D

Bewässerungsmenge/Tag (mL)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Vorversuch 2	30	10	10	20	10	30	20
Hauptversuch **A**	30	30	20	20	20	10	-
Hauptversuch **B**	30	30	30	30	20	10	-
Hauptversuch **C**	30	30	30	30	-	20	-
Hauptversuch **D**	30	30	30	30	-	20	-

5.3 Datenauswertung- und darstellung

Die detaillierten Informationen zu Raumtemperatur und Raumfeuchte wurden der zentralen Datenbank der Glashauskabinen des UFT entnommen. Es erfolgte eine automatische Erfassung der Daten in einem zehnminütigem Intervall, wobei aus Gründen der besseren Übersicht der Mittelwert sowie der geringste und größte Wert des jeweiligen Parameters angegeben werden.

Nach 7 Tagen wurde der Weizenspross mit Wurzel vorsichtig mit der Hand aus der Küchenrolle gezogen. Mithilfe eines Lineals wurden die Wurzellänge in cm und die Sprosslänge in cm auf eine Kommastelle genau ermittelt und von einer externen Person in ein vorab gefertigtes Dokumentationsblatt (Anhang II) eingetragen. Als gekeimt gewertet wurden Sprosse, deren Keimling eine Größe von mindestens 2 mm hatte.

Mit einer Nagelschere wurden der Spross und die Wurzel von dem Weizenkorn geschnitten und pro Behandlung wurden die Sprosse und Wurzeln in eine Plastikschale gegeben und luftgetrocknet. Nach einer Woche wurden die Sprossgewichte und Wurzelgewichte in Gramm eruiert.

In den Vorversuchen wurde um den Aufwand zu begrenzen nur die Wurzellänge und Sprosslänge erhoben. Vorversuch 1 wurde nur deskriptiv ausgewertet.

Die erhobenen Daten wurden deskriptiv mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel 2010 und analytisch mit SAS Enterprise Guide 4.2 ausgewertet. Bei der statistischen Auswertung wurde zuerst die Normalverteilung der Daten mittels Shapiro-Wilk-Test überprüft. Anschließend wurde die Varianzhomogenität mit dem Levene-Test getestet. Generell wurde das Signifikanzniveau von $\alpha \leq 0.05$ verwendet. Höchst signifikant sind jene Ergebnisse, die $\alpha \leq 0.001$ aufwiesen. Bei normalverteilten Daten und Erfüllung der Varianzhomogenität wurde der multiple Mittelwertvergleich mittels Student-Newman-Keuls-Test herangezogen.

Die grafische Darstellung erfolgte mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel 2010. Die x-Achse der Abbildungen zeigt generell die differierenden Behandlungen pro Versuchsreihe. In Klammer mit dem Buchstaben „n“ wird die Anzahl an gekeimten Weizenkörnern dargestellt. Die y-Achse hat grundsätzlich entweder die Einheit Zentimeter oder Gramm. Es wird die Sprosslänge/Sprossgewicht in cm/in g und die Wurzellänge/Wurzelgewicht in cm/in g gezeigt, wobei die Sprosslänge/Sprossgewicht immer in der Farbe „Weiß“ visualisiert wird und die Wurzellänge/Wurzelgewicht in der Farbe „Grau“. Die Höhe der Balken entspricht den errechneten Mittelwerten und die Standardabweichung nach oben und unten wird mit der abgegrenzten Linie dargebracht.

Die Ergebnisse der Sprossgewichte und der Wurzelgewicht in g werden ausschließlich deskriptiv beschrieben und mittels Balkendiagramm werden die erhobenen Mittelwerte aller gekeimten Pflanzen pro Behandlung dargestellt. Es wurden die Gewichte nicht nach Wiederholungen getrennt erhoben um den organisatorischen Aufwand zu begrenzen. Die festgestellten signifikanten Unterschiede ($\alpha \leq 0.05$) wurden mit unterschiedlichen Buchstaben in den Grafiken gekennzeichnet. Jene Mittelwerte, die keinen gemeinsamen Buchstaben haben, unterschieden sich signifikant.

Um die Mittelwerte miteinander vergleichen zu können und den fixen Effekt des Versuchszeitpunktes ausschalten zu können, wurde eine Co-Varianzanalyse durchgeführt, wobei der Versuchszeitpunkt die unabhängige Variabel war und die jeweilige Behandlung als Klassifizierungsvariable galt. In den Kapiteln „Wasser-Extrakte“ und „Ethanol-Extrakte“ sind in den grafischen Darstellungen die um den fixen Effekt des Versuchszeitpunktes korrigierten LS-Means ersichtlich.

6.Ergebnisse

6.1 Vorversuch 1

Die Gießvariante D und F erreichten die höchsten gemessenen Mittel für die Spross- und Wurzellänge (Abbildung 2), jedoch bestand ein hoher zeitlicher und organisatorischer Aufwand, da alle 12 Stunden gegossen werden musste. Aus organisatorischen Gründen wurde für die nachfolgenden Versuche eine Bewässerungsmethode gewählt, welche eine hohe Anfangsgießmenge enthält (H, I, J) und danach alle 24 Stunden bewässert wird. Es erfolgte eine Erhöhung der Gießmenge, von 10-20 mL (H, I, J) auf 30 mL, um ein Austrocknen zu verhindern, da der Deckel der Plastikboxen offen war. In dem Vorversuch 1 wurde aufgrund eines anderen Versuches in der Glashauskabine zusätzlich mit Deckenbewässerung gearbeitet, die Gießmenge war dadurch variierend, da einige Boxen unter dieser Beregnungsanlage standen. Zudem war die durchschnittliche Raumtemperatur in den Hauptversuchen höher als in dem Vorversuch 1 und die Raumfeuchte war ebenso minimiert. Die Sonnenstunden der Hauptversuche waren aufgrund der Jahreszeit ebenso länger.

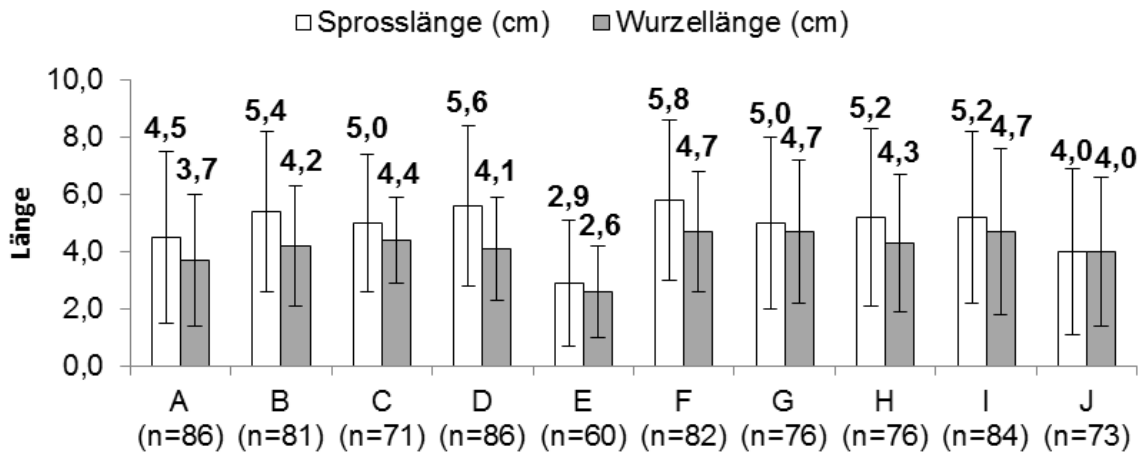

Abbildung 2: Ergebnisse Vorversuch 1 (Mittelwert Sprosslänge und Wurzellänge in cm, n = Anzahl gekeimter Weizenkörner, Großbuchstabenkennzeichnung siehe Tabelle 1)

6.2 Vorversuch 2

Die Mittelwerte der Behandlungen der Sprosslänge in cm (< 0.0001 < 0.05; h. s., höchst signifikant) als auch der Wurzellänge in cm (< 0.0001 < 0.05; h. s.) unterschieden sich signifikant. Die Behandlungen pures Ethanol und jene mit einem Verhältnis 1:2 reduzierten die Keimfähigkeit auf null Prozent. Die Kontrolle, welche mit destilliertem Wasser vorgequollen wurde, und jene Behandlung mit Ethanol 1:8 lieferte signifikant höhere Mittelwerte der Sprosslänge in cm und der Wurzellänge in cm im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Die Anzahl der gekeimten Körner war bei der Behandlung mit Methanol geringer als jene in der Behandlung mit Ethanol (Abbildung 3).

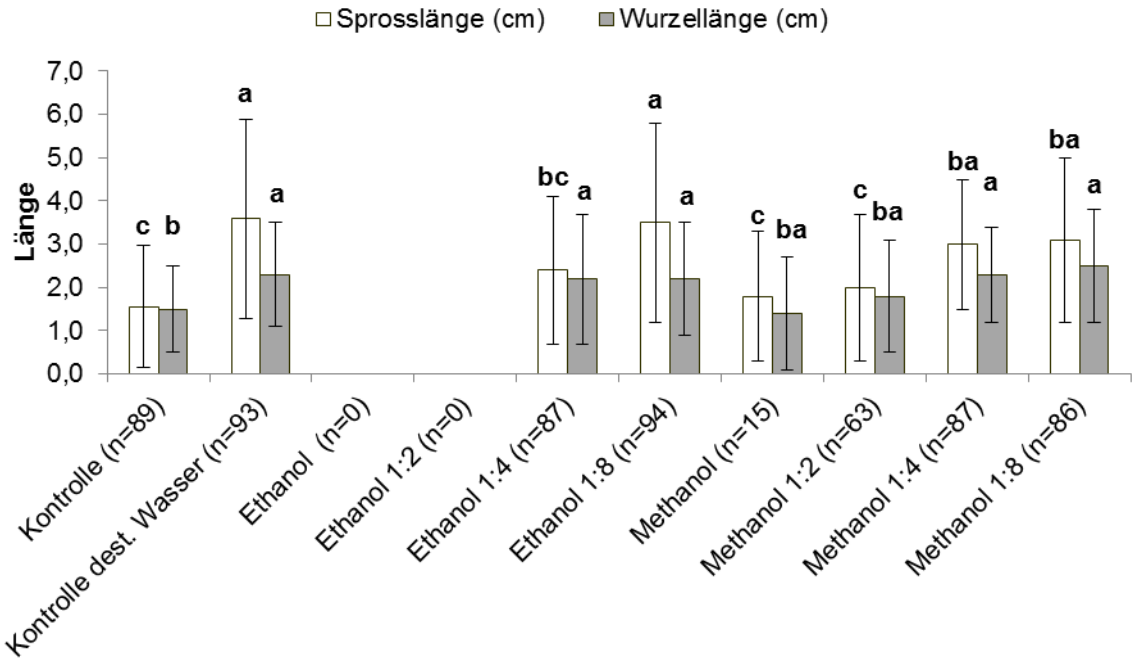

Abbildung 3: Ergebnisse Vorversuch 2 (Mittelwert Sprosslänge und Wurzellänge in cm inklusive Standardabweichung nach oben und unten, Mittelwerte mit gleichen Kleinbuchstaben unterscheiden sich nicht signifikant, n = Anzahl gekeimter Weizenkörner, Versuchsdesign siehe Tabelle 2)

Die detaillierten Informationen zu den errechneten Mittelwerten, dem größten gemessenen Wert und Standardabweichung von Sprosslänge und Wurzellänge für die verschiedenen Behandlungen des Vorversuchs 2 können dem Anhang IV entnommen werden. Aufgrund der oben angeführten Ergebnisse und aus Gründen der Lebensmittelsicherheit wurde für die weitere Vorgehensweise der Versuchsdurchführung Ethanol als Extraktionsmittel herangezogen.

6.3 Hauptversuch A

Die errechneten Durchschnittswerte der verschiedenen Behandlungen für die Sprosslänge in cm (<0.0001 < 0.05; h. s.) und Wurzellänge in cm (<0.0001 < 0.05; h. s.) unterschieden sich signifikant (Abbildung 4).

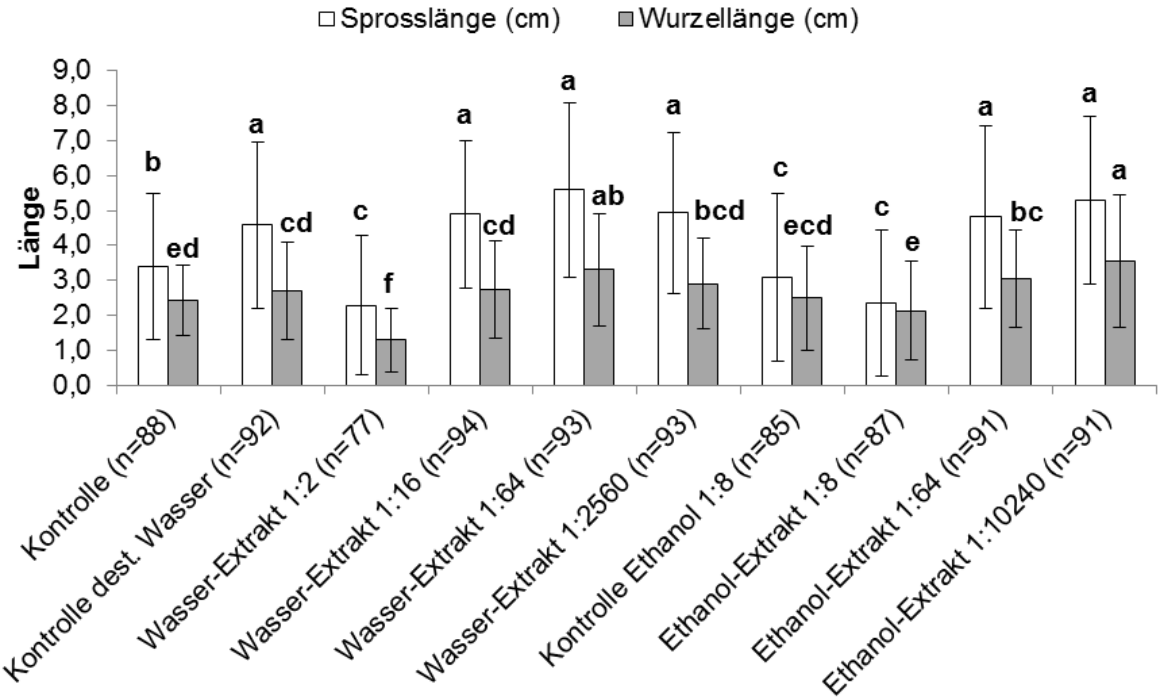

Abbildung 4: Ergebnisse Hauptversuch **A** (Mittelwert Sprosslänge und Wurzellänge in cm inklusive Standardabweichung nach oben und unten, Mittelwerte mit gleichen Kleinbuchstaben unterscheiden sich nicht signifikant, n = Anzahl gekeimter Weizenkörner, Versuchsdesign siehe Tabelle 3)

Die höchsten Mittelwerte erreichte die Behandlung mit dem Ethanol-Extrakt mit der Verdünnung 1:10240. Ein hoher Durchschnittswert für beide Eigenschaften wurde auch von der Verdünnung 1:64 erzielt. Niedrige Verdünnungsstufen beider Extrakte (1:2, 1:8) limitierten das Wachstum der Sprosse und Wurzeln und auch die Keimfähigkeit. Die detaillierten Ergebnisse für Mittelwerte, Maximum und Standardabweichung der Spross-und Wurzellänge der jeweiligen Behandlung sind im Anhang V ersichtlich.

