

# **Die Auswirkungen von Mykorrhiza bei Ringelblumen**

## **- ein Vergleichsexperiment**

Vorwissenschaftliche Arbeit verfasst von:

*Maximilian Finsterer*

Klasse 8D

Betreuerin:

*Mag. Erna Aslan-Schümmatschek*

Februar 2016

BG/BRG Bernoulligymnasium

1220 Wien, Bernoullistraße 3

## **Abstract**

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit einem Experiment, bei welchem phänotypische Entwicklungsunterschiede bei Ringelblumen aufgrund des Einflusses von Mykorrhizen im Substrat untersucht werden sollen. Ausgehend von der Annahme, dass Ringelblumen, die diese Düngung erhalten, besser gedeihen als solche ohne werden zunächst überblicksweise die Geschichte, die Arten sowie der Verbreitungsgrad der Mykorrhizen in Bezug auf ihre Eigenschaften, ebenso die Methodik, die Durchführung sowie die Ergebnisse des Experimentes erläutert. Dies erfordert das Züchten sowie die Pflege von Ringelblumen, von welchen das Sammeln von Messwerten markanter Merkmale für diese Arbeit unerlässlich ist. Die Messergebnisse werden statistisch erfasst und präsentiert und dienen als Vergleichsmaterial für die daran anschließende Interpretation der Versuchsergebnisse in Bezug auf bereits vorhandene Erkenntnisse auf diesem Gebiet.

Die Arbeit behandelt insbesondere die Nutzung von Mykorrhizen für private Zwecke und soll daher einen Einblick in deren Wirkungsausmaß anhand der Ringelblume geben. Daraufhin wird aufgrund vorliegender Daten ein Fazit formuliert, welches für die weitere persönliche Meinungsbildung als Ausgang dienen soll.

## **Vorwort**

Blumen und Pilze sind mir schon seit meinem dritten Lebensjahr ein Begriff, denn in unserer Familie war es lange Tradition im Winter Schneeglöckchen zu pflücken und im Sommer Eierschwammerl zu sammeln sowie besonders hübsche Blüten, die ich beim Spazieren und Wandern gefunden habe, zu pressen. Außerdem habe ich mich schon in jungen Jahren mit der Aufzucht von Löwenmäulchen und Vergissmeinnicht im Garten meiner Großmutter beschäftigt. Sorgfalt und Geduld haben sich ausgezahlt wenn im Hochsommer die farbenfrohen Blüten mir entgegen „lächelten“ und ich meine Arbeit voller Stolz meinen Eltern gezeigt habe. Es scheint daher nicht verwunderlich, dass ich die Symbiose von einem Pilzgeflecht mit einer Blume faszinierend finde und mich deshalb genauer mit der Thematik auseinander setzen wollte.

Weil ich Ergebnisse aus erster Hand sehen wollte und vom Gedanken, wieder einmal selber Pflanzen zu züchten, überzeugt war, habe ich mich für das empirische Arbeiten mithilfe eines Experimentes entschieden.

An dieser Stelle sei meiner Betreuungslehrerin, die meine Entscheidung für das Thema in dieser Form durch Ihr stets offenes Ohr für Fragen sowie durch Ihre Weiterleitung an Fachberatung bestärkt hat und Dr. Irmgard Greilhuber von der Österreichischen Mykologischen Gesellschaft der Dank ausgesprochen, da sie mir weitere vertiefende Literatur zur Verfügung gestellt und zusätzlich wertvolle Tipps für die Blumenzucht gegeben hat.

Wien, am 1.August.2015

Maximilian Finsterer

## Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	2
Vorwort.....	3
1 Einleitung .....	6
2 Symbiose.....	7
2.1 Mykorrhiza.....	8
2.1.1 Bildung von Mykorrhizen .....	8
2.1.2 Historie der Mykorrhizen .....	9
2.1.3 Bedeutung der Mykorrhiza für die Symbionten .....	10
2.1.4 Koevolution der Mykorrhizen und ihren Pflanzenpartnern.....	11
2.2 Ektomykorrhizen .....	12
2.2.1 Struktur und Eigenschaften der Ektomykorrhizen .....	12
2.2.2 Spezialisierungsgrad an bestimmte Bäume .....	12
2.3 Endomykorrhizen.....	13
2.3.1 Struktur und Eigenschaften der Endomykorrhizen .....	13
2.3.2 Besonderer Stoffaustausch .....	13
2.3.3 Vesikuläre-Arbuskuläre Mykorrhizen (VAM).....	15
3 Experimentdurchführung .....	16
3.1 Forschungsfrage und Formulierung.....	16
3.2 Festlegung der Versuchsvariablen .....	17
3.3 Hypothese .....	18
3.4 Verwendete Materialien.....	18
3.5 Vorversuche .....	20
3.6 Versuchsdurchführung.....	20
3.6.1 Versuchsdifferenzierte Durchführung.....	21
3.7 Erläuterung des Messvorganges .....	22
3.8 Versuchsergebnisse.....	23
3.8.1 Versuchsergebnisse der ersten Versuchsreihe.....	23
3.8.2 Versuchsergebnisse der zweiten Versuchsreihe .....	26

4	Interpretation und Diskussion der Versuchsergebnisse .....	28
4.1	Erläuterungen bezüglich der Hypothese .....	28
4.2	Fehleranalyse und Interpretation.....	28
5	Fazit und Ausblick .....	34
6	Glossar.....	35
7	Literaturverzeichnis.....	36
8	Abbildungsverzeichnis .....	37
9	Anhang .....	38
10	Selbstständigkeitserklärung VwA.....	39

# 1 Einleitung

Die Mykorrhizen gehören zu den weitverbreitetsten pflanzlichen Symbiosen weltweit, mehr als 80% aller autotropher Pflanzen profitieren von der zusätzlichen Leistung der pilzlichen Verflechtungen welche sich um ihre Wurzeln ansiedeln.

Trotz ihres hohen Verbreitungsgrades sind Mykorrhizen in ihrem Wirkungsgrad weitgehend unterschätzt und sehr begrenzt werden sie in der Landwirtschaft eingesetzt, wie die Broschüre des Institutes für ökologischen Landbau zeigt (Gollner 2007).

Zunächst werden die grundsätzlich bekannten Eckdaten und Eigenschaften und insbesondere die artspezifische Struktur der Mykorrhiza mithilfe von fachlicher Literatur erläutert.

Das Hauptziel dieser Arbeit ist dem tatsächlichen Wirkungsausmaß der Mykorrhizen mithilfe eines doppelt ausgeführten Vergleichsexperimentes mit Ringelblumen auf den Grund zu gehen, wobei zuerst der Experimentaufbau und danach der Ablauf mit anschließender Präsentation der Versuchsergebnisse beschrieben wird.

Das letzte Kapitel beinhaltet schließlich die Interpretation der Versuchsergebnisse und eine Diskussion möglicher Fehlerquellen anhand vorhandener Literatur zu Reaktionen der Pflanzen auf verschiedene Ereignisse, wie Dürre oder Überdüngung, und schließt mit einem Fazit zur Verwendung von Mykorrhizen.

## 2 Symbiose

Unter dem Begriff der Symbiose versteht man das friedliche Zusammenleben und Interagieren zweier oder mehrerer Arten. In ihrem Leben verschaffen sich Symbionten einen gegenseitigen Vorteil durch ihre Leistung, die der jeweils andere Partner allein in diesem Ausmaße nicht vollbringen könnte. Höchste Priorität in einer Symbiose genießt der kontrolliert ablaufende, intensive Stoffwechsel zwischen den Symbionten. Oft hat auch ein Partner für den anderen eine Schutzfunktion vor Fressfeinden oder Parasiten. Aufgrund dessen gibt es symbiotische Systeme vermutlich schon seit dem Zeitpunkt, an welchem Organismen in einem engeren Raum nahe beieinander lebten. Weiters ist diese Wechselbeziehung bei auf der Erde heimischen Arten am häufigsten verbreitet, darunter auch viele die nur aufgrund der Symbiose leben können. Für die Pflanzenwelt ist Symbiose insofern wichtig, da Theorien zufolge die Symbiose von Prokaryonta und Euzyten am Beginn der Herausbildung von Chloroplasten und Mitochondrien stand (Vgl. Richter 1996, S. 465)

Je nach Grad der Abhängigkeit und Dimension des Stoffaustausches in einer Symbiose unterscheidet man drei große Gruppen:

- Bei der Allianz und dem Mutualismus ziehen beide Arten einen Vorteil aus der Symbiose, wobei die Teilnehmerorganismen auch allein überlebensfähig wären. Die Verschiedenheit der beiden Erscheinungsformen liegt im Rhythmus des Stoffaustausches. Während dieser bei Allianzen vereinzelt betrieben wird, machen Mutualismus-Symbiosen einen periodischen Gebrauch davon.
- Durch die Koevolution der Symbionten in Allianzen und Mutualismus-Symbiosen entwickelten sich zusehends Eusymbiosen, in welchen die Symbionten nicht mehr ohne ihren Partner überleben können. Gegenseitige Unterstützung ist in einer solchen Symbiose für die Symbionten unverzichtbar. Durch die bessere Abstimmung aufeinander erfolgt ein geordneter und schnellerer Stoffwechsel. Allerdings können bei Störung dieser engen Beziehung die Auswirkungen auf die Symbionten fatal sein (Vgl. <http://www.biologie-schule.de>).

Eine symbiotische Lebensgemeinschaft zwischen verschiedensten Lebewesen eingegangen werden. Die drei häufigst auftretenden pflanzlichen Symbiosen sind stickstofffixierende

Wurzelknöllchen, Flechten sowie Mykorrhiza. Letztere liegt dieser Arbeit als fundamentale Thematik zugrunde, bei welcher die Ausbildung eines Hyphenmyzels zum Nährstoffaustausch zwischen autotropher Pflanze und heterotrophem Pilz von entscheidender Wichtigkeit ist (Vgl. Richter 1996, S. 465f).

## 2.1 Mykorrhiza

### 2.1.1 Bildung von Mykorrhizen

Mykorrhiza ist die Bezeichnung für ein symbiotisches Bündnis zwischen der Wurzel einer höheren, grünblättrigen Pflanze und einem Pilzmyzel. Erkennt ein Pilzmyzel, welches dazu befähigt ist ein Mykorrhizengeflecht auszubilden, die Nähe einer Pflanzenwurzel zweiten oder höheren Grades durch die von ihr freigesetzten Botenstoffe, sporliert es. Die dabei entstehenden charakteristischen Pilzhyphen wachsen in Richtung Quelle der Botenstoffe und bei Kontakt mit der Wurzelrinde des Pflanzenpartners wird diese von den Hyphen ummantelt und durchdrungen. Je nach Art der Mykorrhiza und Standortbedingungen kann der Ausprägungsgrad dieser zwei Vorgänge unterschiedlich sein. Somit entstehen die Kontaktstellen für die Symbionten, die Hyphengeflechte der Mykorrhiza (Vgl. Frey 2010, S. 257ff).

Es gibt drei Formen, wie Pilzmyzelien über Mykorrhiza eine Symbiose mit einer autotrophen Pflanze eingehen können. Welche dieser Formen wo entstehen, hängt von der Pilz- und Pflanzenart sowie vom klimatischen und nährstofflichen Umstand ab. Die nebenstehende Abbildung zeigt wie unterschiedlich die Pilzarten über verschiedene Mykorrhiza sich an und in der Rhizodermis ansiedeln um Stoffaustausch zu betreiben.

