



Abteilung Gartenbau

Department für Nutzpflanzenwissenschaften



Universität für Bodenkultur Wien

Masterarbeit

„Einfluss der Topfform auf das Pflanzenwachstum bei Hortensien, Rhododendren und Tomaten“

gestellt von:

Betreuerin: Anna Keutgen, Univ. Prof. Dipl.-Ing.sc.agr.Dr.sc.agr.

Zweitbetreuer: Norbert, Keutgen, Priv.-Doz.Dr.

Verfasst von Anja Kohout

Wien, am 06. Juni 2018

DANKSAGUNG

Die Fertigstellung dieser Arbeit bedeutet auch den Abschluss meines Masterstudiums an der Universität für Bodenkultur und den Abschluss eines Lebensabschnitts. Auf diesem Weg haben mich viele Leute begleitet und unterstützt.

Allen voran gebührt mein Dank der Firma Pötscher Bonsaischalen, die durch ihre Idee und ihren Erfindungsreichtum den Grundstein für diese Masterarbeit gelegt hat. Danke für die Bereitstellung der Tontöpfe - in verschiedenen Ausführungen - für die Forschung.

Außerdem möchte ich mich herzlichst bei allen lieben Menschen, sowohl im universitären als auch im privaten Bereich bedanken, die ihren Beitrag zum Gelingen dieser Arbeit geleistet haben und mir mit Rat, Fachwissen und sehr viel Energie beigestanden sind.

Ohne diese Hilfe, sowohl in der Betreuung, beim Analysieren, beim Formatieren, beim Fehler suchen und Korrektur lesen sowie bei vielen weiteren wertvollen Handgriffen, wäre diese Arbeit nicht vollständig.

Der größte Dank aber gilt meiner Familie, die mir Kraft und Energie gegeben hat, mich immer unterstützt und liebevoll, aber hartnäckig, daran erinnert hat die Arbeit zum Abschluss zu bringen.

Zu guter Letzt will ich nicht auf alle meine Freunde vergessen, auf die ich immer zählen kann und die mich in den Jahren des Studiums nicht nur mit Lernunterlagen und Motivation unterstützt haben, sondern auch mit jeder Menge Kaffee und Schokolade versorgt haben.

Vielen lieben Dank dafür!

„Einfluss der Topfform auf das Pflanzenwachstum bei Hortensien, Rhododendren und
Tomaten“

Anja Kohout

ABSTRAKT DEUTSCH

Ressourcenschonend zu wirtschaften, bei gleichzeitigem Einsatz von hoher Material- und Arbeitsqualität, nimmt heutzutage einen immer größeren Stellenwert ein. Ein Topfsystem in dem sich die Wurzeln auf kleinstem Raum optimal entwickeln, ist daher essentiell.

Das in dieser Arbeit, bereits im zweiten Jahr, untersuchte Topfsystem der Firma „WaLu-Schalen“ (Wasser-Luft-Schalen) besteht aus Tontöpfen, welche eine Ausstülpung an jeder Innenseite aufweisen. Diese sogenannten Lamellen sollen dafür sorgen, dass sich mehr Feinwurzeln und weniger Ringwurzeln bilden, die Pflanzen kleiner, aber produktiver und gesünder, bleiben.

Zudem haben Tontöpfe einen positiven Einfluss auf das Wasserregime und die Wurzelbildung. Wasser kann durch die Poren im Ton an allen Seiten nach außen verdunstet werden. Die Wurzeln folgen dem Wasser dementsprechend nach allen Seiten hin. Ferner kann es zu einem „air-pruning“-Effekt kommen: Dabei sterben die Wurzelspitzen bei Luftkontakt ab und die Seitenwurzelbildung wird angeregt. Dies wird durch zahlreiche Luftschlitze im Topfboden begünstigt.

Die Tomatenpflanzen werden bereits im zweiten Jahr untersucht. Doch lässt sich hier auch nur eine statistisch nicht belegbare Tendenz, bezogen auf die Wurzelmasse und das Wurzelvolumen, erkennen. Die in den Töpfen mit Lamellen gewachsenen Pflanzen weisen mehr Wurzelmasse und -volumen auf. Die Sorte ‘Roma‘ zeigt keine signifikante Variation.

Die Wurzel- und Sprossanalysen der Rhododendren gibt eine Tendenz zu längeren Wurzeln bei der Variante mit Lamellen wieder.

Die Hortensien der Variante ohne Lamellen wiesen in allen überprüften Punkten bei der Wurzelanalyse höhere Werte auf, als jene Pflanzen der Variante mit Lamellen.

Es bedarf weiterer Versuche zur Klärung, welche Arten, wie auf die Lamellen reagieren.

Abstrakt Deutsch

Abschließend muss noch darauf hingewiesen werden, dass die Töpfe optisch sehr ansprechend sind, jedoch ein enormes Gewicht aufweisen. Strebt man eine Massenverwendung in Produktionsbetrieben an, so muss die Materialart abgeändert werden.

„Influence of the pot shape on plant growth of hydrangea, rhododendron and tomatoes “

Anja Kohout

ABSTRACT ENGLISH

Economical use of resources while having a high material and work quality is becoming more and more important nowadays. A pot system in which roots develop optimally in the smallest space is therefore essential.

The pot system of the company "WaLu-Schalen", which was examined in this work already in the second year, consists of clay pots, which have a protuberance on each inner side. These so-called lamellas should ensure that more fine roots and fewer ring roots are formed, the plants remain smaller, but more productive and healthier.

In addition, clay pots have a positive influence on the water regime and rooting. Water can be evaporated through the pores in the clay on all sides to the outside. The roots follow the water to all sides. Furthermore, there may be an "air-pruning" effect: The root tips die off in contact with air and the lateral rooting is stimulated. This is favored by numerous louvers in the bottom of the pot.

The examination of the tomato plants is carried out in the second year. However, only a statistically unobjectionable tendency, based on the root mass and the root volume, can be recognized here. The plants grown in the pots with lamellae had more root mass and volume. The variety 'Roma' showed no significant variation.

The root and shoot analyzes of rhododendrons indicate a tendency to longer roots in the variant with lamellae.

The hydrangeas of the variant without lamellae showed higher values in root analysis than those plants of the variant with lamellae in all examined points.

It requires further attempts to clarify which species respond to the lamellae.

Finally, it should be noted that the pots are visually very appealing, but have an enormous weight. If one strives for a mass use in production plants, then the kind of material must be changed.

INHALTSVERZEICHNIS

Danksagung	III
Abstrakt Deutsch.....	IV
Abstract Englisch.....	VI
Inhaltsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	IX
Abbildungsverzeichnis.....	X
Abkürzungsverzeichnis	XI
1. Einleitung	1
2. Forschungsfrage.....	2
3. Literaturübersicht.....	3
3.1. Die Wurzel	3
3.1.1. Aufbau der Wurzel	3
3.1.2. typische Ausprägungen der Wurzelsysteme	5
3.1.3. Einflussfaktoren – Was beeinflusst die Wurzelbildung?	6
3.2. Topfeigenschaften.....	9
3.2.1. Material	10
3.2.2. Die Topfgrösse und ihre Auswirkungen	12
3.2.3. Air-pruning.....	13
3.3. Einblick in die Welt der Bonsai und deren Wurzelraum	15
3.1. Kulturbeschreibungen	18
3.1.1. Solanum lycopersicum L. (Tomate)	18
3.1.2. Rhododendron L. (Alpenrose).....	21
3.1.1. Hydrangea macrophylla (Thunb.) Ser. (Hortensie)	24
4. Material und Methoden.....	28
4.1. Versuchsstandort in Jedlersdorf.....	28

Inhaltsverzeichnis

4.2.	Ausgangsmaterialien.....	33
4.3.	Analysen.....	35
4.3.1.	Untersuchung des Pflanzenwachstums	35
4.3.2.	Statistische Auswertung.....	36
5.	Ergebnisse	37
5.1.	Tomaten.....	37
5.1.1.	Wurzelanalyse	37
5.1.2.	Sprossanalyse	41
5.1.3.	Fruchtqualität.....	44
5.2.	Rhododendren.....	46
5.2.1.	Wurzelanalyse	46
5.2.2.	Sprossanalyse	48
5.2.3.	Blütenanalyse	49
5.3.	Hortensien	50
5.3.1.	Wurzelanalyse	50
5.3.2.	Sprossanalyse	52
5.3.3.	Blütenanalyse	55
6.	Diskussion	56
6.1.	TomateN.....	57
6.2.	RhododendrEn.....	58
6.3.	HortensieN.....	58
7.	Schlussfolgerungen.....	59
8.	Quellenverzeichnis.....	60
8.1.	Adressenverzeichnis	60
8.2.	Literaturverzeichnis	61
8.3.	Internetquellen.....	64
9.	Eidesstaatliche Erklärung.....	66

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Wurzelparameter und das Gewicht der Sprosse von <i>Faidherbia albida</i> -Keimlingen zur Pflanzung ($p \leq 0,01$) (modifiziert nach Louppe & Ouattara, 1992).	14
Tab. 2: Gegenüberstellung des langjährigen Schnittes und der Klimadaten von 2016 des Messstandortes Groß-Enzersdorf (ZAMG, 2018a; ZAMG, 2018b).....	30
Tab. 3: Klimadaten von Mai bis Oktober 2016 in Groß-Enzersdorf (ZAMG, 10.05.2018 a).	31
Tab. 4: Nährstoffzusammensetzung des Pflanzsubstrates (Ziegler GmbH, 2016).....	34
Tab. 5: Ergebnisse der Wurzelanalyse. Unterschiedliche Buchstaben in einer Spalte zeigen signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau nach Tukey-B Tests. (n=7).....	38
Tab. 6: Ergebnisse der Sprossanalyse. Unterschiedliche Buchstaben in einer Reihe zeigen signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau nach Tukey-B Tests. (n=7).....	41
Tab. 7: Ergebnisse zur Fruchtqualität. Unterschiedliche Buchstaben in einer Reihe zeigen signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau nach Tukey-B Tests. (n=7).....	45
Tab. 8: Gemittelte Wurzelanalyse der Rhododendren und die statistische Auswertung ($p \leq 5\%$). (n=3)	47
Tab. 9: Blattanzahl, Gesamtgewicht der Blätter, durchschnittliches Gewicht pro Blatt und Gesamtblattfläche von Rhododendren. Alle Werte gemittelt (n=6).	49
Tab. 10: Wurzelanalyse der Hortensien und die dazugehörige statistische Auswertung ($p = \leq 5\%$) (n=3)	51
Tab. 11: Anzahl der Blätter, Gesamtgewicht der Blätter und Gesamtfläche der Blätter der Hortensien (n=5, 6). ($p = \leq 5\%$).....	52
Tab. 12: F-Test und T-Test bezogen auf die Anzahl der Haupt- und Seitentriebe der Hortensien.	54
Tab. 13: Statistische Auswertung des Beginns der Herbstfärbung bei den Pflanzen (n=5,6). ($p = \leq 5\%$).....	55

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Das Grundstück des Lehr- und Forschungszentrums Jedlersdorf (rot eingerahmtes Gebiet); Versuchsstandort wurde mit einem Pfeil markiert (Satellitenfoto genordet) (www.google.at/maps).....	29
Abb. 2: Die vier Topfvarianten: oben links - groß, mit Lamellen; oben rechts - groß, ohne Lamellen; unten links - klein, mit Lamellen; unten rechts - klein, ohne Lamellen (Kohout, 18.07.2017).....	33
Abb. 3: Wurzeltrockenmasse der gesamten Wurzel und der Feinwurzeln hinsichtlich Sorte und Lamelle (n=7). Die Topfgröße wurde vernachlässigt.	39
Abb. 4: Wurzeltrockenmasse der gesamten Wurzel und der Feinwurzeln hinsichtlich Topfgröße und Lamelle (n=7). Die Sorte wurde vernachlässigt.	39
Abb. 5 Die unterschiedlichen Wurzellängen im Hinblick auf die beiden Faktoren Sorte und Lamellen (n=7).	40
Abb. 6: Die unterschiedlichen Wurzelvolumina im Hinblick auf die beiden Faktoren Sorte und Lamellen (n=7).....	40
Abb. 7: Die Anzahl der Früchte und die Summe der Einzelfruchtgewichte bezogen auf die Sorte und die Lamellen (n=7).....	42
Abb. 8: Die Anzahl der Früchte und die Summe der Einzelfruchtgewichte bezogen auf die Topfgröße und die Lamellen (n=7).....	42
Abb. 9: Die Anzahl der Früchte und die Summe der Einzelfruchtgewichte bezogen auf die Sorte und die Topfgröße (n=7).	43
Abb. 10: Der Durchmesser der Stammbasis (gemessen 10 cm über Bodenniveau) bezogen auf die Sorte und die Topfgröße (n=7).	44
Abb. 11: Kumulative Darstellung der gemittelten Triebverluste bei Rhododendren über den Bonitur-Zeitraum (n=6).....	48
Abb. 12: Durchschnittliche Blütenanzahl der Rhododendren je Variante gemessen über den Blütezeitraum. (n=6).	49
Abb. 13: Gewicht der Hortensienwurzeln [g] (n=3).....	52
Abb. 14: Gemittelte Anzahl der abgebrochenen Triebe der Hortensie (n=5).	53
Abb. 15: Gemittelte Anzahl der Haupt- und Seitentriebe der Hortensien. (n=5).....	53
Abb. 16: Durchschnittliche Anzahl von geöffneten Blüten je Hortensie. (n=5,6)	55
Abb. 17: Ein kleiner Topf mit Hortensie und keinem Gießrand.	56

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

gmL: große Töpfe mit Lamellen

goL: große Töpfe ohne Lamellen

kmL: kleine Töpfe mit Lamellen

koL: kleine Töpfe ohne Lamellen

mL: mit Lamelle

MM: Sorte `MoneyMaker`

oL: ohne Lamelle

R: Sorte `Roma`

RGA: Root growth angle

1. EINLEITUNG

Der Wurzelraum – ein oft vernachlässigtes und doch so wichtiges Thema in der Pflanzenproduktion. So können Gurkenpflanzen in einem kleinen Sack voll Steinwolle überleben, wenn sie mit der Wasserzufuhr auch genügend Nährstoffe geliefert bekommen. Doch in einer Zeit, in der Ressourcenschonung das A und O ist und Stellfläche Geld kostet, muss darauf geachtet werden, dass die Pflanze mit einem minimalen Wurzelraum und Ressourcenverbrauch die maximale Produktivität bringt. Als treffendstes Beispiel wären hier die Bonsais anzuführen. Dabei wird eine Jungpflanze in einer winzigen Schale zu einem auf alt getrimmten Baum herangezogen. Mithilfe von Nährstoffzugaben kann auch diese Miniaturversion - ähnlich seinen großen Verwandten - blühen und fruchten.

Die Firma „Pötscher-Bonsaischalen“ hat die Pflanzgefäße der Bonsais modifiziert und erwartet sich von den Lamellen ein geringeres, doch gesünderes Wurzelwachstum, ein geringeres Sprosswachstum, gesündere Pflanzen und einen besseren Ertrag mit einem höheren Anteil an vermarktungsfähigen Früchten bzw. ein üppiges Blühverhalten bei Zierpflanzen.

Einen weiteren positiven Effekt sollen die zahlreichen Belüftungslöcher hervorrufen, welche sich in dem gebrannten Ton befinden. Dadurch soll es bei den Pflanzen zu einem air-pruning-Effekt kommen. Dieser besagt, dass eine Wurzel durch den Luftkontakt an ihrer Spitze abstirbt und dadurch eine größere Anzahl an Seitenwurzeln angeregt wird, auszutreiben. In weiterer Folge entsteht dadurch ein sehr feines, aber dichtes Wurzelwerk, welches durch den großen Feinwurzelanteil besser Nährstoffe und Wasser aufnehmen kann.

Für diesen Versuch wurden die folgenden drei Pflanzenarten aufgrund ihrer Wurzelcharaktere ausgewählt: Tomaten mit Adventivwurzeln, Hortensien mit einem sehr starken Wurzelsystem und Rhododendren, die sehr viele Feinwurzeln ausbilden.

2. FORSCHUNGSFRAGE

Es stellt sich folgende Forschungsfrage:

Die Töpfe mit besonderer Struktur sollen die Pflanzen positiv im Wurzel- und Sprosswachstum und deren Entwicklung beeinflussen. Die Ringwurzelbildung soll reduziert, wenn nicht sogar unterbunden werden.

Um die Forschungsfrage zu beantworten wurden folgende Hypothesen gestellt:

- Wie wirken sich die Lamellen auf das Pflanzenwachstum von Tomate, Hortensie und Rhododendron aus?
 - Wie wirken sich die Lamellen auf die Trockenmasse der Wurzeln, auf die Wurzellänge, den Wurzel Durchmesser und auf das Wurzelwachstum allgemein aus?
 - Gibt es einen Unterschied in der Triebanzahl zwischen den Pflanzen, welche in Töpfen mit Lamellen gepflanzt wurden und jenen, in Töpfen ohne Lamellen?
 - Bringen die in Töpfen mit Lamellen getopften Pflanzen weniger Blätter, eine geringere Blattmasse und -fläche hervor?
 - Sind die in Lamellentöpfen getopften Hortensien, Rhododendren und Tomaten gesünder?
 - Wie verhält es sich mit der Blütenanzahl und der Blühdauer?
- Führen die mit Lamellen ausgeführten Töpfe zu einem höheren Anteil an vermarktungsfähigen Früchten bei den Tomatenpflanzen?

Die Hypothese lautet, dass die Töpfe mit Lamellen besser für die Pflanzen geeignet sind. Wurzeln und Sprosse sollten langsamer wachsen. Neben gesünderen Pflanzen sollen auch vermarktungsfähigere Früchte bzw. mehrere Blüten hervorgebracht werden. Die Winterhärte der Pflanzen soll verbessert werden, sodass Frost im Wurzelbereich geringere Probleme macht.

Das Ziel dieser Arbeit ist, genauere Kenntnisse über die Pflanzenentwicklung bei verschiedenen Topfformen zu gewinnen.

3. LITERATURÜBERSICHT

3.1. DIE WURZEL

Die Wurzel dient einer Pflanze zur Nährstoffaufnahme und Verankerung im Boden (KAWOLLEK, 1992; BÖHLMANN, 2009). In sehr eingeschränkten Wurzelräumen – wie zum Beispiel in Töpfen – ist eine optimale Nährstoffversorgung von größter Wichtigkeit. Diese kann nur durch ausreichend Feinwurzeln gegeben werden. Daher ist es im Interesse all jener, die Pflanzen in beengten Gefäßen züchten, eben diese Feinwurzelbildung zu fördern (KAWOLLEK, 1992). Weitere Aufgaben der Wurzel sind der Nährstoffaufnahme und deren Weiterleitung, sowie die Stoffspeicherung (BÖHLMANN, 2009).

Des Weiteren steht die Wurzel in engem Austausch mit dem Spross. Stehen der Pflanze anfangs genügend Speicherstoffe zur Verfügung, so wird der Großteil der Energie dazu verwendet ein Wurzelsystem aufzubauen. Zum Beginn der Blüte tritt bei den Pflanzen die größte Wurzelmasse auf. Je weiter die Pflanze im Jahresverlauf wächst, desto geringer wird der Wurzelzuwachs. Das kommt daher, dass zum Aufbau der Blüten und Früchte sehr viel Energie verbraucht wird und die einzelnen Pflanzenorgane um Assimilate konkurrieren. Vorwiegend sterben ältere Wurzelteile ab. Da bei jungen, neu gebildeten Wurzelenden die Kohlenwasserstoffzuleitung begünstigt ist, sind ältere Faserwurzeln an Pfahl- und Dauerwurzeln stärker vom Absterben betroffen, als die vorher genannten Jungwurzeln (KUTSCHERA, 2010).

3.1.1. AUFBAU DER WURZEL

Die Wurzel hat im Großen und Ganzen zwei Aufgaben: Zum einen übernimmt sie die Verankerung und Stabilisierung der Pflanze im Boden, zum anderen dient sie der Nährstoff- und Wasserversorgung. Die Aufnahme von Wasser und Nährstoffen erfolgt zum Großteil über die Wurzelspitze. Sie setzt sich aus vier verschiedenen Elementen zusammen (BÖHLMANN, 2009, KUTSCHERA & al., 2009):

- die Wurzelhaube,
- Zellteilungszone,
- die Streckungszone,

Literaturübersicht

- die Wurzelhaarzone.

Die Wurzelhaube dient dem Schutz des direkt darunterliegenden Vegetationspunktes und somit dem Schutz der jungen Wurzel. Sie besteht aus Zellplasmenschleim. Dadurch „schmiert“ sie den Weg der Wurzel (BÖHLMANN, 2009; HUBER, 1961). Im Bereich des Vegetationspunktes differenzieren sich Zellen zur Rhizodermis, der Wurzelaußenhaut, zur Wurzelrinde und zum Zentralzylinder. Pro Tag können „bis zu 17.000 neue Zellen“ (BÖHLMANN, 2009) gebildet werden, „davon alleine 10.000 für die Wurzelhaube“ (BÖHLMANN, 2009). Nach TREIBER (1981) liegt die Hauptwachstumszone 5 bis 10 mm hinter dem Vegetationspunkt. Dahinter teilen sich die Zellen weiter bis sie in die Zellstreckungszone kommen. Dort sind sie dann voll ausdifferenziert. Im Anschluss daran folgt die Wurzelhaarzone (TREIBER, 1981; HUBER, 1961). Hier stülpen sich aus den Zellen der Rhizodermis die Wurzelhärchen aus. Diese bleiben nur wenige Tage aktiv (BÖHLMANN, 2009; HUBER, 1961). Die Wurzelhaare verhalten sich wie die Wurzel: An der Spitze, sondern sie Schleim ab und durch Wasseraufnahme kann es zur Streckung kommen. Ihre Bildung wird stark von Umweltfaktoren beeinflusst. Bei einem zu hohen Wassergehalt im Boden bilden vor allem mesophile Pflanzen, aber auch Pflanzen, die feuchte Standorte bevorzugen kaum oder gar keine Wurzelhaare aus. Bei steigender Trockenheit werden immer mehr Zellen zur Wurzelhaarbildung angeregt. Wird es allerdings zu trocken, wird die Produktion unterbunden, weil sich der Schleim, der von den Zellwänden abgesondert wird, zu schnell verfestigt. Wechseln Wärme und Feuchte, so können sich Wurzelhaare sogar verzweigen (KUTSCHERA & al., 2009).