Die erhobenen Gewichte der Wurzeln und Sprosse aller gekeimten Körner pro Behandlung sind in der Abbildung 5 angegeben.

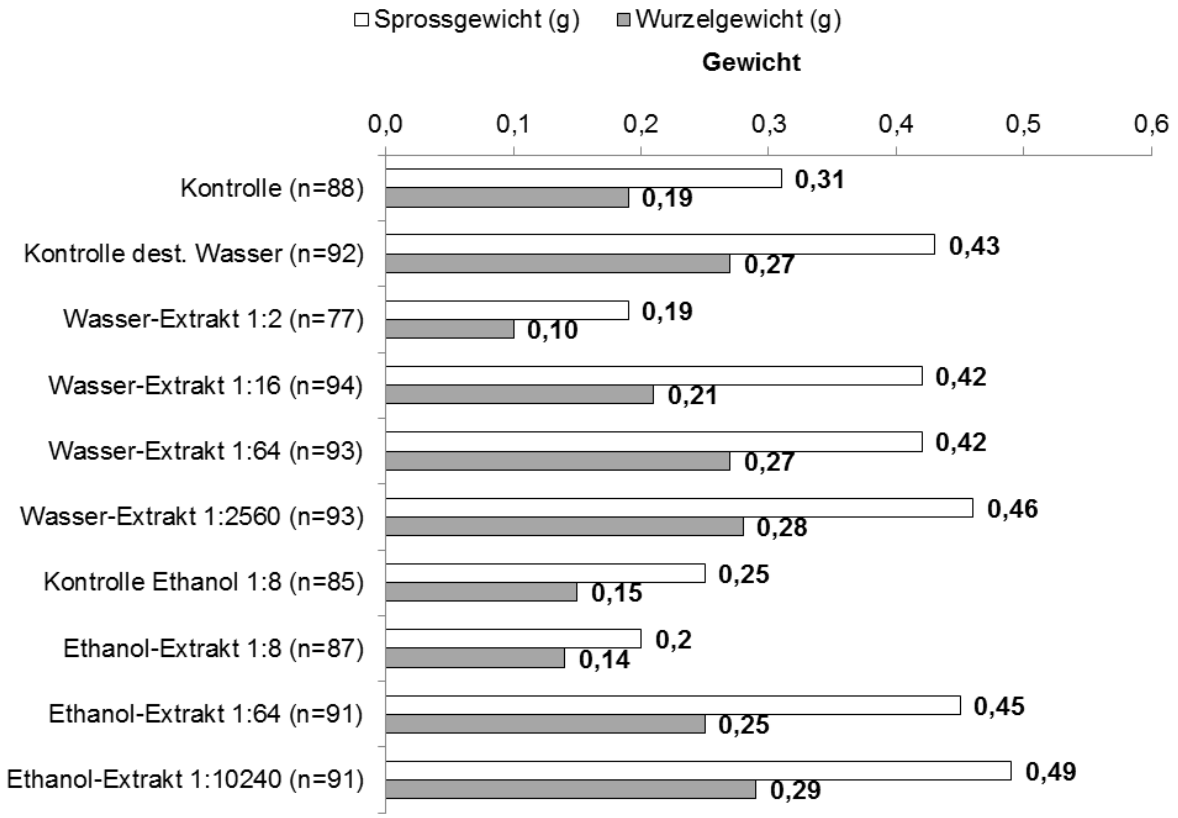

Abbildung 5: Ergebnisse Hauptversuch **A** (Mittelwert Sprossgewicht und Wurzelgewicht in g, n = Anzahl gekeimter Weizenkörner)

Es zeigten sich ähnliche Ergebnisse wie jene der Spross-und Wurzellänge. Der Ethanol-Extrakt mit der Verdünnung 1:10240 wies die höchsten Mittelwerte an Spross- und Wurzelgewicht auf. Der erhobene Durchschnitt der Behandlung Wasser-Extrakt 1:12560 zeigte ebenso ein hohes Spross- und Wurzelgewicht. Wiederum waren jene Mittelwerte an Spross- und Wurzelgewicht geringer bei Behandlungen mit niedrigen Verdünnungen.

6.4 Hauptversuch B

Die Sprosslängen in cm der jeweiligen Behandlung des Hauptversuchs B waren signifikant verschieden (0.0071 < 0.05; s.). Die Wurzellängen in cm der Behandlungen unterschieden sich ebenso signifikant (<0.0001 < 0,05; h. s.) (Abbildung 6).

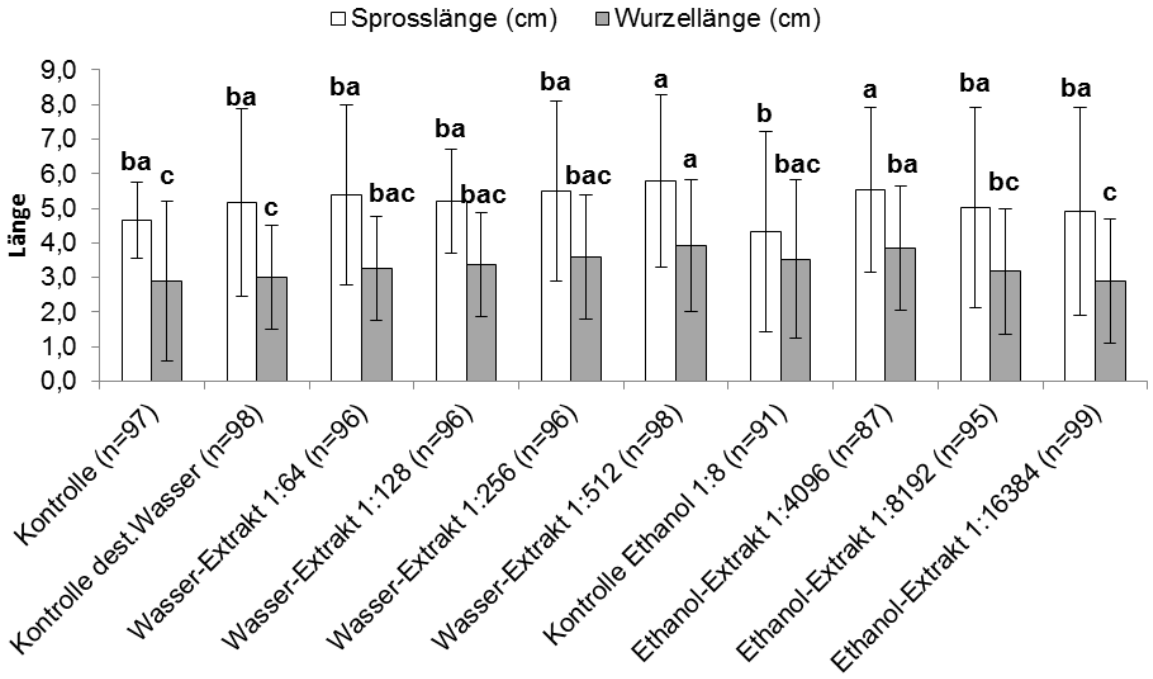

Abbildung 6: Ergebnisse Hauptversuch **B** (Mittelwert Sprosslänge und Wurzellänge in cm inklusive Standardabweichung nach oben und unten, Mittelwerte mit gleichen Kleinbuchstaben unterscheiden sich nicht signifikant, n = Anzahl gekeimter Weizenkörner, Versuchsdesign siehe Tabelle 4)

Den signifikant höchsten Mittelwert der Spross- und Wurzellänge erreichte die Verdünnung des Wasser-Extraktes 1:512. Der Ethanol-Extrakt mit der Verdünnung 1:4096 erzielte ebenso hohe Mittelwerte für diese beiden Eigenschaften. Die genauen Zahlenwerte von Mittelwert, größtem Wert und Standardabweichung der jeweiligen Behandlung von Hauptversuch B sind dem Anhang VI zu entnehmen.

Die durchschnittlichen erhobenen Werte des Spross-und Wurzelgewichts der jeweiligen Behandlung des Hauptversuches B werden in der Abbildung 7 dargestellt.

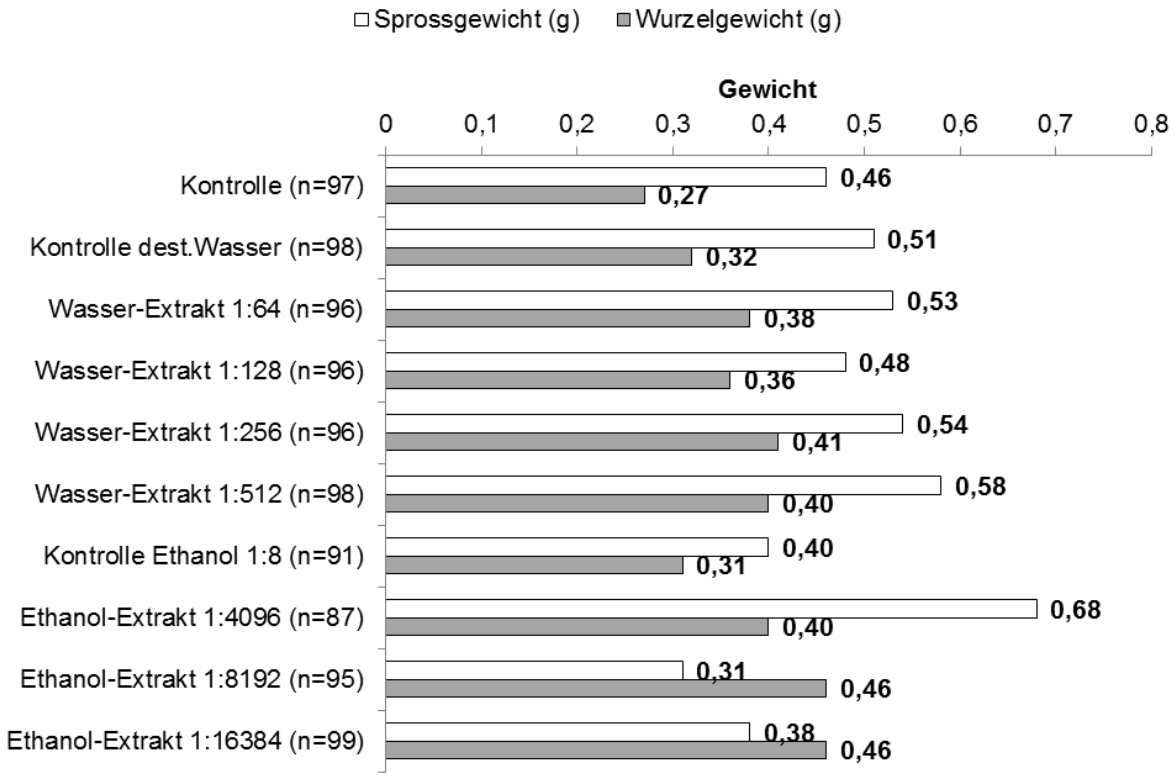

Abbildung 7: Ergebnisse Hauptversuch **B** (Mittelwert Sprossgewicht und Wurzelgewicht in g, n = Anzahl gekeimter Weizenkörner)

Das höchste Sprossgewicht wurde bei einer Behandlung mit Ethanol-Extrakt mit einer Verdünnung von 1:4096 gemessen. Ebenso einen hohen Mittelwert für das Sprossgewicht erzielte die Verdünnung 1:512 des Wasser-Extraktes. Das durchschnittliche Wurzelgewicht der Extrakt-Behandlungen variierte von 0.36 g bis 0.46 g, wobei die Ethanol-Extrakte mit hoher Verdünnung (1:8192, 1:16384) die höchsten Mittel an Wurzelgewicht erreichten.

6.5 Hauptversuch C

Die durchschnittliche Sprosslänge (<0.0001 < 0.05; h. s.) und Wurzellänge (<0.0001 < 0.05; h. s.) in cm je Behandlung des Hauptversuches C unterschied sich signifikant (Abbildung 8).

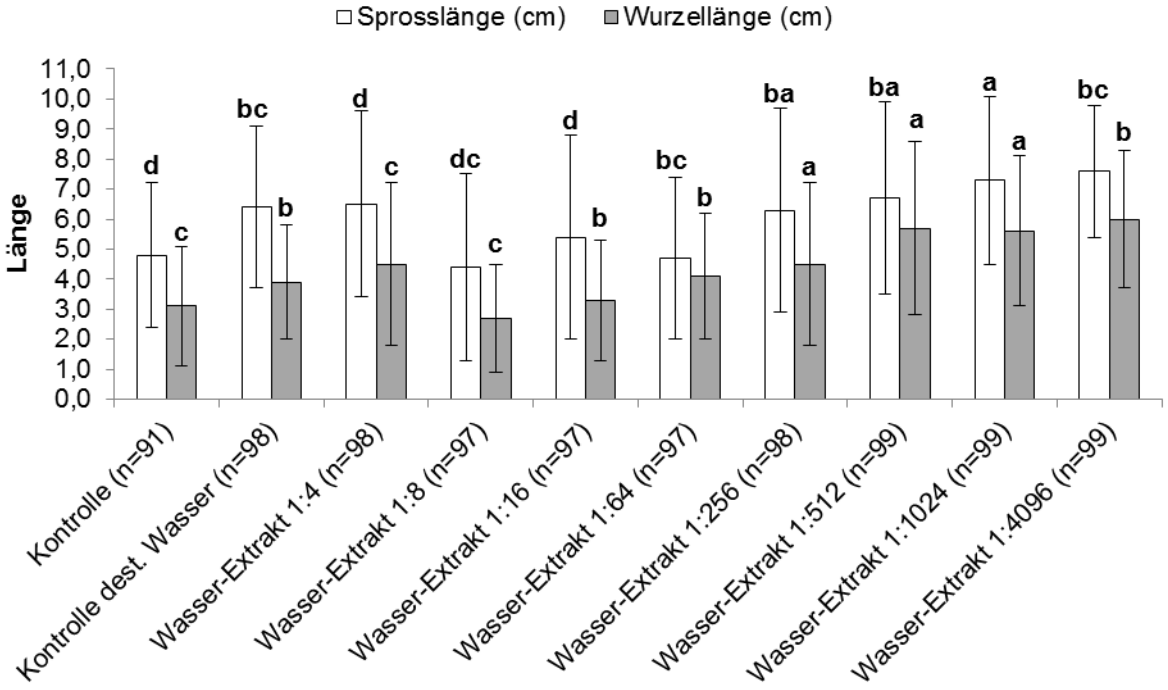

Abbildung 8: Ergebnisse Hauptversuch **C** (Mittelwert Sprosslänge und Wurzellänge in cm inklusive Standardabweichung nach oben und unten, Mittelwerte mit gleichen Kleinbuchstaben unterscheiden sich nicht signifikant, n = Anzahl gekeimter Weizenkörner, Versuchsdesign siehe Tabelle 5)

Der Wasser-Extrakt mit der Verdünnung 1:1024 hatte den signifikant höchsten Mittelwert für die Spross- und Wurzellänge. Es lässt sich die Tendenz erkennen, dass bis zu der Verdünnung 1:1024 die erzielten durchschnittlichen Spross- und Wurzellängen höher sind als jene der Kontrolle. Die genauen Werte der größten Wurzel- und Sprosslänge je Behandlung und erreichten Mittelwerte inklusive Standardabweichung sind in Anhang VII dargestellt.