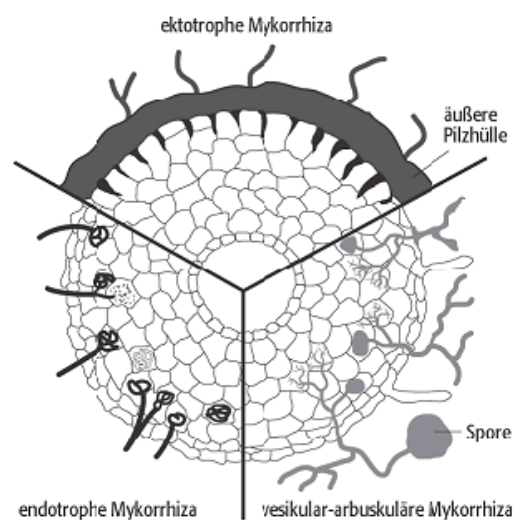


Abbildung 1: Schema des Befalls der Rhizodermis bei unterschiedlichen Mykorrhizen



Neben reinen Ektomykorrhizen, die vorwiegend bei Pilzen in baumreichen Wäldern, bzw. Endomykorrhizen, die zwischen Myzelien und niederen autotrophen Pflanzen, sprich Blumen oder Moosen, anzutreffen sind, gibt es oft auch ektendotrophe Partnerschaften, die sowohl inter- als auch intrazelluläre Anzeichen des Hyphengeflechts von Mykorrhiza zeigen (Vgl. Sonnewald 2014, S. 486f). Diese Erscheinungsform ist eine Reaktion auf bestimmte Umgebungen, bei der ein Alleskönner vorteilhafter ist als ein Spezialist, beispielsweise sind hier die wechselfeuchten Tropen zu nennen, da die Mykorrhizen sowohl für Dürre als auch hohe Feuchtigkeit gerüstet sein müssen.

### **2.1.2 Historie der Mykorrhizen**

Fossile Funde von Pilzstrukturen belegen, dass eine Urform der Mykorrhiza, die arbuskuläre Mykorrhiza, bereits vor 450 Millionen Jahren den Pflanzen auf das karge Festland verholfen hat. Damals siedelten sie vor allen bei Wurzelstöcken einfach aufgebauter Pflanzen in eher steinigen Böden. Bis heute gehen vor allem tropische Kraut-, Busch- und Baumarten diese Symbiose ein, unter denen sich die Herausbildung von Vesikeln für den Stoffaustausch als nützlich erwiesen hat. Damit zählen die vesikulär-arbuskuläre Mykorrhizen zu den weitverbreitetsten Symbiosen im Pflanzenreich. Ektomykorrhizen entwickelten sich erst vor rund 130 Millionen Jahren prächtig, da zu diesem Zeitpunkt die wichtigen hohen Baumpartner für die Mykorrhizasymbiose aufkamen, die auch abseits tropischen Klimas angesiedelt waren. Endomykorrhizen sind die evolutionär gesehen jüngste Mykorrhizenform und kommen erst vor 110 Millionen auf und spezialisieren sich gleichzeitig nur auf einen Partner, unter anderem auf die Familie der Orchideen, durch die sie bekannt geworden sind. Bis zu 80 % aller Landpflanzen sowie 6000 Pilzarten sind dazu in der Lage, unter Mitwirkung des umgebungsbedingten Aspekts, eine gegenseitige Beziehung über Mykorrhiza aufzubauen (Vgl. <http://www.ipb-halle.de>). Fakt ist, dass Mykorrhizapartnerschaften dazu beigetragen haben, dass sich Waldgebiete auch außerhalb der tropischen Zone ausbreiten konnten. Die Mykorrhizen ermöglichten Bäumen und Krautpflanzen auch ein Leben unter nicht idealen Umweltbedingungen, zunächst in den subtropischen Steppen, später auch in gemäßigten Sumpfgebieten und kühlen Gebirgen. Grundsätzlich gilt: Je mehr die Umweltbedingungen für eine Pflanze vom idealen Zustand abweichen, desto eher wird sie eine Symbiose mit vorkommenden

Mykorrhizen eingehen. Jedoch können keine Mykorrhizen in trockenen, überfluteten, sehr nährstoffreichen bzw. sehr nährstoffarmen Gebieten ausgebildet werden.

Mitteleuropa sowie der boreale Nadelwaldgürtel sind Beispiele für Gebiete in denen potenziell viele Ektomykorrhizapartnerschaften vorliegen. Rund 90 Prozent aller europäischen Baumarten befinden sich in einer solchen Symbiose und meistens sind diese auf die Partnerschaft mit Pilzarten, die zur Mykorrhizabildung befähigt sind, angewiesen. Denn würden die Bäume in einer pilzlosen Erde aufwachsen, führt dies unter anderem zu vermindertem Wuchs (Vgl. Sonnewald 2014, S. 485ff). Des Weiteren kann der Rückgang des Baumbestandes in einem europäischen Wald mit der verminderten Anzahl an Mykorrhizageflechten bzw. die gestörte Funktionsweise Vorhandener erklärt werden (Vgl. Dörfelt 2008, S. 81).

In Bezug auf Endomykorrhizen lässt sich sagen, dass diese die Pflanzenvielfalt dadurch gefördert haben, dass sie alleine schlecht oder nicht lebensfähigen Pflanzen zu ihrem Dasein verhelfen, beispielsweise den Orchideen (Vgl. Richter 1996, S. 484).

### **2.1.3 Bedeutung der Mykorrhiza für die Symbionten**

Mykorrhizen eröffnen ihren Pflanzenpartnern durch ihre Hyphen und durch die Anbindung an ein Myzel eine immense Oberflächenvergrößerung, die eine bessere Wasser- und größere Nährstoffaufnahme bewirkt. Die Pflanze wird zusätzlich widerstandfähiger gegenüber Dürreperioden, da die Hyphen der Mykorrhiza das Wasser auch kurzfristig speichern können. Zusätzlich bereiten Mykorrhiza durch eine Art Filterung die im Boden befindlichen Nährsalze für die Pflanze besser auf. Durch die Kombination dieser beiden Funktionen ist es der Pflanze möglich, besser und mehr der gelösten Kernelemente aus dem Boden aufzunehmen. Ein Beispiel ist Phosphor. Da es in vielen Böden in geringer Dosis vorkommt und abgebaut werden muss bevor es gelöst werden kann, aber für das ATP der Pflanze unverzichtbar ist, kann es eine schwere Aufgabe für die kurzen Wurzelhaare sein diesen wichtigen Stoff aufzunehmen (Vgl. Stahr 2012, S. 283f).

Zusätzlich ist es sogar möglich, dass Mykorrhizen verhindern, dass die Pflanze Schadstoffe aus dem Boden aufnimmt. Des Weiteren bildet sie gemeinsam mit dem Pilzmyzel einen gewissen Schutz vor Krankheitserregern und Bodenschädlingen. Im Gegenzug erhält der Pilz die für ihn wichtigen Fotosyntheseprodukte Stärke und Zucker für seinen Stoffwechsel

von der Pflanze und zusätzlich ein stabiles biochemisches Umfeld als Schutzraum für seine Hyphen (Vgl. Munk 2009, S. 278).

#### **2.1.4 Koevolution der Mykorrhizen und ihren Pflanzenpartnern**

Die vesikulären-arbuskulären Mykorrhizen sind bereits seit dem späten Erdaltertum auf dem Land vertreten. Damals war es für die Pflanzen essentiell auf dem nährstoffarmen Boden eine Partnerschaft mit Pilzen über Mykorrhiza einzugehen. Infolgedessen haben die Pflanzen die Invasion der Pilze durch ihre Wurzeln mit dem Laufe der Zeit immer weniger als Bedrohung des eigenen Lebens angesehen. Als sichtbarer Beweis eines vorhandenen Pflanzenabwehrsystems gilt die perisymbiontische Membran in den Wurzelzellen, zwischen Pflanzenzellplasma und Hyphenzellen bei Endomykorrhizen. Die Mykorrhizahyphen treten dadurch zwar nicht in direkten Kontakt mit der Wurzelzelle, aber die erste Abwehr der Pflanze ist dadurch nicht so schwerwiegend. Die heutzutage vorkommende schwache Pflanzenabwehr sowie das zusätzliche Absondern von Botenstoffen in den Boden zeigen, dass die Pflanze dazu bereit ist einen Pilzbefall durch Mykorrhiza zu akzeptieren und Teile ihrer Fotosyntheseprodukte abzugeben. Bei Ektomykorrhizen ist es nicht an einer Membran dafür aber an den ebenfalls freigesetzten Botenstoffen Wurzeln zweiter und höherer Ordnung zu erkennen, dass die Pflanze von der Partnerschaft durch das Hartigsche Netz profitieren will. Weiters wird durch die Struktur des in der Rhizodermis gefestigten Hyphennetzes die pflanzliche Abwehr gegenüber parasitären Pilzen und anderen Schädlingen merklich verstärkt und die kurzen Wurzelhaare durch mächtige Saughyphen ersetzt (Vgl. Richter 1996, S. 481f).

Langfristige Symbiosepartner stimmen sich in ihren Aufgaben überein, um ein perfektes Gleichgewicht im Stoffaustausch zu schaffen. Der Das Mykorrhizapilzmyzel lernt seinen Pflanzenpartner kennen und umgekehrt, sodass beide wissen welcher Nährstoff gerade oder im Allgemeinen mehr benötigt wird.

Schließlich zeugen die Fruchtkörper zahlreicher Speisepilze, dass sie nur mit bestimmten Bäumen eine Ektomykorrhizasymbiose eingehen, da sie nicht überall beliebig oft vorkommen und gut gedeihen. Es ist bewiesen, dass verwandte Mykorrhizapilzfamilien mit verwandten Gehölzen Symbiosen eingehen (Vgl. Dörfelt 2008, S. 86f).

## 2.2 Ektomykorrhizen

*„Es betrifft die Tatsache, dass gewisse Baumarten [...] mit einem Pilzmycelium in Symbiose stehen, welches die Ammendienste leistet und die Ernährung des Baumes aus dem Boden übernimmt.“ (Frank, 1885. In: Munk 2009, S. 278).*

### 2.2.1 Struktur und Eigenschaften der Ektomykorrhizen

Bei den Ektomykorrhizen handelt es sich um ein festes, strukturiertes Hyphennetz, das sich vor allem um die Spitzen von Seiten- und Kurzwurzeln eines Baumes ansiedelt. Ausgehend von diesem dicht verworrenen Hyphenmantel, auch bekannt als Hartigsches Netz, dringen Hyphen in den Interzellularraum der äußeren Pflanzenwurzelzellen und füllen so die Zellenzwischenräume aus. Somit erfolgt ein rascher und indirekter Austausch der Nährsalze und der Fotosyntheseprodukte durch die Zellwände.