Die Rhizodermis löst sich mit den Wurzelhärchen bald ab. Ihr folgt eine Exodermis, deren Zellwände durch korkähnliche Einlagerungen verstärkt werden. Daher ist ein Wasserdurchtritt nicht mehr möglich und es folgt zum Abschluss die Bildung einer Rinde (BÖHLMANN, 2009). KUTSCHERA (2010) beschreibt allerdings, dass selbst alte Wurzeln nie so stark verkorkt sind, dass eine Wasseraufnahme gänzlich unterbunden wird. Dieser Vorgang wird als primäres Wurzelwachstum bezeichnet.

Das sekundäre Wurzelwachstum findet hauptsächlich bei Dikotyledonen und den Nadelbäumen statt. Dabei teilen sich die Zellen des Kambiums der Wurzel an der Innenseite der Baststränge. Anfangs wächst die Wurzel noch sternförmig, bis sich die einzelnen Kambium-Streifen zusammenschließen und ein konzentrischer Kreis entsteht. Das anfänglich primäre Phloem wird nach außen gedrückt und von nun an als sekundäres Phloem bezeichnet (KUTSCHERA & al., 2009).

TREIBER (1981) merkt an, dass die Wurzelspitze den höchsten Sauerstoffverbrauch und damit einhergehend den höchsten Kohlendioxydausstoß hat.

Verzweigungen entstehen entweder an der Wurzelspitze oder dort, wo sich bereits Dauergewebe an der Mutterwurzel gebildet hat (KUTSCHERA, 2010).

3.1.2. TYPISCHE AUSPRÄGUNGEN DER WURZELSYSTEME

Keimt der Samen einer dikotylen Pflanze, so entwickeln sich Spross und Wurzel aus eigenständigen Vegetationspunkten. Dieses allorhize Wurzelsystem passt sich an die Gegebenheiten am Standort an und verändert sich auch über die Jahre hinweg. Die Ausgestaltung soll nicht nur die Nährstoffversorgung gewährleisten, sondern auch der Pflanze Standsicherheit geben und eine Verankerung im Boden darstellen, damit sie bei Sturm nicht entwurzelt wird (TREIBER, 1981; BÖHLMANN, 2009). Man unterteilt:

- Flachwurzelsystem (mit und ohne Senkerwurzeln)

Ein flaches Wurzelsystem ist gut geeignet für die Besiedelung von flachgründigen Standorten. Manche Baumarten bilden - um die Standfestigkeit zu erhöhen - Senkerwurzeln aus. Diese wachsen wie Dübel senkrecht in den Boden und verankern das weitläufige, flache Wurzelsystem. BÖHLMANN (2009) bezeichnet Wurzelanläufe als Indikatoren für Flachwurzler. Bei vielen exotischen Pflanzen sind diese Anläufe sehr auffällig ausgebildet. Als Beispiel für heimische Flachwurzler gilt die Fichte (BÖHLMANN, 2009; KUTSCHERA, 2010).

- Herzwurzelsysteme

Das Herzwurzelsystem bildet eine Mischform zwischen Flachwurzelsystem und Pfahlwurzelsystem. Die Wurzeln können ebenso wie bei dem zuerst genannten System bis weit über den Kronenschatten hinausreichen. Dafür brauchen die Bäume gut durchwurzelbare Böden. Unter den heimischen Baumarten weisen unter anderem die Tanne und die Rotbuche Herzwurzelsysteme auf (BÖHLMANN, 2009).

- Pfahlwurzelsysteme

Auf tiefgründigen Standorten können gewisse Arten auch Pfahlwurzeln ausbilden. Diese Strategie verfolgen jene Arten, die durch wechselnde Grundwassergegebenheiten darauf angewiesen sind, tiefreichende Wurzelsysteme

auszubilden um über Trockenzeiten hinwegzukommen. Eine heimische Baumart mit Pfahlwurzelsystem ist die Kiefer (BÖHLMANN, 2009).

Das Gegenteil zur Allorhizie ist die Homorhizie. Dabei sind die Wurzeln sprossbürtige. Es gibt also nur einen Vegetationspol aus dem sich Spross und Wurzeln bilden. Dieses Prinzip verfolgen vor allem Farne (= primäre Homorhizie) (BÖHLMANN, 2009; KUTSCHERA, 2010). Ihrem Entstehungsort zufolge werden diese Wurzeln als sprossbürtige Wurzeln bezeichnet. Bilden allorhize Pflanzen in sprossbürtige Wurzeln, so bezeichnet man dies als sekundäre Homorhizie (KUTSCHERA, 2010).

3.1.3. EINFLUSSFAKTOREN – WAS BEEINFLUSST DIE WURZELBILDUNG?

Die Einflussfaktoren wirken maßgeblich auf das Wurzelsystem ein. Von ihnen hängt ab, ob sich eine Pflanze überhaupt etablieren kann oder ob die Überlebenschancen gleich null stehen. Sie sind dafür mitverantwortlich wie das Wurzelsystem sich entfalten kann.

3.1.3.1. TEMPERATUR

Das Haarwurzelsystem ist in einem warmen Substrat begünstigt (KUTSCHERA & al., 2009; SEBBAN, 2003). Dies zeigt sich sehr schön bei der Keimung: KUTSCHERA & al. (2009) berichten von Messungen an *Zea mays*. Dabei wurden Samen bei Temperaturen von 33 °C, 25 °C und 20 °C gekeimt. Die Samen, die der höchsten Temperatur ausgesetzt waren, ließen ihre erste Wurzel binnen 24 Stunden auf 7-9 cm sprießen. Jene Samen, die bei 25 °C keimten, erreichten nur einen Wert von 4-5 cm und die Samen mit der niedrigsten Temperatur konnten nach 24 Stunden ihre Wurzel nur um 1-1,5 cm verlängern (KUTSCHERA & al., 2009).

Je stärker der Spross durch kühle Temperaturen oder zu wenig Wasser gehemmt wird, desto stärker verschiebt sich das Wurzel-Spross-Verhältnis zugunsten der Wurzel. Gut zu beobachten ist dieses Phänomen in Wüsten- oder Halbwüstengebieten sowie bei Pflanzen der oberen alpinen Stufe (KUTSCHERA & al., 2009).

3.1.3.2. LICHT

Umgekehrt verläuft es, wenn eine Pflanze unter Lichtmangel leidet. Dann verschiebt sich das Wurzel-Spross-Verhältnis zugunsten des Sprosses. In der landwirtschaftlichen Praxis kann

diese Erkenntnis ausschlaggebend in der Berechnung der Standweite von Pflanzen sein, da ein weitläufiges Wurzelsystem das Überleben der Pflanze absichert (KUTSCHERA & al., 2009).

Manche Wurzeln nehmen ihren Anfang über der Erdoberfläche und dringen erst später in den Boden ein. An diesen Wurzelteilen kann man eine, durch Anthocyane hervorgerufene, Rotfärbung erkennen. Diese Färbung kann durch verschiedene Belichtungsintensitäten, verursacht durch den Wechsel von Tag und Nacht oder durch unterschiedliche Beschattung und Besonnung, streifenförmig auftreten (KUTSCHERA & al., 2009).

3.1.3.3. WASSER UND LUFT

Wasser und Luft kann eine Wurzel erst aufnehmen, wenn sie nicht mehr von der Wurzelhaube oder deren Schleim umhüllt wird. Das Wasser wird aufgrund der hohen Zuckergehalte in den Zellen durch Osmose regelrecht in die Zellen hineingesaugt. Um dessen Weitertransport zu ermöglichen ist Sauerstoff von Nöten. Dieser wird durch die Interzellularen des Innenrindenparenchyms in die Wurzel geleitet (KUTSCHERA & al., 2009).

Herrscht zu große Trockenheit, so biegen die Seitenwurzeln, nachdem sie das Pericambium verlassen haben, ab und wachsen innerhalb der Wurzel, konkret innerhalb des Rindenparenchyms senkrecht weiter. Immer in Längsrichtung der Mutterwurzel. Somit wird das Weiterwachsen der Wurzelspitze ebenjener gesichert. Spezialisten wie *Welwitschia mirabilis* können Seitenwurzeln auch wieder in der Mutterwurzel aufnehmen, nachdem sie bereits ausgetreten sind (KUTSCHERA & al., 2009).

3.1.3.4. NÄHRSTOFFE

Man kann innerhalb der Nährstoffe vier Gruppen unterscheiden:

- Lösliche Nährstoffe
- Nährstoffe, welche primär durch Diffusion bewegt werden
- Nährstoffe, welche durch mikrobielle Symbiose erhalten werden und
- Nährstoffe, welche durch Mobilisationsprozesse in der Rhizosphäre erworben werden.

Zu den löslichen Nährstoffen gehören zum Beispiel Nitrate, Sulfate, Calcium oder Magnesium. Sie werden durch den Massenfluss des Wassers in die Wurzeln eingebracht.

Literaturübersicht

Phosphat, Kalium, Ammonium oder diverse Metalle können durch Diffusion in die Wurzel der Pflanze zugänglich gemacht werden (MANSCHADI, 2016).

Mithilfe von Knöllchenbakterien oder bei Gemüse durch mikrobielle Symbionten kann die Pflanze an Stickstoff gelangen. Ist eine arbuskuläre Mykorrhiza vorhanden, so verhilft der Pilz der Pflanze zu Phosphor und Zink (MANSCHADI, 2016).

Eisen kann in sehr basischen Böden nur durch Mobilisationsprozesse gewonnen werden. Bildet eine Pflanze Proteoidwurzeln aus, so leidet sie meist bereits an Phosphormangel und versucht ihn durch diese Wurzelveränderung zu beheben. Dabei werden sehr viele Wurzeln, dicht gedrängt nebeneinander produziert (MANSCHADI, 2016).

Durch Phosphor wird die Wurzelform sehr stark beeinflusst. Da dieser im Boden nicht mobil ist muss die Pflanze aktiv danach auf die Suche gehen. Pflanzenarten und -sorten, die einen niedrigeren „root growth angle“ (RGA) aufweisen sind häufig besser dazu in der Lage die Phosphoraufnahme zu steigern (MANSCHADI, 2016).

Kurz nach dem Umtopfen sollte man phosphorbetont düngen. Damit erreicht man, dass die Haarwurzelbildung verbessert wird (SEBBAN, 2003).

Eine Düngung muss immer angepasst an die Pflanzenart erfolgen.

3.1.3.5. MYKORRHIZA

Das griechische Wort Mykorrhiza bedeutet wörtlich übersetzt Pilzwurzel, es wird aber auch als Synonym für die Lebensgemeinschaft zwischen Pilz und Pflanze verwendet. Es gibt nur wenige Pflanzenfamilien, die keine solche Partnerschaft eingehen. Dazu gehören die Brassicaceae und die Cyperaceae (BÖHLMANN, 2009).

Die Hyphen dringen knapp hinter der mit Schleim bedeckten Spitze des Wurzelhaares in die Pflanze ein. Dort ist die Zellwand noch sehr dünn (KUTSCHERA & al., 2009; HUBER, 1961). Pflanzen gehen diese Art der Bindung ein, um besser an Wasser und Nährstoffe, hier liegt das Hauptaugenmerk vor allem bei Phosphor und Kalium, zu gelangen. Durch die verbesserte Versorgung kann eine Steigerung der Wachstumsleistung um 50 bis 100 % beobachtet werden (BÖHLMANN, 2009).

Der Pilz bekommt hingegen von der Pflanze vor allem Kohlenhydrate, aber auch Vitamine. Er kann diese nicht selbst produzieren, da er kein Chlorophyll hat (BÖHLMANN, 2009).

Literaturübersicht

BÖHLMANN (2009) beschreibt, dass der Pilz die Kohlenhydratabgabe durch Einspeisung von β -Indolyl-Essigsäure (IES), einem Wachstoffs, in die Wurzel selbst in die Höhe treiben kann. Wird diese Zufuhr herabgesetzt, so kann sich der symbiontische Pilz durchaus zum Parasiten wandeln und zu einer, der Pflanze gegenüber destruktiven Lebensweise übergehen (BÖHLMANN, 2009).

Es gibt zwei Arten von Mykorrhizen:

- die ektotrophe Mykorrhiza und
- die endotrophe Mykorrhiza oder auch vesikular-arbuskuläre Mykorrhiza (VA-Mykorrhiza).

Bei der zuerst genannten Form dringen einzelne Pilzhyphen in die Wurzel ein. Dabei werden die Mittellamellen des Wurzelrindengewebes aufgelöst und ein Kontakt zur Wirtspflanze hergestellt. Das Gros der Myzelfäden bleibt außerhalb der Wurzel und ummantelt diese nur. Pilze, welche eine ektotrophe Mykorrhiza eingehen, gehören zumeist den Basidio- und Ascomyceten an. Auch Phycomyceten bilden diese Art der Mykorrhiza aus. Sie ermöglicht Baumarten das Überleben in gemäßigten und kalten Klimazonen und es gibt zirka 5.000 Pilzarten, welche zu dieser Bindung im Stande sind (BÖHLMANN, 2009).

Die endotrophe Mykorrhiza zeichnet sich dadurch aus, dass es keinen Hyphenmantel gibt und die Pilzfäden direkt in die Wurzelrindenzellen hineinwachsen. Dort bilden sie „bläschen- (vesikuläre) oder büschelförmig verzweigte (=arbuskuläre) Gebilde (= Haustorien). Sie sind evolutionär nicht so fortgeschritten wie jene Pilze der ektotrophen Mykorrhiza. Nur etwa 30 Arten bilden endotrophe Mykorrhizen aus (BÖHLMANN, 2009).

Eine Pflanze muss nicht zwingend ihr ganzes Leben mit einem einzigen Pilzpartner verbringen. Einerseits können diese Pilze je nach Lebensphase wechseln, andererseits sind Bäume dazu in der Lage mehrere Bindungen gleichzeitig einzugehen (BÖHLMANN, 2009).

3.2. TOPFEIGENSCHAFTEN

Die zwei geläufigsten Topfmateriale sind Kunststoff und Ton. Kunststofföpfe unterscheiden sich in vielen Faktoren - sowohl in positiver als auch in negativer Hinsicht - von Tontöpfen. Auch die Topfgröße trägt entscheidend zur Pflanzenentwicklung bei. Kulturgefäße sollten aus der Sicht der Pflanze ihre Entwicklung optimal sicherstellen, eine

gute Standfestigkeit aufweisen und ein leichtes Entnehmen aus dem Gefäß ermöglichen, ohne sie zu schädigen. Von der wirtschaftlichen Seite sollten Pflanzgefäße ein schnelles und kostengünstiges Arbeiten ermöglichen, einen geringen Platzbedarf haben, um platzsparend zu wirtschaften (sowohl im Lager, als auch auf dem Kulturtisch), sowie für alle Bewässerungsverfahren tauglich sein. Bruch- und Schlagfestigkeit sind essentiell, um Verletzungen an der Pflanze oder an der Arbeitskraft vorzubeugen. Ebenso müssen diese beiden Eigenschaften für das Verpackungs- und Transportwesen gegeben sein (SEIPEL, 2007).

Aus pflanzenschutztechnischer Sicht müssen die Gefäße leicht zu säubern und zu entkeimen sein (SEIPEL, 2007).

Die Umwelt sollte durch die Kulturgefäße nicht belastet werden. Die Belastung lässt sich auch dahingehend reduzieren, indem man Pflanzgefäße wiederverwendet, sie recycelbar sind oder kompostiert werden können (SEIPEL, 2007).

3.2.1. MATERIAL

Die Vorteile von gebranntem Ton liegen darin, dass durch die porösen Wandungen Wasser, Nährstoffe und Gase gut hindurchdiffundieren können. Dadurch entstehen kaum Gießschäden und die Wurzeln orientieren sich nach außen. Es kommt also zu einer guten Ballenbildung. Große Tontöpfe haben schon alleine aufgrund ihres Gewichtes eine gute Standfestigkeit und sind neu ebenso wie verwittert optisch ansprechend. Bei Ton handelt es sich um ein natürliches, umweltfreundliches Material (SEIPEL, 2007). Geht ein Topf zu Bruch, lassen sich die Scherben weiterverwenden. Entweder als Beimengung zum Substrat, um das Wasserhaltevermögen zu verbessern oder – bei einer entsprechenden Scherbengröße – als Abdeckung für das Drainageloch.

Die Nachteile können aus den Vorteilen resultieren: durch die porösen Wandungen liegt der Wasserverbrauch um bis zu $\frac{1}{3}$ höher als bei Plastiktöpfen. Dies zieht eine höhere Verdunstungskälte nach sich, welche wiederum auf höhere Heizenergie und eine hohe Luftfeuchtigkeit hinausläuft (SEIPEL, 2007). Feuchtigkeitsliebende Pflanzen wie zum Beispiel viele *Salix* sp. sollten gar nicht in Tontöpfe gepflanzt werden. Andererseits sind Tontöpfe für trockenheitsliebende Pflanzen sehr gut geeignet. Aufgrund der Verdunstung setzt sich Salz an den Wänden ab. Außerdem kommt es zur Algenbildung. Beides lässt sich schwer reinigen (SEIPEL, 2007). Ton hat zudem ein hohes Gewicht. Neben der Belastung für den Körper stellt dieses Gewicht auch eine Belastung für die Kulturtische dar. Die Stabilitätsanforderungen

Literaturübersicht

müssen hier genauestens beachtet werden. Die Schwere der Ware schlägt sich ebenso in den Transportkosten nieder (SEIPEL, 2007). Es muss auch beachtet werden, dass Tontöpfe nicht unbegrenzt stapelbar sind, weil sie zerbrechlich sind. Daher benötigt man auch einen entsprechend großen Lagerplatz (SEIPEL, 2007). In der Anschaffung liegt der Preis für Tontöpfe deutlich über dem von Kunststofföpfen (SEIPEL, 2007).

Mithilfe letzterer lässt sich wassersparender wirtschaften, da kein Wasser über die Topfwand verdunsten kann. Somit werden auch keine Nährstoffe abtransportiert. Die oben genannten Probleme, welche die Verdunstung nach sich ziehen kann, bleiben aus. Man benötigt keine zusätzliche Heizenergie, die Luftfeuchtigkeit ist geringer, dadurch kommt es nicht zum Veralgen oder Verkalken der Töpfe und sie sind leicht zu reinigen. Durch ihr geringes Gewicht und ihre relativ hohe Bruchempfindlichkeit stellen sie kaum eine Belastung für Körper und Kulturtisch dar. Ebenso fallen sie bei den Transportkosten kaum ins Gewicht, da die Anschaffungskosten niedriger sind. Außerdem sind diese Töpfe für Topfmaschinen geeignet. Daraus resultiert eine hohe Arbeitsproduktivität. Zudem lassen sie sich raumsparend stapeln (SEIPEL, 2007).

Doch auch Kunststofföpfe haben Nachteile: Durch ihre Undurchlässigkeit kann es leicht zu Gießschäden kommen. Der Wurzelballen orientiert sich tendenziell eher nach innen und unten. Darunter leidet die Ballenfestigkeit. Außerdem besitzen sie durch ihr geringes Gewicht kaum Standfähigkeit. Die Pflanzen kippen leichter um und es kann zu Schädigungen kommen (SEIPEL, 2007).

Töpfe können auch aus anderen Materialien hergestellt werden:

Erdpresstöpfe sind die nachhaltigere Alternative zu Torfpresstöpfen. Sie haben den Vorteil, dass jeder Betrieb sie selbst mittels Erdpressen herstellen kann. Zudem können bei richtiger Fertigung die Pflanzen die Wände durchwachsen. Daher müssen die Pflanzen beim Umtopfen oder Einpflanzen auch nicht ausgetopft werden. Nachteilig kann es sein, wenn das richtige Porenvolumen nicht erzielt wird. Dann entstehen Probleme mit dem Luft- und Wasserhaushalt. Außerdem dürfen die Töpfe nicht bröckeln. Werden die Töpfe ordentlich gepresst, mit einem optimalen Porenvolumen, dann kann sich der Wurzelballen optimal ausbilden (SEIPEL, 2007).

Papiertöpfe bestehen aus recyceltem Altpapier, können platzsparend aufbewahrt werden, da sie zusammenfaltbar sind und können beim Auspflanzen oder Umtopfen einfach am Ballen

verbleiben. Die Bildung des Wurzelballens und das Wurzelwachstum können ungestört erfolgen. Manche Varianten sind gefaltet wie eine Ziehharmonika und unten offen, andere Formen sehen aus wie die bekannten Plastiktöpfe, bestehen aber vollkommen aus Altpapier. Die Töpfe werden mit unterschiedlicher Haltbarkeit angeboten. Immer wurde in den Wänden Stickstoff angereichert, um einen N-Mangel beim Verrotten der Töpfe zu vermeiden (SEIPEL, 2007).