Die gemessenen Spross-und Wurzelgewichte aller gekeimten Körner pro Behandlung des Hauptversuches C sind in der Abbildung 9 ersichtlich.

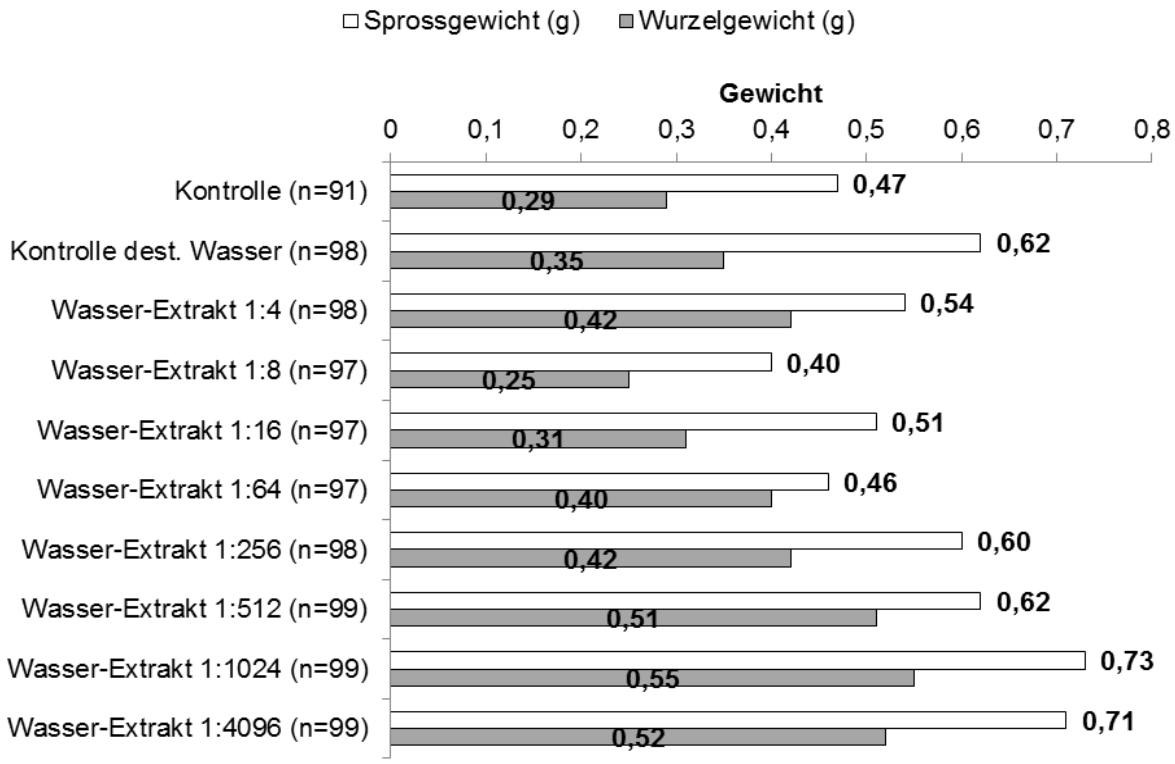

Abbildung 9: Ergebnisse Hauptversuch **C** (Mittelwert Sprossgewicht und Wurzelgewicht in g, n = Anzahl gekeimter Weizenkörner)

Die Spross- und Wurzelgewichte des Wasser-Extraktes der Verdünnung 1:1024 zeigte höhere Mittelwerte als die unbehandelte Kontrolle und jene Kontrolle mit destilliertem Wasser. Die Verdünnung 1:8 zeigte geringere Spross- und Wurzelgewichte als die Kontrolle ohne jegliche Behandlung. Die Verdünnung 1:16 erreichte niedrigere Spross- und Wurzelgewichte als die Kontrolle mit destilliertem Wasser.

6.6 Hauptversuch D

Die gemessene Wurzel- (<0.0001 < 0.05; h. s.) und Sprosslänge (<0.0001 < 0.05; h. s.) waren signifikant von der Behandlung abhängig (Abbildung 10).

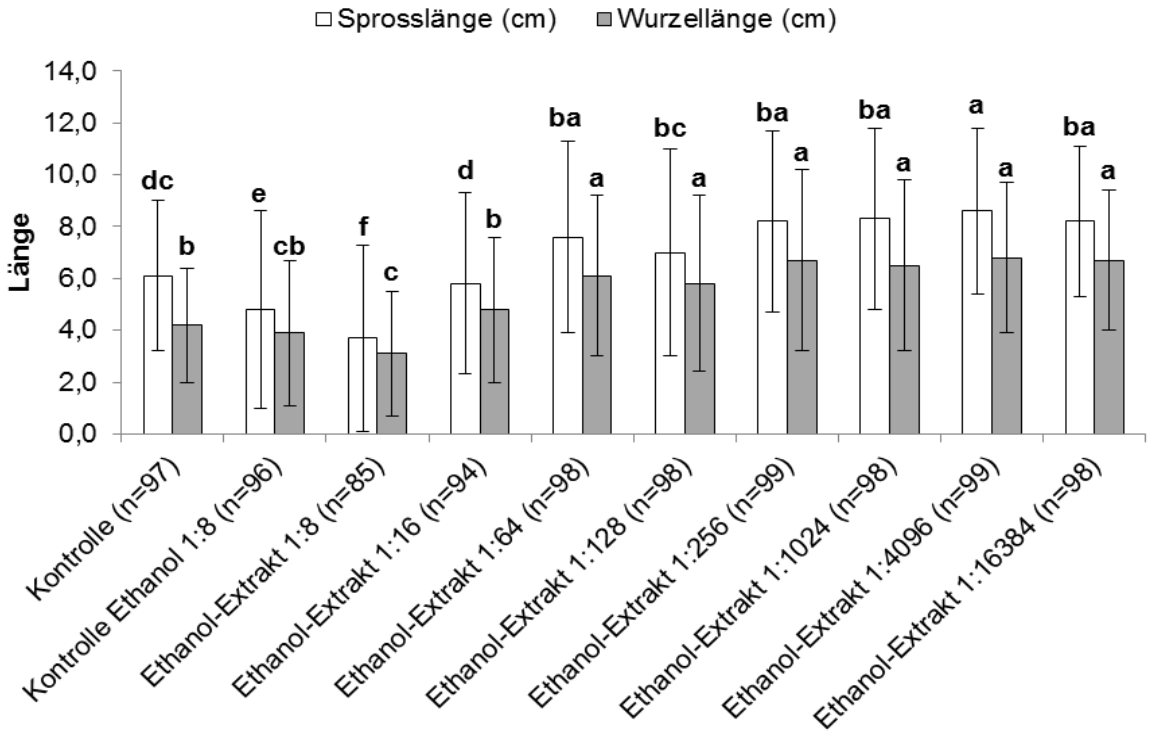

Abbildung 10: Ergebnisse Hauptversuch **D** (Mittelwert Sprosslänge und Wurzellänge in cm inklusive Standardabweichung nach oben und unten, Mittelwerte mit gleichen Kleinbuchstaben unterscheiden sich nicht signifikant, n = Anzahl gekeimter Weizenkörner, Versuchsdesign siehe Tabelle 6)

Hervorzuheben ist, dass die Spross- und die Wurzellänge der Kontrolle sich signifikant zu den Wurzellängen des Ethanol-Extraktes mit niedriger Konzentration unterschieden, begonnen bei der Verdünnung 1:64. Ab jener Verdünnung wurden höhere Mittelwerte für die Spross- und Wurzellänge im Vergleich zur Kontrolle erzielt. Die niedrigen Verdünnungen (1:8, 1:16) limitierten die Keimfähigkeit und das Wachstum der Wurzeln und Sprosse. Die exakten Zahlenwerte der Ergebnisse der Mittelwerte inklusive Standardabweichung, sowie das Maximum je Behandlung ist dem Anhang VIII zu entnehmen.

Die gewogenen Spross- und Wurzelgewichte aller gekeimten Weizenkörner der jeweiligen Behandlung des Hauptversuches D werden in der Abbildung 11 gezeigt.

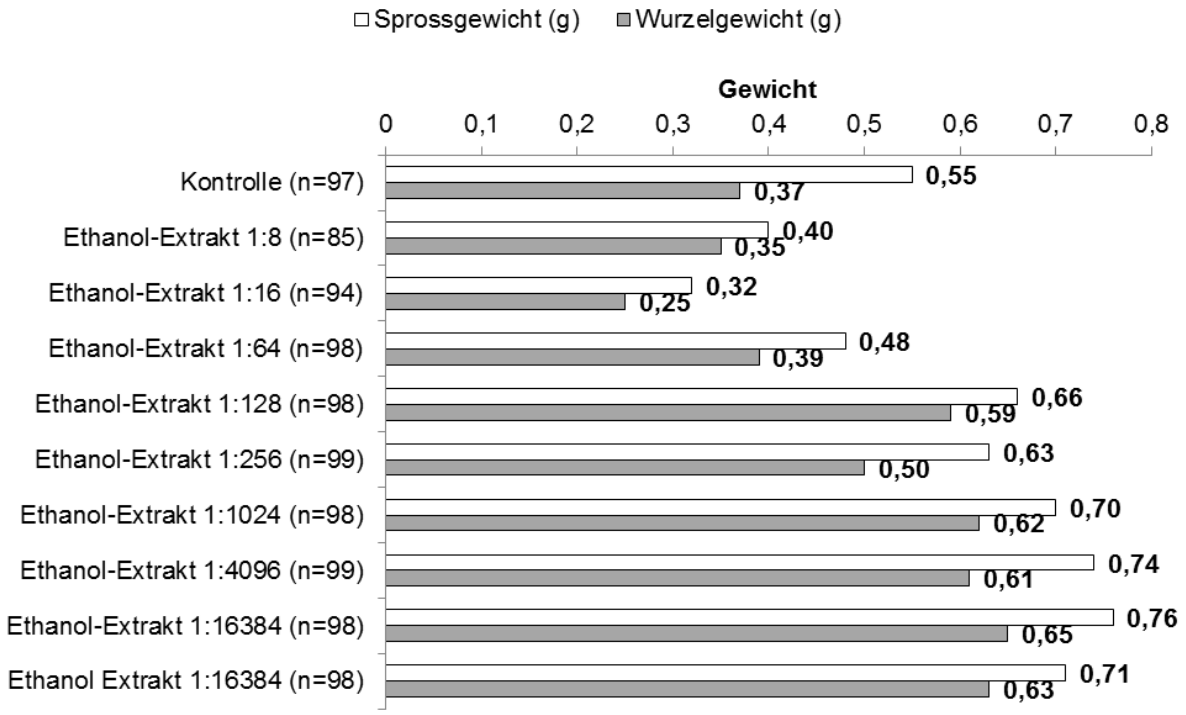

Abbildung 11: Ergebnisse Hauptversuch **D** (Mittelwert Sprossgewicht und Wurzelgewicht in g, n = Anzahl gekeimter Weizenkörner)

Das höchste Spross- und Wurzelgewicht wurde für die Behandlung des Ethanol-Extraktes mit einer Verdünnung von 1:4096 gemessen. Die Verdünnungen 1:8 und 1:16 zeigten niedrigere Mittelwerte für das Spross-und Wurzelgewicht. Ab einer Verdünnung 1:64 waren die Spross- und Wurzelgewichte höher als die Gewichte der unbehandelten Kontrolle und der Kontrolle, welche mit Ethanol 1:8 vorgequollen wurde.

6.7 Wasser-Extrakte

Die gemessenen Mittelwerte der Spross- und Wurzellängen der Wasser-Extrakte waren signifikant von dem Versuchszeitpunkt A, B oder C abhängig (<0.0001 < 0.05; s.). Die um diesen Effekt korrigierten LS-Means der Spross- und Wurzellänge mit Standardabweichung der Wasser-Extrakte der Hauptversuche A, B, und C sind in der Abbildung 12 dargestellt.

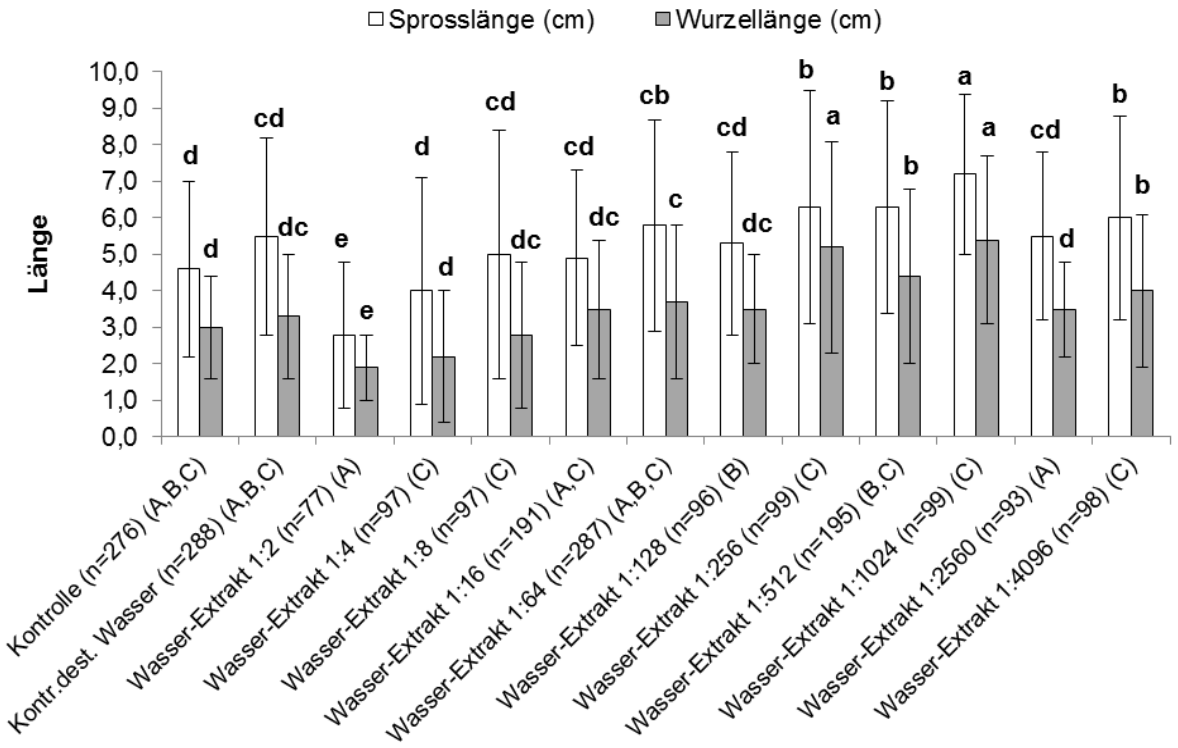

Abbildung 12: LS-Means der Spross- und Wurzellänge in cm der Hauptversuche (A, B, C) für Wasser-Extrakte (inklusive Standardabweichung nach oben und unten, Mittelwerte mit gleichen Kleinbuchstaben unterscheiden sich nicht signifikant, n = Anzahl gekeimter Weizenkörner)

Die Mittelwerte der Spross- und Wurzellänge der unbehandelten Kontrolle waren geringer als jene der Kontrolle, welche mit destilliertem Wasser vorgequollen wurde. Bei der Verdünnung 1:2 war das Wachstum der Sprosse und Wurzeln und die Keimfähigkeit der Weizenkörner deutlich limitiert. Ab einer Verdünnung von 1:64 waren die ermittelten Mittelwerte signifikant höher, als jene der unbehandelten Kontrolle. Ab einer Verdünnung von 1:256 wurden höhere durchschnittliche Spross-und Wurzellängen gemessen, als jene der Kontrolle mit destilliertem Wasser. Die höchsten Spross-und Wurzellängen wurden bei der Verdünnung 1:1024 erzielt. Die detaillierten Mittelwerte mit Standardabweichung, der größte gemessene Werte je Behandlung und die LS-Means sind in dem Anhang IX ersichtlich.