Bei vielen Arten der Ektomykorrhizen treten auch intrazelluläre Hyphen auf. Vorzugsweise durchdringen sie absterbende oder tote Wurzelzellen des Baumes, da diese durch die poröse Zellwand sowie die darüber befindliche schwächere Tanninschicht, die normalerweise dafür verantwortlich ist, dass das Hyphennetz nicht in die Wurzelzellen eindringen kann, leichter zu erschließen sind. Die intrazellulären Hyphen haben allerdings nur die Aufgabe eines Knotenpunktes, die die Struktur des Hartigschen Netzes stärken und damit dessen Aufgabenleistung verbessern sowie Überbrückungen zu aktiven Nachbarzellen oder zu weiteren toten Zellen bilden. Beinahe alle Mykorrhizapilzmyzelien die an einen ektotrophen Hyphenmantel anschließen, bilden zusätzlich an der Oberfläche sichtbare Fruchtkörper aus, da ihnen die dafür nötige Energie sowie das organische Material von der Fotosynthese des Baumes zur Verfügung gestellt wird (Vgl. <http://www.spektrum.de>).

### 2.2.2 Spezialisierungsgrad an bestimmte Bäume

Einige Mykorrhizapilze, wie jene die unter Kiefern und Lärchen wachsen, haben sich auf bestimmte miteinander verwandte Baumarten angepasst. Durch die bereits lange währende Bindung über Ektomykorrhizen haben sich spezialisiertes Mykorrhizapilzmyzel und Baum in ihren Aufgaben gut aufeinander abgestimmt. Allerdings zieht eine solch enge Partnerschaft einen gewissen Abhängigkeitsgrad nach sich und somit sind sie anfälliger für

plötzliche Umweltprobleme bzw. Veränderungen in ihrem Ausbreitungsgebiet. Andere Mykorrhizapilzmyzelien haben sich hingegen auf ein ökologisches Feld von verschiedenen Baumarten ausgebreitet. Sie können auch mit anderen Pilzmyzelien und somit mit anderen Bäumen Partnerschaften eingehen, wenn sich die Ausbreitungsgebiete der Bäume überschneiden. Zwei Beispiele hier sind die Familie der Eichen- und Buchenmykorrhizapilze. Zwar können diese im Notfall auch Nadelgehölze als Mykorrhizapartner annehmen, jedoch sind ihre Hauptpartner die genannten Laubbäume (Vgl. Dörfelt 2008, S.83f).

## **2.3 Endomykorrhizen**

### **2.3.1 Struktur und Eigenschaften der Endomykorrhizen**

Im Gegensatz zu den hauptsächlich an Wurzelspitzen und Wurzelzellen haftenden Ektomykorrhizen, dringen Endomykorrhizen tiefer in der Pflanze durch ihre inter- sowie intrazellularen Hyphen vor. Sie sind zudem unscheinbarer da die angebundenen Mykorrhizapilzmyzelien eher niedere Kraut- und Buschpflanzen als ihre Symbiosepartner bevorzugen und selbst eigentlich nie Großpilze an der Erdoberfläche ausbilden. Weiters besitzen sie zwar tiefer gehende Hyphen aber sucht man ein festes Hartigsches Netz vergebens. Allenfalls gibt es vereinzelte watteartige Hyphen die die Wurzelspitzen der Pflanze ummanteln, denen nicht sonderlich viel Bedeutung zukommt. In erster Linie dienen sie als Überbrückung zwischen dem Myzel und den Wurzelzellen. Infolgedessen sind Endomykorrhizen meist nur anhand des wenn vorhandenen Hyphenmantels bzw. anhand ihrer intrazellularen Hyphenknäuel in den Wurzelzellen unter dem Mikroskop erkennbar (Vgl. <http://www.spektrum.de>).

### **2.3.2 Besonderer Stoffaustausch**

Der eigentliche Stoffaustausch erfolgt im Innenraum der äußeren Wurzelzellen. Wie bei den Ektomykorrhizen gibt es interzelluläre Hyphen zwischen den Wurzelzellen, die mit jenen

durch die Zellwände interagieren. Den großen Unterschied jedoch bilden die intrazellularen Hyphen, die von der äußeren Wurzelschicht aus, die Wurzelzellen tief ins Innere quer durchwachsen. Die Enden dieser Hyphen führen immer in das Innere einer aktiven Wurzelzelle. Dort formen sie sich zu einem Knäuel, was zur Oberflächenvergrößerung dient. Durch die beinahe direkte Verbindung zur Pflanze können Hyphenzellen durch eine perisymbiotische Membran direkteren und schnelleren Stoffaustausch mit der Wurzelzelle betreiben als Ektomykorrhizen. Je länger diese Hyphenknäuel aktiv sind, desto mehr werden sie abgenutzt, bilden sich zurück und platzen nach rund zwei Wochen auf. Der verbleibende Rest wird von der Pflanze resorbiert. Dadurch erhält die Pflanze neben den anorganischen Produkten wie Wasser und darin gelöste Nährsalze, zusätzlich organisches Eigenmaterial der Mykorrhiza. Man bezeichnet daher die Endomykorrhizen auch als weitere Nahrungsquelle für die Pflanze. Das Gleichgewicht der Symbiose verschiebt sich durch dieses Phänomen zum Vorteil der Pflanze. In Regionen, wo nährstoffarme Böden vorwiegend vorhanden sind und das Klima nicht ideal für Pflanzenwachstum ist, kann dies eine stärkere Abhängigkeit der Pflanze vom Pilz bedeuten (Vgl. Dörfelt 2008, S.89f).

Ungleich der Ektomykorrhizen treten Endomykorrhizen vorwiegend in spezialisierten Partnerschaften auf und nehmen selten weitere Pflanzenpartner auf. Als Ausnahmezustand gilt die Anbindung der Endomykorrhizapilzmyzelien an ein ektotrophes Hyphensystem, bei welchem der Baum seine Fotosyntheseprodukte erneut aufteilt. Im Gegenzug erhält der Baum eine erneute Oberflächenvergrößerung sowie eine zweite Filteranlage für Nährstoffe. Als Beispiel für eine Pflanze die mit Pilzen eine reine Endomykorrhizapartnerschaft eingeht ist die Familie der Orchideen zu nennen. Die resorbierten Hyphenknäuel dienen der Pflanze als wichtiges Nährmaterial. Die Pflanze ist in vielerlei Hinsicht abhängig vom fremden Nährstoffangebot des Pilzes, da sich in ihrem Keimungssamen wenige Spurenelemente befinden. Somit nimmt die Pflanze zunächst die Rolle eines Parasiten ein, da sie dem Pilz über die Bindungsstellen in den kleinen Wurzeln keine Fotosyntheseprodukte zusichert. Das Gleichgewicht der Symbiose wird erst wieder hergestellt, wenn die Orchidee ausgetrieben ist und autotroph sein kann (Vgl. Richter 1996, S.484).

### 2.3.3 Vesikuläre-Arbuskuläre Mykorrhizen (VAM)

Die eigentliche Haupterscheinungsform der Endomykorrhizen gehen nur bestimmte Familien der Mykorrhizapilze, aber hingegen viele Pflanzen seit der Urzeit gerne ein. Aus diesem Grund sind sie heutzutage vor allem in der Erde der tropischen Zone natürlicherweise vorkommend anzutreffen. Im Vergleich zur zweiten Endomykorrhizaform, die 350 Millionen Jahre später aufgekommen ist, sind die VAM in der niederen Pflanzenwelt viel weiter verbreitet. Die meisten Pilze dieser Ordnung sind obligat symbiontisch, das heißt sie können nur optimal wachsen und Hyphen bilden wenn sie eine Mykorrhizapartnerschaft eingehen. Die Vesikulär-Arbuskulären Mykorrhizen besitzen ein etwas anderes Hyphennetz als normale endotrophe Mykorrhizen. Der äußere Mantel ist zwar gleich, aber in den Inter- und Intrazellularräumen befinden sich in regelmäßigen Abständen Verdickungen bei Hyphen, auch genannt Vesikel, die sich meist in abgestorbenen Zellen der äußeren Pflanzenwurzelschicht befinden. Sie bestehen aus vielen ineinander verflochtenen oder expandierten Hyphen, die die feste Struktur des Hartigschen Netzes bei Ektomykorrhizen ersetzen und gleichzeitig als Bildung neuen Hyphenmaterials dienen. Die in die Wurzelzellen vordringenden Arbuskel sind weiter verzweigt und langlebiger als die intrazellularen Hyphenknäuel der herkömmlichen Endomykorrhiza, was einen besseren und vor allem schnelleren Stoffaustausch für den Pilz zur Folge hat (<http://www.ipb-halle.de>). Den VAM kommen außerdem eine besondere Bedeutung hinzu, da diese Form der Symbiose viele Kulturpflanzen, unter anderem Getreide wie Weizen und Gerste, bei Bedarf eingehen. Die Mykorrhizen dienen hierbei als natürlicher Dünger bei schlechten Boden- und Umweltbedingungen. Eine Ernteertragssteigerung in solchen Gebieten ist durchaus zu verzeichnen, doch bisher hat die spezielle Mykorrhiza eher nur in privaten Kleinbetrieben und in der Biolandwirtschaft Einzug in Kombination mit weiteren natürlichen Düngemethoden erhalten (Vgl. Dörfelt 2008, S.89f).

### **3 Experimentdurchführung**

#### **3.1 Forschungsfrage und Formulierung**

Um dem Titel dieser Arbeit gerecht zu werden muss eine Forschungsfrage formuliert werden, welche lautet: „Entwickeln sich die phänotypischen Merkmale Wuchshöhe, Laubblattlänge und Wurzelverflechtung von Ringelblumen unter dem Einfluss von Mykorrhiza besser als bei Ringelblumen ohne Mykorrhiza?“ Diese Frage soll mithilfe eines Vergleichsexperimentes mit Ringelblumen, dessen Komplettablauf, sprich die Ausgangssituation, die Versuchsvariablendifferenzierung, die Durchführung sowie die Ergebnisse, welcher in diesem Kapitel beschrieben wird, gedeutet und beantwortet werden können.

Das Experiment beinhaltet zwei Gruppen aus selbstgezüchteten Pflanzen, eine Versuchsgruppe welche Mykorrhizagranulat erhält und eine Kontrollgruppe, bestehend aus der gleichen Menge Pflanzen wie die andere Gruppe, welcher das Mykorrhizagranulat nicht hinzugegeben wird. Der Versuch hat eine Laufzeit von drei Monaten und wird zweifach nacheinander durchgeführt. Dabei folgen die beiden Versuchsdurchgänge einem gleichen Basisausgang, welcher eine Blumenzucht im Topf unter gleichen Bedingungen erfordert. Um zusätzlich eine quantitative Repräsentierbarkeit der Experimentergebnisse zu garantieren und diese statistisch auswerten zu können, werden für beide Versuchsgruppen zusammen 36 Ringelblumensamen angesetzt.

Als Versuchspflanze für das Vergleichsexperiment dient die Zwergringelblume, die schnell nach ihrer Aussaat austreibt und somit in kurzer Zeit Vergleichsergebnisse liefern kann. Sie ist gut als Zimmerpflanze einsetzbar, da sie aufgrund ihrer verringerten Wuchshöhe nicht so viel Platz einnimmt wie gewöhnliche Ringelblumen. Zudem ist sie, was die Umgebungsbedingungen wie Temperatur und Erde betrifft, eher anspruchslos und ermöglicht somit eine leichte Züchtung.