Gittertöpfe aus Kunststoff ermöglichen, wie die Töpfe aus Papier, eine gute Ausformung des Wurzelballens. Theoretisch könnte man die jeweilige Pflanze damit auch direkt auspflanzen. Da es sich aber um Töpfe aus Polyethylen handelt, können sie nicht kompostiert werden (SEIPEL, 2007).

3.2.2. DIE TOPFGRÖSSE UND IHRE AUSWIRKUNGEN

Bei der Topfauswahl ist das Verhältnis von Krone zu Wurzel zu beachten (DIETIKER, 1989; KAWOLLEK, 1992).

Nach KAWOLLEK (1992) sollten für Bonsai die Ausmaße der Schale wie folgt sein: Die Höhe des Bonsaigefäßes entspricht der Dicke des Stammes und die Schalenlänge sollte zumindest $\frac{2}{3}$ der Stammlänge aufweisen. Eine Ausnahme stellen sogenannte Kaskadenformen dar, bei denen die Pflanze nach unten hängt. Sie brauchen dementsprechend eine ganz andere Topfform.

Für „normale“ Pflanzen sollten ausreichend große Pflanzgefäße gewählt werden, da sonst ungewollt ein Bonsai gezogen wird, denn kleine Töpfe bewirken ein vermindertes Spross- und Wurzelwachstum. Der Pflanze steht in zu kleinen Töpfen kaum Porenvolumen zur Verfügung, welches den Wurzeln Sauerstoff und Wasser liefern kann (NESMITH & DUVAL, 1998). Selbst wenn sie anschließend ausgepflanzt und ausreichend gewässert werden, stellen sich oft Symptome von Trockenstress ein. Dies liegt daran, dass die Pflanzen die Evapotranspiration nicht ausgleichen können (ALONI & al., 1991, in NESMITH & DUVAL, 1998; KRIZEK & al., 1985, in NESMITH & DUVAL, 1998; BILDERACK & FONTENO, 1987, in NESMITH & DUVAL, 1998). Sowohl bei *Rhododendron* x sp, als auch bei *Solanum lycopersicum* konnten in größeren Töpfen größere Pflanzen mit mehr Biomasse gezogen werden (KEEVER & al., 1985, in NESMITH & DUVAL, 1998; PETERSON & al., 1991, in NESMITH & DUVAL, 1998). Bei den Tomaten wurde zusätzlich eruiert, dass sie in kleinen Töpfen eine verkürzte Blütezeit aufweisen und in voluminöseren Pflanzgefäßen mehr Früchte

ausbilden, dementsprechend einen höheren Ertrag liefern und gesünder wachsen (RUFF & al., 1987, in NESMITH & DUVAL, 1998; WESTON & ZANDSTRA, 1986, in NESMITH & DUVAL, 1998; PETERSON & al., 1991, in NESMITH & DUVAL, 1998).

Interessant ist auch, dass jede Kultur anders auf die Topfgröße reagiert. Somit kann keine allgemein gültige Aussage getroffen werden. Zudem ist auch der Zeitraum, den eine Art in einem (kleinen) Topf verbringen muss, relevant (NESMITH & DUVAL, 1998).

3.2.3. AIR-PRUNING

Air-pruning stellt den Mittelweg zwischen Ton- und Kunststofföpfen dar. MARLER & MUSSER (2016) beschreiben, dass die Wurzeln durch den Luftkontakt „beschnitten“ werden sollen. Dies geschieht durch Luftlöcher, welche an strategisch wirksamen Punkten in die Topfwand eingelassen werden. Auch LOUPPE & OUATTARA (1992) merken an, dass die Wurzeln durch den Kontakt zur Luft absterben.

Bereits 1992 publizierten LOUPPE & OUATTARA ihren Versuch mit air-pruning Systemen im Vergleich zu Standard-Kunststofföpfen. Sie führten ihr Experiment mit *Faidherbia albida* durch und stellten fest, dass 15 % der Keimlinge in den Kunststofföpfen durch die Drainagelöcher wurzelten und dadurch wurde ihnen eine Wurzelverformung zuteil. Die Pfahlwurzeln der Pflanzen im air-pruning-System stoppten am Ende der Röhre. Allerdings wiesen einige Feinwurzeln einen Ringelwuchs auf. Trotzdem konnten die Wissenschaftler eine homogene Wurzelverteilung beim air-pruning-System nachweisen. In den Kunststofföpfen war die Verteilung auf den Topfboden beschränkt (LOUPPE & OUATTARA, 1992).

Es konnte auch festgestellt werden, dass bereits im air-pruning-System neue Pfahlwurzeln aus lateralen Wurzeln gebildet wurden.

Was die Sprosshöhe anlangt, so sind die Pflanzen aus dem air-pruning-System sowohl zum Auspflanzzeitpunkt, als auch nach drei Monaten im Feld eine Spur kleiner als die anderen beiden Möglichkeiten. Allerdings ist das Ergebnis nicht signifikant. Auch in den in Tab. 1 dargestellten Parametern unterscheidet sich die Variante „air-pruning“ nicht signifikant von den anderen. Trotzdem vertreten LOUPPE & OUATTARA (1992) die Ansicht, dass das air-pruning-System erfolgreich getestet wurde, da die Wurzelsysteme in den besagten Behältnissen mehr sekundäre und mehr Feinwurzeln ausbilden. Auch werden vermehrt

Literaturübersicht

Nodien gebildet, was beim Auspflanzen von Vorteil sein kann. Außerdem wird das Wurzelsystem nicht gestört und bleibt dadurch vollkommen funktionsfähig.

Tab. 1: Wurzelparameter und das Gewicht der Sprosse von *Faidherbia albida*-Keimlingen zur Pflanzung ($p \leq 0,01$) (modifiziert nach LOUPPE & OUATTARA, 1992).

	<i>Air pruning</i>	<i>Getopft und ungeschnitten</i>
<i>Wurzelhalsdurchmesser [mm]</i>	3,7	3,7
<i>Durchmesser 10 cm unter Bodenniveau [mm]</i>	5,1	5,0
<i>Prozentanteil Ringwurzel [%]</i>	34	59
<i>Anzahl neuer Pfahlwurzeln</i>	1,5	2
<i>Durchmesser neuer Pfahlwurzeln 10 cm unter Container [mm]</i>	1,8	2,1
<i>Trockenmasse Spross [g]</i>	3,4	4,3
<i>Wurzelmasse zur Pflanzung [g]</i>	2,1	2,7
<i>Wurzelmasse 3 Monate nach der Pflanzung [g]</i>	2,2	2,4

MARLER & MUSSER (2016) pflanzten *Serianthes nelsonii*- Keimlinge in normale Kunststofftöpfe (Kontrolle), Töpfe für „chemical pruning“, die innen mit einer Kupferbeschichtung versehen sind und „air-pruning“-Töpfe.

Beide Varianten sollten sich gegenüber der Kontrolle positiv auf das Wurzelwachstum auswirken. Alle Töpfe hatten ein Fassungsvermögen von 290 ml und wurden mit einer Substratmischung aus 60 % Torf und 40% Perlit befüllt. Eine Seite der Töpfe wurde durch eine Glasplatte ersetzt um erkennen zu können, wann die ersten Wurzelspitzen an den Rand des Topfes stießen. Nachdem die Pflanzen etwa vier Monate in den Töpfen wurzelten, wurden sie in mit Sand befüllte Wurzelkästen umgepflanzt. Darin konnten sie einen weiteren Monat lang wachsen. Anschließend wurden die Wurzeln ausgewaschen und vermessen.

Es wurde keine Beeinflussung der Stammhöhe, des Stammdurchmessers und der Blattanzahl durch die Topfvarianten feststellen. Alle Pflanzen waren gleich gesund und robust über die gesamte Untersuchungsperiode. Allerdings gab es Unterschiede an der Oberfläche des Wurzelballens: Die Pflanzen, welche in „air-pruning“-Töpfen wuchsen, wurzelten kaum seitlich bis zum Topfrand. Im „chemical-pruning“-System konnten gar keine Wurzeln am äußeren Rand festgestellt werden, die Kontrolle durchwurzelte den gesamten Wurzelballen (MARLER & MUSSER, 2016). Außerdem ist die Anzahl der Tage, welche die Wurzeln benötigen, um die Glasscheibe zu erreichen, stark von der Topfform abhängig: Bei dem „air-pruning“-System waren binnen kürzester Zeit Wurzelspitzen am Glas zu sehen. Die Kontrolle benötigte dafür am längsten (MARLER & MUSSER, 2016). Auch die Lage der Wurzeln an der Glasscheibe wird durch die Töpfe bestimmt. Beim „air-pruning“-System lagen 58 % der Wurzeln in den oberen zwei Dritteln. Beim „chemical-pruning“ waren es nur 29% und bei der Kontrolle waren es überhaupt nur 16 % (MARLER & MUSSER, 2016). Das Wurzelwachstum war in den beiden Versuchsvarianten mit 12 mm/ Tag gleich. Die Kontrolle erreichte nur Werte von 8 mm/ Tag (MARLER & MUSSER, 2016). Nach der Auswaschung der Wurzeln wurde festgestellt, dass alle Pflanzen dasselbe Wurzelwachstum hatten. Auch die Wurzellänge und das Gewicht, sowie die Länge der im Sand gewachsenen Wurzeln wurde nicht beeinflusst (MARLER & MUSSER, 2016). Die Autoren beenden ihren Artikel damit, dass die air-pruning Töpfe bessere Pflanzen hervorbringen, welche extensiveres laterales Wurzelwachstum aufweisen (MARLER & MUSSER, 2016).

3.3. EINBLICK IN DIE WELT DER BONSAI UND DEREN WURZELRAUM

Da die Töpfe für den Versuch ihren Ursprung in der Bonsaizucht haben, wird nun ein kurzer Abriss aus der Geschichte der Bonsai und deren Kultur gegeben.

Die Bonsaierziehung ist eine aufwendige Kunst aus dem asiatischen Raum. Ihre Anfänge liegen bereits um 200 v. Chr. in China. Erst einige Jahrhunderte später kam mit buddhistischen Mönchen die Kunst des Gestaltens von kleinen Bäumen nach Japan. Zwischen 1615 und 1867 wurde der japanische Stil immer schlichter, eleganter und raffinierter. Die strengen Gestaltungskriterien wurden Anfang des 19. Jahrhunderts festgelegt (SEBBAN, 2003).

Bei einem Bonsai handelt es sich um ein miniaturistisches Abbild der Natur (SEBBAN, 2003; DIETIKER, 1984; KAWOLLEK, 1992; RÜGER, 2013). Bei der Gestaltung eines Bonsais wird

Literaturübersicht

versucht ein junges Gehölz aussehen zu lassen wie einen hunderte Jahre alten Baum, der von Wind und Wetter geprägt worden ist. Zudem müssen die Bonsais, was auf Deutsch so viel bedeutet wie „Baum, in eine Schale gepflanzt“ (DIETIKER, 1984), mit einer kleinen Schale und sehr wenig Substrat auskommen. Das wichtigste an den Bonsaischalen sind die großen Löcher am Schalenboden. Sie dienen dazu, dass das überschüssige Wasser ablaufen kann und der Wurzelballen ausreichend belüftet wird (DIETIKER, 1984). Für junge Bonsai gilt die Regel, dass sich das Kronenvolumen nach dem Wurzelvolumen richtet. Bei älteren, „ausgewachsenen“ Miniaturbäumchen ist die Hälfte des Kronenvolumens ausreichend. Wird ein Sämling zu einem Bonsai, so muss er anfangs einen Kronen- und Wurzelschnitt über sich ergehen lassen. Beim Wurzelschnitt ist darauf zu achten, möglichst wenig Feinwurzeln zu erhalten. Natürlich gibt die Schalenform das Volumen vor, mit welchem sich das Bäumchen begnügen muss. Laubbäume werden wurzelnackt bearbeitet, Nadelbäume müssen mit der am Wurzelballen anhaftenden Erde bearbeitet werden um sicherzugehen, dass die Mykorrhiza überlebt. Besteht die Gefahr, dass bei Letzteren zu viele Feinwurzeln abgeschnitten werden, kann man die Pflanzen auch Stück für Stück an eine kleinere Schale „gewöhnen“, also Jahr für Jahr in einen etwas kleineren Topf umpflanzen (DIETIKER, 1984). KAWOLLEK (1992) arbeitet das Thema „Bonsai“ aus der Sicht der Baumschulen auf. Er beginnt bei der Pflanzenanzucht. Der Beginn ist bei allen Pflanzen gleich. Je nach Kulturart werden die Samen entsprechend ihrer Bedürfnisse angesät, zum Keimen gebracht und verschult. Bis zu einer Pflanzhöhe von 60 cm und einer Topf-/ Containergröße von 15- bis 24 cm laufen alle Schritte ab wie bei „gewöhnlichen“ Pflanzen. Anschließend werden die Pflanzen in Bonsaigefäße verpflanzt. KAWOLLEK (1992) macht - ebenso wie DIETIKER (1984) - darauf aufmerksam, dass das Verhältnis von Spross zu Wurzel beachtet werden muss.

Bei einem älteren Bonsai muss man vor dem Umtopfen entscheiden, ob er noch größer werden soll, oder ob er nicht mehr weiterwachsen darf. Hat der Baum noch nicht seine Endgröße erreicht, wird er ohne Wurzelschnitt in ein größeres Gefäß verpflanzt. Hat der Bonsai hingegen bereits seine endgültige Form erreicht, so werden verletzte und abgestorbene Wurzeln und etwa $\frac{1}{3}$ der alten Bonsaierde aus dem Wurzelwerk entfernt. Anschließend muss neues Substrat eingearbeitet werden (DIETIKER, 1984). Dies bezeichnet man dann als Rücktopfen (KAWOLLEK, 1992).

Damit ein Bonsai überhaupt in so einem beengten Raum überleben kann, muss er ausreichend gedüngt werden (DIETIKER, 1984; KAWOLLEK, 1992; RÜGER, 2013). Die speziellen Bonsaidünger sind sehr Phosphor und Kalium betont, damit die Pflanze und insbesondere das

Literaturübersicht

Blatt- und Wurzelwerk, gesund bleibt. Der Stickstoffanteil ist gering, damit die Pflanzen nicht viel Masse produzieren (RÜGER, 2013). Für Nadelbäume kann auch die Mykorrhiza ausschlaggebend sein, da sie einen geringeren Feinwurzelanteil ausbilden (DIETIKER, 1984).

3.1. KULTURBESCHREIBUNGEN

3.1.1. *SOLANUM LYCOPERSICUM L. (TOMATE)*

Wissenschaftlicher Name	<i>Solanum lycopersicum L.</i>
Sektion	<i>Solanum sect. Lycopersicon</i>
Tribus	<i>Solaneae</i>
Gattung	<i>Solanum</i> (Nachtschatten)
Familie	<i>Solanaceae</i> (Nachtschattengewächse)
Ordnung	Solanales (Nachtschattenartige)

In unseren Breiten wird die in ihrer Heimat eigentlich mehrjährige Pflanze als einjährige kultiviert (KUTSCHERA & al., 2009, ARVAY, 2011). Die Bezeichnung „Tomate“ geht auf das Wort „tomatle“ zurück, welches die Azteken für die Beere verwendeten. Es leitet sich vom aztekischen „tomana“ ab, was so viel wie „anschwellen“ bedeutet (ARVAY, 2011).

Die Tomate ist in den subtropischen und tropischen Gebieten Amerikas beheimatet. Viele Wildformen findet man heute noch in Bolivien, Peru und Ecuador (ARVAY, 2011, BUCHTER-WEISBRODT, 2016). Von Mexiko aus könnte sie bereits vor dem 5. Jh. v. Chr. in Kultur genommen worden sein, jedoch sind keine archäologischen Funde bekannt, welche diese Annahme bestätigen würden (BRÜCHER, 1989; in KUTSCHERA & al., 2009, ARVAY, 2011, BUCHTER-WEISBRODT, 2016).

Der genaue Zeitpunkt der Ankunft in Europa konnte bis heute nicht belegt werden. Kolumbus kehrte 1498 von seiner zweiten Amerikafahrt zurück. Im Logbuch findet sich kein Vermerk zur Tomate. Er stach noch zwei weitere Male in See, bis er 1506 verstarb. Manche nehmen an, dass die Tomate erst 1523 nach Europa kam. Die erste überlieferte schriftliche Erwähnung findet die Pflanze erst 1544 in einer Schrift des italienischen Arztes Pietro Andrea Matthioli. Die ersten Abbildungen folgen um 1550 von Konrad Gesner und Georg Oelinger (BUCHTER-WEISBRODT, 2016). Fakt ist aber: Nach ihrer Einführung in Spanien eroberte die Pflanze Europa. Vorerst nur als Zierpflanze. Lediglich die Spanier und die Italiener erkannten den hohen Genusswert der Früchte. In den übrigen Ländern hielt sich der Aberglaube, dass die reifen Früchte stundenlang gekocht werden müssen um genießbar zu sein, bis zum ersten

Literaturübersicht

Weltkrieg. Nach 1920 war ihr Siegeszug jedoch nicht mehr aufzuhalten (ARVAY, 2011). Nach FEIERTAG (2016) gibt es weltweit über 20.000 Sorten.

Ihre Wurzeln können gut Wasser speichern. Daher kann die Tomate zeitweise Trockenheit ertragen. Kälte verträgt sie allerdings ganz schlecht (KUTSCHERA & al., 2009). Um eine optimale Ernte zu gewährleisten ist eine ausreichende Wasserversorgung unerlässlich (BUCHTER-WEISBRODT, 2016). Ein weiterer Vorteil dieser Pflanze ist, dass sie recht gut mit sich selbst verträglich ist. Jedoch steigt bei einer zu engen Fruchtfolge die Gefahr verschiedener Krankheiten. Sehr empfindlich reagiert das Nachtschattengewächs auf Calcium-Mangel (KUTSCHERA & al., 2009). Dieser führt zu Blütenendfäule. ARVAY (2011) führt an, dass auch Magnesium- oder Eisenmangel dazu führen können.

KUTSCHERA & al. (2009) benennen *Pyrenochaeta lycopersici*, die Korkwurzelkrankheit, und *Cladosporium fulvum*, die Samtfleckenkrankheit, als häufigste Fruchtfolgeerkrankungen (nach CRÜGER & al., 2002; in KUTSCHERA & al., 2009). Um *Phytophthora infestans* zu vermeiden werden Tomaten in Mitteleuropa heutzutage meist im geschützten Anbau gezogen (ARVAY, 2011). BUCHTER-WEISBRODT (2016) fügt für den Erwerbsanbau noch die *Verticillium*-Welke und die *Fusarium*-Welke an.

Viele Krankheiten sind auf die Gießtechnik zurückzuführen. Die Blätter der Tomatenpflanzen sollten nicht mit Wasser benetzt werden. Um dies die gesamte Vegetationsperiode über sicherzustellen, ist es sinnvoll die Pflanzen entweder in einem Gewächshaus zu ziehen oder ihnen einen Regenschutz zur Verfügung zu stellen. Außerdem sollte immer von unten gegossen werden (BUCHTER-WEISBRODT, 2016).

Zu den häufigsten Schädlingen an der Tomate zählen die Weiße Fliege und Blattläuse (BUCHTER-WEISBRODT, 2016).

Die Sorte 'Moneymaker' kam 1916 in den Handel und ist eine wüchsige, robuste Sorte mit gutem Ertragspotential. Als Nachteil ist aufzulisten, dass sie nicht sehr widerstandsfähig gegen Braunfäule ist. Ihre Früchte sind zwischen 80 und 100 g schwer, rund, rot, mittelfest und mild schmeckend. 'Moneymaker' zählt zu den Runtomaten (BUCHTER-WEISBRODT, 2016).

Mit einer Wuchshöhe von knapp einem Meter bleibt die Sorte 'Roma' deutlich niedriger. Auch sie ist nicht widerstandsfähig gegen Braunfäule. Die Sorte wächst sehr buschig und die Früchte sind dickschalig, festfleischig, schmackhaft und nur zirka 60 g schwer. Sie zählt zu

Literaturübersicht

den Eier- oder Flaschentomaten (BUCHTER-WEISBRODT, 2016). SCHUMANN (2014) gibt an, dass sich die Früchte durch ihre feste Schale auch für den Freilandanbau eignen.

Sät man die Pflanzen selbst an, so muss bedacht werden, dass eine Keimtemperatur von 22 bis 25°C und ein heller Platz von den Tomaten benötigt werden. Zirka acht Wochen benötigen die Jungpflanzen, bis sie ins Freiland gepflanzt werden können. Erst wenn keine Fröste mehr befürchtet werden, können die Pflanzen ausgepflanzt werden. Bezogen auf das Datum hängt dies stark von der Klimaregion ab. Im Weinbaugebiet kann das bereits Ende April sein, in spätfrostgefährdeten Regionen nach den Eisheiligen Mitte bis Ende Mai. Die ausgesäten Samen werden nur fünf Millimeter hoch mit Substrat bedeckt. Bei optimalen Verhältnissen entwickeln sich innerhalb von ein bis zwei Wochen die Keimlinge prächtig. Diese werden pikiert und müssen nun Tagestemperaturen von 20 bis 22 °C und Nachttemperaturen von 16 bis 18°C ausgesetzt werden (BUCHTER-WEISBRODT, 2016). Beim Pflanzen der Tomaten sollte man darauf achten, dass sie etwas tiefer gesetzt werden, als sie im Topf waren. Dies fördert die Bildung von Adventivwurzeln. Bis zum Frost können sie nun im Freiland bleiben. Wird es ihnen zu kalt, sterben die wärmebedürftigen Starkzehrer ab. In Erdkultur werden die Pflanzen entweder über die Bewässerung, oder mittels Feststoffdünger versorgt. Wird nach der Pflanzung sofort flüssig gedüngt, so kann auf eine mineralische Grunddüngung verzichtet werden. Stickstoff wird nur bei starker Unterversorgung zugefügt, da die Pflanzen nicht ins Kraut schießen sollen. Die Düngung ist daher Phosphor-, Calcium- und Kalziumbetont (KEUTGEN, 2015).