Die Werte der gemessenen Spross-und Wurzelgewichte der Hauptversuche A, B und C der Wasser-Extrakte werden in Abbildung 14 gezeigt.

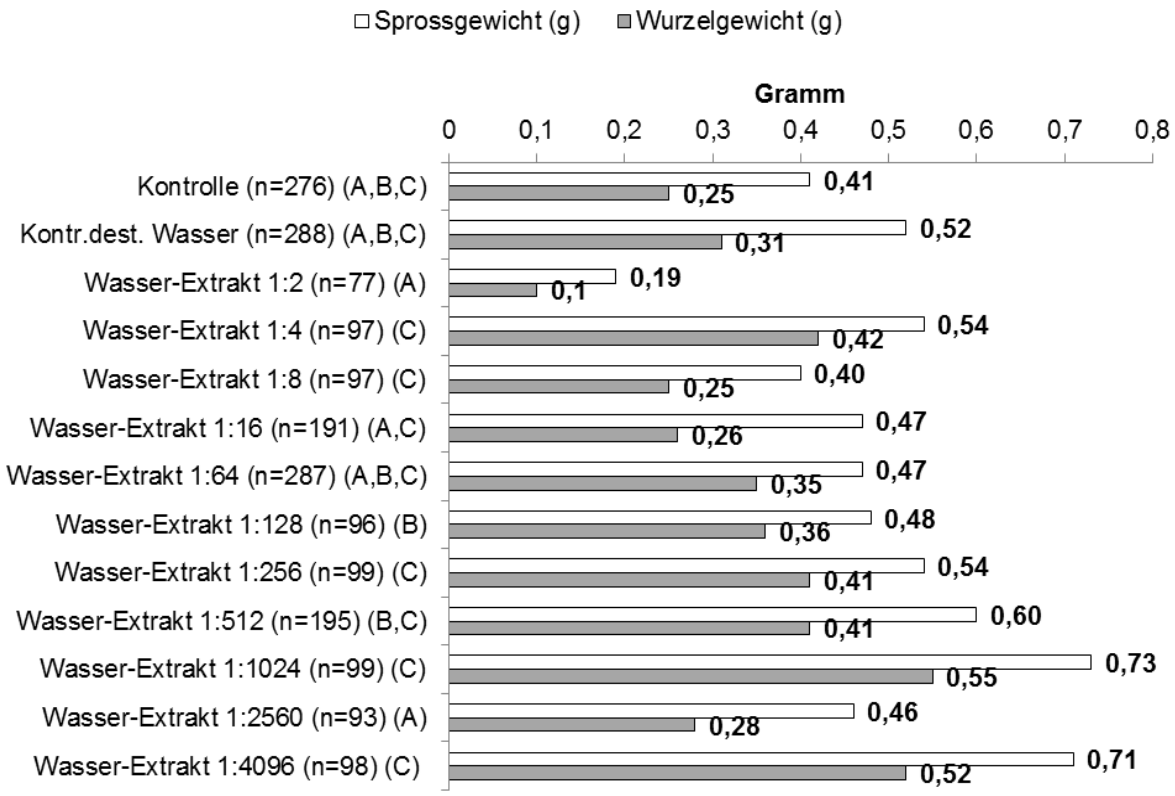

Abbildung 13: Spross- und Wurzelgewichte in g der Hauptversuche (A, B, C) für Wasser-Extrakte (n = Anzahl gekeimter Weizenkörner)

Die erhobenen Gewichte der Sprosse und Wurzeln der Verdünnung 1:2 zeigt deutlich, dass das Wachstum bei zu niedrigen Verdünnungen gehemmt wird. Es wird auch hier deutlich, dass bei hohen Verdünnungen die Spross-und Wurzelgewichte höher waren als in den beiden Kontrollen.

6.8 Ethanol-Extrakte

Die erhobenen Spross- und Wurzellängen in cm der Ethanol-Extrakte waren signifikant von dem Versuchszeitpunkt A, B, oder D abhängig (<0.0001 < 0.05; s.). Die Abbildung 14 zeigt die um diesen Effekt korrigierten LS-Means der Spross- und Wurzellängen der Behandlungen der Ethanol-Extrakte inklusive Standardabweichung.

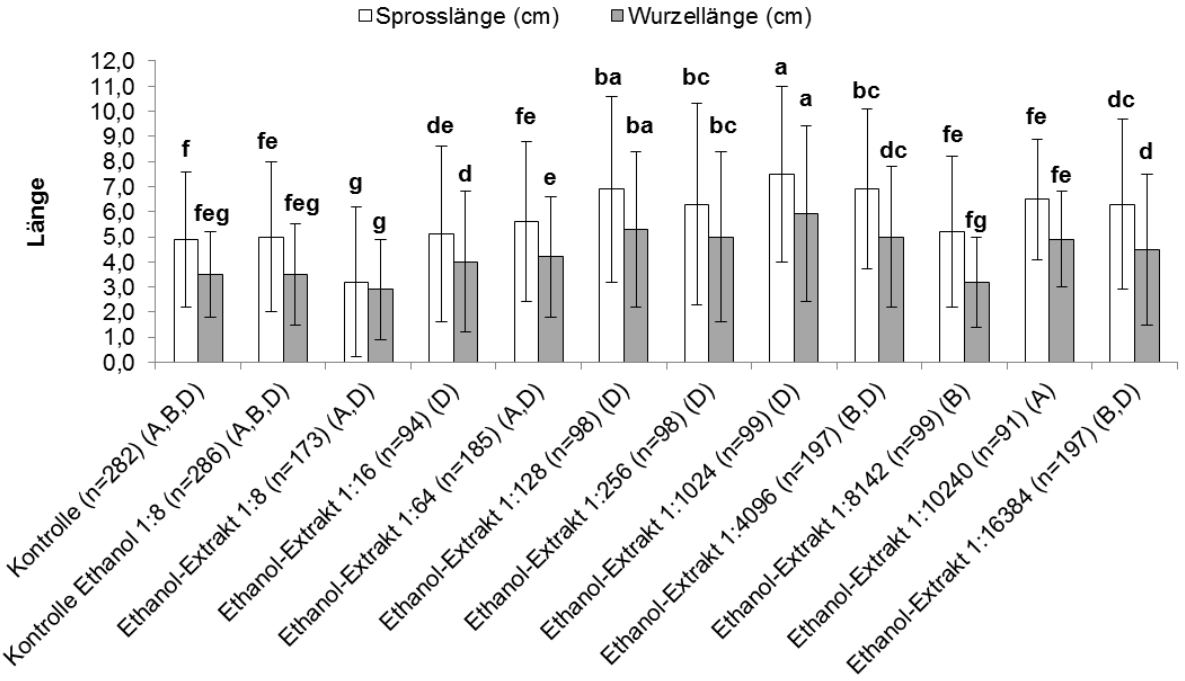

Abbildung 14: LS-Means der Spross- und Wurzellänge in cm der Hauptversuche (A, B, D) für Ethanol-Extrakte (inklusive Standardabweichung nach oben und unten, Mittelwerte mit gleichen Kleinbuchstaben unterscheiden sich nicht signifikant, n = Anzahl gekeimter Weizenkörner)

Die erhobenen durchschnittlichen Spross- und Wurzellängen der unbehandelten Kontrolle und jener Kontrolle mit Ethanol (1:8) vorgequollen unterschieden sich nicht signifikant. Die Verdünnung Ethanol-Extrakt 1:8 erreichte das signifikant geringste Mittel für Spross- und Wurzellänge. Ab einer Verdünnung von 1:128 wurden signifikant höhere Werte ermittelt Vergleich zu den beiden Kontrollen. Die signifikant am höchsten LS-Means wurden mit der Verdünnung 1:1024 erzielt. Danach nahmen die erhobenen Mittelwerte für Spross- und Wurzellänge signifikant ab. Dem Anhang X können die gemessenen Mittelwerte inklusive errechneter Standardabweichung, das Maximum der jeweiligen Behandlung und die LS-Means entnommen werden.

Die Werte der ermittelten Gewichte der Sprosse und Wurzeln der Weizenpflanzen der Hauptversuche mit Ethanol-Extrakten (A, B, D) sind in der Abbildung 15 aufgezeigt.

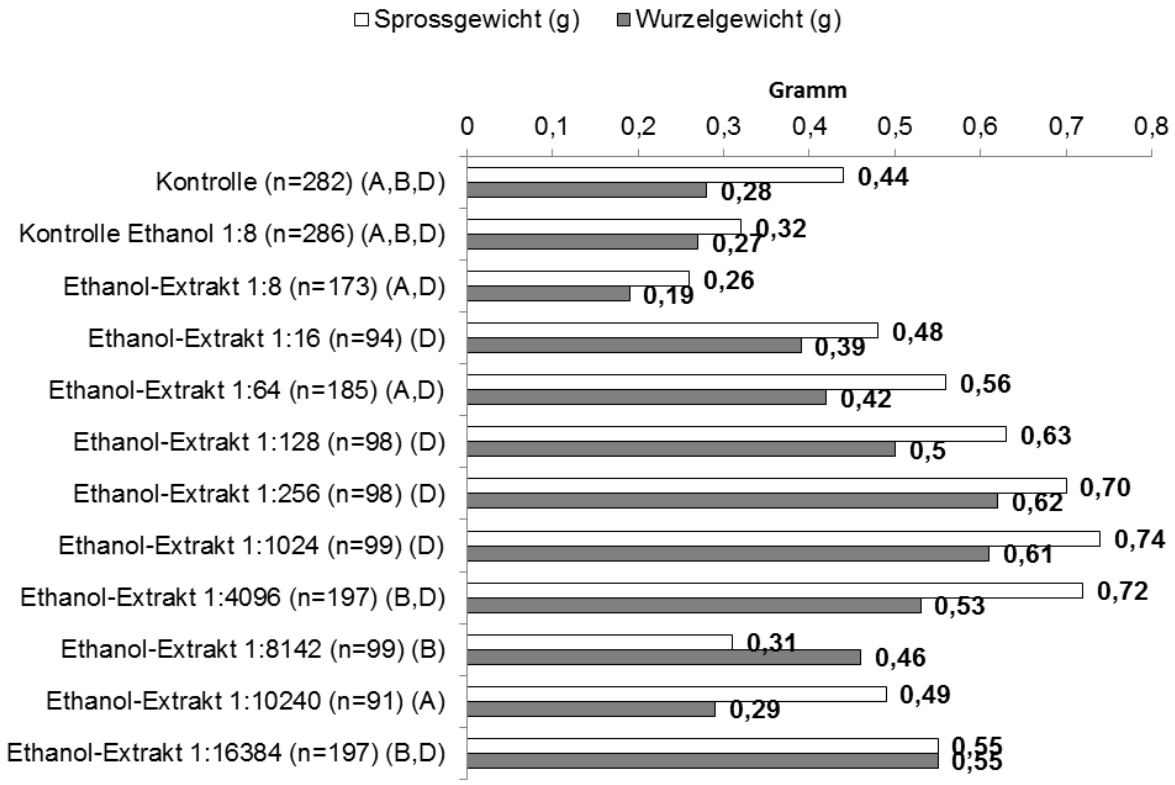

Abbildung 15: Spross- und Wurzelgewichte in g der Hauptversuche (A, B, D) für Ethanol-Extrakte (n = Anzahl gekeimter Weizenkörner)

Die Verdünnung Ethanol-Extrakt 1:8 wies sehr niedrige Spross- und Wurzelgewichte auf. Ab einer Verdünnung 1:16 waren die Spross- und Wurzelgewichte höher als jene der beiden Kontrollen. Die höchsten Gewichte wurden bei einer Verdünnung von 1:1024 erhoben.

7.Diskussion

Generell können Extrakte der Ackerwinde aus luftgetrockneten, frischen oder eingefrorenen Pflanzenteilen hergestellt werden. Die Ausbeute an phenolischen Säuren ist bei frischen und eingefrorenen Pflanzenteilen höher als bei luftgetrockneten (Dai und Mupmer, 2010, S.7316). Die Auswahl des Lösungsmittels bestimmt im Wesentlichen die Menge und die Zahl der extrahierten phenolischen Säuren (Dai und Mupmer, 2010, S.7316). Das Lösungsmittel Ethanol wurde für diese Untersuchung gewählt um einen Entkeimungseffekt zu erzielen, da bioaktive Inhaltsstoffe der Ackerwinde durch mikrobiellen Abbau zerstört werden können. Das Lösungsmittel destilliertes Wasser wurde deshalb auf 60°C erhitzt, um mögliche Mikroorganismen auszuschalten. In den Sprossteilen der Ackerwinde ist ein höherer Gehalt an phenolischen Säuren als in den Wurzeln enthalten (Kazinczi, 2007, S.173), deswegen wurde für diese Untersuchung Sprossteile der Ackerwinde herangezogen. Denkbar wäre es auch in der Praxis einen Extrakt aus den Ackerwindenwurzeln herzustellen, um somit gleichzeitig den Unkrautdruck durch händisches Ausgraben der Pflanze zu mindern. Jedoch wird sich das Zerkleinern der Wurzeln in der praktischen Umsetzung als schwerer durchführbar zeigen, als jene der Sprossteile. Der Vermahlungsgrad der Ackerwinden Pflanzenteilen hat einen Einfluss auf die Löslichkeit der phenolischen Säuren, denn je kleiner die Partikelgröße desto höher ist die Löslichkeit (Dai und Mupmer, 2010, S.7317). Die Einwaage an Ackerwinden-Pflanzmaterial war bei der Herstellung des Ethanol-Extraktes deutlich geringer als bei der Wasser-Extrakt Herstellung, da bei Ethanol-Extrakten aufgrund höherer beginnender Verdünnungen weniger Extraktmenge gebraucht wurde. Dadurch konnte die Streuung des Pflanzenmaterials bei den Ethanol-Extrakten höher sein. Dies hatte möglicherweise einen Einfluss auf die Löslichkeit der phenolischen Säuren aus den Sprossteilen der Ackerwinde.