### 3.2 Festlegung der Versuchsvariablen

Die Gliederung aller das Experiment betreffenden Einflüsse ist von entscheidender Wichtigkeit, da man nur so mehrheitlich gleiche Ausgangsbedingungen für alle Ringelblumen garantieren kann und somit die eigentliche Beobachtung der zu untersuchenden Merkmale nicht verfälscht wird. Aus diesem Grund werden die Versuchsvariablen nach konstant, unabhängig sowie abhängig eingeteilt. Hinzu kommen einige Intervallbereiche für annähernd konstant gehaltene Einflüsse.

Zu den konstant gehaltenen Variablen zählen die Menge an eingesetzter Blumenerde pro Pflanze, der Standort aller Pflanzentöpfe, welcher beim ersten Versuch hauptsächlich ein dauerhaft äußerer und windgeschützter Platz und von Sonnenaufgang bis 13 Uhr lichtdurchflutet ist. Beim zweiten Versuch ist der Pflanzenstandort in ein Zimmer verlegt, der bei sonnigen Tagen ebenfalls mit Sonnenstrahlen ausgefüllt ist. Um jedoch die Bedingungen des Lichteinfalls an jene des ersten Versuches anzugleichen, kommt eine 40 Watt Glühbirne zum Einsatz, welche 50 cm über den Pflanzen angebracht ist.

Ebenfalls konstant gehalten ist die Menge der angesetzten Ringelblumensamen am jeweiligen Versuchsbeginn, wobei die statistisch erfassbare Menge der Pflanzen aufgrund der Keimfähigkeit der Samen mit hoher Wahrscheinlichkeit von der Ansetzmenge abweicht. Aus diesem Grund werden pro Gruppe neben den statistisch minimal angeforderten zehn Pflanzen acht weitere einbezogen um sicher die Mindestanzahl an Pflanzen zu decken, die benötigt werden um statistisch bedingte Aussagen zu treffen.

Des Weiteren gibt es einige Gegebenheiten, die aufgrund des Ziels des Experimentes nicht ganz vernachlässigbar sind aber keine allzu großen Auswirkungen haben, wenn sie nicht immer exakt gleich bei allen Versuchspflanzen sind. Somit wird für diese Einflüsse ein Rahmen geschaffen, in denen die Ringelblumen mit ihren konfrontiert werden, darunter fallen:

- Umgebungstemperatur (15 - 30 ° C)
- Prozentuelle Anteile der Gase in der Luft (normale Alltagsbedingungen)
- Insgesamt vorhandene Nährstoffmenge in der Erde mit und ohne Mykorrhizen

Als unabhängige Variable gilt in diesem Experiment die an die Versuchspflanzen verabreichte Menge an Mykorrhizagranulat, welche im zweiten Versuch niedriger dosiert wird als beim Ersten, und der Kontrollgruppe nicht zugesetzt wird. Zudem unterscheiden

sich die Versuche in der Art der Mykorrhizagranulatzugabe. Während sich beim ersten Versuch die Mykorrhizen vor den Ringelblumensamen in der Erde befinden, werden sie beim zweiten Versuch erst nach einem Monat von oben hinzugegeben, wenn die Versuchspflanzen eine gewisse Höhe erreicht haben.

Zuletzt gibt es noch die statistisch erfassten Daten der abhängigen Variablen, welche den gemessenen Werten der phänotypischen Merkmale der Pflanzen entsprechen. Es wird insbesondere auf die Merkmale Wuchshöhe bzw. Sprossachsenlänge, Laubblätterlänge sowie am Ende des Experiments auf den Ausprägungs- und Verflechtungsgrad des Wurzelwerks mit Mykorrhiza geachtet.

### **3.3 Hypothese**

Mykorrhizen bieten ihrem Symbiosepartner eine breite Vielfalt an verbesserten Umgebungsbedingungen. Als Beispiel seien hier nochmals die verbesserte Mineralstoffaufnahme aus der Erde sowie die Oberflächenvergrößerung der mit Mykorrhizen zusammengewachsenen Wurzeln zu nennen. Aufgrund des hohen Wertgehaltes der Mykorrhiza in einer Symbiose mit einer höheren Pflanze ist anzunehmen, dass beim in dieser Arbeit beschriebenen Experiment Pflanzen mit Mykorrhizagranulat als zusätzliche Düngung höher wachsen, mehr und längere Laubblätter ausbilden und ein dichteres Wurzelgeflecht aufweisen als die Pflanzen der Kontrollgruppe ohne Mykorrhiza. Diese Hypothese stützt sich auf die Tatsache, dass bei über 80% aller zweikeimblättrigen Pflanzen, zu welchen auch die Ringelblumen zählen, bei ausgewogenen Umweltbedingungen die mit Mykorrhizen durchwachsenen Wurzeln ihre Aufgaben besser vollbringen können, welche sich in der Ausprägungsstärke der Entwicklung der Pflanzen widerspiegelt (Vgl. Taiz 2007, S. 89ff).

### **3.4 Verwendete Materialien**

Nachdem die Variablen für das Experiment festgelegt sind, folgt nun die Materialliste, welche in grundlegende Bestandteile beim Experimentausgang sowie in die für die Blumenaufzucht und für die adäquaten Messungen benötigten Bestandteile. Ausnahme

bildet hierbei das Mykorrhizagranulat welches zu verschiedenen Zeitpunkten in den zwei Versuchen hinzugegeben wird und nur beim ersten Durchgang von Anfang an in der Erde ist.

Samenaussaat	Pflanzenpflege / Messungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 36 Zwergringelblumensamen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sonnenlicht oder 40 W. Glühbirne</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 36 Blumentöpfe mit 5 cm Höhe und 5,5 cm Durchmesser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leitungswasser im 200 - 300 ml Messbecher</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sterilisierte Blumenerde</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drei Bewässerungsunterlagen</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feiner Sand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zehn cm lange Holzspieße</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mykorrhizagranulat (0,5 g bzw. 0,1 g pro Topf)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ein Permanentmarker</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zehn cm und 30 cm Lineal</li> </ul>

Die Blumensamen sind vom Typus „Zwerg - Bonbon Ringelblume“ und sind in einer handelsüblichen 150 Stück Packung beim „Dehner Garten Center“ gekauft worden.

Die 60 g Verpackung mit Mykorrhizagranulat ist von der Firma „Tyroler glückspilze“ über das Internet bestellt und nach einer Woche mit beigelegten Inhaltsstoff- sowie Vorteilsangaben der Mykorrhiza angeliefert worden. In 1,21 g Mykorrhiza Granulat befinden sich rund 325000 Pilzsporen der Sorte Ekto- und Endomykorrhiza, wobei die beiden Begriffe nur als Zusammenfassung mehrerer unterschiedlicher Mykorrhizen gelten, die das für die jeweilige Art spezifische Wurzelbefallsschema zeigen. Das ungefähre Verhältnis von Ekto- und Endomykorrhizenzueinander beträgt 300:1, wobei zu erwähnen ist, dass sich die Gruppe der Endomykorrhizen aus weit mehr verschiedenen Arten zusammensetzt. Das Granulat ist zusätzlich mit wachstumsfördernden Nährstoffen sowie Humus, Vitaminen und Aminosäuren versetzt. Zusammen mit den Mykorrhizen ist es die Perfektion eines Düngers, der bei Beet- und Topfpflanzen, wie der Ringelblume, eine verbesserte Nährstoffaufnahme, erhöhtes und schnelleres Wurzel- und Blattwachstum sowie eine ausgeprägte und erhöhte Blühkraft verspricht.

### **3.5 Vorversuche**

Die empirische Methodik der Experimentdurchführung in der vorliegenden Form wurde in ihren Grundstrukturen, sprich der Blumenansetzung, der Verhältnisse von Erde und Sand, die Bestimmung der Saattiefe für die Blumensamen sowie das Verhältnis von Wassermenge und Lichtstunden aus persönlicher Erfahrung sowie einem im März stattfindenden Testlauf mit fünf Ringelblumen ohne Mykorrhiza selbst gestaltet. Die sterilisierte Blumenerde bewirkt hierbei die stärkere Auswirkung der unabhängigen Variablen und schafft zudem gleiche Bedingungen für alle Pflanzen. Hinweise bezüglich der Zeit und Menge der Zugabe des Mykorrhizengranulates wurden beim ersten Versuch ausschließlich vom Anwendungsblatt der zugestellten Mykorrhiza und beim zweiten Versuch unter Einbezug der Fachberatung durch die Mykologische Gesellschaft entnommen, welche im Gegensatz zur Mykorrhizenfirma eine geringere und spätere Zugabe des Mykorrhizagranulates nach Erreichen einer Versuchspflanzenhöhe von acht bis zehn cm empfohlen hat. (mündliche Auskunft: Greilhuber 2015)

### **3.6 Versuchsdurchführung**

Zur Differenzierung in Versuchs- und Kontrollgruppe wurden die 36 Blumentöpfe mit den Zahlen 1-18 nummeriert. Die Versuchsgruppe erhielt nebenbei zusätzlich ein voranstehendes großen M, für Mykorrhiza.

Um die Blumenerde zu sterilisieren, wurde diese in einem hitzebeständigen Gefäß für zehn Sekunden bei 900 Watt in die Mikrowelle gestellt und nach der Abkühlzeit von einer Stunde im abgedeckten Zustand gleichmäßig auf die Blumentöpfe verteilt. Um den Effekt der Wasserdurchlässigkeit der Erde zu verstärken und somit die Gefahr von Staunässe einzudämmen, wurde diese im Topf mit einem kleinen Löffel Sand vermischt.

Nach der Befüllung erfolgte das Einsetzen der Ringelblumensamen in ein Loch von rund drei cm Tiefe. Danach wurde die kleine Vertiefung wieder mit Erde zugeschüttet und glattgestrichen. Dabei ist auf eine nicht zu dicht gepackte Erde im Topf zu achten, denn dadurch können sich Wasser und Mykorrhizen schlechter verteilen. Insbesondere die Fläche über dem Samen sollte für ihn kein Hindernis darstellen um an die lichte Oberfläche zu gelangen.

Fortan kamen auf die ausgetriebenen Pflanzengefäße pro Tag 200-300 ml Wasser sowie bis zu acht Stunden Sonnenlicht bzw. Kunstlicht durch eine 40 Watt Glühbirne. Leichte Abwandlungen in Bezug auf die Wassergabe wurden getroffen, wenn es an einem Tag nötig bzw. nicht nötig erschien nochmals nachzugießen, aufgrund von trockener bzw. feuchter Erde.

Innerhalb der ersten zwei Wochen wurden die ersten Ringelblumen sichtbar und bildeten nach einer kleinen Sprossachse zwei Keimblätter aus. 10 cm lange Holzspieße, die sorgfältig neben dem Keimling in die Erde gesteckt wurden, verliehen der Pflanze zusätzlichen Halt, sodass sie nicht auf die Seite kippen konnte und annähernd gerade nach oben wuchs, was die Messung der Sprosslänge der Pflanze erheblich erleichterte.