KUTSCHERA & al. (2009) geben bei der Tomate eine Wurzelhaarlänge von 0,7 – 1,5 mm an. Ihr Wurzelsystem kann je nach Bodenart vor der Blüte bis zu 60 cm und während der Erntezeit sogar bis zu 270 cm tief reichen. Allgemein lässt sich sagen, dass die Tomate über ein Wurzelsystem verfügt, das mehr in die Breite als in die Tiefe geht. Wie tief die Pflanzen wachsen, hängt davon ab, wie warm der Boden ist. Je wärmer, desto tiefer wurzelt die Tomate.

3.1.2. RHODODENDRON L. (ALPENROSE)

Wissenschaftlicher Name	<i>Rhododendron</i> L.
Gattung	<i>Rhododendron</i>
Tribus	<i>Rhododendreae</i>
Unterfamilie	<i>Rhododendroidae</i>
Familie	<i>Ericaceae</i> (Heidekrautgewächse)
Ordnung	<i>Ericales</i> (Heidekrautartige)

Jede Azalee ist ein Rhododendron, „aber nicht jeder Rhododendron eine Azalee“ (FAIRWEATHER, 1989).

Die Gattung *Rhododendron* ist vielfältig: viele der kleinlaubigen Rhododendren haben einen sehr zeitigen Blütezeitpunkt. Sie blühen bereits zwischen März und April. Die meisten sommergrünen Azaleen duften angenehm und zieren den Garten mit leuchtenden Blätter. Japanische Azaleen sind sehr filigran, doch imponieren sie oft mit spektakulären Blütenfarben (BORSTELL & WESTHOFF, 2014).

Die Heimat der Gattung *Rhododendron* erstreckt sich über die ganze Nordhemisphäre. Von Nordamerika über Europa bis nach Japan findet man verschiedene Vertreter der Rhododendren. In Österreich sind die Arten *Rhododendron ferrugineum* und *R. hirsutum* beheimatet. Viele der zirka 800 Arten stammen aus dem asiatischen Raum, besonders aus Südchina und der Himalaja-Region (BORSTELL & WESTHOFF, 2014; CHEERS, 2003, ALBRECHT & SOMMER, 1991).

Rhododendren sind sommergrüne, halbbimmergrüne oder immergrüne verholzte Sträucher oder Bäume. Manche kriechen, andere werden bis zu 15 m hoch. Dementsprechend variieren auch die Blattgrößen. Die zumeist dunkelgrünen Blätter sind häufig elliptisch geformt. Bei immergrünen Arten wirken sie ledrig. Oft glänzen sie und sind dicker. Behaarte Blätter findet man bei sommer- und halbbimmergrünen Azaleen. Entsprechend ihrer Herkunft unterscheiden sich die Blattgrößen, die Winterhärte und die optimalen Wachstumsbedingungen stark. Zu den Blattgrößen ist zu sagen, dass manche alpinen Arten Blätter hervorbringen, die nicht größer als 2,5 cm sind. Bei Arten aus niederschlagsreichen Regionen mit mildem Klima, können Blätter auch bis zu 60 cm groß werden (CHEERS, 2003).

Literaturübersicht

Um etwas mehr Übersicht in diese riesige Gruppe zu bringen, unterteilen Botaniker sie in jene mit und ohne Drüsenschuppen. Oftmals sind diese schwer zu erkennen, daher werden sie von den Gärtnern in sommer- und immergrüne oder in Rhododendren, welche größer und strauchartig wachsen, und Azaleen, also kleine, sommergrüne, oder aber auch kleinblättrige immergrüne Zwergformen, gegliedert (CHEERS, 2003). Viele Hybridzüchtungen erschweren die Übersicht zudem (CHEERS, 2003).

Einer der wenigen Punkte in denen sich die Arten gleichen, sind die Kulturbedingungen: Rhododendren nehmen, im Gegensatz zu vielen anderen Pflanzen, die Nährstoffe über den gesamten Wurzelballen auf. Dieser besteht ausschließlich aus Feinwurzeln. Daher können Rhododendren auch gut in Töpfen gehalten werden. Diese dünnen Wurzeln sind der Grund, weshalb Azaleen und Rhododendren immer ausreichend Feuchtigkeit brauchen. Bei zu wenig Wasser trocknet der Wurzelballen aus, bei zu viel verfaulen sie (BORSTELL & WESTHOFF, 2014; CHEERS, 2003). MOSER (1991) merkt an, dass die Pflanzen einen dichten Wurzelballen ausbilden. Daher können sie selbst im hohen Alter noch recht gut verpflanzt werden, da der Ballen recht kompakt bleibt.

Die Pflanzen bevorzugen einen lockeren, gut durchlüfteten, humusreichen Boden, der möglichst sauer ist (BORSTELL & WESTHOFF, 2014; CHEERS, 2003). Kalkmeidende Arten und Sorten sollten nur mit kalkarmen Leitungs- oder Regenwasser gegossen werden. Zudem kann man mit speziellen Rhododendron- oder Hortensiendüngern bei der Nährstoffversorgung nachhelfen.

Da es sich bei der Gattung Rhododendron hauptsächlich um Waldsträucher handelt, sollten sie unbedingt vor der prallen Mittagssonne geschützt werden. Ein halbschattiger Standort, wie zum Beispiel unter Bäumen wird meist dankbar angenommen. Auch starkem Wind ausgesetzt zu sein, mögen die Pflanzen nicht (BORSTELL & WESTHOFF, 2014; CHEERS, 2003). BORSTELL & WESTHOFF (2014) merken noch an, dass Wurzelkonkurrenz vermieden werden sollte.

Schneidet man die Pflanzen nach der Blüte leicht zurück, so pumpt die Pflanze ihre Energie in die Knospenansätze für das nächste Jahr. Ansonsten wird kaum Pflege benötigt (CHEERS, 2003).

Bei den Krankheiten nennt CHEERS (2003) lediglich die Ohrläppchenkrankheit (*Exobasidium japonicum*). Dabei handelt es sich um eine Pilzinfektion. Durch das rechtzeitige Ausbrechen der befallenen Teile, kann diese Krankheit aber gut im Zaum gehalten werden.

Literaturübersicht

FAIRWEATHER (1989) hingegen weist noch auf Blattläuse, Chlorosen, Trockenfäule der Blüten, Schnecken, Dickmaulrüssler und *Phytophthora cinnamomi* hin. Die Trockenfäule entsteht durch zu viel Wasser. Sei es durch das Wetter oder durch das Gießen. Ist eine Pflanze mit *Phytophthora cinnamomi* infiziert, so ist sie nicht mehr zu retten. Im Winter kann es außerdem passieren, dass der Frost die Rinde sprengt. FAIRWEATHER (1989) empfiehlt daher die Pflanzen im Spätsommer nicht zu sehr zu wässern, damit sie widerstandsfähiger werden.

Rhododendren düngt man am besten regelmäßig von April bis Oktober. Dabei ist darauf zu achten, dass die kalkmeidenden Gehölze stets in saurem Bodensubstrat wurzeln können. Biologische Düngervarianten wären unter anderem Kompost, Kaffeesatz und Hornspäne. Im Handel sind auch spezielle Rhododendron- oder Hortensien Düngermischungen erhältlich, die an die hohen Nährstoffansprüche der Pflanzen angepasst sind. Will man den Pflanzen Gutes tun, so mulcht man sie am besten (SIEMENS, s.a.; Gartenjournal, 2018a).

Für diesen Versuch wurde die Sorte 'Roseum Elegans' von einer lokalen Baumittelkette mit einer angeschlossenen Gärtnerei bezogen. Diese Sorte ist eine Hybride. Nach ALBRECHT & SOMMER (1991) wurde die Sorte vor 1851 von A. Waterer in England gefunden. Sie beschreiben die Blütenfarbe als „lilarosa mit schwacher rotbrauner oder gelblicher Zeichnung“ (ALBRECHT & SOMMER, 1991). Die Blüten werden als klein bis mittelgroß und breit trichterförmig kategorisiert. Die Catawbiense-Hybride blüht mittelspät, von Ende Mai bis Mitte Juni (MOSER, 1991). Ihre Blätter sind „mittelgroß, schmal-elliptisch, auffällig gewölbt und oft rötlichbraun getönt“ (ALBRECHT & SOMMER, 1991). Der mittelhohe, winterharte Strauch hat einen dichten Wuchs (ALBRECHT & SOMMER, 1991; MOSER, 1991).

Bei einem Elternteil der Catawbiense-Hybriden handelt es sich um *R. catawbiense*. Entdeckt wurde die Art 1799 von J. Fraser in den nordamerikanischen Bald-Mountains am Catawba-Fluss. 1813 blühte zum ersten Mal eine der eingeführten Pflanzen in der englischen Baumschule Lee & Kennedy. Trotz enttäuschender Blütenfarbe wurde das Potential dieser Art erkannt und zur Züchtung herangezogen (MOSER, 1991).

Eine positive Eigenschaft von *R. catawbiense*, welche auch an die daraus entstandenen Sorten weitergegeben wurde, ist, dass er seine Blätter bei Frost einrollt um die Spaltöffnungen, welche auf der Blattunterseite liegen, vor Sonne und Wind zu schützen. Dadurch wird die Verdunstung herabgesetzt (MOSER, 1991).

3.1.1. HYDRANGEA MACROPHYLLA (THUNB.) SER. (HORTENSIE)

Wissenschaftlicher Name *Hydrangea macrophylla* (Thunb.) Ser.

Gattung *Hydrangea*

Unterfamilie Hydrangeoideae

Familie *Hydrangeaceae* (Hortensiengewächse)

Ordnung *Cornales* (Hartriegelartige)

Die Gattung *Hydrangea* kommt aus Asien und Nord- bzw. Südamerika. Dort findet man sie jeweils in den gemäßigten Klimazonen an Flussläufen (CHEERS, 2003; ADAMS, 2017). VAN TRIER (2011) erwähnt, dass sie auf allen Kontinenten vorkommen und die Gattung ihren Ursprung genommen haben muss, bevor der Urkontinent Pangäa auseinandergedriftet ist. MALLET (2012) hingegen führt an, dass man weder in Europa, noch in Afrika oder in Ozeanien Hortensien findet.

Bei der Familie der Hortensien handelt es sich um sommer- oder immergrüne Sträucher, Kleinbäume oder Kletterpflanzen. Die meisten Arten können sehr große Blätter entwickeln und einige von ihnen zeigen eine schöne Herbstfärbung. Fast immer sind die Blattränder gezähnt (CHEERS, 2003). Bei den *Hydrangea macrophylla* Sorten handelt es sich zumeist um Hybride aus *H. macrophylla* und *H. aspera* (CHEERS, 2003).

Die Blüte besteht meist aus vielen kleinen, unscheinbaren fruchtbaren Blüten und einigen, durch einen vergrößerten, viergeteilten Kelch, sehr auffälligen unfruchtbaren Blüten. Je nach Zuchtintensität variiert die Zusammensetzung dieser beiden Möglichkeiten (CHEERS, 2003). Bei der *Hydrangea macrophylla*, der Gartenhortensie, wurden die fruchtbaren Blüten zumeist komplett durch Scheinblüten ersetzt. Es gibt auch einige Züchtungen, welche fruchtbare Blüten aufweisen (CHEERS, 2003). Der Alkali- oder Säuregehalt des Bodens bestimmt die Blütenfarbe der Hortensie. Je saurer, desto bläulicher bzw. violetter wird die Farbe, je basischer, desto mehr geht die Blüte ins Rosafarbene oder Rötliche. Eine Farbe bleibt jedoch: Weiße Blüten bleiben weiß. Doch nach der Blüte ist es um die Farbenpracht der *Hydrangea* noch nicht geschehen. Einige Sorten bescheren uns während des Verblühens noch ein weiteres Farbenspektakel: Die Kelche kleiden sich in den verschiedensten Grün- und Rosatönen – unabhängig von der Bodenart (CHEERS, 2003; ADAMS, 2017).

Literaturübersicht

Der Standort sollte humos, durchlässig, nahrhaft und vor allem gut mit Wasser versorgt sein. Staunässe vertragen die Pflanzen allerdings nicht. Zu alkalische Böden führen dazu, dass die Pflanzen Chlorosen bekommen. *Hydrangea macrophylla* gehört zur Gruppe der Hortensien, welche lichtschtig bis sonnig mit direkter Sonneneinstrahlung stehen können. Allerdings haben sie teilweise Probleme mit der Wintersonne. Ist die Strahlung jener zu intensiv, wird das Knospenwachstum zu früh angeregt und die jungen Triebe fallen Spätfrösten zum Opfer (ADAMS, 2017).

VAN TRIER (2011) sowie MALLET (2012) nennen JHP-Phytoplasma als eine der wenigen selten auftretenden, aber doch kritischen Erkrankungen der Hortensie. Dabei färben sich die Blüten giftgrün. Zu bekämpfen ist sie nur indem man alle befallenen Teile großzügig ausschneidet, die kranken Teile im Restmüll entsorgt und das Schneidwerkzeug gründlich desinfiziert. Das *Hydrangea Chlorotic Mottle Virus (HCMV)* ist eine relativ neue, nicht heilbare Virusinfektion. Dabei treten hellgrüne, grüne und gelbe Flecken an der Pflanze auf und die jungen Blätter rollen sich ein. Das Virus tritt nur an *Macrophylla*-Typen auf (VAN TRIER, 2011; MALLET, 2012).

MALLET (2012) nennt zusätzlich den Grauschimmel (*Botrytis*). Das Problem tritt auf, wenn sich ein Standort durch eine geringe Luftzirkulation, eine lang anhaltende hohe Luftfeuchtigkeit und schwere Böden auszeichnet. Interessanterweise tritt die Erkrankung an Pflanzen, welche unter Nadelbäumen wachsen, seltener auf. Eine weitere Pilzkrankheit, die Hortensien gerne befällt, ist der echte Mehltau (*Oidium*) (MALLET, 2012; ADAMS, 2017).

ADAMS (2017) weist auch auf Blattfleckenkrankheiten hin. Gegen alle drei Krankheiten hilft das Entfernen des befallenen Gewebes. Zudem sollte man darauf achten, dass die Blätter möglichst schnell abtrocknen können. Dies erzielt man durch ausreichend große Pflanzabstände und morgendliches Gießen. Beim Gießen sollte man möglichst darauf achten, nur den Wurzelbereich zu wässern und nicht die gesamte Pflanze zu überbrausen (ADAMS, 2017).

Unter den Schädlingen ist die Hortensien-Wollschildlaus, *Eupulvinaria hydrangeae*, zu nennen. Sie sitzt vorzugsweise an der Blattunterseite und auf den Zweigen. Findet man weißliche, sich klebrig anfühlende Häufchen, so hat man die Eier der Wollschildlaus gefunden. Der Schlupf der Larven erfolgt im Spätsommer. Problematisch ist, dass diese Schädlinge auch Ahorn, Linde und Hartriegel befallen. Somit kann man sie schwer eindämmen. Für den Hausgebrauch ist eine Bekämpfung mit chemischen Substanzen nicht

Literaturübersicht

notwendig. Einer der größten Feinde der Wollschildlaus sind die Larven des Marienkäfers. Soll es schneller gehen, so schneidet man die befallenen Triebe großzügig aus und vernichtet sie. Das Laub sollte im Herbst ebenfalls weggeräumt und ebenso vernichtet werden. Ansonsten überwintern die Larven darunter (VAN TRIER, 2011; MALLET, 2012).

Auch Thripse, Erdflöhe und Spinnmilben haben es auf die schönen Zierpflanzen abgesehen. Sie alle sind mit Neem-Präparaten bekämpfbar (MALLET, 2012)

Allgemein ist im Zierpflanzenbereich auch *Otiorynchus sulcatus*, der gefürchte Dickmaulrüssler, ein Problem. Seine Larven fressen auch gerne im Wurzelbereich. Gegen sie wirken Nematoden (VAN TRIER, 2011; MALLET, 2012). Die adulten Dickmaulrüssler fressen gerne an den Blättern. Man erkennt diese Schädlinge an den halbrunden Fraßstellen (ADAMS, 2017).

Zum Problem können auch Nackt- und Gehäuseschnecken werden. Unter den Hortensien stellen *H. arborescens* und *H. paniculata* ihre Leibspeise dar (VAN TRIER, 2011, MALLET, 2012). MALLET (2012) schränkt dabei ein, dass Gehäuseschnecken nur in Glashäusern und Frühbeeten zum Problem werden können. Im Freiland sind die Hortensien für sie uninteressant.

Auch Wühlmäuse fressen die jungen Wurzeln von Hortensien gerne. Abhilfe schaffen nur feinmaschige Drahtkörbe (ADAMS, 2017). Über den Aufbau der Hortensien-Wurzeln lässt sich in der Literatur nichts finden.

Damit Hortensien gut wachsen können und vital bleiben brauchen sie die richtige Versorgung mit Nährstoffen. Erschwerend kommt auch bei dieser Kultur hinzu, dass es sich bei ihr – ebenso wie bei Rhododendren um eine kalkmeidende Pflanze handelt. Sie bevorzugt daher einen pH-Wert im sauren Bereich (pH-Wert: 3,5-4,5). Allerdings hat *Hydrangea* einen sehr hohen Nährstoffbedarf. Im Idealfall kann man mit gut abgelegem Rinderkompost aufdüngen. Dieser ist von Natur aus sauer. Die Düngung mit Kompost hat zudem den Vorteil, dass Humus angereichert wird. Ist dies nicht möglich, so kann man entweder auf getrocknete Rinderdung-Pellets oder auf handelsübliche Hortensien-, aber auch Rhododendrondünger zurückgreifen. Letztere sind zudem oft mit Alaun versetzt. Das Aluminiumsalz bewirkt bei gewissen Sorten der Bauern-Hortensie eine Blaufärbung der Blüten. Weitere Alternativen sind – ähnlich den Rhododendren - Gartenkompost und Kaffeesatz. Das Abfallprodukt der Kaffeezubereitung reicht allerdings nicht alleine aus um die Hortensien gut zu versorgen. Es

Literaturübersicht

sorgt vor allem dafür, dass der pH-Wert im sauren Bereich bleibt. Zusätzlich sollte mit anderen Mitteln aufgedüngt werden (Gartenjournal, 2018b; WOLTERS, s.a.).

Ab Ende Juli wird die Düngung eingestellt, damit die Sträucher gut überwintern können (WOLTERS, s.a.).

4. MATERIAL UND METHODEN

Die Untersuchung der WaLu-Schalen lief insgesamt über drei Jahre. 2015 wurden alle Töpfe mit Tomaten bepflanzt.

Am 12. Mai, 2016 wurden jeweils zwölf Rhododendron- und Hortensienpflanzen, sowie 16 Tomatenpflanzen in die Töpfe, welche nach dem Prinzip der WaLu-Schalen geformt wurden, gepflanzt.

Um den pH-Wert der Rhododendren und Hortensien anfänglich einzustellen, wurde einmalig das Gießwasser einer fünf Liter Kanne mit einem Teelöffel Zitronensäure (Dr. Oetker) versetzt. Lakmuspapier wurde verwendet um den pH-Wert zu kontrollieren. Über die Vegetationszeit hinweg wurde mit RhodoVital Bodenkur (Substral) der pH-Wert gehalten.

Die beiden verholzenden Arten wurden zudem in zwei Gruppen geteilt. Die erste wurde noch im selben Jahr für die Wurzel- und Blattanalysen herangezogen, die zweite wurde im unbeheizten Glashaus überwintert und im darauffolgenden Herbst 2017 verwertet. Die zwei Gruppen setzten sich jeweils aus sechs Pflanzen zusammen, wovon immer drei in Töpfen ohne Lamellen wuchsen und die anderen drei in Töpfen mit Lamellen.

Am 04.10.2016 wurden alle Tomatenpflanzen, aber auch die Rhododendren und Hortensien im Lehr- und Forschungszentrum Jedlersdorf zum letzten Mal bonitiert. Dabei wurden zusätzlich die Blätter gezählt, verwogen und die Wurzeln der Gruppe 1 für weitere Untersuchungen für die Überstellung ans Universitäts- und Forschungszentrum Tulln (UFT) fertig gemacht.

4.1. VERSUCHSSTANDORT IN JEDLERSDORF

Das Lehr- und Forschungszentrum Jedlersdorf liegt am Rande des 21. Wiener Gemeindebezirks und stellt eine Untereinheit der Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf dar (Abb. 1). Es liegt 48°17'17.597“ nördlich und 16°25'42.137“ östlich (www.gpskoordinaten.de). Die Anlage befindet sich auf zirka 162 m Seehöhe.



Abb. 1: Das Grundstück des Lehr- und Forschungszentrums Jedlersdorf (rot eingerahmtes Gebiet); Versuchsstandort wurde mit einem Pfeil markiert (Satellitenfoto genordet) (www.google.at/maps).