Die Temperatur und Dauer bei Herstellung des Extraktes kann ebenso einen Einfluss auf den Output an phenolischen Säuren haben, wobei Temperaturen über 70 °C vermieden werden sollten (Dai und Mupmer, 2010, S.7317). Zusätzlich hängt der Gehalt der phenolischen Säuren vom Vegetationsstadium der Pflanze und dem Standort der Pflanze ab. Die Pflanzenteile dieser Untersuchung wurden während der Blüte gesammelt, jene von Hageib und Ghareib (2010, S.335) befanden sich vor der Blüte. Canbolat (2012, S.333) untersuchte Heu von Ackerwinden zu den Schnittzeitpunkten vor, während und nach der Blüte auf deren chemische Zusammensetzung. Die Trockenmasse war signifikant höher bei älteren Pflanzen, wobei die jüngeren einen höheren Proteingehalt enthielten. Diese Tatsache sollte bei der Herstellung des Extraktes aus frischen Pflanzenteilen miteinbezogen werden, da bei Verwendung von Ackerwindenpflanzen vor der Blüte, die Trockenmasse geringer ist. Die Gehalte an vorhandener Raufaser steigt jedoch mit Vegetationsstadium

(Canbolat, 2012, S.333). Deshalb wird von Ackerwindenpflanzen vor der Blüte mehr Pflanzmaterial benötigt um die gleiche Menge an phenolischen Säuren zu erreichen, die in Pflanzen in der Blüte vorhanden ist.

Die Versuchsbedingungen der Vorversuche und der einzelnen Hauptversuche variierten aufgrund jahreszeitlicher Änderungen. Die Tageslänge war bei Hauptversuch C und D länger, da diese im Monat Mai stattfanden. Die höchsten mittleren Temperaturen im Glashaus war bei den Hauptversuchen C und D vorzufinden. Hauptversuch D hatte zudem eine überdurchschnittlich hohe Luftfeuchtigkeit verglichen mit den anderen Versuchszeitpunkten. Die Keimfähigkeit der Kontrolle und der Kontrolle, welche mit destilliertem Wasser vorgequollen wurde, war bei den Hauptversuchen B, C, D mit einer Variation von 97 bis 98 gekeimten Körnern sehr hoch. Der Hauptversuch A erreichte im Vergleich zu den anderen drei Hauptversuchen die niedrigste Keimfähigkeit für beide Kontrollen und den niedrigsten Mittelwert für die Spross und Wurzellänge, möglicherweise dadurch bedingt, dass die Tageslänge am kürzesten war, die geringste durchschnittliche Temperatur und eine niedrige Luftfeuchtigkeit in der Glashauskabine vorhanden waren. Zudem war das Maximum an erreichter Temperatur zu diesem Versuchszeitpunkt geringer als jenes der anderen Versuche.

Die Tatsache, dass vorgequollenes Weizensaatgut eine bessere Keimfähigkeit und ein besseres Wachstum erzielt, wurde bereits in einigen Untersuchungen belegt (Basra et al., 2003, S.122; Lemrasky und Hosseini 2012, S.565; Yasmeen et al., 2013, S.515; Yari et al., 2013,S.4). In dieser Untersuchung bestätigte sich die Annahme, dass die Kontrolle, welche mit destilliertem Wasser vorgequollen wurde, höhere Spross- und Wurzellängen und Spross- und Wurzelgewichte erreichten als die Kontrolle, welche unbehandelt war. Basra et al. (2003, S.122) zeigten dieselben Ergebnisse für Weizenpflanzen, es wurden die Vorquellzeiten 12 Stunden und 24 Stunden gegenübergestellt. Die Wurzel- und Sprosslänge waren bei einer Vorquellzeit von 12 Stunden höher, jedoch waren das Wurzel- und Sprossgewicht bei 24 Stunden erhöht. Durch die Synthese von DNA und RNA während des seed primings kann eine bessere und schnellere Keimung stattfinden. Das höhere Gewicht an Spross und Wurzeln ergibt sich aus der erhöhten Keimfähigkeit und dem schnelleren Wachstum der Weizenkeimlinge, welche vorgequollen wurden. Yasmeen et al. (2013, S.512) erzielten ebenso signifikant höhere Längen und Gewichte an Wurzeln und Sprossen von 12 Stunden lang vorgequollen Weizensaatgut im Vergleich zur Kontrolle. Seed priming verbessert die Keimgeschwindigkeit und löst chemische Prozesse im Korn aus. Die Mobilisation der Reserven und die Enzymaktivität werden erhöht, dadurch wird die Keimung beschleunigt (Yasmeen et al., 2013, S.512). Zusätzlich berichten Landwirte darüber, dass vorgequollene Weizenkörner früher blühen und höhere Korn-und Stroherträge erzielen

(Lemrasky und Hosseini, 2012, S.564). Bei einer Vorquellzeit von 15 und 30 Stunden erreichten Lemrasky und Hosseini (2012, S.565) eine signifikant höhere Keimfähigkeitsrate im Vergleich zu 45 Stunden Vorquelldauer. Jedoch waren Wurzel- und Sprosslänge signifikant höher bei einer Vorquelldauer von 45 Stunden. Nach Yari et al. (2010, S.4) sollte die Vorquelltemperatur von 20 °C nicht überschritten werden, um die besten Wachstumsergebnisse zu erzielen.

Aufgrund der bereits durchgeführten Studien lässt sich die Tendenz ableiten, dass längere Vorquellzeiten bessere Keimfähigkeit und Trockengewichte an Wurzel und Sprossen erzielen. Demnach wären weitere Versuche mit variierenden Vorquellzeiten anzustreben, wobei aufgrund der bis dato durchgeführten Studien das Minimum 12 Stunden Vorquellzeit sein sollte, um bestmögliche Ergebnisse zu erzielen. Ein gleichmäßiger Aufgang des Saatgutes ist für die Erreichung von hohem Ertrag bei Weizenanbau ein wichtiges Kriterium, das durch seed priming erreicht werden kann. Vor allem in trocknen Jahren kann diese Technik nützlich sein, um das Ertragspotential aufrecht zu erhalten (Yari et al., 2010, S.1).

Hegab und Ghareib (2010, S.335) zeigten die Auswirkungen eines Methanol-Extraktes indem Weizenpflanzen täglich bewässert wurden. Sie verwendeten zur Verdünnung ihres Extraktes Leitungswasser, demnach ist diese Verwendung durchaus praktikabel. Die einfache Handhabung von seed priming spricht für die Anwendung dieser Methode als Saatgutvorbehandlung, da ein zusätzlicher Arbeitsschritt am Feld mit Maschinen entfällt. Zudem hängt das allelopathische Potential von Pflanzen von abiotischen Faktoren ab, wie unter anderem die Temperatur, die Licht- und Bodenverhältnisse und dem Nährstoffhaushalt (Belz, 2007, S.317). Bei Zufuhr des flüssigen allelopathischen Extraktes mittels Spritzgerät können die Allelochemikalien durch physikalische, chemische und biologische Umwandlungsprozesse im Boden transformiert werden (Bhadoria, 2011, S.15) und somit für die Weizenpflanze in anderer Form als gedacht zur Verfügung stehen oder gänzlich ohne positiver Wirkung bei einmaliger Anwendung bleiben. Demnach sind die Vorteile des seed primings klar ersichtlich und auch in der landwirtschaftlichen biologischen Praxis durchaus durchführbar.

Mithilfe der Anwendung des Extraktes der Ackerwinde konnten in den eigenen Versuchen noch bessere Wurzel- und Sprosslängen und Gewichte erzielt werden, als jene in der Kontrolle mit destilliertem Wasser. Die Extrakte der Ackerwinde hatten einen signifikanten Einfluss auf das Wachstum der Weizensprosse. Bei hohen Verdünnungen wurde das Wachstum der Wurzeln und Sprosse positiv beeinflusst. Bei niedrigen Verdünnungsstufen waren sowohl die Keimfähigkeit als auch das Wachstum gehemmt. Die Verdünnung 1:10240 (9,7 mg/L) im Hauptversuch A war keine vorher geplante Verdünnung, sondern entstand aus

einem Arbeitsfehler. Dennoch zeigte diese Verdünnung die signifikant besten Ergebnisse für Spross- und Wurzellänge. Die restlichen Verdünnungen dieses Hauptversuches A waren sehr niedrig, dies könnte der Grund sein weswegen die Verdünnung 1:10240 (9,7 mg/L) die besten Ergebnisse erzielte.

Es ist ein großer Sprung in der Verdünnungsstufe enthalten, jedoch unterscheiden sich die Verdünnung 1:64 (1560 mg/L) und 1:10240 (9,7 mg/L) des Ethanol-Extraktes nur gering in ihren Mittelwerten.

In dem Hauptversuch B wurde das beste Ergebnis von der Verdünnung 1:512 (195 mg/L) des Wasser-Extraktes erzielt. Diese Verdünnung war die höchste Verdünnungsstufe des Wasser-Extraktes, es ist demnach fraglich ob eine höhere Verdünnung ebenso gute Ergebnisse geliefert hätte, wobei die Tendenz je höher die Verdünnung, desto höher die Wurzel- und Sprosslänge zu erkennen ist. Bei der Versuchsreihe des Ethanol-Extraktes schnitt die niedrigste Verdünnung 1:4096 (24,4 mg/L) am besten ab, was darauf schließen lässt, dass höhere Verdünnungen kein wesentlich höheres Ergebnis zeigen. Mit dem Hauptversuch C wird deutlich, dass je höher die Verdünnung ist, desto höher ist das Spross- und Wurzelwachstum. In Hauptversuch D erzielte wiederum der Ethanol-Extrakt 1:4096 (24,4 mg/L) die höchsten Spross-und Wurzellängen, wobei bei einer Betrachtung aller Hauptversuche mit Ethanol-Extrakt (A, B, D) die Verdünnung 1:1024 (97,6 mg/L) am signifikant besten war. Möglicherweise dadurch bedingt, dass diese Verdünnung nur in Hauptversuch D vorhanden war und bei diesem die mittlere Temperatur und Luftfeuchtigkeit am größten waren. Die Verdünnung 1:4096 (24,4 mg/L) ergab sich aus den Mittelwerten der Hauptversuche B und D, deswegen lag das Mittel dieser Verdünnung in der Gesamtbetrachtung unter den Werten der Verdünnung 1:1024 (97,6mg/L).

Destilliertes Wasser und Ethanol sind demnach beide als Extraktionsmittel geeignet und zeigten beide die besten Ergebnisse bei einer Verdünnung von 1:1024 (97,6 mg/L). Die Verdünnungsschritte sind großzügig gewählt worden. Die Ergebnisse dieser Untersuchung lassen auf keine exakte Verdünnungsstufe schließen, da bei Wasserextrakten die besten Ergebnisse je nach Versuchsreihe zwischen 1:64 (1560 mg/L), 1:512 (195 mg/L) und 1:1024 (97,6 mg/L) lagen, je nachdem welche anderen Verdünnungen in den jeweiligen Versuchen vorhanden waren. In den Ethanol-Extrakt Hauptversuchen variierten die besten Ergebnisse von zweimal 1:4096 (24,4 mg/L) und einmal 1:10240 (9,7 mg/L), wiederum darauf begründet, dass die restlichen Verdünnungen der Hauptversuche die Signifikanzen der besten Ergebnisse direkt beeinflussten, denn wenn keine höhere Verdünnung vorhanden ist, wie in Hauptversuch C zum Beispiel, dann ergibt sich von selbst, dass 1:512 (195 mg/L) das beste Ergebnis erzielt. Jedoch lassen sich Tendenzen der Hemmung bei niedrigen

Verdünnungen und Förderung bei hohen aus den Ergebnissen dieses Versuches sehr gut ableiten.

Gupta und Mittal (2012, S.312) belegten ihrer Untersuchung, je höher die Konzentration des Ackerwinden-Wasser-Extraktes war, desto niedriger war die Keimfähigkeit, die Sprosslänge und das Sprossgewicht von Weizen. Ebenso wird indirekt gezeigt, durch vermindertes Wachstum bei Extrakten aus Ackerwinden-Blättern im Vergleich zu Extrakten aus Ackerwinden-Wurzeln, dass die Blätter ein höheres allelopathisches Potential aufweisen, als die Wurzeln der Ackerwinde. Das Ackerwinden Pflanzmaterial wurde ebenso luftgetrocknet, jedoch unterschied sich diese Untersuchung durch die Herstellung des Extraktes.

Es wurde genauso ein Verhältnis von 1:10 hergestellt, jedoch durch einfaches Hinzufügen des Pflanzenmaterials zu der Menge an destilliertem Wasser bei Raumtemperatur und einer Dauer von 24 Stunden. Die Herstellungszeit war um ein vielfaches länger, wobei die Temperatur geringer war. Eine genaue Analyse der gelösten Bestandteile wurde in beiden Untersuchungen nicht durchgeführt, wobei es interessant gewesen wäre, bei welcher Konzentration eine Förderung und keine Hemmung von Weizen aufgetreten wäre. Möglicherweise könnte diese Herstellung des Extraktes in Zukunft genutzt werden, da der zusätzliche Arbeitsschritt des Erhitzens entfallen könnte.