### 3.6.1 Versuchsdifferenzierte Durchführung



*Abbildung 2: Mykorrhizagranulat im Substrat vor der Durchmischung*

Der erste Versuch wurde in den Sommermonaten durchgeführt. Folglich genossen die Pflanzen durchgehend stärkeren Sonneneinfall, was den mediterranen Ringelblumen ein heimisches Wachstumsklima bietet. Zusätzlich war ihr Standort ab der fünften Woche nach der Aussaat im Freien wo nur mehr eingegriffen wurde wenn die direkte Sonneneinstrahlung an heißen Tagen länger als zwei Stunden ohne Wasserzugabe von statten gegangen war. Alle Pflanzen erhielten die gleiche Wassermenge zu einer festgelegten Zeit, die nur aufgrund der Sonnenintensität abgeändert wurde. Auch anders bei der ersten Versuchsdurchführung war, dass nach Anwendungsanleitung des Verkäufers bereits beim Befüllen der Töpfe, das Mykorrhizagranulat in der Dosierung 0,5 g pro Topf der Erde beigemischt wurde (→ Abb. 2).

Aufgrund der deutlichen Unstimmigkeiten mit der Erwartungshaltung der Ergebnisse der ersten Versuchsdurchführung wurde das Experiment leicht abgeändert im Frühherbst erneut gestartet. Neben dem klimatisch bedingten Einsatz von künstlichem Licht und Wärme zur Ringelblumenzucht liegt der Hauptunterschied zum ersten Versuch beim Zeitpunkt und der Menge der Mykorrhizagranulatzugabe. Alle 36 Pflanzensamen erhielten dieses Mal das

gleiche Aufzuchtprogramm und erst nach einem Monat, wenn die durchschnittliche Wuchshöhe bei acht cm lag, erfolgte die Aufspaltung in Gruppen durch die Zugabe des auf 0,1 g pro Topf reduzierten Mykorrhizagranulates bei der Hälfte der aufgegangenen Ringelblumensamen. Allerdings wurde dieses nur in den oberen Bereich der Erde eingebettet und mit wiederholter Zugabe von Wasser langsam und sanft in die unteren Erdschichten zum Wurzelwerk der Ringelblume gebracht.

### **3.7 Erläuterung des Messvorganges**

Es wurde ab dem Zeitpunkt des Austreibens der ersten Keimlinge bis zum Einsetzen des Welkprozesses der Ringelblumen beobachtet und dabei die Höhe der Pflanzen, die Sprossachsenlänge sowie die Laubblätterlängen jeden dritten Tag gemessen und dokumentiert. Die Höhe entspricht dabei dem ausgetriebenen Teil der Pflanze inklusive Sprossachse und Blätter. Da die Blätter zunächst immer in die Vertikale wuchsen, wurde die absolute Pflanzenhöhe erst zu einem schwankenden Wert, als sie sich vermehrt in die Horizontale erstreckten. Aus diesem Grund setzte man bei dieser Arbeit eine konstant wachsende Sprossachsenlänge voraus, die unabhängig vom Blätterwuchs, vom Erdniveau des Blumentopfes (fünf cm) bis zum Sprießpunkt des derzeit höchstliegenden, jüngsten Blätterpaares gemessen wurde. Die Laubblätterlänge ergab sich aus dem dazugehörigen Sprießpunkt an der Sprossachse, welcher deutlich an einer verdickten Stelle dieser zu erkennen war, bis zur Spitze des gemessenen Blattes. Als spezielle, der Statistik enthaltene, Blattlänge wurde die Keimblätterlänge gezählt, die bereits kurz nach der Aussaat einen starken oder schwachen Blühtrieb der Pflanze prognostizieren konnte.

Um Aussagen über das Wurzelwerk der Pflanze zu treffen, wurde kurz vor Einsetzen des Welkens, die Pflanze von überschüssiger Erde getrennt, sodass man freien Blick auf die Wurzeln hatte. Hauptmerkmale die hierbei untersucht wurden sind: Das Ausmaß des Wurzelwachstums bei Versuchs- wie Kontrollpflanzen sowie die Anzahl und der Vernetzungsgrad der Mykorrhizahypen bei den Versuchspflanzen.

### 3.8 Versuchsergebnisse

Die nun über sechs Monate gesammelten Versuchsergebnisse werden statistisch im jeweiligen Unterkapitel der Versuche präsentiert und beschrieben. Aufgrund der hohen Anzahl an gesammelten Messwerten, die dazu nicht für alle Pflanzen immer vereinheitlicht werden können, da beispielsweise nur wenige Pflanzen mehr als vier oder fünf Laubblätterpaare ausgebildet haben, sind die statistisch erfassten Ergebnisse zum Vergleich auf die Pflanzenhöhe und die daraus resultierende Sprossachsenlänge sowie die Länge des ersten Laubblätterpaares beschränkt. Zur Veranschaulichung werden neben der Angabe vom Mittelwert sowie der Standardabweichung der einzelnen Längenmessungen, welche im Anhang zu finden sind, auch zwei Liniendiagramme im Fließtext für die Versuchs- und Kontrollpflanzen der beiden Versuchsserien angefertigt, bei denen der Wachstumsverlauf der Extremen unterschieden werden soll.

#### 3.8.1 Versuchsergebnisse der ersten Versuchsreihe

Im Folgenden werden die beobachteten Ergebnisse der ersten Versuchsreihe von Ringelblumen mit sofortiger Mykorrhizazugabe beschrieben, welche von 12.Juni.2015 bis 10.September.2015 dokumentiert wurden. Für diese Zeitspanne wurden nach einer zweiwöchigen Aufzuchtphase jeden dritten Tag die Mess- und Beobachtungsergebnisse der phänotypischen Merkmale beider Ringelblumengruppen eingeholt.

Bereits beim Austreiben der ersten zweiblättrigen Ringelblumenkeimlinge zeigte sich ein auffallend hoher Anteil der mit Mykorrhiza gedüngten Ringelblumen als nichtaustreibend. Auch in den nächsten Wochen änderte sich dieser Zustand nicht, sodass schlussendlich nur sechs der 18 Pflanzen austrieben und an



Abbildung 3: vorne: Kontrollpflanzen, zwei Wochen nach der Aussaat; hinten: nicht ausgetriebene Versuchspflanzen

Höhe gewannen, während die Vergleichsgruppe mit 17 von 18 ausgetriebenen Pflanzen ein sehr deutliches Ergebnis lieferte (→Abb. 3). Besonders in den ersten drei Wochen zeigte

sich unter gleichen Umgebungsbedingungen ein vermehrter Wasserbedarf bei den Versuchspflanzen mit Mykorrhiza in der Erde. Viel häufiger wurde bei diesen auch ein gröberer und trockenerer Boden beobachtet als bei der Kontrollgruppe.

Ab Mitte Juli bildeten die Pflanzen ihre ersten Laubblätterpaare aus. Während die Blindproben lange, kräftige Blätter ausbildeten, fanden sich bei den Versuchspflanzen verspätet Verkümmerte oder Blassere bzw. welkten diese und fielen ab. Hinzuzufügen ist, dass keine der ausgewachsenen Versuchspflanzen den Mittelwert der Höhe der Kontrollpflanzen erreicht hat. Das generelle Erscheinungsbild der Versuchspflanzen, die bereits mit Mykorrhiza ausgesät wurden ist daher ein eher Schwaches im Vergleich. Die dezimierte Anzahl an Pflanzen hat länger gebraucht um auszutreiben und um Laubblätter zu bilden, wies Fehler in der Ausprägung dieser auf und erreichte durchgehend eine gestauchtere Höhe als ihre Begleiter ohne Mykorrhizazusatz. Auch setzte der Welkprozess immer wieder in Form des Laubblätterverlustes ein und zeigte sich endgültig als die Versuchspflanzen zwei Wochen früher als die Vergleichspflanzen welkten und vertrocknen. Bei Betrachtung des Wurzelwerks der Versuchspflanzen zeigte sich ein schwach aber dennoch ausgeprägtes Hyphennetz, welches eine schmale waagrechte Barriere in der Höhe des Ringelblumensamens gebildet sowie knapp um diesen die Hauptwurzeln umschlungen hat. Der Vergleich zu den Kontrollpflanzen zeigte, dass die Wurzeln der Versuchspflanzen, sofern erkennbar, um rund zwei cm kürzer waren und es fehlte immer die längere Wurzel die gegen das Loch des Blumentopfbodens gerichtet war um das dort ankommende Wasser direkt aufzunehmen.



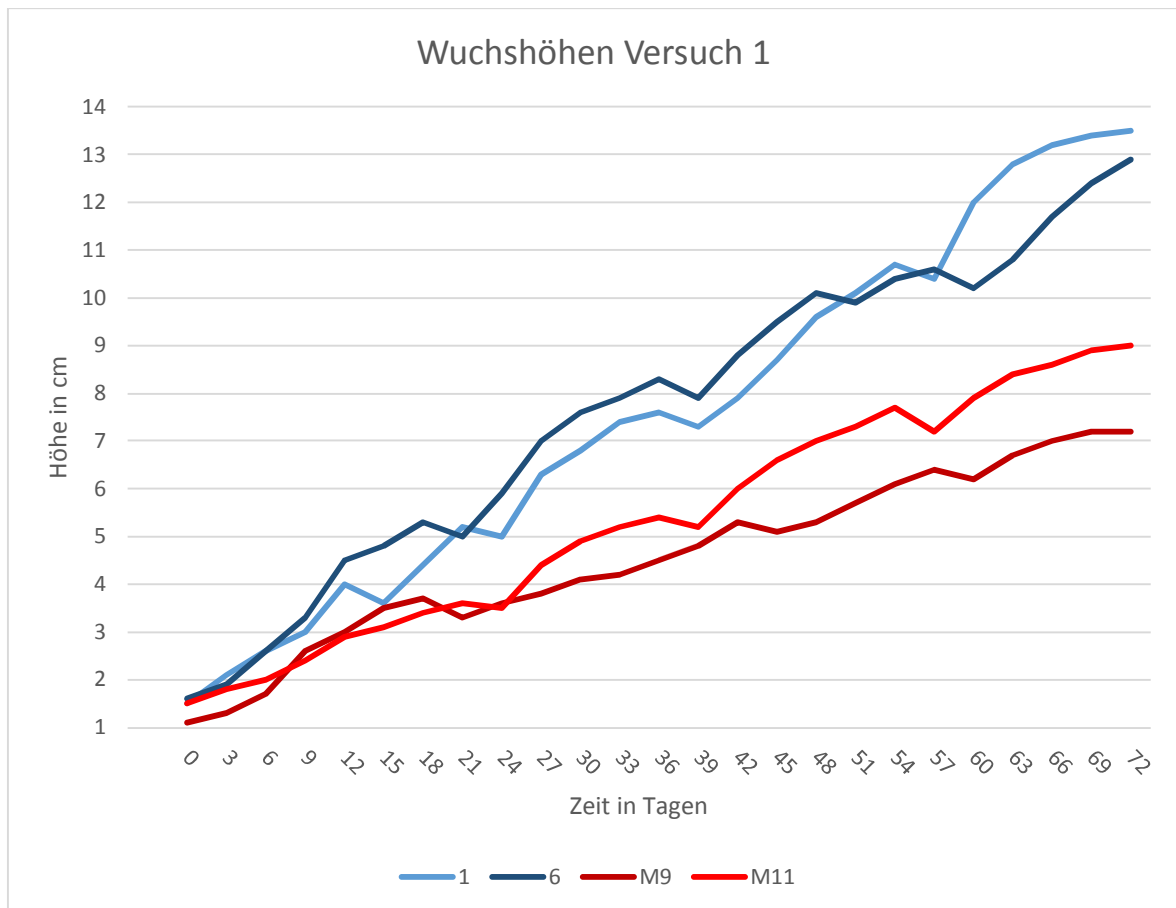


Abbildung 4: Wuchshöhenverlauf zweier Kontrollpflanzen (1&6) sowie zweier Versuchspflanzen (M9&M11) für die gesamte Versuchsdauer, in welcher gemessen wurde. (26.6.2015 bis 6.9.2015)

Die obenstehende Grafik verdeutlicht nochmals den Größenunterschied zwischen Versuchspflanzen (M) sowie Kontrollpflanzen, der sich im Durchschnitt auf sechs cm beläuft. Die gewählten Pflanzen sind dabei die Extremen der Gruppen und zeichnen das Durchschnittswachstumsintegral aller Pflanzen ab. Die Unregelmäßigkeit der Kurven ergab sich daraus, dass die absolute Pflanzenhöhe immer etwas sank wenn ein neues Laubblätterpaar ausgebildet wurde, dass aber durch seinen Wuchs den Höhenwert wieder anhob. Die Kurven der Versuchspflanzen unterscheiden sich von jenen der Kontrollpflanzen hauptsächlich dadurch, dass sie anfangs langsamer steigen und dies später auch nicht ausgleichen. Während die Kontrollpflanzen deutliche Wachstumsschübe nach der Ausbildung eines Laubblätterpaares haben, sind die Höhenkurven der Versuchspflanzen eher flacher ansteigend, vor allem die Kurve M2 hat beinahe keine großen Höhenschwankungen. Markant am Ende der Kurven ist auch die Differenz zwischen den Extremwerten der Versuchspflanzen im Vergleich zu den Kontrollpflanzen.