Die Töpfe standen im nördlichen Teil des Grundstücks neben dem Glashaus im Schatten einer Pappel. In Abb. 1 wurde der Standort mit einem roten Pfeil markiert.

Die Versuchstöpfe wurden der natürlichen Witterung und dem Kleinklima im Schatten einer Pappel - während des gesamten Versuchszeitraumes - ausgesetzt.

Da es für den Versuchsstandort Jedlersdorf keine eigenen Klimadaten von der Messstation der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) gibt, werden die Daten von Großenzersdorf aufgrund von ähnlichen Klimaverhältnissen - als Annäherung - herangezogen. Von dieser wurden die Daten bezogen, um einerseits den langjährigen Schnitt mit den Klimadaten von 2016 (Tab. 2) und andererseits den Ausschnitt Mai bis Oktober des Jahreswetters genau darzustellen (Tab. 3).

Material und Methoden

Nach der ZAMG (2018 c) war das Jahr 2016, mit zehn überdurchschnittlich warmen und nur zwei sehr kühlen Monaten, das viertwärmste in der Messgeschichte. Mit der Ausnahme des Aprils gab es kaum lange kalte Wetterphasen.

Tab. 2: Gegenüberstellung des langjährigen Schnittes und der Klimadaten von 2016 des Messstandortes Groß-Enzersdorf (ZAMG, 2018a; ZAMG, 2018b)

	<i>1971-2000</i>	<i>2016</i>	<i>Über-/ unter dem langjährigen Durchschnitt</i>
<i>Mittlere Jahrestemperatur [°C]</i>	9,8	11,3	+ 1,0 °C
<i>Gesamt Jahresniederschlag [mm]</i>	520	644	+ 10 %
<i>Jährliche gesamt Sonnenscheindauer [h]</i>	1869	2046	+ 4%

Das Fehlen von länger anhaltenden Kälteperioden war ausschlaggebend für das Jahr 2016. Vor allem gab es kaum intensiv kalte Tage. Lediglich der Oktober war um 0,4°C kälter als das Jahresmittel (Tab. 3)(ZAMG, 2018c).

Im Mai und im Juni gab es um 47 % bzw. um 37 % mehr Niederschlag. Die Niederschlagssumme dieser beiden Monate belegt im Gesamtranking der ZAMG den Platz 4 seit 1858! Der September hingegen fielen um 34% weniger Niederschlag (ZAMG, 2018c).

Auf einen um 10 % sonnenreicheren August folgte ein September, welcher um 34 % sonniger war, als der langjährige Durchschnitt. Der Oktober war hingegen verhältnismäßig trüb (ZAMG, 2018c).

Tab. 3: Klimadaten von Mai bis Oktober 2016 in Groß-Enzersdorf (ZAMG, 10.05.2018 a).

	<i>Parameter</i>	<i>Mai.16</i>	<i>Jun.16</i>	<i>Jul.16</i>	<i>Aug.16</i>	<i>Sep.16</i>	<i>Okt.16</i>
<i>Luftdruck und Bewölkung</i>	Mittelwert des Luftdrucks (hPa)	995,1	995,8	998,4	1001,4	1000,5	1002,4
	Mittelwert des Dampfdrucks (hPa)	12	15,8	17,3	15,7	14,6	10,1
	Monatsmittel der Bewölkung (1/10)	6,2	5,6	5,7	4,6	4,2	7,9
<i>Lufttemperatur</i>	Mittelwert der Lufttemperatur um 07 MEZ (°C)	13,8	18,4	19,7	17,7	14,6	8
	Mittelwert der Lufttemperatur um 14 MEZ (°C)	19,2	24,2	26,4	24,6	24,3	12,7
	Mittelwert der Lufttemperatur um 19 MEZ (°C)	17,3	22,2	24,1	21,7	19,6	9,8
	Mittelwert der Lufttemperatur (°C)	15,7	20,3	22,1	20,1	18	9,6
	mittleres Maximum der Lufttemperatur (°C)	21	25,7	27,7	26,1	25,3	13,4
	mittleres Minimum der Lufttemperatur (°C)	10,8	14,8	16,9	15	12,6	7,1
	absolutes Max. der Lufttemperatur (°C)	28,1	32,7	33,8	31,3	30,8	23,7
	absolutes Min. der Lufttemperatur (°C)	6,4	9,8	12,3	8,2	5,1	1,2
	Tag des absoluten Maximums der Lufttemperatur	28	24	11	4	4	1
	Tag des absoluten Minimums der Lufttemperatur	1	8	8	12	23	8
<i>Luftfeuchte</i>	mittlere relative Luftfeuchte um 07 MEZ (%)	74	76	74	78	85	88
	mittlere relative Luftfeuchte um 14 MEZ (%)	54	51	49	50	46	72

Material und Methoden

<i>Niederschlag</i>	mittlere relative Luftfeuchte um 19 MEZ (%)	62	60	60	63	67	83
	mittlere relative Luftfeuchte (%)	66	66	64	67	71	83
	Monatssumme des Niederschlags (mm)	105	81	116	47	32	64
	maximale 24h-Niederschlagssumme (mm)	54	23	30	17	20	17
	maximale Tagesschneehöhe (cm)	0	0	0	0	0	0
	Tag der maximalen Niederschlagssumme	12	25	2	5	5	19
<i>Sonnenscheindauer</i>	Monatssumme der Sonnenscheindauer (h)	239	270	278	265	261	89
	Summe der Sonnenscheindauer (% der maximal möglichen)	52	58	59	62	74	29
<i>5 cm Lufttemperatur</i>	Minimum der 5 cm Lufttemperatur (°C)	3,4	7,6	8,6	4,9	0,9	-2,3
	Tag des Minimums der 5 cm Lufttemperatur (°C)	1	8	7	12	23	8
	mittleres 5 cm-Temperatur-Minimum (°C)	9,3	13,2	14,6	12,9	9,5	5
	Datum des ersten Frosts im Herbst						08.Okt

4.2. AUSGANGSMATERIALIEN

Die Töpfe bestehen aus gebranntem Ton und wurden eigens für den Versuch von der Fa. Pötscher handgefertigt. Beide Topfgrößen haben einen fast quadratischen Grundriss (Abb. 2).

Die großen Töpfe haben einen Außendurchmesser von 31 cm x 31,5 cm. Der Innendurchmesser beläuft sich auf 28 cm x 28,5 cm. Die Höhe beträgt vom Boden bis zur Oberkannte 28,5 cm, vom Topfboden bis zum oberen Topfende 25,5 cm. Diese Maße sind für beide Varianten, also mit und



ohne Lamellen, gleich. Die Lamellen im Topf sind an der breitesten Stelle, beim Topfboden, 5,5 cm breit und verjüngen sich nach obenhin auf eine Breite von 3,5 cm. (Kohout, 18.07.2017)

Bei den kleinen Töpfen verhält es sich wie oben. Die Maße sind für beide Varianten, bis auf die Lamellen, gleich. Außen betragen die Maße 18 cm x 18,5 cm, innen 15 cm x 16 cm. Die Höhe beläuft sich auf 18,5 cm außen und 14,5 cm innen. Die Lamellen sind an der schmalsten Stelle 1,5 cm breit und an der breitesten 3,5 cm.

Immer die Hälfte der jeweiligen Versuchspflanzen wurde in Töpfe mit Lamellen gepflanzt. Mit Ausnahme der Tomaten mussten die Wurzelballen sämtlicher Pflanzen eingeschnitten werden, da sie nicht unbeschädigt in den Zwischenraum der Lamellen passten. Nachdem alle Rhododendren und Hortensien an den vier Seiten eingeschnitten wurden, wurden die

Material und Methoden

Topfböden mit einer Substratmischung, bestehend aus einem Viertel AGROPERL® und drei Viertel „Qualitäts-Blumenerde“ der Firma Ziegler GmbH, bedeckt.

Das Substrat wird aus Hochmoortorf (H2-H5), Grünschnittkompost, Rindenumus, Holzfaser sowie kohlensaurem Kalk und mineralischen NP-Düngern hergestellt. Eine Auflistung der verschiedenen Nährstoffe findet sich in Tab. 4.

Tab. 4: Nährstoffzusammensetzung des Pflanzsubstrates (Ziegler GmbH, 2016)

<i>Nährstoffe (Deklaration D)</i>	<i>Menge</i>
<i>Stickstoff (N)</i>	150 mg/l (CaCl ₂)
<i>Phosphat (P₂O₂)</i>	150 mg/l (CAL)
<i>Kalium (K₂O)</i>	1500 mg/l (CAL)
<i>Magnesium (MgO)</i>	150 mg/l (Gesamt)
<i>Schwefel (S)</i>	2230 mg/l (Gesamt)
<i>Nährstoffe (Deklaration A)</i>	Menge
<i>Stickstoff (N)</i>	90 – 210 mg/l (CaCl ₂)
<i>Phosphat (P₂O₂)</i>	90 – 210 mg/l (CAL)
<i>Kalium (K₂O)</i>	900 – 2100 mg/l (CAL)

Anschließend wurden die Pflanzen in die Töpfe gesetzt, die Hohlräume mit ebenjener Substratmischung aufgefüllt und die Wurzelballen mit dem abgemischten Substrat bedeckt.

Bei den Tomaten wurde darauf geachtet, dass der Stängel möglichst tief eingesetzt wurde, damit neue Wurzeln austreiben konnten und eine höhere Standfestigkeit gegeben war.

Im Anschluss an das Pflanzen wurde eine Tröpfchen-Bewässerung installiert um zu gewährleisten, dass alle Pflanzen ausreichend mit Wasser versorgt wurden. Bewässert wurde über die Versuchsperiode zweimal täglich für jeweils zehn Minuten (um 9 und 15 Uhr).

4.3. ANALYSEN

4.3.1. UNTERSUCHUNG DES PFLANZENWACHSTUMS

Wöchentlich wurde bei den Rhododendren und Hortensien die Triebanzahl bestimmt. Auch die abgestorbenen Triebe und Stängel wurden bonitiert.

Bei den Tomaten wurden im gleichen Zeitraum die Höhe, der Stängeldurchmesser in einem Zentimeter über der Bodenhöhe, sowie die Blattanzahl aufgenommen. Dabei wurden die einzelnen Fiederblätter immer zu einem ganzen Blatt zusammengezogen. Bei einer Höhe von einem Meter wurden die Tomatenpflanzen gekappt. Zu jedem Bonitur-Termin wurde auch ausgegeizt, also die Seitentriebe entfernt.

Am Ende der Vegetationszeit wurden alle Blätter von der Pflanze entfernt, gewogen und vermessen um die Anzahl, das Gewicht und die Blattfläche zu ermitteln.

Bei der wöchentlichen Überprüfung des Pflanzenwachstums wurde - während der Blütezeit - die Anzahl der Knospen, die der geöffneten Blüten und die der seneszenten Blüten bestimmt. Sowohl bei den Hortensien als auch bei den Rhododendren wurde immer die gesamte Schirm- bzw. Rispenblüte gezählt. Bei den Tomaten wurden die Einzelblütchen aufgenommen.

Während der Ertragsphase wurde aufgenommen, wie viele grüne und rote Früchte an der jeweiligen Tomatenpflanze hingen. Bei den reifen Tomaten wurde das Gewicht, die Länge, Breite und Höhe, sowie die Vermarktungswürdigkeit bestimmt. Zudem wurden etwaige Krankheiten aufgenommen.

Zu Beginn der Vegetationsruhe im Herbst wurden die oberirdischen Teile der Pflanzen abgeschnitten, die Wurzeln aus den Töpfen entnommen und in Säcken ans UFT in Tulln transportiert. Dort wurden sie in Leitungswasser eingeweicht, sorgfältig gewaschen und in einer 70%-igen Ethanol-Lösung eingelegt. Um sicherzustellen, dass möglichst viele Feinwurzeln erhalten bleiben, wurde ein Sieb mit einer Maschenweite von 0,5 cm untergelegt.

Im Anschluss an die Waschung wurden die Wurzeln mithilfe des Computerprogrammes WinRhizo® vermessen. Das Programm ermittelte die Gesamtlänge, die projizierte Fläche, die Oberfläche, den durchschnittlichen Durchmesser, die Länge pro Volumen, das Volumen der Wurzeln, die Wurzelspitzen, -gabelungen und -übergänge.

4.3.2. STATISTISCHE AUSWERTUNG

Zur statistischen Auswertung wurde bei mehreren Versuchsfaktoren, wie sie bei den Tomaten vorliegen, eine ANOVA durchgeführt. Davor muss allerdings mithilfe des Leven-Tests die Varianzhomogenität bestätigt werden. Um bei Bedarf Varianzhomogenität herzustellen wurden die Ergebnisse logarithmiert.

Bei der varianzhomogenen Verteilung wurde der Tukey-B-Test als Posthoc-Test verwendet. Die Werte werden als signifikant unterschiedlich angesehen, sobald $P < 5\%$ ist. Liegt die Varianzhomogenität nicht vor, wird anstelle dessen ein Tamhane-Test angewendet.

Bei den Daten der Hortensien und Rhododendren konnte aufgrund der geringen Versuchsvarianten zuerst ein F-Test und dann im Anschluss ein T-Test durchgeführt. Der F-Test bestimmt, ob eine Varianzhomogenität vorliegt oder nicht. Je nachdem muss dann der passende T-Test ausgewählt werden.

Um zu eruieren, ob die Herbstfärbung bei den Hortensien in Töpfen ohne Lamellen, früher eintritt, ist ein Mann-Whitney U-Test durchgeführt worden. Dieser musste verwendet werden, da die Daten rangskaliert waren.

5. ERGEBNISSE

5.1. TOMATEN

5.1.1. WURZELANALYSE

Mithilfe der Wurzelanalyse konnte festgestellt werden, dass einerseits die Sorte ‘Moneymaker‘ weniger Wurzelmasse gebildet hat, als die Sorte ‘Roma‘ (Tab. 5). Die geringste Wurzelrockenmasse wurde von den Pflanzen ausgebildet, welche in Töpfen mit Lamellen gewachsen sind: MMkmL – 2.39 ± 0.15 g/Pflanze, ROkmL- 5.35 ± 1.59 g/Pflanze, MMgmL - 8.68 ± 2.73 g/Pflanze und ROgmL - 15.57 ± 2.82 g/Pflanze. Die größte Trockenmasse an Feinwurzeln weist die Variante ROgol mit 11.15 ± 3.91 g/Pflanze auf. Interessant ist auch, dass sich die Feinwurzelanteile an der Gesamttrockenmasse der Wurzel nicht signifikant unterscheiden.

Im Gegensatz dazu wurde die Anzahl der größeren Nebenwurzeln stark durch die Sorte und durch die Lamellen beeinflusst. ‘Roma‘ in Töpfen ohne Lamellen hat signifikant mehr Nebenwurzeln ausgebildet als die anderen Varianten.

Ergebnisse

Tab. 5: Ergebnisse der Wurzelanalyse. Unterschiedliche Buchstaben in einer Spalte zeigen signifikante Unterschiede auf dem 5% -Niveau nach Tukey-B Tests. (n=7)

Variante	Wurzelrocken masse [g]	Trockenmasse Feinwurzel [g]	Wurzellänge [m]	Wurzelvolumen [cm ³]	Anzahl größerer Nebenwurzeln	Feinwurzel- anteil [%]
MMkmL	2.39±0.15 e	1.07±0.09 c	124±25 d	7.1±2.0 c	3.2±0.4 c	45.0±3.5 a
MMkoL	4.94±1.06 d	1.90±0.80 c	215±140 cd	9.6±3.7 c	3.6±1.7 c	37.5±8.3 a
ROkmL	5.35±1.59 d	1.68±0.49 c	147±69 d	19.8±12.4 bc	4.6±0.5 bc	32.6±8.6 a
ROkoL	12.27±3.42 bc	3.43±0.93 b	288±92 bc	41.8±24.3 b	8.2±4.1 ab	29.2±8.7 a
MMgmL	8.68±2.73 c	3.42±1.05 b	288±87 bc	18.1±8.7 bc	3.8±1.8 c	39.7±5.6 a
MMgoL	9.87±1.93 c	3.74±1.31 b	325±94 bc	23.6±12.4 bc	4.6±1.1 bc	38.1±10.7 a
ROgmL	15.57±2.82 b	5.48±0.80 b	411±93 b	52.7±28.6 ab	6.0±1.2 abc	35.6±4.5 a
ROgoL	29.53±7.10 a	11.15±3.91 a	897±232 a	118.4±27.3 a	9.8±1.9 a	37.0±7.1 a
Trans- formiert	f(x) = LN(x)	f(x) = LN(x)	f(x) = LN(x)	f(x) = LN(x)	f(x) = LN(x)	--
P _{Levene}	0.441	0.507	0.522	0.319	0.015*	0.623
P _{ANOVA}	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.091

* Da dieser Wert nur unwesentlich kleiner als 5% ist wurde die ANOVA trotzdem durchgeführt.

Das Ergebnis der Untersuchung der Wurzelmasse im Hinblick auf den Einfluss der Sorte und der Lamellen zeigt, dass die Sorte ‘Roma‘ genetisch eher veranlagt ist mehr Wurzelmasse auszubilden, als ‘Moneymaker‘. Zudem zeigt Abb. 3, dass jene Pflanzen in Töpfen ohne Lamellen unverkennbar mehr Wurzeln gebildet haben als jene in Töpfen mit Lamellen. Der Effekt ist bei ‘Moneymaker‘ schlechter ausgeprägt, jedoch noch zu erahnen.

Sehr deutlich ist zu sehen, dass der Gehalt an Feinwurzeln nur bei der Variante ROoL höher ist. Die anderen drei Versionen heben sich nur ganz schwach voneinander ab.

Ergebnisse

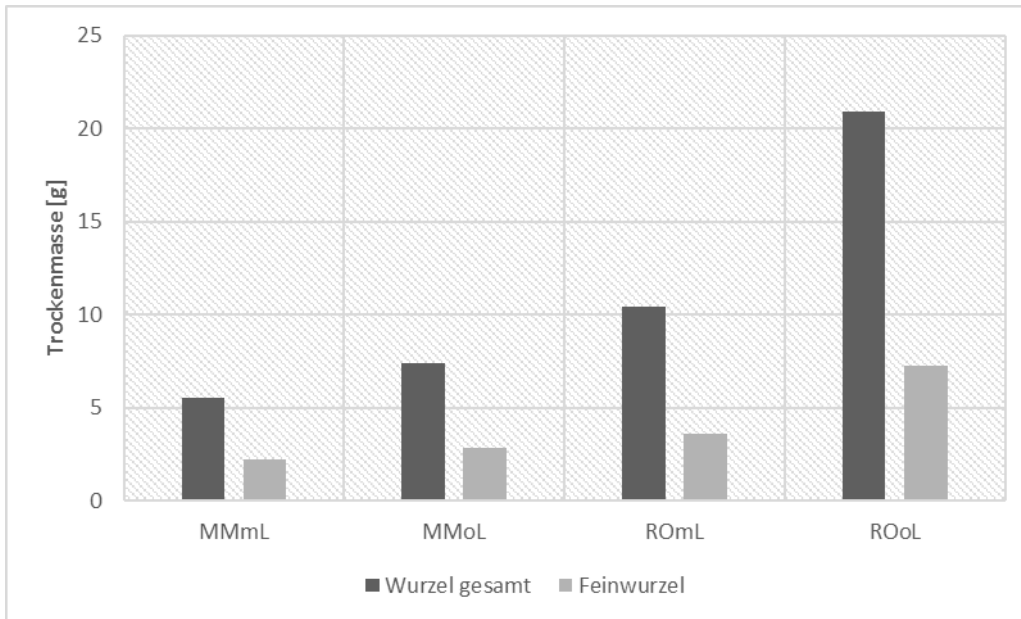


Abb. 3: Wurzeltrockenmasse der gesamten Wurzel und der Feinwurzeln hinsichtlich Sorte und Lamelle (n=7). Die Topfgröße wurde vernachlässigt.

Die Auswertung der Auswirkungen von Topfgröße und Lamellen (Abb. 4) bezogen auf die Wurzelmasse, ergibt einen deutlichen Effekt zwischen den Topfgrößen: Beide Werte der großen Töpfe liegen deutlich über denen der kleinen Töpfe. Innerhalb der kleinen Töpfe konnte die Auswirkung der Lamellen wieder signifikant bestimmt werden (Tab. 5). Bei den Feinwurzelgehalten verhält es sich genau umgekehrt. Diese sind in den Töpfen ohne Lamellen höher.

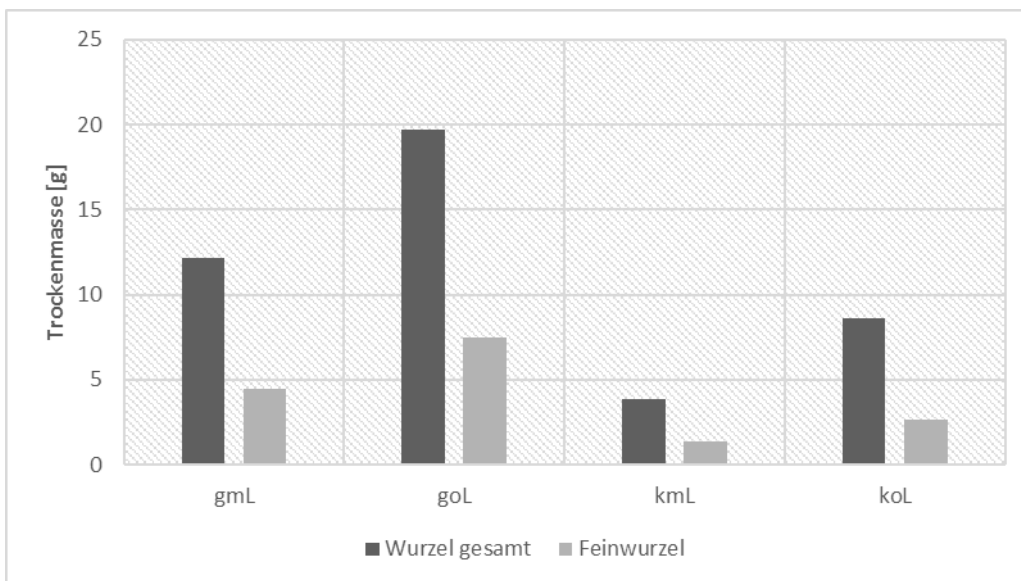


Abb. 4: Wurzeltrockenmasse der gesamten Wurzel und der Feinwurzeln hinsichtlich Topfgröße und Lamelle (n=7). Die Sorte wurde vernachlässigt.