Hegab und Ghareib (2010, S.335) erreichten in ihrer Studie ebenso wachstumsfördernde Effekte bei Weizen bei Anwendung von Ackerwinden-Extrakt mit geringen Konzentrationen (75 mg/L, 150 mg/L, 300 mg/L). Bei höheren Konzentrationen (600mg/L) wurde eine Wachstumshemmung der Weizenpflanzen im Vergleich zur Kontrolle festgestellt. Ähnliche Ergebnisse wurden auch in dieser Untersuchung erzielt, da die Verdünnung 1:1024 (97,6 mg/L) die besten Ergebnisse für beide Extraktionsmittel zeigte. Bei den Wasser-Extrakten als auch bei den Ethanol-Extrakten zeigten die Verdünnungen bis zu 1:128 (781 mg/L) keine signifikant besseren Spross-und Wurzellängen im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Bei niedrigen Verdünnungen, das heißt bei höheren Konzentrationen war das Wachstum gehemmt. Als Lösungsmittel wurde Methanol von Hegab und Ghareib (2010, S.335) verwendet, wobei eine HPLC Analyse die gelösten phenolischen Säuren deutlich aufzeigt. Von Interesse wäre es eine HPLC Analyse mit Ethanol-Extrakt und Wasser-Extrakten der Ackerwinde durchzuführen und die Menge und Anteil der phenolischen Säuren zu vergleichen. Jedoch sollte das Vegetationsstadium der Ackerwinde der drei Extrakte dasselbe sein. Der größte erhobene Chlorophyllgehalt, der höchste Eiweißgehalt, der höchste Kohlehydratgehalt und Gehalt an löslichen und unlöslichen Zuckern der Weizenblätter war bei der Konzentration 300 ppm bei 20 Tage alten Weizenpflanzen am höchsten. Ebenso waren die freien Phenole und der Gehalt an phenolischen Glykosiden bei

der Konzentration 300 ppm am größten (Hegab und Ghareib, 2010, S.337). Die Enzymaktivität in den Sprossen der Weizenpflanzen war bei einer Konzentration mit 300 ppm erhöhter, als jene der Kontrolle (Hegab und Ghareib, 2010, S. 338). Phenolische Säuren bei niedrigen Konzentrationen wurden schon in einigen Studien als Wachstumsförderer, Erhöhung von Enzymaktivität, Proteingehalt und Chlorophyllgehalt von einigen Pflanzen beschrieben (Hegab, 2005, Hegab et al., 2008, Hegab und Ghareib, 2009).

Es wurde bereits in einigen Studien gezeigt, dass Rückstände der Ackerwinde im Boden einen negativen Einfluss auf die Keimfähigkeit und das Wachstum von Weizen haben können (Yarnia, 2010, Bogatek et al., 2005, James et al., 2002). Yarnia (2010, S.415) variierten die Ackerwinden-Pflanzmaterialen in der Höhe von 40 bis 100 g pro m^2 Erde, um die Auswirkungen auf das Wachstum der Weizenpflanzen zu zeigen, wobei jede Menge an Ackerwinde negative Effekte ausübte. Möglicherweise kann dies die Ergebnisse dieser Untersuchung bestärken, da die Rückstände in hohen Mengen in den bis dato genannten Studien vorhanden waren und es demnach zu einer Hemmung des Wachstums der Weizenpflanzen kam.

Generell sind phenolische Säuren von Natur aus in Weizenstroh, in den Blättern, in den Sprossen, in den Wurzeln und in Weizenkörnern enthalten. Die dominierende phenolische Säure in Weizenspross- und Wurzel ist P-Hydroxybenzoesäure, gefolgt von P-Cumarsäure (Ma, 2005, S.101). Das Muster an phenolischen Säuren in Weizen (Wu et al., 2008, S.241, Dias et al., 1999, S.94, Bhadoria, 2011, S.10, Belz, 2007, S.311) und Ackerwinde (Hegab und Ghareib, 2010, S.338, Kaur und Kalia, 2012, S.39) ist ähnlich. Es werden demnach nur die ohne hin vorhandenen phenolischen Säuren in ihrer Konzentration erhöht.

In der biologischen Landwirtschaft sind Beikräuter einer der Hauptfaktoren für limitierte Erträge (Bertholdsson, 2004, S.94). Durch die Anwendung des Ackerwinden-Extraktes hätten die Weizenpflanzen einen Vorsprung gegenüber Beikräutern durch frühzeitiges und schnelles Wachstum und gleichmäßigem Aufgang durch hohe Keimfähigkeit, jedoch bei Vorhandensein von insgesamt niedrigen Konzentrationen an phenolischen Säuren. Das erhöhte Wurzelwachstum des Weizens kann die Beikräuter durch direkte Konkurrenz um Nährstoffe, Wasser und Platz unterdrücken (Bertholdsson, 2005, S.95). Eine allelopathische Beikrautunterdrückung durch Weizen im frühen Entwicklungsstadium kann zu höheren Erträgen führen (Wu et al., 2008, S.235). Zudem wurde von Bertholdsson (2005, S.100) gezeigt, dass eine frühe Entwicklung von Biomasse zu höheren Erträgen bei biologischen Weizen, bedingt unter anderem durch Unterdrückung von Beikräutern, führt.

Im Jahr 2012 waren in Österreich 21.843 biologisch bewirtschaftende Betriebe mit einer Bewirtschaftungsfläche von 537.706 Hektar vorhanden (BMLFUW, 2013, S.192). In ganz

Österreich wurden im Jahr 2012 33.328 Hektar biologischer Winter- und Sommerweichweizen kultiviert (BMLFUW, 2013, S.195). Es ergibt sich eine durchschnittliche Anzahl von 1,5 Hektar die jeder biologische landwirtschaftliche Betrieb für den Anbau von Weizen nutzt. In Niederösterreich wurden von 4.707 BIO-Betrieben (BMLFUW, 2013, S.192) 18.703 Hektar biologischer Winter- und Sommerweichweizen angebaut (BMLFUW, 2013, S.196), dies entspricht einem Mittel von etwa 4 Hektar pro Betrieb.

Mit der Annahme aus den Ergebnissen dieser Untersuchung, dass ein Extrakt aus Ackerwindensprossen mit einer Verdünnung von 1:1024 (97,6 mg/L) die besten wachstumsfördernden Effekte zeigt, wird nachfolgend beschrieben wie die Herstellung des Extraktes in der landwirtschaftlichen praktischen Umsetzung aussehen könnte.

Bei einer angenommenen Saatstärke von 300 Weizenkörnern pro Quadratmeter (Fischl und Lindenthal, 2008, S.5) ergibt sich eine Anzahl von 3000000 Körner pro Hektar. Für 100 Weizenkörner im Laborversuch wurden 20 mL Vorquellflüssigkeit benutzt. Das heißt es würden für einen Hektar Weizen 600 Liter Vorquellflüssigkeit benötigt werden. Bei einer Verdünnung des Extraktes von 1:1024 (97,6 mg/L) sollten demnach 8 Liter Wasser mit 800 g Ackerwindensprossmaterial (1:10) auf 60°C für 30 Minuten erhitzt werden. Dies kann in einem Kochtopf auf der Herdplatte mit Temperaturmessgerät durchgeführt werden. Danach kann es durch einen Kaffeefilter oder durch ein Baumwolltuch in einen Kübel oder ähnlichen Behälter filtriert werden. Es werden anschließend 586 mL, also rund 600 mL des Extraktes mit den 600 Litern Wasser vermischt und das Saatgut darin 24 Stunden vorgequollen und danach wieder 24 Stunden getrocknet bis zum Anbau. Es bestünde die Möglichkeit je nach Vorhandensein und Größe das Saatgut in Regentonnen vorquellen zu lassen.

In der Literatur (Basra et al., 2003, S.121, Lemrasky und Hosseini 2012, S.564, Yasmeen et al., 2013, S.513, Yari et al., 2013, S.2) ist die Menge an Vorquellflüssigkeit wage beschrieben, da keine Auskunft über die genaue Menge gegeben wird. Es wird lediglich erwähnt, dass die Weizenkörner vollständig mit der Flüssigkeit bedeckt sein sollen. Die errechnete Menge an Vorquellflüssigkeit ist mit 600 Litern hoch, es wäre demnach ratsam weitere Versuche für die praktische Anwendung durchzuführen in denen gezeigt wird, welche Menge an Vorquellflüssigkeit tatsächlich möglich ist. Nach subjektiver Einschätzung würde die Hälfte der Menge an Vorquellflüssigkeit und Ackerwinde reichen um die gewünschten Effekte zu erzielen.

8.Schlussfolgerung und Ausblick

Die Ackerwinde ist ein Beikraut, das häufig verbreitet ist und durch die Herstellung eines Ackerwinden-Extraktes zur Wachstumsförderung von Weizen kann das Beikraut positiv genutzt werden.

Bei hohen Verdünnungsstufen der Extrakte der Ackerwinde, sowohl mit Ethanol als auch destilliertem Wasser als Lösungsmittel, wurde das Wachstum der Wurzeln und der Sprosse positiv beeinflusst. Es wäre ratsam die nachfolgenden Versuche mit Leitungswasser durchzuführen, um die praxisrelevante Herstellung des Bioeffektors für biologisch wirtschaftende Landwirte zu überprüfen. Grundsätzlich ist Wasser als Extraktionsmittel kostengünstiger und könnte deswegen in Zukunft zur Herstellung des Extraktes dienen. Die kurze Haltbarkeit des Wasser-Extraktes sollte beachtet werden und die Herstellung des Extraktes sollte unmittelbar vor der Anwendung erfolgen. Um eine praxisorientierte Anwendung dieses umweltfreundlichen Bioeffektors zu ermöglichen, wäre zu aller erst ein weiterer Versuch in Töpfen mit Substraten im Gewächshaus sinnvoll. Die Wachstumsdauer sollte dabei höher sein, ideal wäre es die Kulturpflanze alle Entwicklungsstadien durchlaufen zu lassen. Um diesen Prozess auf wissenschaftlicher Basis zu beschleunigen wäre, dies in einer Klimakammer denkbar. Die Auswirkungen des Extraktes auf die ganze Weizenpflanze könnten in chemischen Detailanalysen geprüft werden. Um die Effekte der Vorquellzeit untersuchen zu können, sollten Versuche mit differierender Dauer durchgeführt werden. Eine HPLC-Analyse des Extraktes ist unumgänglich, um Menge und Anzahl an phenolischen Säuren bestimmen zu können.

Anbauversuche auf Versuchsflächen sind nötig, um die Auswirkungen des Extraktes auf die Weizenpflanze und das ganze Agrarökosystem zu zeigen. Speziell Untersuchungen der Bodenlebewesen bei Anwendung des Extraktes können hilfreich sein, um die mögliche Umweltfreundlichkeit dieses Bioeffektors zu zeigen.

9.Kurzzusammenfassung

Weizen *(Triticum aestivum L.)* ist österreichweit die bedeutendste Getreide-Marktfrucht in der biologischen Landwirtschaft. Der Korn-Ertrag von Weizen ist in der biologischen Landwirtschaft meistens geringer im Vergleich mit dem konventionellen Anbausystem. Das Beikraut Ackerwinde (*Convolvulus arvensis L*.) enthält phenolische Säuren, die bei geringen Verdünnungen das Wachstum von Pflanzen beeinflussen können. In der vorliegenden Untersuchung wurde aus dem Spross der Ackerwinde ein Extrakt hergestellt, wobei destilliertes Wasser (1:10) oder Ethanol (1:10) als Extraktionsmittel genutzt und verschiedene Verdünnungen verglichen wurden. Weizensamen der Bio Sorte Capo wurden in der jeweiligen Verdünnung vorgequollen, in Plastikboxen gesät und nach sieben Tagen die Spross- und Wurzellänge sowie das Trockengewicht der Weizensprösslinge erhoben. Die besten Ergebnisse beider Extraktionsmittel wurden bei einer Verdünnung von 1:1024 erzielt, wobei beide Extraktionsmittel ähnlich gute Ergebnisse lieferten. Diese Extrakte könnten in Zukunft als Bioeffektoren für den biologischen Weizen verwendet werden. Um die positive Wirkung von Ackerwinden-Extrakten in der Praxis zu überprüfen, werden Versuche im Gewächshaus und Freiland empfohlen.

10. Abstract

Wheat *(Triticum aestivum L.)* is the most important cereal cultivated in organic farming in Austria. Generally the yield potential in organic farming is lower than in conventional systems. The weed field bindweed (*Convolvulus arvensis L*.) is known to have phenolic acids. These are popular for stimulating growth rate of plants but only at low concentrations.
In our study extracts of dried field bindweed shoots were developed, with using distillate water (1:10) or ethanol (1:10) as solvent. Different dilutions of both extracts were made, organic wheat seeds cv, Bio-Capo were “seed primed” in each dilution of the extracts and sown into plastic boxes. After seven days, shoots/roots length and dry weights of the wheat sprouts were measured. The best results for both extracts were observed at a dilution of 1:1024. Both solvents showed similar results. Possibly, the extracts could be used as bioeffectors for organic cultivated wheat. In order to evaluate the positive effect of weed field bindweed, experiments in the green house and on the field are recommended.

11. Literaturverzeichnis

AN, M. (2005): Mathematical Modelling of Dose-Response Relationship (Hormesis) in Allelopathy and its application. Nonlinearity in Biology, Toxicology, and Medicine. 3, 153-172.

AN, M., PRATLEY, J.E. und HAIG, T. (1998): Allelopathy: From Concept to Reality. In: Michalk D.L. und Pratley J.E. (1998):"Agronomy, growing a greener future?". Proceedings of the 9th Australian Agronomy Conference, 1998, Charles Sturt University, Wagga Wagga NSW. At: http://www.regional.org.au/au/asa/1998/6/314an.htm

AMA_1- AgrarMarkt Austria (2014): Daten & Fakten der AgrarMarkt Austria für den Bereich Getreide und Ölsaaten – K-Ö. AMA, Wien, Österreich. 1-2.

AMA_2- AgrarMarkt Austria (2014): Marktbericht der AgrarMarkt Austria für den Bereich Getreide und Ölsaaten. 6. Ausgabe. AMA, Wien, Österreich. 4-5.

BASRA, S.M.A., PANNU, I.A. und AFZAL, I. (2003): Evaluation of Seedling Vigor of Hydro and Matriprimed Wheat (*Triticum aestivum L*.) seeds. International Journal of Agriculture & Biology, 5, 2, 121-123.

BELZ, R.G. (2007): Allelopathy in crop/weed interactions-an update. Pest Management Science, 63, 308-326.

BERTHOLDSSON, N-O. (2005): Early vigour and allelopathy- two useful traits for enhanced barley and wheat competitiveness against weeds. Weed Research, 45, 94-102.

BHADORIA, P. B. S. (2011): Allelopathy: a natural way towards weed Management. American Journal of Experimental Agriculture. 1 (1), 2011, 7-20.

BIOFECTOR (2014): About BIOFECTOR. At: http://www.biofector.info/about-biofector.html

BISTRICH, H. und LAFFERTY, J. (2008): Winterdurum und Wintertriticale Vergleichsanbau auf biologisch und konventionell bewirtschafteten Flächen. Bio Austria Forschung; Grundlagen zur Züchtung, Vermehrung und Sorten /Saatgutprüfung für den Biolandbau. Abschlussbericht Projekt Nr. 1315, Wien, 36-43.

BMLFUW (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft), (2013). Grüner Bericht 2013 - Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft. 54. Auflage, Wien, 1-342.

BOGATEK, R., GNIAZDOKWA, A., STEPIEN, J. und KUPIDLOWSKA, E. (2005). *Convolvulus arvensis L.* allelochemicals mode of action in germinating wheat seeds. In: Proceedings of the 4th World Congress of Allelopathy, Wagga Wagga, Australia, 263-266.