### **3.8.2 Versuchsergebnisse der zweiten Versuchsreihe**

Im Folgenden werden die beobachteten Ergebnisse der zweiten Versuchsserie von Ringelblumen mit verzögerter Mykorrhizazugabe beschrieben, welche von 3.Oktober.2015 bis 1.Jänner.2016 aufgezeichnet wurden. Wie beim ersten Versuchsdurchgang wurden die Messwerte der phänotypischen Merkmale der Versuchs- und Kontrollgruppe jeden dritten Tag ermittelt.

Am Ende der Aufzuchtphase von drei Wochen sind insgesamt 30 der 36 angesetzten Pflanzen unter Ausprägung eines Keimblätterpaares ausgetrieben. Nach weiteren drei Wochen haben die meisten Ringelblumentriebe eine Sprossachsenlänge von acht cm erreicht und es erfolgte daher die Teilung der Gruppen in 15 Versuchspflanzen und 15 Vergleichspflanzen. Im Laufe des Experiments sind aufgrund der Wirkung von Mykorrhiza zwei Versuchspflanzen frühzeitig verwelkt, deswegen wurden für die statistischen Messungen für die Gruppen jeweils 13 Pflanzen herangezogen.

Wie beim ersten Versuch zeigten sich die mit Mykorrhiza gedüngten Ringelblumen in ihrem Wachstum etwas gehemmt, denn für die Woche nach der Mykorrhizagranulatzugabe stagnierten die Höhenwerte der Versuchspflanzen, während die Kontrollgruppe konstant steigende Höhenwerte besaß. Weiters waren alle Versuchspflanzen zwar farblich blasser, jedoch dieses Mal waren keine Blätter fehlend oder verkümmert. Innerhalb der nächsten drei Wochen verhielten sich die Wachstumsverhältnisse beider Gruppen annähernd stabil und gleichwertig, bis auf den farblichen Unterschied glichen sich die Pflanzengruppen auf ein paar Zentimeter. Auch die Erde der Versuchspflanzen trocknete nicht so schnell aus wie beim ersten Versuchsdurchgang.

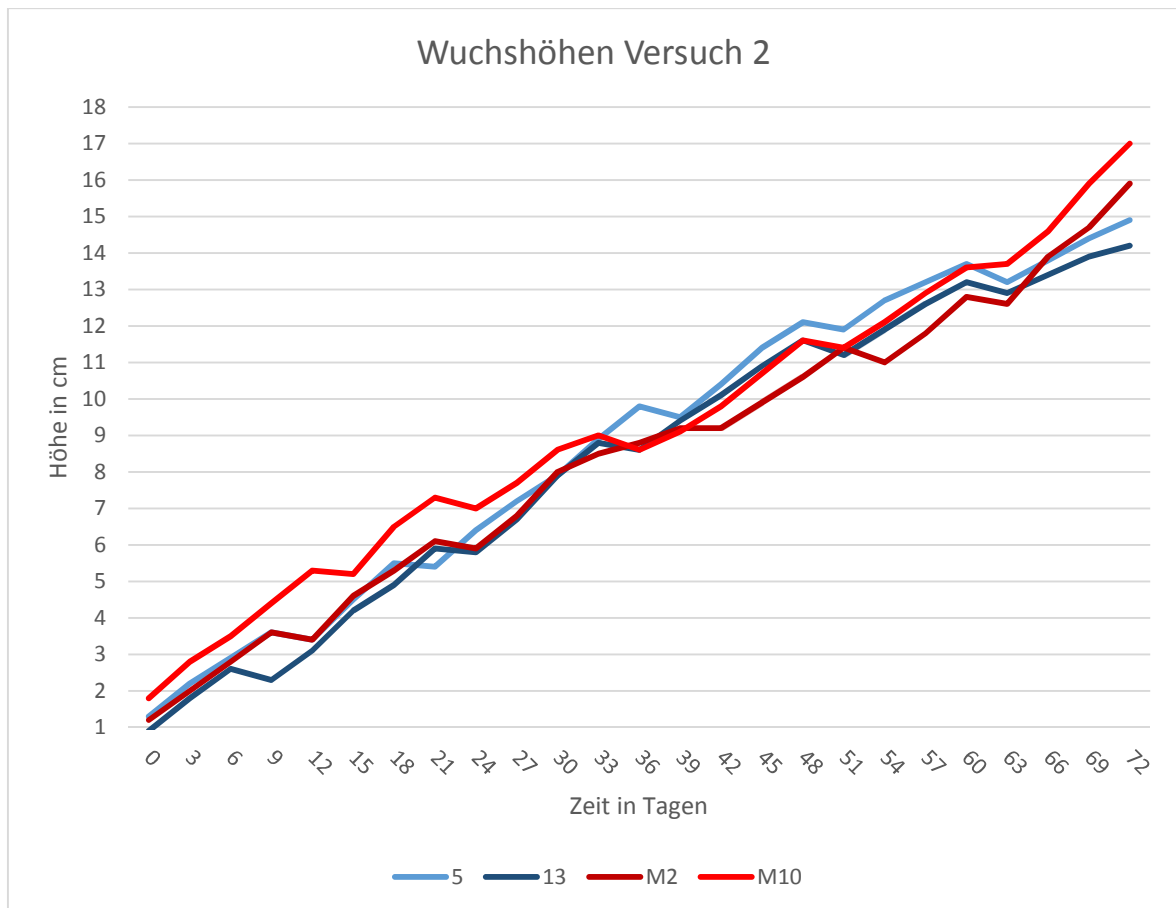


Abbildung 5: Wuchshöhenverlauf zweier Kontrollpflanzen (5&13) sowie zweier Versuchspflanzen (M2&M10) für die gesamte Versuchsdauer, in welcher gemessen wurde. (17.10.2015 bis 28.12.2015)

Wie der obenstehenden Grafik zu entnehmen ist, sind die Wachstumskurven der extremen Versuchs- und Kontrollpflanzenwerte dieses Mal annähernd parallel verlaufend. Dabei ist Tag 30 nach Beginn der Messungen, der Zeitpunkt bei dem die Gruppen differenziert wurden indem das Mykorrhizagranulat zu den Versuchspflanzen eingestreut wurde, was sich an der stagnierenden Höhe der betroffenen roten Kurven in den nächsten Tagen zeigt. Besonders die Kurve M10 zeigt dies, da sie sich anfänglich von den anderen Kurven abhob und durch die Mykorrhizen in ihrem Wachstum gezügelt wurde. Trotz diesen Schwierigkeiten erscheinen die Versuchspflanzen mit Mykorrhiza in den letzten Wochen, verglichen mit den Vergleichspflanzen, als besonders energisch beim Wachsen in die Höhe. Im Vergleich zum ersten Versuch sind die Wachstumskurven der Extremen beider Pflanzengruppen dieses Mal deutlich näher zusammen.

## **4 Interpretation und Diskussion der Versuchsergebnisse**

### **4.1 Erläuterungen bezüglich der Hypothese**

Die vor Experimentbeginn aufgestellte Hypothese besagt, dass die mit Mykorrhiza gedüngten Versuchspflanzen im Vergleich zur Kontrollgruppe in ihren phänotypischen Merkmalen wie Wuchshöhe, Blattanzahl und Blätterlängen letztendlich bessere Werte erzielen. Anhand der Versuchsergebnisse der ersten Versuchsreihe lässt sich erkennen, dass die Hypothese deutlich widerlegt wird. Aufgrund der vorexperimentellen Recherche weicht dieses Ergebnis selbst von den minimalen Erwartungen, dass Versuchs- und Kontrollpflanzen sich annähernd gleich gut entwickeln, ab. Deswegen wurde überhaupt erst ein zweiter Versuchsdurchgang gestartet um auf fehlerbedingte Verfälschung der ersten Ergebnisse zu schließen. Die Versuchsergebnisse des zweiten Versuchs spiegeln die Erwartungshaltung wider, die mykorrhizierten Versuchspflanzen zeigen durchgehend eine etwas höhere Wuchshöhe bzw. Sprossachsenlänge sowie gleiche Anzahl an Laubblättern, die auch einen leichten Längenzuwachs vorweisen.

Die aufgestellte Hypothese wird somit teilweise bestätigt, da die ersten Versuchspflanzen nicht besser entwickelte Merkmale als die Kontrollgruppe lieferten, wie es eigentlich aufgrund der zahlreichen Vorteile für Pflanze und für Pilz durch Mykorrhizen, wie zum Beispiel: die Oberflächenvergrößerung und die schnellere und verbesserte Aufnahme von Nährstoffen aus dem Boden durch das Hyphennetz, zu erwarten war (Vgl. Dörfelt 2008, S. 80f). Jedoch bestätigen sich die Annahmen beim zweiten Versuchsdurchgang, welcher zeigte, dass beim richtigen Zeitpunkt der Mykorrhizenzugabe zu den ausgetriebenen Ringelblumensamen etwas bessere Ergebnisse erzielt wurden als ohne.