Ergebnisse

Die Werte der Gesamtwurzellänge liegen zwischen 206 m und 593,5 m. Den ersten Wert weist die Sorte 'Moneymaker' im Topf mit Lamellen auf, letzteren die Sorte 'Roma' im Topf ohne Lamellen. Auch hier unterscheiden sich die Werte von ROmL, MMmL und MMoL nicht voneinander. Nur ROoL sticht heraus (Abb. 5).

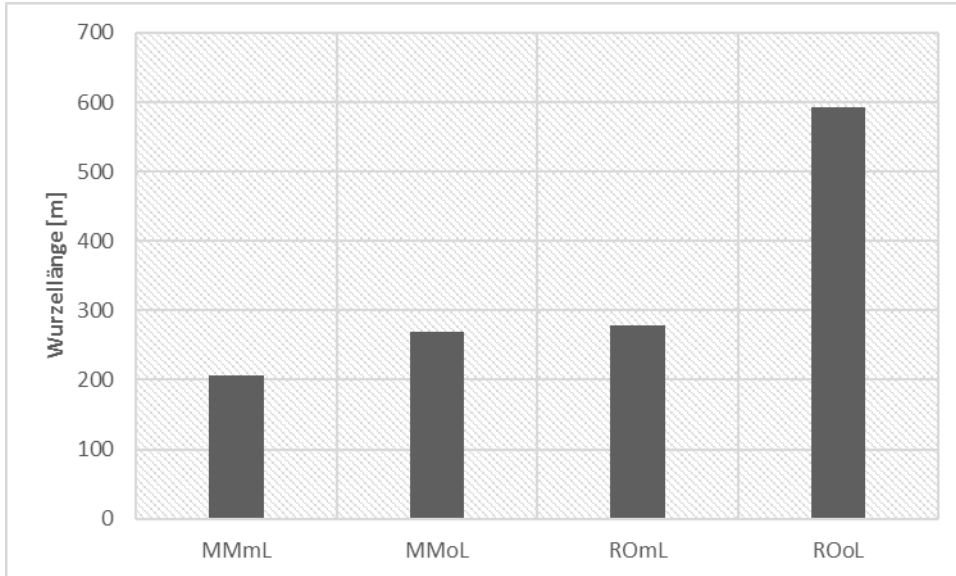


Abb. 5 Die unterschiedlichen Wurzellängen im Hinblick auf die beiden Faktoren Sorte und Lamellen (n=7).

Beim Wurzelvolumen unterscheiden sich die beiden Topfvarianten bei der Sorte 'Roma' nicht voneinander. Anders sieht es bei der Sorte 'Moneymaker' aus: hier weisen die Pflanzen, welche in den Töpfen ohne Lamellen gewachsen sind, ein höheres Wurzelvolumen auf, als jene in mit Lamellen versehenen Töpfen (Abb. 6).

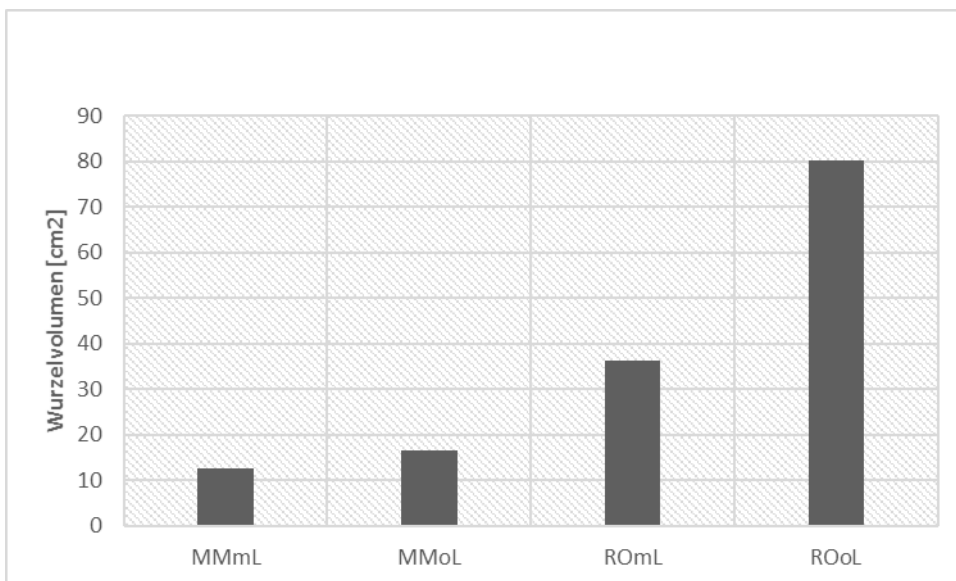


Abb. 6: Die unterschiedlichen Wurzelvolumina im Hinblick auf die beiden Faktoren Sorte und Lamellen (n=7).

5.1.2. SPROSSANALYSE

Wie in Tab. 6 zu sehen ist, unterscheidet sich das mittlere Einzelfruchtgewicht der verschiedenen Varianten nicht. Die Höhen der verschiedenen Pflanzen liegen am 23.09.2016 zwischen 126 cm und 58 cm. Alle weiteren Ergebnisse werden mithilfe von Abbildungen im Folgenden diskutiert.

Tab. 6: Ergebnisse der Sprossanalyse. Unterschiedliche Buchstaben in einer Reihe zeigen signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau nach Tukey-B Tests. (n=7)

<i>Variante</i>	<i>Anzahl der Früchte</i>	<i>mittleres Einzelfruchtgewicht [g]</i>	<i>Summe Einzelfruchtgewicht [g]</i>	<i>Blattanzahl 23.09.2016</i>	<i>Pflanzenhöhe [m] 23.09.2016</i>	<i>Durchmesser Stammbasis [mm]</i>
<i>MMkmL</i>	6.1±1.5 b	49.6±19.6 a	313±187 b	14.4±4.9 b	1.05±0.12 a	11.2±0.8 b
<i>MMkoL</i>	7.8±2.6 ab	52.0±13.5 a	419±216 ab	22.3±6.5 ab	1.16±0.11 a	11.7±1.2 b
<i>ROkmL</i>	5.0±2.6 b	50.9±15.6 a	284±237 b	17.3±5.4 ab	0.58±0.12 b	14.5±2.6 ab
<i>ROkoL</i>	4.4±1.0 b	49.4±18.3 a	211±66 b	17.1±4.1 ab	0.66±0.18 b	15.5±3.4 ab
<i>MMgmL</i>	10.1±2.3 a	68.1±15.5 a	670±93 a	23.4±3.1 a	1.16±0.32 a	14.4±1.3 ab
<i>MMgoL</i>	7.3±2.4 ab	62.5±4.9 a	450±132 ab	21.6±7.0 ab	1.26±0.43 a	13.6±0.7 ab
<i>ROgmL</i>	4.8±3.1 b	56.6±12.2 a	246±132 b	19.7±5.4 ab	0.88±0.18 ab	17.2±2.7 a
<i>ROgoL</i>	5.3±3.6 b	46.4±18.8 a	284±229 b	21.0±3.4 ab	0.80±0.17 ab	17.3±3.8 a
<i>Trans-</i> <i>formiert</i>	--	--	--	--	--	--
<i>P_{Levene}</i>	0.375	0.208	0.069	0.497	0.000	0.005
<i>P_{ANOVA}</i>	0.001	0.152	0.000	0.028	Tamhane	Tamhane

Wie in Abb. 7 zu sehen ist, bringt die Sorte ‘Moneymaker‘ mehr Früchte, und dementsprechend auch eine höhere Summe beim Einzelfruchtgewicht hervor, als ‘Roma‘. Schön zu sehen sind auch die Unterschiede zwischen den beiden Lamellenvarianten. Bei ‘Moneymaker‘ bildet die Variante mit Lamellen deutlich mehr Früchte, und damit auch mehr Gewicht, als die lamellenlose Variante. Bei ‘Roma‘ ist die Anzahl der Früchte nahezu gleich. Nur beim summierten Einzelfruchtgewicht lässt sich eine leichte Tendenz zu höherem Gewicht bei der Variante mit Lamellen erahnen.

Ergebnisse

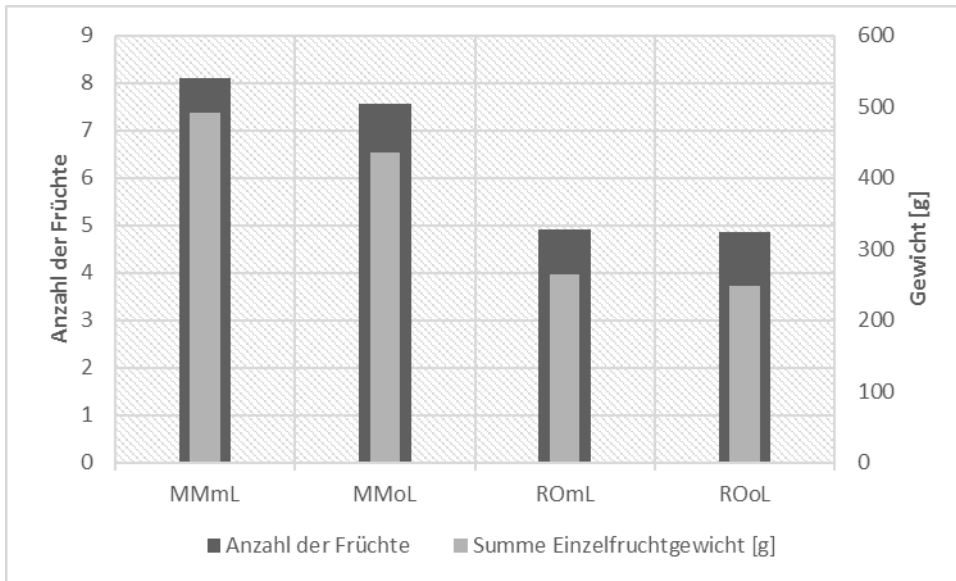


Abb. 7: Die Anzahl der Früchte und die Summe der Einzelfruchtgewichte bezogen auf die Sorte und die Lamellen (n=7).

Werden die Topfgröße und die Lamellen verglichen, so lässt sich keine Tendenz feststellen. Die Variante in kleinen Töpfen mit Lamellen hat am wenigsten Früchte und das geringste Fruchtgewicht hervorgebracht. Die Fruchtmenge und das Gewicht waren bei der Variante „große Töpfe mit Lamellen“ am höchsten. Die Varianten „klein, ohne Lamellen“ und „groß ohne Lamellen“ liegen im mittleren Bereich. Erstere hat mehr Früchte, aber ein niedrigeres Fruchtgewicht, als die zuletzt genannte Variante entwickelt (Abb. 8).

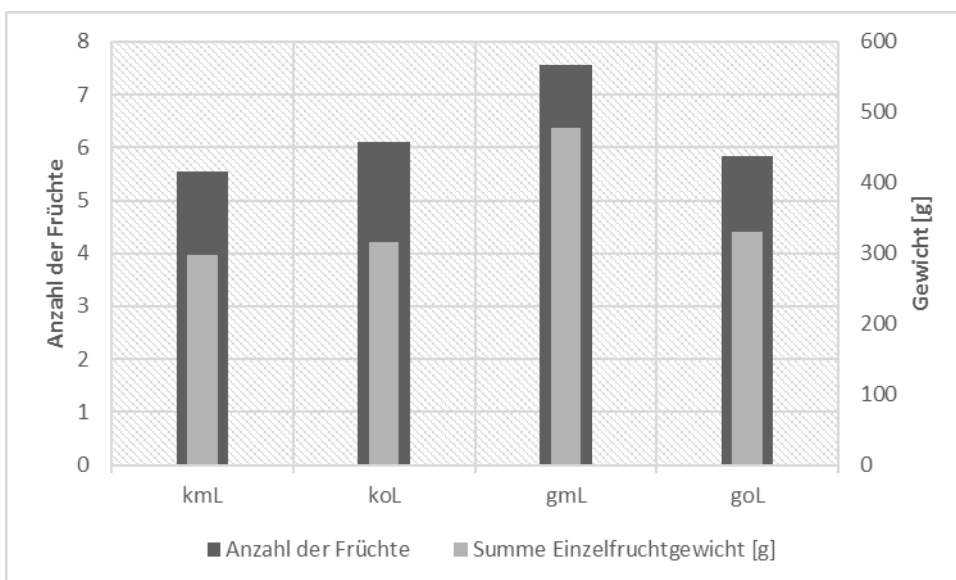


Abb. 8: Die Anzahl der Früchte und die Summe der Einzelfruchtgewichte bezogen auf die Topfgröße und die Lamellen (n=7).

Ergebnisse

‘Roma‘ in großen Töpfen liegt leicht vor ‘Moneymaker‘ in kleinen Töpfen (Abb. 9). ‘Roma‘ in kleinen Töpfen bringt annähernd gleiches summiertes Einzelfruchtgewicht auf die Waage, allerdings bei weniger Früchten. Die niedrigsten Werte erreicht ‘Moneymaker‘ in großen Töpfen.

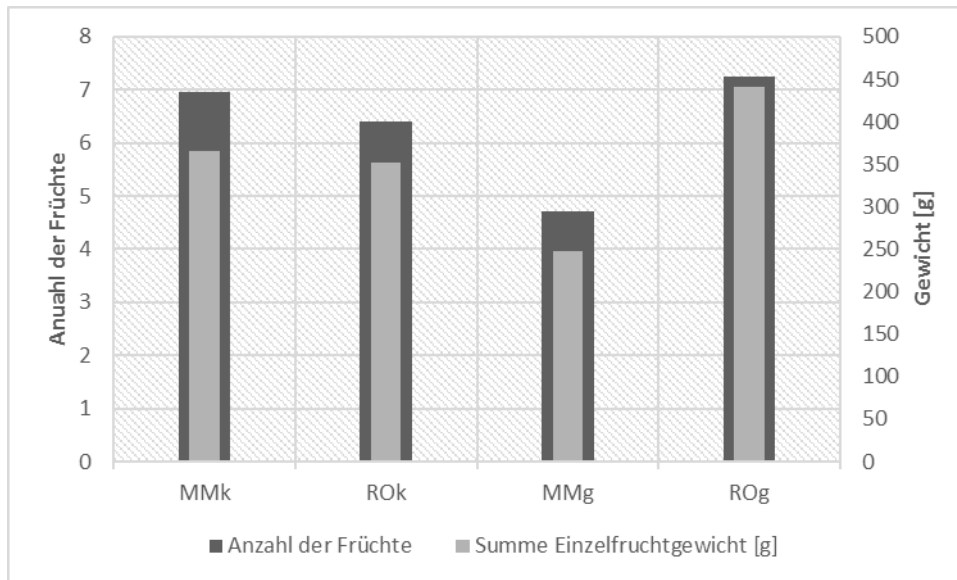


Abb. 9: Die Anzahl der Früchte und die Summe der Einzelfruchtgewichte bezogen auf die Sorte und die Topfgröße (n=7).

Was den Durchmesser der Stammbasis betrifft, so lässt sich sagen, dass beide Sorten in großen Töpfen einen ähnlichen Durchmesser ausgebildet haben. In den kleinen Töpfen unterscheiden sich die beiden Sorten deutlich. ‘Moneymaker‘ bildet dort dünnere Stiele aus, als ‘Roma‘ (Abb. 10).

Ergebnisse

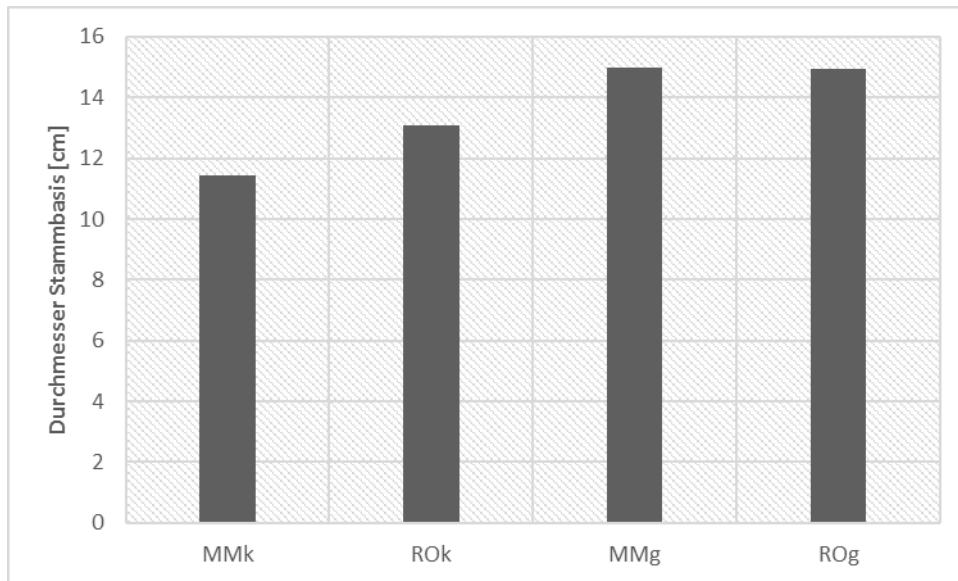


Abb. 10: Der Durchmesser der Stammbasis (gemessen 10 cm über Bodenniveau) bezogen auf die Sorte und die Topfgröße (n=7).

5.1.3. FRUCHTQUALITÄT

In der Tab. 7 werden die verschiedenen Gründe aufgezeigt, warum die Früchte der Tomatenpflanzen nicht als vermarktungsfähig eingestuft werden konnten. Dabei ist sehr schön zu sehen, dass es keinen Unterschied zwischen den verschiedenen Varianten gibt.

Ergebnisse

Tab. 7: Ergebnisse zur Fruchtqualität. Unterschiedliche Buchstaben in einer Reihe zeigen signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau nach Tukey-B Tests. (n=7)

<i>Variante</i>	<i>Geplatzte Früchte [%]</i>	<i>gelber oder grüner Kragen [%]</i>	<i>Blütenendfäule [%]</i>	<i>Fraßspuren [%]</i>
<i>MMkmL</i>	19.8±25.4 a	20.5±24.9 a	1.4±3.8 a	2.4±6.3 a
<i>MMkoL</i>	25.2±24.8 a	40.8±31.2 a	2.7±5.6 a	2.0±4.2 a
<i>ROkmL</i>	2.8±7.6 a	46.7±46.2 a	4.0±7.7 a	0.0±0.0 a
<i>ROkoL</i>	2.8±7.6 a	25.7±36.0 a	13.0±21.7 a	4.6±8.2 a
<i>MMgmL</i>	42.6±28.2 a	17.7±13.7 a	13.9±13.6 a	7.9±10.9 a
<i>MMgoL</i>	45.0±35.9 a	14.6±21.4 a	15.7±21.6 a	5.7±11.3 a
<i>ROgmL</i>	18.6±36.7 a	19.3±32.5 a	19.5±19.2 a	2.8±4.9 a
<i>ROgoL</i>	0.0±0.0 a	14.6±18.8 a	25.4±25.4 a	4.8±12.6 a
<i>Transformiert</i>	--	--	$f(x) = x^{0.01}$	$f(x) = x^{1.4}$
<i>P_{Levene}</i>	0.003	0.030*	0.390	0.024*
<i>P_{ANOVA}</i>	Tamhane	0.331	0.173	0.741

5.2. RHODODENDREN

Die Rhododendron-Pflanzen wurden alle Mitte Mai in große Töpfe gepflanzt. Daher wird im Folgenden nur noch zwischen Töpfen mit Lamellen und jenen ohne Lamellen unterschieden.

5.2.1. WURZELANALYSE

In Tab. 8 ist zu sehen, dass die Pflanzen der Variante „mit Lamelle“ längere Wurzeln und eine höhere Projektionsfläche erzielt haben. Die Messung mit WinRizo® hat ergeben, dass jene Pflanzen, welche in Töpfen mit Lamellen gewachsen sind nicht nur höhere Werte in der Kategorie „Länge pro Volumen“ aufweisen, sondern auch das höhere Wurzelvolumen, sowie -gewicht, mehr Wurzelspitzen, Gabelungen und Überschneidungen ausgebildet haben. Im Gegensatz dazu ist die Oberfläche der Variante „ohne Lamellen“ höher. Der durchschnittliche Wurzeldurchmesser ist bei beiden Varianten sehr ähnlich. Trotz der deutlichen Differenzen bei den Mittelwerten ergab der T-Test für keine Kategorie einen signifikanten Unterschied.