CANBOLAT, Ö. (2012): Potential Nutritive Value of Field Bindweed (*Convolvulus arvensis L*) Hay Harvested at Three Different Maturity Stages. Kafkas Univ Vet Fak Derg, 18 (2). 331-335.

CHON, S.U., JANG, H.G., KIM D.K, KIM, Y.M, BOO, H.O. und KIM Y.J. (2005): Allelopathic potential in lettuce (*Lactuca sativa L.*) plants. Sci.Hort., 106, 309-317.

Dai, J. und Muper R.J. (2010): Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidiant and Anticancer Properties. Molecules 2010, 15, 7314-7315.

Dias, L.S., Pereira, I.P. und Dias, A.S. (1999): Research on Allelopathy in Portugal. . In: Narwal S.S (1999): Allelopathy Update Volume 1 International Status. Sciene Publisher, USA, 89-98.

Europäische Kommission (2013): Was ist biologische Landwirtschaft? At: http://ec.europa.eu/agriculture/organic/organic-farming/what-organic_de

FISCHL, M. und LINDENTHAL, T. (2008): Bioherbstanbau 2008 Wintergetreide- Informationen zu Sorten, Saatgut, Richtlinien, Krankheiten und Beikrautregulierung. Ländliches Fortbildungsinstitut Österreich, Wien. 1-28.

FISCHL, M., TRAUDTNER, F., SURBÖCK, A. und KRANZLER. A. (2013): Qualitätsweizenerzeugung im Biolandbau- Mehrjährige Ergebnisse zu Kulturführungsmaßnahmen und Sortenwahl aus Bionet-Praxisversuchen. Ländliches Fortbildungsinstitut Österreich, Wien. 5-22.

GHAREIB, H.R, ABDELHAMED M.S. und IBRAHIM O.H. (2010): Antioxidative effects of the acetone fraction and vanillic acid from chenopodium murale on tomato plants. Weed Biol. Manage., 10, 64-72.

GUPTA, A. und MITTAL, C. (2012): Effect of allelopathic leaf extract of some selected weed flora of Ajmer district on seed germination of *Tricitium Aestivum L.* Sience Research Reporter, 2 (3): 311-315.

HEGAB M.M (2005): Assessment of the allelopathic effect of some phenolic compounds on some physiological processes of pea plant (*Pisum sativum*). Ph.D Thesis, Faculty of Science, Beni-Sueif University, Egypt.

HEGAB, M.M und GAHREIB, H.R (2009): Potential of Swiss chard (*Beta vulgaris L. var. Cicla*) autotoxicity for weed control. Allelopathy Journal, 24, 301-308.

HEGAB, M.M und GAHREIB, H.R (2010): Methanol Extract Potential of Field Bindweed (*Convolulus arvensis L*.) for wheat growth Enhancement. International Journal of Botany 6 (3), 334-342.

HEGAB, M.M, KHADORY S.E.A, HAMMOUDA O. und GHAREIB H.R. (2008): Autotoxicity of chard and its allelopathic potentiality on germination and some metabolic activities associated with growth of wheat seedlings. Afr, J. Biotech., 7, 884-892.

INDERJIT, D. und MALLIK A.U. (2002): Chemical Ecology of Plants: Allelopathy in Auqatic and Terrestrial Ecosystems. Birkhäuser Publishing Ltd., Basal.

JAMES, W., OLIVER, R. und FRED, C. (2002): Allelopathic potential of *Convolvulus arvensis L* straw on selected wheat species. Weed Sciences, 30 (5), 495-497.

KALBURTJI K. L. (1999): Research on Allelopathy in Greece. In: Narwal S.S (1999): Allelopathy Update Volume 1 International Status. Sciene Publisher, USA, 37-48.

KASHIF, M.S., CHEMMA, Z.A. und FAROOQ, M. (2014):Wheat (Triticum aestivum L.) Allelopathy for Management of Littleseed Canarygrass (*Phalaris minor Retz*). In: 7th World Congress on Allelopathy- Complex interactions in a changing climate, Vigo, 1-250.

KAUR, M. und KALIA, A.N. (2012a): Convolvulus arvensis- A useful weed. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 4 (1), 38-40.

KAUR, M. und KALIA, A.N. (2012b): Pharmacognostic Parameters and Phytochemical Screening of *Convolvulus arvensis Linn*. International Research Journal of Pharmacy, 3 (10), 162-163.

KAZINCZI, G., ONOFRI, A., SZABO, L., BERES, I., HORVATH, J. und TAKACS, A.P. (2007): Phytotoxic effects of *Convolvulus arvensis* weed on crops. Allelopathy Journal, 20, 173-193.

KOLB, F. (1960): Experimentelle Untersuchungen zur gegenseitigen Beeinflussung von Kulturpflanzen und Unkräutern. Zeitschrift für Acker-und Pflanzenbau, Band 115, Verlag für Landwirtschaft, Veterinärmedizin, Gartenbau und Forstwesen, Berlin, 375-406.

LAM, Y., SZE, C.W., TONG, Y., NG, T.B., TANG, S.C.W., HO, J.C.M., XIANG, Q., LIN, X. und ZHANG, Y. (2012): Research on the allelopathic potential of wheat. Agricultural Sciences, 3, 979-985.

LEMRASKY, M.G. und HOSSEINI, S.Z. (2012): Effect of seed priming on the germination behavior of wheat. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 4 (9), 564-567.

MALKOMES, H.P. (1996): Einfluss von Acker-Unkräutern auf Bodenmikroorganismen-eine Übersicht. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XV, 581-591.

MA, Y. (2005): Allelopatic studies of common wheat (*Triticum aestivum L.*). Weed Biology and Management, 5, 93-104.

MALKOMES, H.-P. (2006): Allelopathie mitteleuropäischer Ackerunkräuter-eine Übersicht. Journal of Plant Diseases and Protection, 2006, Sonderheft XX, 435-445.

MALLIK, A.U. (2005): Allelopathy: Advances, Challenges and Opportunities. In: Zeng R.S., Mallik A.U. und Luo S.M. (2008): Allelopathy in Sustainable Agriculture and Foresty. Springer, New York, USA, 25-38.

MÜNZING, K. (2010): Qualitätsvergleich ökologisch und konventionell erzeugten Getreides. At:http://www.llfg.sachsenanhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/qgt10_muenzing.pdf.

NARWAL, S.S. (1999): Allelopathy Update Volume 1 International Status. Sciene Publisher, USA, 1-338.

NIGGLI, U und DIERAUER, H.(2000): Unkrautbekämpfung im ökologischen Landbau in der Schweiz. Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL),At: http://orgprints.org/00001973/, 3.

PONTI, DE T., RIJIK, H. und VAN ITTERSUM, M. K. (2011): The crop yield gap between organic and conventional agriculture. Agricultural Systems.108, 1-9.

QU, X.H. und WANG, J.G. (2008): Effect of amendments with different phenolic acids on soil microbial biomass, activity, and community diversity. Applied Soil Ecology, 39, 172-179.

QUASEM. J.R. (1999): Research on Allelopathy in Jordan. In: Narwal S.S. (1999): Allelopathy Update Volume 1 International Status. Sciene Publisher, USA, 221-246.

REIGOSA, M.J., GONZALEZ, L. und SOUTO X.C. (1999): Research on Allelopathy in Spain. In: Narwal S.S. (1999): Allelopathy Update Volume 1 International Status. Sciene Publisher, USA, 1-338.

RICE, E.L. (1984): Allelopathy. 2nd ed., academic Press, Orlando, FL, USA 67-68.

SCHWEIGER, P., PETRASEK. R., ABLEIDINGER. C, MARKUS DIETHART, M. und HARTL, W. (2008): Vergleichende Wurzeluntersuchungen bei Winterweizen. Bio Austria Forschung; Grundlagen zur Züchtung, Vermehrung und Sorten /Saatgutprüfung für den Biolandbau. Abschlussbericht Projekt Nr. 1315, Wien, 288-302.

SOLTYS, D und KRASUSKA, U. (2013): Allelochemicals as Bioherbicdes- Present and Perspectives. At: dx.doi.org/10.5772/56185. 518 - 519.

WANG LI, Z-H, Q, RUAN, X, PAN, C-D. und JIANG, D-A (2010): Phenolics and Plant Allelopathy Molecules. At: 10.3390/molecules15128933, 15 (12), 8933-8952.

WEAVER, S.E. und RILEY W.R. (1982): The biology of canadian weeds. 53. *Convolvulus arvensis L.* Canadian Journal of Plant Science. 62, 461 - 472.

WEIH, M., DIDON, U.M.E, RÖNNBERG-WÄSTLJUNG, A.-C. und BJÖRKMAN C. (2008): Integrated agricultural research and crop breeding: Allelopathic weed control in cereals and long-term productivity in perennial biomass crops. Agricultural Systems, 2008, 97, 99-107.

WU, H., HAIG, T., PRATELY, J., LEMERLE, D. und AN. M. (2000): Distribution and Exudation of Allelochemicals in Wheat *Triticum aestivum*. Journal of Chemical Ecology, 26, 2141-2154.

WU, H., AN, M., LIU, D.L., PRATLEY, J. und LEMERLE, D. (2008): Recent Advances in Wheat Allelopathy. In: In: Zeng R.S., Mallik A.U. und Luo S.M. (2008): Allelopathy in Sustainable Agriculture and Foresty. Springer, New York, USA, 235-254.

YASMEEN, A., BASRA, S.M.A., WAHID, A., NOUMAN, W. und REHMAN H. (2013): Exploring the potential of Moringa oleifera leaf extract (MLE) as a priming agent in improving wheat performance. Turkish Journal of Botany, 37, 512-520.

YARI, L., AGHAALIKANI, M. und KHAZAEI, F. (2010): Effect of seed priming duration and temperature on seed germination behavior of Bread Wheat (*Triticium aestivum L.*). Journal of Agriculture and Biological Science, 5 (1), 1-6.

YARNIA, M. (2010): Comparison of field bindweed (*Convolvulus arvensis L*.) and bermuda grass (*Cynodon dactylon L*.) organs residues on yield and yield components of bread wheat (*Triticum aevestivum L*.) Advances in Environmental Biology, 4 (3), 414-421.

ZENG, R.S., MALLIK, A. U. und LUO, S. M. (2008): Allelopathy in Sustainable Agriculture and Foresty. Springer, New York, USA, 1-387.

12.Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Generelles Versuchsdesign (10 Behandlungen A-J, 4 Wiederholungen (A1-A4), 25 Weizenkörner pro Box, 100 Körner pro Behandlung) 19

Abbildung 2: Ergebnisse Vorversuch 1 (Mittelwert Sprosslänge und Wurzellänge in cm, n = Anzahl gekeimter Weizenkörner, Großbuchstabenkennzeichnung siehe Tabelle 1) 28

Abbildung 3: Ergebnisse Vorversuch 2 (Mittelwert Sprosslänge und Wurzellänge in cm inklusive Standardabweichung nach oben und unten, Mittelwerte mit gleichen Kleinbuchstaben unterscheiden sich nicht signifikant, n = Anzahl gekeimter Weizenkörner, Versuchsdesign siehe Tabelle 2).....29

Abbildung 4: Ergebnisse Hauptversuch **A** (Mittelwert Sprosslänge und Wurzellänge in cm inklusive Standardabweichung nach oben und unten, Mittelwerte mit gleichen Kleinbuchstaben unterscheiden sich nicht signifikant, n = Anzahl gekeimter Weizenkörner, Versuchsdesign siehe Tabelle 3).....30

Abbildung 5: Ergebnisse Hauptversuch **A** (Mittelwert Sprossgewicht und Wurzelgewicht in g, n = Anzahl gekeimter Weizenkörner).....31

Abbildung 6: Ergebnisse Hauptversuch **B** (Mittelwert Sprosslänge und Wurzellänge in cm inklusive Standardabweichung nach oben und unten, Mittelwerte mit gleichen Kleinbuchstaben unterscheiden sich nicht signifikant, n = Anzahl gekeimter Weizenkörner, Versuchsdesign siehe Tabelle 4).....32

Abbildung 7: Ergebnisse Hauptversuch **B** (Mittelwert Sprossgewicht und Wurzelgewicht in g, n = Anzahl gekeimter Weizenkörner).....33

Abbildung 8: Ergebnisse Hauptversuch **C** (Mittelwert Sprosslänge und Wurzellänge in cm inklusive Standardabweichung nach oben und unten, Mittelwerte mit gleichen Kleinbuchstaben unterscheiden sich nicht signifikant, n = Anzahl gekeimter Weizenkörner, Versuchsdesign siehe Tabelle 5).....34

Abbildung 9: Ergebnisse Hauptversuch **C** (Mittelwert Sprossgewicht und Wurzelgewicht in g, n = Anzahl gekeimter Weizenkörner).....35

Abbildung 10: Ergebnisse Hauptversuch **D** (Mittelwert Sprosslänge und Wurzellänge in cm inklusive Standardabweichung nach oben und unten, Mittelwerte mit gleichen

Kleinbuchstaben unterscheiden sich nicht signifikant, n = Anzahl gekeimter Weizenkörner, Versuchsdesign siehe Tabelle 6).....36

Abbildung 11: Ergebnisse Hauptversuch **D** (Mittelwert Sprossgewicht und Wurzelgewicht in g, n= Anzahl gekeimter Weizenkörner).....37

Abbildung 12: LS-Means der Spross- und Wurzellänge in cm der Hauptversuche (A, B, C) für Wasser-Extrakte (inklusive Standardabweichung nach oben und unten, Mittelwerte mit gleichen Kleinbuchstaben unterscheiden sich nicht signifikant, n = Anzahl gekeimter Weizenkörner).....38

Abbildung 13: Spross- und Wurzelgewichte in g der Hauptversuche (A, B, C) für Wasser-Extrakte (n = Anzahl gekeimter Weizenkörner) 39

Abbildung 14: LS-Means der Spross- und Wurzellänge in cm der Hauptversuche (A, B, D) für Ethanol-Extrakte (inklusive Standardabweichung nach oben und unten, Mittelwerte mit gleichen Kleinbuchstaben unterscheiden sich nicht signifikant, n = Anzahl gekeimter Weizenkörner).....40

Abbildung 15: Spross- und Wurzelgewichte in g der Hauptversuche (A, B, D) für Ethanol-Extrakte (n = Anzahl gekeimter Weizenkörner) 41

13.Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vorversuch 1- Bewässerungsmenge in mL je Box.....19

Tabelle 2: Versuchsdesgin Vorversuch 2.....20

Tabelle 3: Versuchsaufbau Hauptversuch A.....22

Tabelle 4: Versuchsaufbau Hauptversuch B.....23

Tabelle 5: Versuchsaufbau Hauptversuch C.....23

Tabelle 6: Versuchsaufbau Hauptversuch B.....24

Tabelle 7: Informationen zum Raumklima (Temperatur, Luftfeuchtigkeit).....25

Tabelle 8: Bewässerungsmenge in mL pro Tag von Vorversuch 2 und Hauptversuch A bis D 25