### **4.2 Fehleranalyse und Interpretation**

Bei einer solch heiklen Sache wie der Blumenzucht, können bereits kleine Fehler in der Ansetz- bzw. Keimungsphase und in der Art der Blumenpflege gröbere Auswirkungen auf die Gesamtentwicklung der Pflanze haben. Vor allem der erste Versuchsdurchgang hat ein unerwartetes Ergebnis hervorgebracht, welches durch den zweiten Versuch mit korrigierten

Fehlerquellen ein der Hypothese nahes Ergebnis lieferte. Zweifellos gibt es unzählig viele mögliche Gründe warum der erste Versuch nicht aussagekräftig war. Im Folgenden werden die Hauptgründe erörtert:

Zunächst liegt die Tatsache vor, dass beim ersten Versuch lediglich sechs von insgesamt 18 Ringelblumensamen der Versuchsgruppe mit Mykorrhizagranulat in der Erde ausgetrieben sind. Abgesehen von solchen Fehlern, wie der Verteilungsgrad der Mykorrhiza, die Nähe dieses zum Samen bzw. überhaupt die Keimfähigkeit des Samens selbst, liegt die Hauptursache für die verminderte Anzahl der ausgetriebenen Pflanzen vermutlich darin, dass das Problem einer Überdüngung vorlag, was nachgewiesen die Mykorrhizabildung zwischen Pilzen bzw. in diesem Fall Pilzsporen und Pflanze unterdrückt. (Vgl. Taiz 2007, S.89). Dabei wird die Wirkung der neben den Mykorrhizen im Granulat enthaltenen Düngemittel, aufgrund der Unüberprüfbarkeit, in dieser Arbeit vernachlässigt. Da sich das beim zweiten Versuch, allerdings unter verminderter Mengengabe des Mykorrhizagranulates, weit weniger deutlich bemerkbar machte, muss die Entwicklung der Versuchspflanzen nicht nur von der Menge sondern auch von Zeitpunkt und der Art der Zugabe abhängig sein. Denn wenn das Granulat bereits hinzugegeben wurde, bevor der Same ausgetrieben ist, kann es nicht direkt mit der Pflanze interagieren, da noch keine Wurzeln vorhanden sind, in welchen sich das Mykorrhizageflecht ansiedeln kann.

Trotzdem bereichern sich die Pilzsporen an den noch in der Erde vorhandenen Nährstoffen und am zugegebenen Wasser, um sich selbst zu entwickeln. Das würde auch den Grund der schneller trocknenden Erde der ersten Versuchspflanzen liefern. Es ist außerdem nicht auszuschließen, dass die Pilzsporen dafür die Ringelblumensamen als gegenwärtigen Hauptpächter an Nährstoffen in der sterilisierten Erde angezapft haben, was wiederum die vielen geöffneten jedoch leeren Hüllensamen der nicht aufgekeimten Versuchspflanzen bei der Entsorgung des ersten Versuches erklären würden.

Weiters ist es für die Bildung von Mykorrhiza förderlich, wenn das Pilzgranulat nicht willkürlich in der Erde sondern gezielt der Versuchspflanze zugesetzt wird, was zur Folge hat, dass die Pilzsporen schneller ein komplexes Hyphennetz in der Nähe von Wurzeln bilden können. Die Angriffsfläche wird somit von mehreren Pilzen gebildeten Hyphen besiedelt und der Effekt der Mykorrhizasymbiose zwischen Pilz und Pflanze ist leistungsstärker. Konkret in diesem Fall wurde beim ersten Versuch das Mykorrhizagranulat ohne besonderes Verfahren mit der Erde durchmischt. Hingegen wurde das Granulat im

zweiten Versuchsdurchgang präzise von oben in den Topf zugegeben und mit dem Gießen der Pflanzen nach unten transportiert.

Ein weiterer Punkt, der die letzten gemessenen Höhen aller Pflanzen in beiden Versuchen betrifft, ist die Intensität des Sonneneinfalls. Die Statistik zeigt, dass Versuchs- und Kontrollpflanzen des zweiten Versuches etwas bessere Wuchshöhen erreicht haben als ihre Vorgänger. Ein Erklärungsansatz wäre, dass die Aussaat des ersten Versuchsdurchganges zu spät angesetzt war. Laut Fachlexika ist die Ringelblume zwar eine aus dem mediterranen Gebiet stammende Blume, jedoch sind die Samen unter der permanent erhöhten Umgebungstemperatur in ihrer Keimungsfähigkeit geschwächt bzw. waren sie in diesem Versuch vermutlich aufgrund der stechenden Hochsommersonne in ihrem ansonsten annähernd konstantem Wachstum gehindert, was sich anhand der Grafik der Wuchshöhen des ersten Versuches erkennen lässt (Vgl. Kallhoff 2002, S. 54). Die optimale Zeitspanne, Ringelblumensamen auszusähen, liegt von März bis Mai, sprich mitteleuropäischen Frühling mit Umgebungstemperaturen von 10° - 25 ° Celsius. Der zweite Versuch fällt in seiner Ansetzphase, Anfang Oktober, ebenfalls in einen äquivalenten Temperaturreahmen. Bis der Temperaturabsturz Ende November eingesetzt hat, haben die Pflanzen schon eine beachtliche Höhe erreicht und waren auch weiterhin dieser Kälte, durch ihren innerhäuslichen Standort mit durchschnittlich 17 - 22 ° Celsius bedingt, nur beim mehrmals täglichen, zehn-minütigen Raumlüften ausgesetzt. Es ist daher zu schlussfolgern, dass die hochsommerlichen Temperaturen um die 30° Celsius, dem ersten Pflanzenkomplex ein kleines Hindernis in ihrer vollständigen Entwicklung bereitet hat.

Trotz allem sind in der ersten Versuchsdurchführung einige Pflanzen aufgekeimt. Ihr Erscheinungsbild ist jedoch durch das frühzeitige Wirken des Mykorrhizagranulates gezeichnet. Die endgültige Wuchshöhe ist im durchschnittlichen Vergleich um fünf cm geringer als jene der Kontrollgruppe, zudem haben die sechs vorhandenen Versuchspflanzen ein ganzes Laubblätterpaar weniger ausgebildet und diejenigen die vorhanden sind, sind kürzer und teilweise verkümmert, die Blattadern sind deutlicher sichtbar und die Intensität des Chlorophylls ist geringer im Vergleich mit der Kontrollgruppe. Dass die Blattadern derartig stark sichtbar sind zeigt, dass die Blätter weniger Wasser zur Verfügung hatten um die Vakuolen in den Blattzellen in einem benötigten Maß ausfüllen zu können, was wiederum durch den zusätzlichen Wasserabnehmer der Pilzsporen zu erklären ist. Aufgrund der Biomasseallokation, als Reaktion der Pflanze auf Wassermangel, liegt die Konzentration der Pflanze darauf möglichst viel Wasser aufzunehmen. Dies schafft sie durch temporäres

Wurzelwachstum, auf Kosten des Ausprägungsgrades der Blätter. Einige Laubblätter der Versuchsgruppe besitzen feine 0,1 cm große Risse in der Blattstruktur, vor allem in Richtung Blattspitze häufen sich diese, was für einen Nährstoffmangel, bedingt durch die Pilzsporen in der Erde, spricht, der sich in einem nicht vollständigen Zellaufbau bzw. das frühzeitige Absterben vieler Blattzellen aufgrund der Unterversorgung zeigt. Ein weiterer Nachteil der sich aufgrund der von der Pflanze ungewollten Aufspaltung der vorhandenen Nährstoffe zeigt, ist die Farbintensität auf der Blattoberseite der Versuchspflanzen. Diese, sich fast an die Unterseite angelehnend, zeigt eine verminderte Anzahl am Vorhandensein an Chloroplasten, die für den grünen Blattfarbstoff Chlorophyll zuständig sind. Anhand der beschriebenen Beobachtungen erscheint es nicht verwunderlich, dass vereinzelt Blätter komplett verwelkt sind und der Welkprozess der Pflanze verfrüht, rund eine Woche vor den Kontrollpflanzen, eingesetzt hat (Vgl. Körner 2014, S.773f).

Die Versuchspflanzen des zweiten Versuchsdurchganges hingegen, zeigen aufgrund der späteren und kleineren Zugabe des Mykorrhizengranulates in ihrer endgültigen Erscheinungsform lediglich eine schwächere Intensität des Chlorophylls als die Versuchspflanzen des ersten Experiments. In allen anderen Punkten sind sie der Kontrollgruppe ebenbürtig und übertreffen in einigen Bereichen sogar die Ergebnisse jener Pflanzen, beispielsweise in der Wuchshöhe. Die Ursache für das grundverschiedene Ergebnis lässt sich mit der natürlich gegebenen Abwehr der Pflanzen gegenüber Pathogenen, in diesem Falle parasitären Pilzen, erklären. Auch Pilzsporen, die mit der Pflanze eine Symbiose eingehen möchten gelten als Angreifer, da sie sich in den Wurzeln mit ihren Hyphen verankern. Logischerweise gibt es bei einer Pflanze erst ab dem Zeitpunkt, wo sie ihren Austrieb abgeschlossen und die Grundvorrichtung für Photosynthese vorhanden ist, die Zeit und Kraft sich einnistende Pilzhyphen zu registrieren und gegebenenfalls abzuwehren. In diesem Punkt liegt das Scheitern der ersten Versuchspflanzen. Die Pilzsporen waren auf engstem Raum mit dem Samen und konnten so schnell die Wehrlosigkeit der nichtausgetriebenen Pflanze ausnützen um selber zu wachsen. Der Pilz hat dabei nicht registriert, dass die ihm zufließenden Nährstoffe keine Fotosyntheseprodukte waren, wie es beim Stoffaustausch über Mykorrhiza üblich ist. Bei den sechs Versuchspflanzen, die bei der ersten Versuchsdurchführung sind verspätet und verkümmert ausgetrieben sind, hat das Mykorrhizagranulat anscheinend die Pflanze nicht in einem solchen Ausmaß geschädigt, da es den Samen und seine ersten Triebe nicht direkt befallen hat. Dies ist am ehesten erreicht worden durch die willkürliche Verteilung des Granulates im Substrat. In den sechs Fällen

war das Hyphennetz schwach und sehr breitflächig anstatt konzentriert um und in den Wurzeln der Pflanze, eine Sache die dafür gesorgt hat das die annehmbar starke Keimfähigkeit der Pflanze bis zu einem kritischen aber dennoch für Wachstum ausreichenden Wert herabzusenken.

Weiters zeigt die erste Versuchsdurchführung das Abhängigkeitsverhältnis einer Endosymbiose. Denn bei allen nicht ausgetriebenen Versuchspflanzen zeigen sich vereinzelt vertrocknete Reste des Hyphennetzes. Dies zeigt, dass der Pilz sich unter Umständen mehr oder weniger mithilfe der Pflanzensamennährstoffe ernährt hat, die Ration aber nicht für ein längeres Fortbestehen gereicht hat. Bei den ausgetriebenen Versuchspflanzen erkennt man aufgrund des viel schwächer ausgeprägten Hyphennetzes im Vergleich zu der zweiten Versuchspflanzengruppe, dass der Pilz, weil es der Pflanze ersichtlich schlecht ging, sich auch nicht großflächig hat ausbreiten können bzw. sogar nur an in einem bestimmten Bereich der Pilzsporenverdichtung Kontakt zur Pflanze aufgenommen hat (Vgl. Sonnewald 2014, S.488f).