Tab. 8: Gemittelte Wurzelanalyse der Rhododendren und die statistische Auswertung ($p \leq 5\%$). (n=3)

	Länge [m]	Projektionsfläche (cm ²)	Oberfläche [cm ²]	Durchschn. Durchmesser [mm]	Länge pro Volumen [cm/m ³]	Wurzelvolumen [cm ³]	Spitzen	Gabelungen	Überschneidungen	Wurzelgewicht [kg]
<i>mit Lamelle</i>	144103,97	435387,33	1367809	0,339	14410397,7	1,074	12656	15440	3658	0,01
<i>ohne Lamelle</i>	88894,62	310503,33	975474,3	0,347	8889462,3	0,855	6523	9291	2251	0,002
P_{F-Test}	0,0399	0,1328	0,1328	0,1399	0,0399	0,2889	0,0288	0,0905	0,0973	0,039
P_{T-Test}	0,4158	0,4868	0,4868	0,8962	0,4158	0,6095	0,3512	0,4578	0,4980	0,206

5.2.2. SPROSSANALYSE

In der unten stehenden Abbildung 11 wurden die Triebverluste bei Rhododendren über die Zeit der Bonitur festgehalten, um zu eruieren ob die Lamellen Auswirkungen auf die oberirdischen Pflanzenteile haben. Obwohl der T-Test, mit einem Wert von 0.36, keinen signifikanten Unterschied erkennen lässt, zeigt die Darstellung sehr wohl, dass, über die Zeit gesehen, die Variante ohne Lamelle viel mehr Triebe verliert, als jene mit Lamellen.

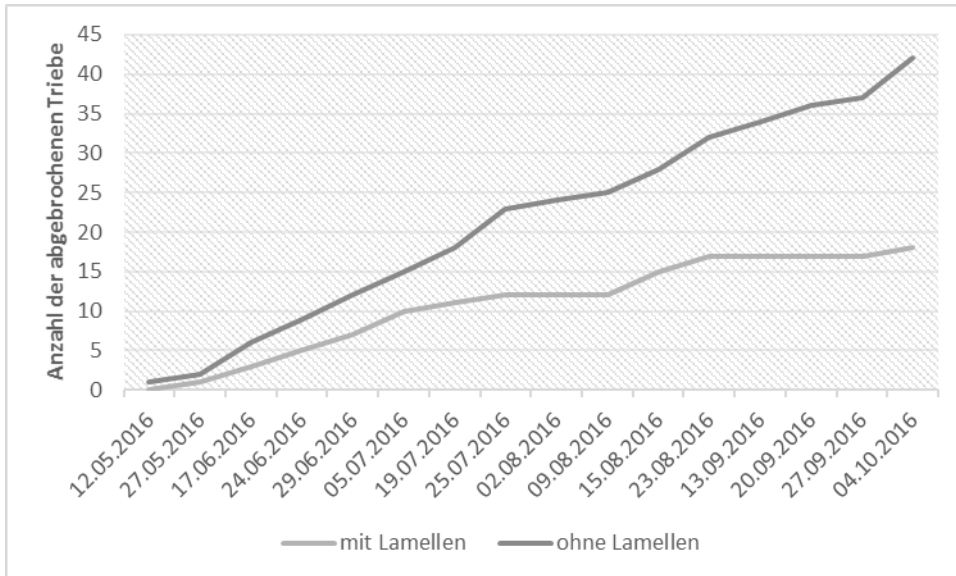


Abb. 11: Kumulative Darstellung der gemittelten Triebverluste bei Rhododendren über den Bonitur-Zeitraum (n=6).

Tab. 9 zeigt, dass es weder statistisch noch tendenziell Unterschiede zwischen den beiden Varianten gibt. Es liegen alle Ergebnisse der Blattanzahl, des Gewichts und der Blattfläche eng beieinander.

Ergebnisse

Tab. 9: Blattanzahl, Gesamtgewicht der Blätter, durchschnittliches Gewicht pro Blatt und Gesamtblattfläche von Rhododendren. Alle Werte gemittelt (n=6).

	<i>Anzahl der Blätter</i>	<i>Gesamtgewicht der Blätter [g]</i>	<i>Ø Gewicht eines Blattes [g]</i>	<i>Blattfläche gesamt [m²]</i>
<i>mit Lamelle</i>	297	353,65	1,19	1,58
<i>ohne Lamelle</i>	285	339,68	1,20	1,23
<i>F-Test</i>	0,355	0,333	0,421	0,290
<i>T-Test</i>	0,809	0,792	0,932	0,343

5.2.3. BLÜTENANALYSE

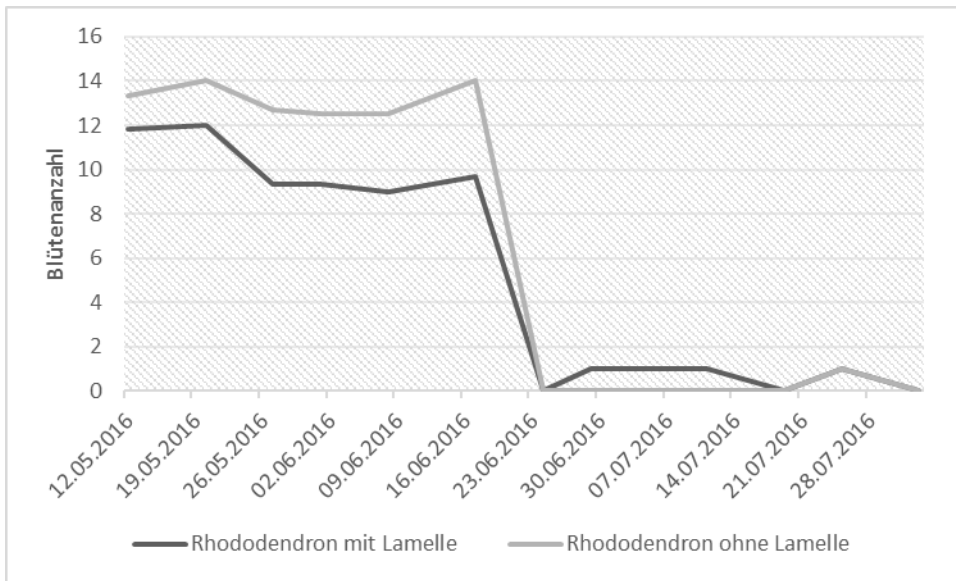


Abb. 12 zeigt wie viele Blüten sich durchschnittlich an einer Rhododendronpflanze befunden haben. Deutlich zu sehen ist, dass Blüteschwerpunkt Mitte Mai bis Mitte Juni ist, aber auch, dass die Rhododendren in Töpfen mit Lamellen weniger Blüten angesetzt haben, als jene in Töpfen ohne Lamellen. Der F-Test (0,23) und der T-Test (0,68) konnten jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Varianten feststellen.

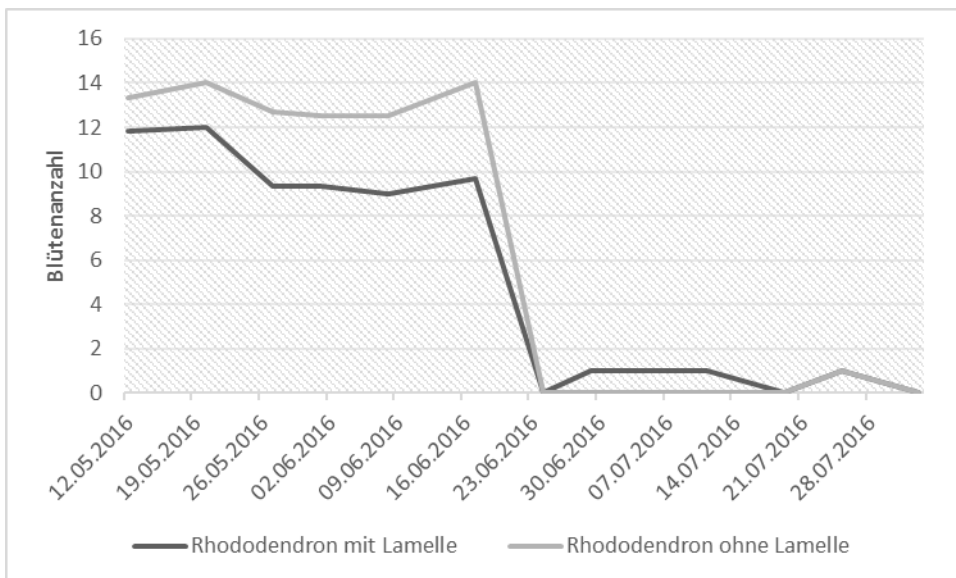


Abb. 12: Durchschnittliche Blütenanzahl der Rhododendren je Variante gemessen über den Blütezeitraum. (n=6).

5.3. HORTENSIEN

Die Hortensien wurden alle in kleine Töpfe gepflanzt. Daher wird im Folgenden nur noch zwischen den Varianten mit Lamellen und ohne Lamellen unterschieden.

5.3.1. WURZELANALYSE

In der nachfolgenden Wurzelanalyse ist klar zu erkennen, dass die Variante „ohne Lamellen“ die höheren Werte in den verschiedenen Kategorien der Wurzelanalyse erzielt (Tab. 10). Die Tendenz lässt sich jedoch durch den T-Test nicht bestätigen.

Tab. 10: Wurzelanalyse der Hortensien und die dazugehörige statistische Auswertung ($p = \leq 5\%$) (n=3)

	Länge [m]	Projektionsfläche (cm ²)	Oberfläche [cm ²]	Durchschn. Durchmesser [mm]	Länge pro Volumen [cm/m ³]	Wurzelvolumen [cm ³]	Spitzen	Gabelungen	Überschneidungen	Wurzelgewicht [kg]
<i>Mit Lamelle</i>	81589,54	312362	981315	0,385	8158954	0,940	3197	3155	486	1,095
<i>Ohne Lamelle</i>	154877,18	649223	2039594	0,423	15487718	1,836	4546	6411	1032	4,105
<i>P_F-Test</i>	0,339	0,243	0,243	0,489	0,339	0,115	0,671	0,205	0,243	0,013
<i>P_T-Test</i>	0,120	0,112	0,112	0,111	0,120	0,252	0,119	0,155	0,124	0,358

Die Probe „ohne Lamelle 4“ stellt einen Ausreißer dar. Ihr Wert liegt bei 9,15 kg, während alle anderen Proben im Mittel rund 1,29 kg wiegen (Abb. 13).

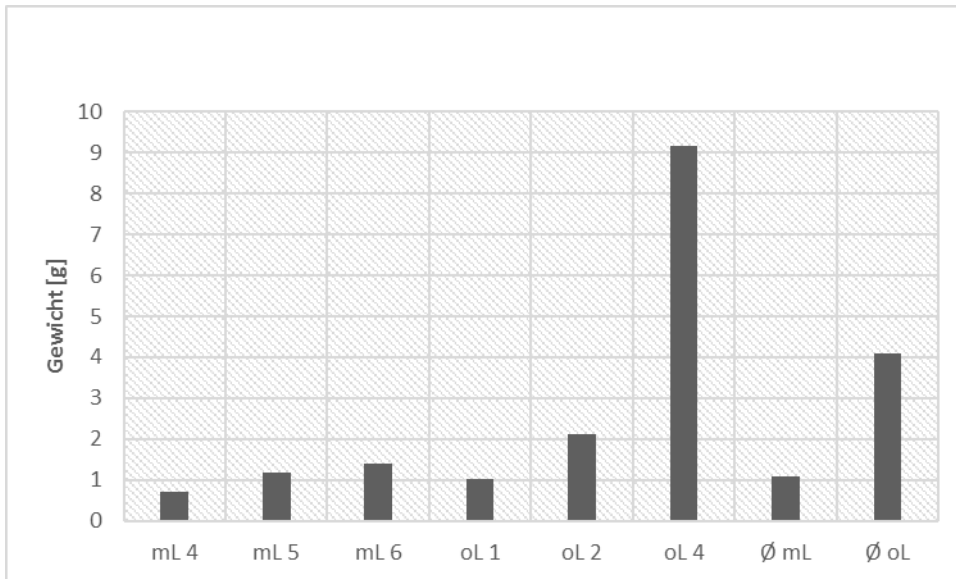


Abb. 13: Gewicht der Hortensienwurzeln [g] (n=3).

5.3.2. SPROSSANALYSE

Die Analyse des Sprosses hat ergeben, dass die Variante mit Lamellen eine höhere Blattanzahl aufweist (Tab. 11). Der T-Test hat hier einen Wert von 0,053 ergeben. Durch die höhere Blattanzahl konnte auch ein größeres Gesamtgewicht der Blätter erreicht werden, denn das Durchschnittsgewicht eines Blattes ist nahezu ident. Trotz geringerer Blattanzahl und geringerem Gesamtgewicht ist die gesamte Blattfläche bei der Variante ohne Lamelle größer.

Tab. 11: Anzahl der Blätter, Gesamtgewicht der Blätter und Gesamtfläche der Blätter der Hortensien (n=5, 6). ($p = \leq 5\%$)

	Anzahl der Blätter	Gesamtgewicht der Blätter [g]	Durchschn. Gewicht eines Blattes [g]	Gesamtfläche eines Blattes [m ²]
mit Lamelle	349	304,63	0,00087	5,878
Ohne Lamelle	302	272,90	0,00090	6,054
P_{F-Test}	0,259	0,263	0,544	0,349
P_{T-Test}	0,053	0,306	0,616	0,522

Ergebnisse

Bei den Hortensien in Töpfen mit Lamellen ist über den Zeitraum der Bonitur kein Trieb abgebrochen, bei den Pflanzen in Töpfen ohne Lamellen im selben Zeitraum vier

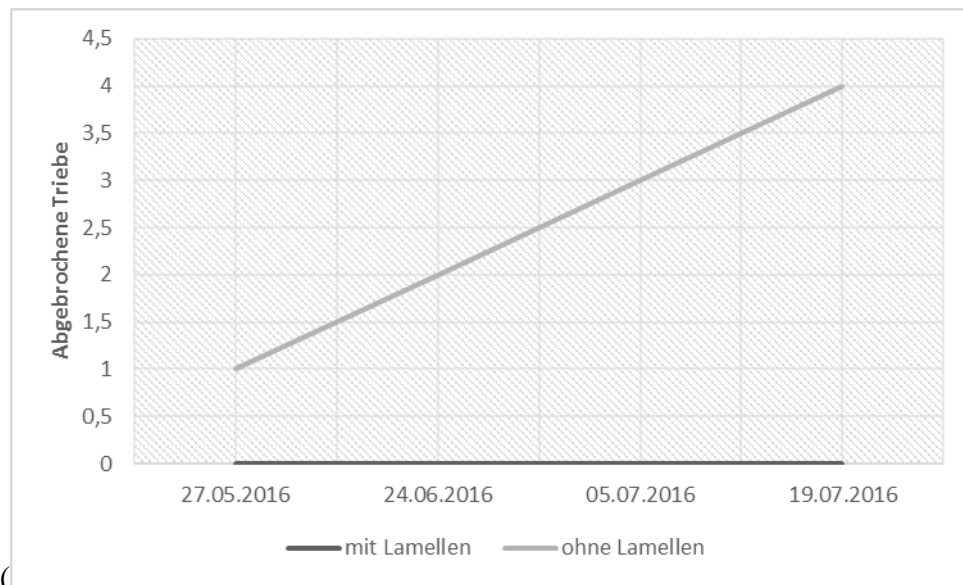


Abb. 14).

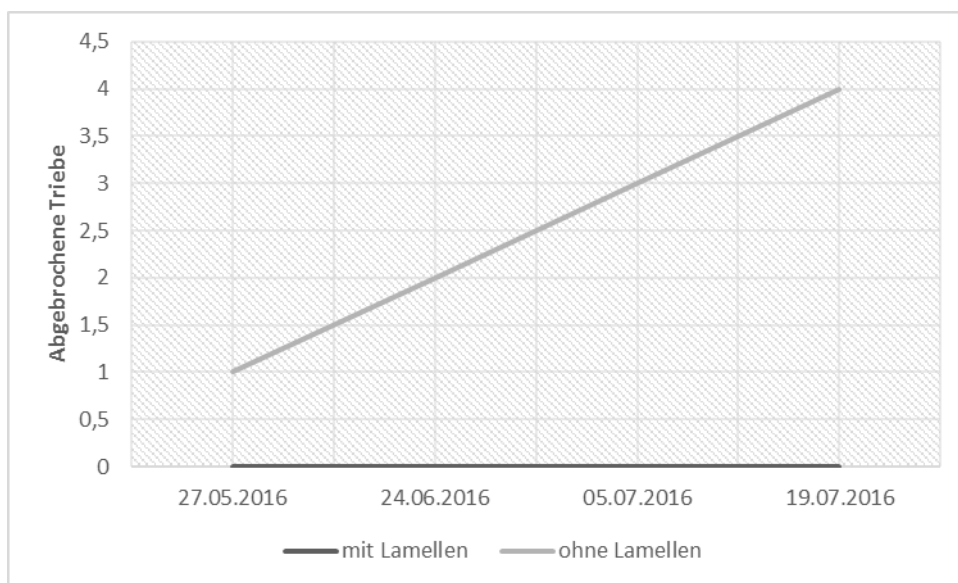


Abb. 14: Gemittelte Anzahl der abgebrochenen Triebe der Hortensie (n=5).

Interessant ist, dass sich keine signifikanten Unterschiede zwischen der Haupttriebproduktion finden lassen, doch die Pflanzen in Töpfen mit Lamellen signifikant mehr Seitentriebe ausbilden, als jene in Töpfen ohne Lamellen (Abb. 15, Tab. 12).

Ergebnisse

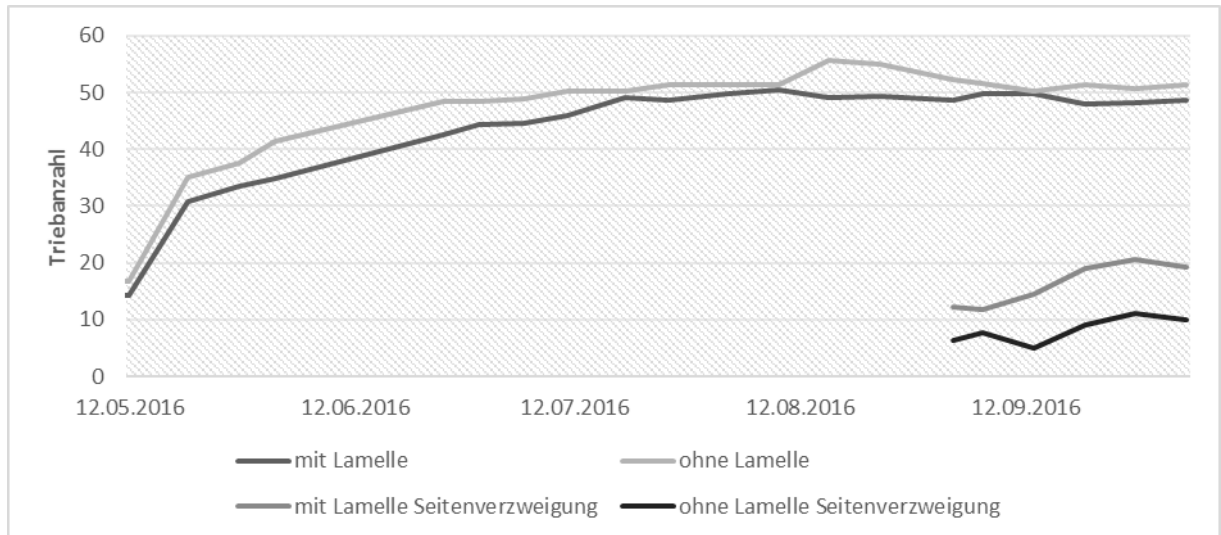


Abb. 15: Gemittelte Anzahl der Haupt- und Seitentriebe der Hortensien. (n=5)

Tab. 12: F-Test und T-Test bezogen auf die Anzahl der Haupt- und Seitentriebe der Hortensien.

	12.05.2016	20.05.2016	27.05.2016	01.06.2016	17.06.2015	24.06.2016	29.06.2016	05.07.2016	11.07.2016	19.07.2016	25.07.2016	02.08.2016	09.08.2016	16.08.2016	23.08.2016	02.09.2016	Seitenverzweigungen	06.09.2016	Seitenverzweigungen	13.09.2016	Seitenverzweigungen	20.09.2016	Seitenverzweigungen	27.09.2016	Seitenverzweigungen	04.10.2016	Seitenverzweigungen
<i>F-Test</i>	0,32	0,77	0,89	0,74	0,48	0,89	0,34	0,74	0,85	0,78	0,97	0,38	0,43	0,36	0,66	0,53	0,19	0,69	0,23	0,50	0,01	1,00	0,62	0,47	0,88	0,74	0,97
<i>T-Test</i>	0,34	0,36	0,19	0,11	0,31	0,30	0,77	0,21	0,51	0,77	0,29	0,93	0,31	0,12	0,64	0,29	0,03*	0,91	0,19	0,46	0,03*	0,50	0,01*	0,67	0,03*	0,37	0,01*

Auch die Herbstfärbung (Tab. 13) wurde erhoben, da bei den Hortensienpflanzen eine auffällige Herbstfärbung zu beobachten ist. Es zeigt sich mit einer signifikanten Wahrscheinlichkeit von 1,7 %, dass die Herbstfärbung bei den Pflanzen in Töpfen mit Lamellen später einsetzt, als bei jenen, die in Töpfen ohne Lamellen wachsen.

Tab. 13: Statistische Auswertung des Beginns der Herbstfärbung bei den Pflanzen (n=5,6). (p = ≤ 5%)

	20.09.2016	27.09.2016	04.10.2016
<i>mL</i>	0,17	0,83	1
<i>oL</i>	1	1	1
<i>P_{U-Test}</i>	0,017*	0,662	1

5.3.3. BLÜTENANALYSE

Auffällig ist in Abb. 16, dass die Hortensien in den Töpfen mit Lamellen am 23.06.2016 ihren Höhepunkt mit einem Wert von 2,33 haben, wohingegen jener der Hortensien in Töpfen ohne Lamellen bei 2 liegt. Die Hortensien in den Lamellen-Töpfen blühen eine Woche früher ganz ab. Die Hortensien in Töpfen ohne Lamellen schieben noch Nachzügler hinterher. Diese blühen am 22.09.2016 auf und bleiben bis zum Ende der Bonituren für 2016 erhalten.

Die statistische Auswertung hat keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Varianten ergeben. Auch nicht obwohl die Variante ohne Lamellen Mitte September noch einmal remontiert.

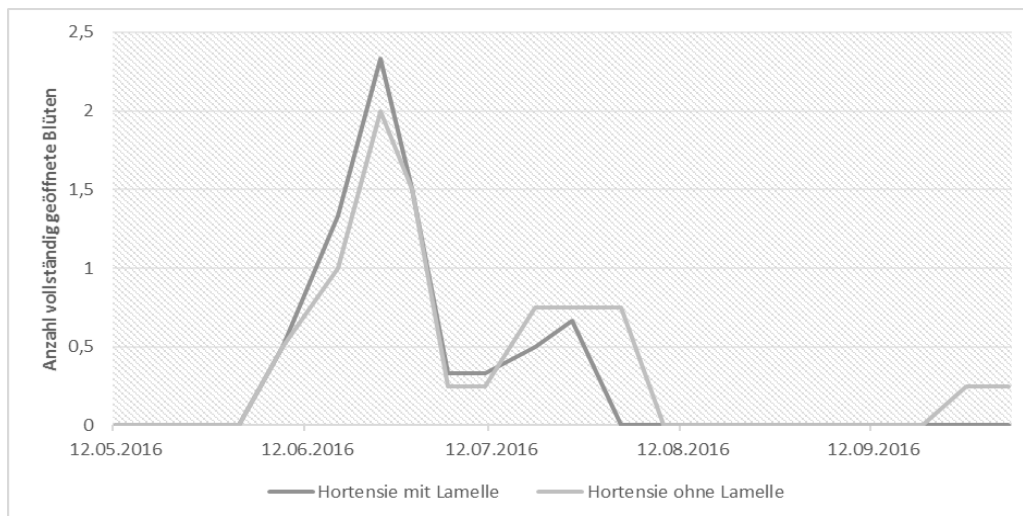


Abb. 16: Durchschnittliche Anzahl von geöffneten Blüten je Hortensie. (n=5,6)

6. DISKUSSION

Allgemein fällt sehr stark auf, dass die kleinen Töpfe für Pflanzen mit einem festen Wurzelballen ungeeignet sind. Sie fallen einerseits durch das geringe Wurzelvolumen, andererseits durch das erschwerte Gießen negativ auf.

Gekaufte Pflanzen, wie Rhododendren oder Hortensien haben einen sehr dichten Wurzelballen. Dieser musste bei den Hortensien sehr stark eingeschnitten werden, um die Pflanzen in den kleinen Töpfen unterzubringen. Oftmals musste auch ein Teil des Wurzelballens entfernt werden, um die Pflanzen auch in der Höhe dem Topf anzupassen. Demnach blieben wenige Hohlräume, welche mit frischem Substrat aufgefüllt werden konnten. Die Topfhöhe musste bei den kleinen Töpfen voll ausgereizt werden. Daher bleibt kein bis kaum Topfrand als Gießrand über und das Gießwasser läuft mit Dünger und Erde über (Abb. 17).



Abb. 17: Ein kleiner Topf mit Hortensie und keinem Gießrand.

Die großen Töpfe zeigten diese Probleme nicht. Die Rhododendren mussten auch sehr stark eingeschnitten werden, um sie in den Töpfen unterzubringen, allerdings musste vom Wurzelballen nichts entfernt werden. Der verfügbare Platz war dem, der üblicherweise verwendeten Töpfe sehr ähnlich. Dies wird durch den Versuch von NESMITH & DUVAL (1998) gefestigt. Ein höheres Topfvolumen bietet den Pflanzen mehr Porenvolumen, um die Wurzeln ausreichend mit Luft, Wasser und Nährstoffen versorgen zu können.

Die selbstgezogenen Tomaten waren hier einfacher handzuhaben, da sie als Jungpflanzen mit einem kleinen und flexiblen Wurzelballen in die Töpfe gepflanzt worden sind und ihre Wurzeln nicht verholzten.

Für alle Versuchspflanzen kann gesagt werden, dass keine Interaktionen aufgetreten sind, denn Interaktionen würden bedeuten, dass jede Variante unterschiedlich auf einen Faktor reagieren würde und sich keine allgemein gültige Aussage finden ließe.

6.1. TOMATEN

Die Sorte ‘Moneymaker‘ bildet genetisch bedingt weniger Wurzelmasse aus, als ‘Roma‘. Dementsprechend weist die zuletzt genannte Sorte auch mehr größere Nebenwurzeln auf. Die Anteile der Feinwurzeln an der Gesamtwurzelmasse unterscheiden sich jedoch in keiner Variante. Hier wurde kein Einfluss von der Topfart sowie der Topfgröße festgestellt.

Die Anzahl größerer Nebenwurzeln und auch die Feinwurzelgehalte sind in den Varianten ohne Lamellen höher, als in jenen mit Lamellen. Da dickere, ältere Wurzeln vor allem der Stabilisierung der Pflanzen im Substrat dienen, aber auch ihren Anteil zur Wasseraufnahme beitragen und über die Feinwurzeln Nährstoffe und Wasser aufgenommen werden, ist es wichtig, dass sie gefördert werden (KAWOLLEK, 1992, BÖHLMANN, 2009, KUTSCHERA, 2010). Dies scheinen die Töpfe mit Lamellen nicht zu bedingen.

Die Sorte ‘Moneymaker‘ hat statistisch signifikant mehr Früchte ausgebildet, als ‘Roma‘. Die Variante MMgmL produzierte die meisten Früchte. Größere Töpfe führen in diesem Fall zu mehr Blüten, dementsprechend mehr Früchten und einem höheren Ertrag (NESMITH & DUVAL, 1998).

6.2. RHODODENDREN

Bei den Rhododendren ist eine statistisch nicht belegbare Tendenz zu längeren Wurzeln bei der Variante mit Lamelle erkennbar. Ansonsten sind keine signifikanten Unterschiede oder auch nur Tendenzen ersichtlich. Die Rhododendren reagieren in beiden Varianten sehr ähnlich.

Es ist anzunehmen, dass daher mehr Forschung auf diesem Gebiet notwendig ist, um weitere Daten zu erheben. Erst dann lässt sich die Hypothese bestätigen oder verwerfen, dass die Effekt der Lamellen bei Rhododendren wirkungslos ist.

6.3. HORTENSIEN

Die Wurzelanalyse der Hortensien hat die Tendenz aufgezeigt, dass die Variante ohne Lamellen – im Gegensatz zu den Rhododendren – längere Wurzeln, größere Projektionsfläche, eine größere Wurzeloberfläche, einen größeren Wurzeldurchmesser, höhere Werte bei Länge pro Volumen, ein größeres Volumen, mehr Spitzen, mehr Gabelungen, mehr Überschneidungen und eine höhere Wurzeltrockenmasse ausbildet.

Im Unterschied dazu weist die Variante mit Lamellen ein signifikant stärkeres Sprosswachstum auf. Sie hat signifikant mehr Blätter gebildet, es sind keine Triebe abgebrochen – bei der Variante ohne Lamellen brachen vier Triebe. Sie haben signifikant mehr Seitentriebe ausgebildet. Dies widerspricht der Aussage von NESMITH & DUVAL (1998), dass mehr Wurzelraum für mehr und gesünderes Sprosswachstum sorgt.

Außerdem setzt die Herbstfärbung signifikant später ein.

In den untersuchten Werten in der Kategorie Blüte hat es keinen signifikanten Unterschied gegeben.

Das starke Wurzelsystem der Hortensien kann also in den Töpfen ohne Lamellen den Wurzelraum gut erschließen.

Um die Tendenzen abzuklären bedarf es weiterer Forschungsarbeit.

7. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die gesammelten Daten lassen kein eindeutiges Bild erkennen. Vergleicht man alle drei Pflanzenarten und ihre Ergebnisse, so ließe sich Folgendes feststellen.

Bei der Wurzelanalyse der Hortensien hat die Variante ohne Lamellen in allen Kategorien mit den höheren Werten abgeschnitten. Die Tomaten können das Ergebnis in den Sparten Feinwurzeln und Anzahl größerer Nebenwurzeln unterstützen.

Die Rhododendren reagieren hier anders. Die Variante mit Lamellen hat längere Wurzeln ausgebildet.

Beim Sprosswachstum ist die Variante mit Lamellen durch folgende Parameter klar im Vorzug:

Bei der Untersuchung der Hortensien konnte ein signifikant stärkeres Seitentriebwachstum und eine signifikant höhere Blattanzahl festgestellt werden. Zudem ist bei der Variante ohne Lamellen die Herbstfärbung früher eingetreten.

Die Tomaten können die Annahme nur schwach unterstützen, da es aufgrund der Sorte (Variante MMmL) zu höherem Fruchtertrag gekommen ist. Reiht man die Varianten nach Ertrag, so ergibt sich folgendes Bild: MMgmL – MmkoL – MmgoL – MMkmL – ROgoL – ROkmL – ROgmL – ROkoL. Auch die Blattanzahl kann dem Beweis dieser Theorie nicht gerecht werden.

Bei Rhododendren gibt es keine Unterschiede.

Abschließend kann man sagen, dass sich lediglich Tendenzen finden lassen, die aber keinesfalls die Gültigkeit der Hypothese bewahrheiten. Zudem reagieren die verschiedenen Arten sehr unterschiedlich auf die Topfgeometrie. Dies mag an den unterschiedlichen Wurzelsystemen liegen.

Die Töpfe sind optisch sehr ansprechend, doch konnten keine Effekte gefunden werden, die so ausgeprägt sind, dass sie das enorme Gewicht der Pflanzgefäße rechtfertigen, welches als klarer Ausschlussgrund für eine Verwendung in Gärtnereien dient.

Die Nutzung der Töpfe in dieser Art sollte man daher nicht in der Massenproduktion sehen, sondern bei Solitärpflanzen als Schmuckkomponente.

8. QUELLENVERZEICHNIS

8.1. ADRESSENVERZEICHNIS

Universitäts- und Forschungszentrum Tulln: Konrad-Lorenz-Straße 24, 3430 Tulln an der Donau

Versuchs- und Forschungsanstalt Jedlersdorf: Sowinetzgasse 1, 1210 Wien

8.2. LITERATURVERZEICHNIS

ADAMS, K (2017): Hortensien. Die schönsten Arten und Sorten. 4. Auflage. München: BLV Buchverlag GmbH & Co. KG, 99, 103, 118-121.

ALBRECHT, H-J & SOMMER S (1991): Rhododendron. Arten, Sorten und ihre Verwendung. 1. Auflage. Berlin: Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH, 12, 153.

ALONI, B, DAIE, J & KARNI, L (1991): Water relations, photosynthesis, and assimilate partitioning in leaves of pepper (*Capsicum annuum*) transplants: Effect of water stress after transplanting. J. Hort. Sci. 66:75-80. In: NESMITH, DS & DUVAL JR (1998): The effect of container size. Workshop Proceedings. Horttechnology. October-December 1998 8 (4), 495-498.

ARVAY, CG (2011): Fruchtgemüse. Alte Sorten und außergewöhnliche Arten neu entdeckt. Graz; Stuttgart: Leopold Stocker Verlag, 148-150.

BILDERBACK, TE & FONTENO, WC (1991): Effects of container geometry and media physical properties on air and water volumes in containers. J. Environ. Hort. 5:180-182. In: NESMITH, DS & DUVAL JR (1998): The effect of container size. Workshop Proceedings. Horttechnology. October-December 1998 8 (4), 495-498.

BORSTELL, U & WESTHOFF J (2014): Azaleen und Rhododendren: einfach faszinierend. 1. Auflage. München: Deutsche Verlags-Anstalt, 18-65.

BÖHLMANN, D (2009): Warum Bäume nicht in den Himmel wachsen. Eine Einführung in das Leben unserer Gehölze. Wiebelsheim: Quelle & Meyer Verlag GmbH & Co, 133-165.

BOKU (2018) Versuchszentrum Jedlersdorf. Abgerufen am 10.05.2018 von <https://www.dnw.boku.ac.at/gb/organisation/versuchszentrum-jedlersdorf/>

BRÜCHER, H (1989): Useful plants of neotropical origin and their wild relatives. Heidelberg, New York: Springer. In: KUTSCHERA, L, LICHTENEGGER, E & SOBOTIK, M (2009): Wurzelatlas der Kulturpflanzen gemäßiger Gebiete mit Arten des Feldgemüsebaues. Frankfurt am Main: DLG-Verlags-GmbH, 185.

BUCHTER-WEISBRODT, H (2016): Tomaten im naturnahen Garten. Schwarzenbeck: Cadmos Verlag. 6F, 16-27.

Quellenverzeichnis

- CHEERS, G (HRSG) (2003): Botanica: Das ABC der Pflanzen. Tandem Verlag GmbH.
- CRÜGER, G, BACKHAUS, GF, HIMMES, M, SMOLKA, S & VETTEN HJ (2002): Pflanzenschutz im Gemüsebau. Stuttgart: E. Ulmer. In: KUTSCHERA, L, LICHTENEGGER, E & SOBOTIK, M (2009): Wurzelatlas der Kulturpflanzen gemäßiger Gebiete mit Arten des Feldgemüsebaues. Frankfurt am Main: DLG-Verlags-GmbH, 318.
- DIETIKER, U (1984): Bonsai. Japanische Zwergbäume als Hobby. 5. Auflage. Bern: Hallwag AG, 6, 42, 89F.
- FAIRWEATHER, C (1989): Azaleen, Münster: Stedtfeld Verlag GmbH, 9, 79-81.
- HUBER, B (1961): Grundzüge der Pflanzenanatomie. Versuch einer zeitgemäßen Neudarstellung. Berlin; Göttingen; Heidelberg: Springer-Verlag, 66-71.
- KAWOLLEK, W (1992): Das praktische Bonsai-Buch: Anzucht, Gestaltung und Pflege winterharter Gehölze. 2. Auflage. Stuttgart: Eugen Ulmer KG, 69-75, 127-134.
- KEUTGEN, AJ (2015): Vorlesungsunterlagen für Spezielle Gemüseproduktion: Solanaceae, Akademisches Jahr 2014/2015, BOKU, Wien.
- KEEVER, GJ, COBB, CS & REED, RB (1985): Effect of container dimension and volume on growth of three woody ornamentals. HortScience 20:276-278. In: NESMITH, DS & DUVAL JR (1998): The effect of container size. Workshop Proceedings. Horttechnology. October-December 1998 8 (4), 495-498.
- KRIZEK, DT, CARMİ, A, MIRECKI, RM, SNYDER, FW & BRUCE, JA (1985): Comparative effects of soil moisture stress and restricted root zone volume on morphogenetic and physiological response of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). J. Expt. Bot. 36:25-38. In: NESMITH, DS & DUVAL JR (1998): The effect of container size. Workshop Proceedings. Horttechnology. October-December 1998 8 (4), 495-498.
- KUTSCHERA, L, LICHTENEGGER, E & SOBOTIK, M (2009): Wurzelatlas der Kulturpflanzen gemäßiger Gebiete mit Arten des Feldgemüsebaues. Frankfurt am Main: DLG-Verlags-GmbH, 34, 38, 58, 77-83, 410-414.
- KUTSCHERA, L (2010): Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen. Frankfurt am Main: DLG-Verlags-GmbH.

Quellenverzeichnis

- LOUPPE, D. & OUATTARA, N'KLO. (1992): Growth of *Faidherbia albida* in nurseries: standard production techniques or air pruning? ICRAF, 141-143.
- MALLET, C (2012): Hortensien: Blütenbälle in Pastell. 2. Auflage. Stuttgart: Eugen Ulmer KG, 8, 89-91.
- MANSCHADI, AM (2016): Vorlesungsunterlagen für Physiology of crop nutrition: Root architecture and nutrient acquisition, Akademisches Jahr 2015/2016, BOKU, Wien.
- MARLER, T & MUSSER, C (2016): Chemical and air pruning of roots influence post-transplant root traits of the critically endangered *Serianthes nelsonii*. Plant Root 10:21-25.
- MOSER, E (1991): Rhododendren. Wildarten & Hybriden. Radebeul: Neumann Verlag GmbH, 260.
- NESMITH, DS & DUVAL JR (1998): The effect of container size. Workshop Proceedings. Horttechnology. October-December 1998 8 (4), 495-498.
- PETERSON, TA, REINSEL, MD & KRIZEK, DT (1991): Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. 'Better Bush') plant response to root restriction. Alteration of plant morphology. J. Expt. Bot. 42:1233-1240. In: NESMITH, DS & DUVAL JR (1998): The effect of container size. Workshop Proceedings. Horttechnology. October-December 1998 8 (4), 495-498.
- RUFF, MS, KRIZEK, DT, MIRECKI, RM & INOUE, DW (1987): Restricted root zone volume: Influence on growth and development of tomato. J.Amer.Soc.Hoert.Sci. 112:736-769. In: NESMITH, DS & DUVAL JR (1998): The effect of container size. Workshop Proceedings. Horttechnology. October-December 1998 8 (4), 495-498.
- RÜGER, H (2013): Kosmos Soforthelfer Bonsai. Die 99 schnellsten Antworten. Stuttgart: Franckh-Kosmos Verlags-GmbH, 7, 11.
- SCHUMAN, E (2014): Tomaten für Garten und Balkon. Stuttgart: Eugen Ulmer KG, 21.
- SEBBAN, D (2003): Bonsai. Formen und pflegen. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer GmbH, 42.
- SEIPEL, H (2007): Fachkunde für Gärtner. Hamburg: Verlag Dr. Felix Büchner – Verlag Handwerk und Technik GmbH, 369.
- TREIBER, W (1981): Wechselwirkungen zwischen Pflanze und Boden im Wurzelraum. 2. Auflage. Gießen: Justus-Liebig-Universität.

POLOMSKI, J & KUHN, N (1998): Wurzelsysteme. Hrsg.: Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL/FNP). Bern; Stuttgart; Wien: Haupt Verlag.

VAN TRIER, H (2011): Hortensien. 1. Auflage. Stuttgart: Eugen Ulmer KG, 11, 130.

WEAVER, JE & BRUNNER, WE (1927): Root development of vegetable crops. McGraw-Hill, New-York, 315 S. In: KUTSCHERA, L, LICHTENEGGER, E & SOBOTIK, M (2009): Wurzelatlas der Kulturpflanzen gemäßiger Gebiete mit Arten des Feldgemüsebaues. Frankfurt am Main: DLG-Verlags-GmbH.

WESTON, LA & ZANDSTRA, BH (1986): Effect of root container size and location of production on growth and yield of tomato transplants. J.Amer.Soc.Hort.Sci. 111:498-501. In: NESMITH, DS & DUVAL JR (1998): The effect of container size. Workshop Proceedings. Horttechnology. October-December 1998 8 (4), 495-498.

8.3. INTERNETQUELLEN

FEIERTAG, S (2016): Tomatensorten aus aller Welt – über 20.000 Sorten. Abgerufen am 23.05.2018 von: <https://www.ethno-botanik.org/Tomaten/Tomatensorten.html>.

Gartenjournal (2018a): Rhododendron richtig düngen. Abgerufen am 11.05.2018 von <https://www.gartenjournal.net/rhododendron-duengen>.

Gartenjournal (2018b): Wie und womit wird die Hortensie richtig gedüngt. Abgerufen am 11.05.2018 von <https://www.gartenjournal.net/hortensien-duengen>.

Google Inc. (2018). Standort Sowinetzgasse 1. Abgerufen am 10.05.2018 von <https://www.google.de/maps/place/Sowinetzgasse+1,+1210+Wien/@48.2882249,16.4261828,436m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x476d044b6f7585eb:0x1598287e33421379!8m2!3d48.2882214!4d16.4283715>

SIEMENS, F (s.a.): So düngen Sie Ihren Rhododendron. Abgerufen am 10.05.2018 von <https://www.mein-schoener-garten.de/gartenpraxis/ziergaerten/rhododendron-duengen-20451>.

WOLTERS, S (s.a.): Hortensien richtig düngen. Abgerufen am 10.05.2018 von <https://www.mein-schoener-garten.de/gartenpraxis/ziergaerten/hortensien-duengen-20511>.

ZAMG (2018a): Klimadatenübersicht – Jahrbuch. Abgerufen am 10.05.2018 von <http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klimauebersichten/jahrbuch>.

Quellenverzeichnis

ZAMG. (2018b). Klimadaten von Österreich 1971 - 2000. Abgerufen am 10.05.2018 von http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm

ZAMG (2018c): Wetterrückblick für 2016. Abgerufen am 10.05.2018 von <http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/jahresrueckblick/wetterrueckblick/?jahr=2016&monat=GJ>

9. EIDESSTAATLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Formulierungen und Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Diese schriftliche Arbeit wurde noch an keiner Stelle vorgelegt.