14.Anhang

Anhang I: Dokumentationsblatt 59

Anhang II: Anfangsgewicht (n=100 Weizenkörner) und Gewicht nach 24 Stunden „seed priming“ und weiteren 24 Stunden Lufttrocknung 60

Anhang III: Ergebnisse Vorversuch **2** (Keimfähigkeit in %, Mittelwert, Maximum und Standardabweichung von Spross- und Wurzellänge) 60

Anhang IV: Ergebnisse Hauptversuch **A** (Keimfähigkeit in %, Mittelwert, Maximum und Standardabweichung von Spross- und Wurzellänge) 61

Anhang V: Ergebnisse Hauptversuch **B** (Keimfähigkeit in %, Mittelwert, Maximum und Standardabweichung von Spross- und Wurzellänge) 61

Anhang VI: Ergebnisse Hauptversuch **C** (Keimfähigkeit in %, Mittelwert, Maximum und Standardabweichung von Spross- und Wurzellänge) 62

Anhang VII: Ergebnisse Hauptversuch **D** (Keimfähigkeit in %, Mittelwert, Maximum und Standardabweichung von Spross- und Wurzellänge) 62

Anhang VIII: Wasser-Extrakte (Mittelwert, Maximum, Standardabweichung, LS-Means) von Spross- und Wurzellänge in cm.....63

Anhang IX: Ethanol-Extrakte (Mittelwert, Maximum, Standardabweichung, LS-Means) von Spross- und Wurzellänge in cm.....64

Anhang I: Dokumentationsblatt

	A1		A2		A3		A4	
	Wurzel	**Spross**	**Wurzel**	**Spross**	**Wurzel**	**Spross**	**Wurzel**	**Spross**
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
Datum:								

Anhang II: Anfangsgewicht (n = 100 Weizenkörner) und Gewicht nach 24 Stunden „seed priming“ und weiteren 24 Stunden Lufttrocknung

	Hauptversuch A		Hauptversuch B		Hauptversuch C		Hauptversuch D	
	Anfangs-gewicht in g	End-gewicht in g	Anfangs-gewicht in g	End-gewicht in g	Anfangs-gewicht in g	End-gewicht in g	Anfangs-gewicht in g	Endgewicht in g
A	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
B	4.5	4.5	4.6	4.6	4.7	4.8	4.6	4.8
C	4.5	4.6	4.6	4.6	4.5	4.6	4.6	4.9
D	4.5	4.6	4.8	4.8	4.6	4.9	4.7	4.9
E	4.6	4.9	4.8	4.8	4.6	4.7	4.5	4.8
F	4.6	4.6	4.5	4.5	4.6	4.7	4.5	4.9
G	4.6	4.6	4.6	4.6	4.7	4.8	4.6	4.8
H	4.7	4.9	4.7	4.7	4.6	4.7	4.6	4.9
I	4.5	4.7	4.6	4.6	4.7	4.7	4.6	4.9
J	4.7	4.8	4.6	4.6	4.7	4.8	4.6	4.8

Anhang III: Ergebnisse Vorversuch **2** (Keimfähigkeit in %, Mittelwert, Maximum und Standardabweichung von Spross- und Wurzellänge)

	Behandlung	**Keim-fähigkeit (%)**	**MW Sprosslänge (cm)**	**MAX (cm)**	**STABW (cm)**	**MW Wurzellänge (cm)**	**MAX (cm)**	**STABW (cm)**
A	Kontrolle	89	1.6		1.4	1.4		1.0
B	Kontrolle dest. Wasser	93	3.6		2.3	2.3		1.2
C	Ethanol	0	-	-	-	-	-	
D	Ethanol 1:2	0	-	-	-	-	-	
E	Ethanol 1:4	87	1.9		1.7	2.7		1.5
F	Ethanol 1:8	94	2.2		2.3	3.6		1.3
G	Methanol	15	1.8		1.5	1.5		1.3
H	Methanol 1:2	63	1.8		1.7	2.0		1.3
I	Methanol 1:4	87	2.3		1.5	3.1		1.1
J	Methanol 1:8	86	2.5		1.9	3.1		1.3

Anhang IV: Ergebnisse Hauptversuch **A** (Keimfähigkeit in %, Mittelwert, Maximum und Standardabweichung von Spross- und Wurzellänge)

	Behandlung	Keim-fähigkeit (%)	MW Sprosslänge (cm)	MAX (cm)	STABW (cm)	MW Wurzellänge (cm)	MAX (cm)	STABW (cm)
A	Kontrolle	88	3.4	8.2	2.1	2.4	5.1	1.0
B	Kontrolle dest. Wasser	92	4.6	9.6	2.4	2.7	6.7	1.4
C	Wasser-Extrakt 1:2	77	2.3	6.6	2.0	1.3	4.1	0.9
D	Wasser-Extrakt 1:16	94	4.9	8.9	2.1	2.7	7.8	1.4
E	Wasser-Extrakt 1:64	93	5.6	9.6	2.5	3.3	7.6	1.6
F	Wasser-Extrakt 1:2560	93	4.9	8.7	2.3	2.8	6.4	1.3
G	Kontrolle Ethanol 1:8	85	3.0	9.5	2.4	2.5	6.6	1.5
H	Ethanol-Extrakt 1:8	87	2.3	7.8	2.1	2.1	5.1	1.4
I	Ethanol-Extrakt 1:64	91	4.8	9.2	2.6	3.0	6.5	1.4
J	Ethanol Extrakt 1:10240	91	5.3	9.1	2.4	3.6	9.1	1.9

Anhang V: Ergebnisse Hauptversuch **B** (Keimfähigkeit in %, Mittelwert, Maximum und Standardabweichung von Spross- und Wurzellänge)

	Behandlung	Keim-fähigkeit (%)	MW Sprosslänge (cm)	MAX (cm)	STABW (cm)	MW Wurzellänge (cm)	MAX (cm)	STABW (cm)
A	Kontrolle	97	4.7	9.8	1.1	2.9	6.2	2.3
B	Kontrolle dest. Wasser	98	5.2	10.1	2.7	3.0	8.3	1.5
C	Wasser-Extrakt 1:64	96	5.4	9.4	2.6	3.3	8.1	1.5
D	Wasser-Extrakt 1:128	96	5.2	8.7	1.5	3.4	7.8	1.5
E	Wasser-Extrakt 1:256	96	5.5	9.2	2.6	3.6	8.3	1.8
F	Wasser-Extrakt 1:512	98	5.8	9.8	2.5	3.9	8.8	1.9
G	Kontrolle Ethanol 1:8	91	4.3	9.2	2.9	3.5	8.1	2.3
H	Ethanol-Extrakt 1:4096	87	5.5	9.3	2.4	3.8	8.3	1.8
I	Ethanol-Extrakt 1:8192	95	5.0	10.1	2.9	3.2	8.7	1.8
J	Ethanol-Extrakt 1:16384	99	4.9	9.2	3.0	2.9	8.5	1.8

Anhang VI: Ergebnisse Hauptversuch **C** (Keimfähigkeit in %, Mittelwert, Maximum und Standardabweichung von Spross- und Wurzellänge)

	Behandlung	Keim-fähigkeit (%)	MW Sprosslänge (cm)	MAX (cm)	STABW (cm)	MW Wurzellänge (cm)	MAX (cm)	STABW (cm)
A	Kontrolle	91	4.8	9.2	2.4	3.1	9.2	2.0
B	Kontrolle dest. Wasser	98	6.4	9.9	2.7	3.9	8.2	1.9
C	Wasser-Extrakt 1:4	98	6.5	9.9	3.1	4.5	9.5	2.7
D	Wasser-Extrakt 1:8	97	4.4	10.6	3.1	2.7	9.5	1.8
E	Wasser-Extrakt 1:16	97	5.4	10.0	3.4	3.3	8.2	2.0
F	Wasser-Extrakt 1:64	97	4.7	10.2	2.7	4.1	8.3	2.1
G	Wasser-Extrakt 1:256	98	6.3	11.1	3.4	4.5	11.9	2.7
H	Wasser-Extrakt 1:512	99	6.7	11.1	3.2	5.7	10.7	2.9
I	Wasser-Extrakt 1:1024	99	7.3	11.7	2.8	5.6	10.6	2.5
J	Wasser-Extrakt 1:4096	99	7.6	10.9	2.2	6.0	10.6	2.3

Anhang VII: Ergebnisse Hauptversuch **D** (Keimfähigkeit in %, Mittelwert, Maximum und Standardabweichung von Spross- und Wurzellänge)

	Behandlung	Keim-fähigkeit (%)	MW Sprosslänge (cm)	MAX (cm)	STABW (cm)	MW Wurzellänge (cm)	MAX (cm)	STABW (cm)
A	Kontrolle	97	6.1	11.1	2.9	4.2	11.1	2.2
B	Kontrolle Ethanol 1:8	96	4.8	11.7	3.8	3.9	12.1	2.8
C	Ethanol-Extrakt 1:8	85	3.7	10.9	3.6	3.1	9.2	2.4
D	Ethanol-Extrakt 1:16	94	5.8	12.1	3.5	4.8	10.8	2.8
E	Ethanol-Extrakt 1:64	98	7.6	12.5	3.7	6.1	13.8	3.1
F	Ethanol-Extrakt 1:128	98	7.0	12.5	4.0	5.8	13.2	3.4
G	Ethanol-Extrakt 1:256	99	8.2	12.8	3.5	6.7	14.0	3.5
H	Ethanol-Extrakt 1:1024	98	8.5	12.9	3.5	6.5	14.3	3.3
I	Ethanol-Extrakt 1:4096	99	8.6	12.7	3.2	6.8	12.2	2.9
J	Ethanol-Extrakt 1:16384	98	8.2	13.3	2.9	6.7	12.5	2.7

Anhang VIII: Wasser-Extrakte (Mittelwert, Maximum, Standardabweichung, LS-Means) von Spross- und Wurzellänge in cm

Behandlung	Haupt-versuch	n (Anzahl)	MW (cm)	MAX (cm)	STABW (cm)	LS-Means (cm)
			Sprosslänge			
Kontrolle	A,B,C	276	4.4	9.8	2.4	4.6
Kontr.dest. Wasser	A,B,C	288	5.4	10.1	2.7	5.5
Wasser-Extrakt 1:2	A	77	2.3	6.6	2.0	2.8
Wasser-Extrakt 1:4	C	97	4.4	10.6	3.1	4.0
Wasser-Extrakt 1:8	C	97	5.4	10.0	3.4	5.0
Wasser-Extrakt 1:16	A,C	191	4.8	10.2	2.4	4.9
Wasser-Extrakt 1:64	A,B,C	287	5.7	11.1	2.9	5.8
Wasser-Extrakt 1:128	B	96	5.2	8.7	2.5	5.3
Wasser-Extrakt 1:256	C	99	6.7	11.1	3.2	6.3
Wasser-Extrakt 1:512	B,C	195	6.4	11.7	2.9	6.3
Wasser-Extrakt 1:1024	C	99	7.6	10.9	2.2	7.2
Wasser-Extrakt 1:2560	A	93	4.9	8.7	2.3	5.5
Wasser-Extrakt 1:4096	C	98	6.5	10.5	2.8	6.0
			Wurzellänge			
Kontrolle	A,B,C	276	2.8	9.2	1.4	3.0
Kontr.dest. Wasser	A,B,C	288	3.2	8.3	1.7	3.3
Wasser-Extrakt 1:2	A	77	1.3	4.1	0.9	1.9
Wasser-Extrakt 1:4	C	97	2.7	9.5	1.8	2.2
Wasser-Extrakt 1:8	C	97	3.3	8.2	2.0	2.8
Wasser-Extrakt 1:16	A,C	191	3.4	8.3	1.9	3.5
Wasser-Extrakt 1:64	A,B,C	287	3.7	11.9	2.1	3.7
Wasser-Extrakt 1:128	B	96	3.4	7.8	1.5	3.5
Wasser-Extrakt 1:256	C	99	5.7	10.7	2.9	5.2
Wasser-Extrakt 1:512	B,C	195	4.6	10.6	2.4	4.4
Wasser-Extrakt 1:1024	C	99	5.9	10.6	2.3	5.4
Wasser-Extrakt 1:2560	A	93	2.9	6.4	1.3	3.5
Wasser-Extrakt 1:4096	C	98	4.5	10.1	2.1	4.0

Anhang IX: Ethanol-Extrakte (Mittelwert, Maximum, Standardabweichung, LS-Means) von Spross- und Wurzellänge in cm

Behandlung	Haupt-versuch	n (Anzahl)	MW (cm)	MAX (cm)	STABW (cm)	LS-Means (cm)
			Sprosslänge			
Kontrolle	A,B,D	282	4.7	11.1	2.7	4.9
Kontrolle Ethanol 1:8	A,B,D	286	4.8	11.7	3.0	5.0
Ethanol-Extrakt 1:8	A,D	173	3.0	10.9	3.0	3.2
Ethanol-Extrakt 1:16	D	94	5.8	12.1	3.5	5.1
Ethanol-Extrakt 1:64	A,D	185	5.3	12.1	3.2	5.6
Ethanol-Extrakt 1:128	D	98	7.6	12.5	3.7	6.9
Ethanol-Extrakt 1:256	D	99	7.0	12.5	4.0	6.3
Ethanol-Extrakt 1:1024	D	99	8.2	12.8	3.5	7.5
Ethanol-Extrakt 1:4096	B,D	197	7.0	12.7	3.2	6.9
Ethanol-Extrakt 1:8142	B	99	4.9	9.2	3.0	5.2
Ethanol-Extrakt 1:10240	A	91	5.3	9.1	2.4	6.5
Ethanol-Extrakt 1:16384	B,D	197	6.6	13.3	3.4	6.3
			Wurzellänge			
Kontrolle	A,B,D	282	3.2	11.1	1.7	3.5
Kontrolle Ethanol 1:8	A,B,D	286	3.2	12.1	2.0	3.5
Ethanol-Extrakt 1:8	A,D	173	2.6	9.2	2.0	2.9
Ethanol-Extrakt 1:16	D	94	4.8	10.8	2.8	4.0
Ethanol-Extrakt 1:64	A,D	185	4.0	10.8	2.4	4.2
Ethanol-Extrakt 1:128	D	98	6.1	13.8	3.1	5.3
Ethanol-Extrakt 1:256	D	99	5.8	13.2	3.4	5.0
Ethanol-Extrakt 1:1024	D	99	6.7	14.0	3.5	5.9
Ethanol-Extrakt 1:4096	B,D	197	5.3	12.2	2.8	5.0
Ethanol-Extrakt 1:8142	B	99	2.9	8.5	1.8	3.2
Ethanol-Extrakt 1:10240	A	91	3.6	9.1	1.9	4.9
Ethanol-Extrakt 1:16384	B,D	197	4.8	12.5	3.0	4.5