Dieses Problem wird im zweiten Versuch umgangen, da die Pflanzen beim Zeitpunkt der Zugabe des Mykorrhizagranulates, 50 Tage nach der Aussaat, bereits ausgetrieben ist und schon eine Höhe von acht cm erreicht haben, was auf ein ausgeprägtes Wurzelsystem schließen lässt. Die Pilzsporen die jetzt erst hinzugegen wurden, wurden vom Abwehrsystem der Pflanze registriert, daher ist eine Pilzhyphenentwicklung wie beim ersten Versuch ausgeschlossen. Die Versuchspflanze erkennt jedoch die Pilzsporen als Symbiosepartner an und teilt die selbstsynthetisierten Nährstoffe auf, was sich anhand des stagnierenden Pflanzenwachstums in den nachfolgenden Tagen sowie an der leichten Erblässung der Blätter erkennen lässt. Nichtsdestotrotz verlieren die Versuchspflanzen den Anschluss nicht und wachsen rund zwei Wochen nach der Zugabe des Mykorrhizagranulates wieder gleich schnell wie die Kontrollpflanzen. Die Wirkung der Mykorrhiza zeigt sich, aufgrund der Pilzentwicklung, vergleichsweise spät, da die Kontrollpflanzen ihr Höhenwachstum einstellen, die Versuchspflanzen aber weiterhin in die Höhe schießen und somit die Kontrollpflanzen auch überholen. Die Versuchspflanzen zeigen auch noch nach Experimentschluss rund zwei Wochen länger kein Anzeichen des Welkens bis sie dann schließlich doch eingehen.

In der Natur tritt der Vorfall mit den ersten Versuchspflanzen sehr selten bis gar nicht auf, da jegliche Pilze, die zur Mykorrhizabildung befähigt sind sich nie auf so engem Raum befinden wie der kleine Blumentopf beim Experiment. Zudem herrscht in einem



naturbelassenen Boden ein reiches Nährstoffvorkommen, sodass die Pilze nicht vorzeitig eine Pflanze für ihre fundamentale Entwicklung anzapfen müssen bzw. über ein anderes Mykorrhengeflecht versorgt werden. Bei Ektomykorrhizen müssen Baumwurzeln in eine bestimmte Tiefe vordringen, in welcher die Pilze liegen, und daher auch schon Größe erlangen um mit dem Pilz zu interagieren. In einem Wald mit vielen Mykorrhizensymbiosen, ist der Pilz, durch Mitversorgung eines anderen Baumes, in der Regel sogar schon ausgereift und bereit für die direkte Einnistung in die neue Pflanzenwurzel sobald diese in die Umgebung des Pilzes kommt, ohne vorher Photosyntheseprodukte von dieser Pflanze zu benötigen. Sollte ein Wald neu aufgeforstet werden setzt man heutzutage bereits gewünschte Mykorrhizapilzmyzels der Baumerde bei, sodass der Pilz sich in der Erde nicht erst entwickeln muss und so eventuell den Setzling frühzeitig schädigt (Vgl. Dörfelt 2008, S.84f).

## 5 Fazit und Ausblick

Abschließend lässt sich sagen, dass Mykorrhizen, hier im untersuchten Falle Endomykorrhizen, aufgrund der vorliegenden Ergebnisse der beiden Versuchsdurchgänge eine eher spärliche Wirkung auf Pflanzen zeigen, wenn sie sich auf engem Raume mit dieser befinden, und selbst das auch nur wenn man sie gegen der Empfehlung des Herstellers nicht gleich dem Substrat im Topf beimischt. Denn auch wenn der zur Mykorrhizenbildung befähigte Pilz durchaus positive Auswirkungen auf für die Pflanze hat, so muss auch er sich vorerst entwickeln. Wenn dabei die Pflanze den Pilz, aufgrund ihres jungen Triebes nicht erkennen bzw. eine symbiontische Bindung ausprägen kann, verhält sich der Pilz wie ein Parasit. Sollte die Pflanze, wie auch im Experiment, dies überleben, so ist sie in jeglicher Hinsicht in ihrer weiteren Entwicklung und Funktionstüchtigkeit eingeschränkt und hält eher den Pilz als sich selbst mehr schlecht als recht weiterhin am Leben.

Es empfiehlt sich daher Mykorrhizapilzsporen künstlich vermehrt auf großflächigem Gebiet nach einer bestimmten Entwicklungsdauer der Pflanze anzusetzen bzw. vor der Pflanzensamenaussaat die Pilzsporen mit tiefer gelegenem Substrat zu vermengen, wie es bereits in der Bio-Landwirtschaft in Kombination mit anderen natürlichen Düngemitteln (Vgl. Gollner 2007, S.14f) und in der Olivenbaumzucht zur Beimpfung des Bodens für eine bessere Nährstoffaufnahme getan wird (Vgl. <http://mrca-science.org>).

Die Arbeit ist aufgrund ihrer doppelten Versuchsdurchführung bezüglich der Verwendung von Mykorrhizen im Blumentopf so weit aussagekräftig, dass sich eine bewiesene Hypothese für weitere Versuchsdurchgänge heranziehen lassen würde. Jedoch sprengt es den Zeit- und Fassungsrahmen der Arbeit den Versuch sooft durchzuführen, dass sich eine Theorie daraus ableiten ließe. Die erbrachten Ergebnisse dienen aber durchaus als Vergleichswerte für zukünftige Versuche nach dem Schema dieser Arbeit.

## 6 Glossar

Mykorrhizierung: Das zunehmende Verpilzen der Rhizodermis einer höheren Pflanze durch die Hyphen eines symbiontischen Pilzmyzels, der durch die Anlagerung und Festigung seiner Hyphen die spezifische Erscheinungsform der Mykorrhiza schafft.

Mykorrhizapartnerschaft: Der symbiontische Bund einer höheren Pflanze mit einem bzw. mehreren Pilzmyzels, bei der Stoffaustausch sowie gegenseitiger Schutz oberste Priorität genießen. In der Regel gilt, dass der heterotrophe Pilz eher von der autotrophen Pflanze abhängig ist als umgekehrt. Bei Eusymbiosen gilt auch der umgekehrte Fall.

Hartigches Netz: Name des dichten Hyphenmantels, der die Wurzelspitzen bei Bäumen in Ektomykorrhizenpartnerschaften umgibt. Benannt nach dem Forstbotaniker Robert Hartig (1839-1901), der diese Struktur erstmals entdeckt und erläutert hat.

Mykorrhizapilz: Meist nur bei Ektomykorrhizenpartnerschaften. An der Erdoberfläche sichtbarer Fruchtkörper, der vom Pilzmyzel ausgebildet wurde, welches durch das Hartigische Netz durch einen Baum mit Photosyntheseprodukten gespeist wird.

Mykorrhizagranulat: Bestehend aus Nährstoffen und Pilzsporen, die dazu befähigt sind in der Erde ein Myzel auszubilden, das mit den Wurzeln einer entsprechenden Symbiosepflanze gekoppelt werden kann um eine Mykorrhizasymbiose zu schaffen.

Mykorrhizenhyphen: Ausgedehntes Pilzmyzel welches eine Verbindung zwischen den Symbionten schafft und somit den Nährstoffaustausch ermöglicht. Farbe und Aussehen variieren vom Mykorrhizentyp, Ektomykorrhizen haben ein eher braunes bis schwarzes Hartigisches Netz, während Endomykorrhizen gehäuft weiße Pilzhyphen vorweisen.

## 7 Literaturverzeichnis

- Primärliteratur:

Dörfelt, Heinrich & Ruske, Erika: Die Welt der Pilze. Jena: Weissdom 2/2008

Frey, Wolfgang: Geobotanik. Heidelberg: Springer 3/2010

Kallhoff, Angela: Prinzipien der Pflanzenethik. Frankfurt am Main: Campus 1/2002

Körner, Christian (2014): Pflanzen im Lebensraum. In: Springer-Verlag Berlin und Heidelberg GmbH & Co KG (Hg.) (2014): Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften. Heidelberg: Springer, S. 772-783

Munk, Katharina: Botanik. Stuttgart: Thieme 1/2009

Richter, Gerhard: Biochemie der Pflanzen. Stuttgart: Thieme 1/1996

Sonnewald, Uwe (2014): Allelophysiologie. In: Springer-Verlag Berlin und Heidelberg GmbH & Co KG (Hg.) (2014): Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften. Heidelberg: Springer, S. 475-500

Stahr, Karl: Bodenkunde und Standortlehre. Stuttgart: Ulmer 2/2012

Taiz, Lincoln: Plant Physiology. Sunderland: Sinauer Associates Inc. 1/2006

- Internetquellen:

Fester, Thomas (2004): Mykorrhiza. <http://www.ipb-halle.de/myk/start> (1.2.2016/15:53)

Kaltenbach, Tom (2015): Mykorrhizierung. <http://www.wood-land.net/de/mykorrhizierung/>. (1.9.2015/11:40)

Könneker, Carsten (1999): Lexikon der Biologie: Mykorrhiza. <http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/mykorrhiza/44673>. (30.8.2015/13:18)

Kubb, Christian (2015): Symbiose. <http://www.biologie-schule.de/symbiose.php>. (4.9.2015/17:32)

Stüttler, Mark (2015): Mykorrhiza steigert Wachstum. <http://mrca-science.org/index.php/de/mykorrhiza/142-mykorrhiza-forschung>. (2.2.2015/10:48)

- Broschüre / Niederschrift:

Gollner, Manfred (2007): Mykorrhiza. In: Institut für ökologischen Landbau (Hg.) (2007) Beiträge zur Weiterentwicklung des viehlosen biologischen Ackerbaus – Teil 2. Wien, S. 14-16

Greilhuber, Irmgard: Private Mitteilung. – Wien: 9.7.2015 (Niederschrift)

## 8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema des Befalls der Rhizodermis bei unterschiedlichen Mykorrhizen .....	8
Abbildung 2: Mykorrhizagranulat im Substrat vor der Durchmischung.....	21
Abbildung 3: Kontrollpflanzen Versuch 1 .....	23
Abbildung 4: Wuchshöhenverlauf Versuch 1 .....	25
Abbildung 5: Wuchshöhenverlauf Versuch 2 .....	27
Abbildung 6: Statistische Zentralmaßauswertung Versuch 1.....	38
Abbildung 7: Statistische Zentralmaßauswertung Versuch 2.....	38

Abbildung 1: <http://www.geodz.com/deu/d/Mykorrhiza> (23.August.2015)

Alle restlichen Abbildungen sind eigens abgelichtete Fotos bzw. eigens erstellte Tabellen.

## 9 Anhang

Erster Versuch	Versuchspflanzen (6)	Kontrollpflanzen (17)
$\mu$ : Höhe	7,8	13,67
$\delta$ : Höhe	0,77	0,84
$\mu$ : Erste Laubblätterlänge	6,23	9,31
$\delta$ : Erste Laubblätterlänge	0,67	0,65

Abbildung 6: Statistische Zentralmaßauswertung der Höhe sowie der ersten Laubblätterlänge bei den ersten Versuchs- und Kontrollpflanzen. Die Nummern in den Klammern stehen für die Anzahl miteinbezogener Werte.

Zweiter Versuch	Versuchspflanzen (13)	Kontrollpflanzen (13)
$\mu$ : Höhe	16,5	14,3
$\delta$ : Höhe	0,34	0,24
$\mu$ : Erste Laubblätterlänge	9,67	9,34
$\delta$ : Erste Laubblätterlänge	0,41	0,5

Abbildung 7: Statistische Zentralmaßauswertung der Höhe sowie der ersten Laubblätterlänge bei den zweiten Versuchs- und Kontrollpflanzen. Die Nummern in den Klammern stehen für die Anzahl miteinbezogener

## 10 Selbstständigkeitserklärung VwA

**Name:**

Ich erkläre, dass ich diese vorwissenschaftliche Arbeit eigenständig angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift