



Abteilung Gartenbau  
Department für Nutzpflanzenwissenschaften  
Universität für Bodenkultur Wien

## **Masterarbeit**

# **„Einfluss der Schalenform auf das Pflanzenwachstum und die Fruchtqualität bei Tomaten“**

gestellt von:

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

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

verfasst von: Birgit Brandstötter

Wien, November 2016

## Danksagung

Ich danke meiner Familie und meinen Freunden für die tatkräftige Unterstützung beim Zustandekommen dieser Masterarbeit.

Bedanken möchte ich mich des Weiteren bei meiner Betreuerin Frau Anna Keutgen sowie bei meinem Zweitbetreuer Herrn Norbert Keutgen, welche mir diese Masterarbeit ermöglicht haben und mir mit Rat und Tat zur Seite gestanden sind.

Auch bedanken möchte ich mich bei Herrn Walter Pötscher – Bonsaischalen in Schiedlberg - für die Anregungen zum Forschungsthema und die Unterstützung des Projektes.

*„When wishing to accomplish a task that is not yet achieved and time is passing by, it often happens that there is uncertainty if it will be possible to succeed in that project. It is not uncommon to encounter this kind of experience. However, in this unclear situation, there is no need to become nervous or insecure. Instead, believe even more in Buddha (the Absolute, the Truth), Dharma and Sangha.*

*Although feeling uncomfortable, such a tense and exciting situation should be appreciated. However, the greater the insecurity and agitation are, the more it should be checked if a project is truly benefiting others or merely coming from the standpoint of personal desires.*

*There is no cause for worry when a project is truly dedicated to the service of others, and the work has been sincere and wholehearted. We should practice to become clearer while waiting for a project to come to fruition. Also, at the same time, we must check whether any aspect of the work is missing or has been overlooked.*

*Once the shortcoming is determined, and sincere efforts are made for rectifying it, then all kinds of difficulties encountered will be overcome. Whatever is wanted can also be accomplished.*

*Also, check whether one's abilities are commensurate with what has to be achieved. If one does not have the capabilities or education to do a certain task, yet it is still embarked upon out of desires and greed, then constant problems can be expected.*

*To think that we can be successful in accomplishing what someone else has already achieved is erroneous. This kind of thinking actually comes from a greedy mind. When a project does not work out, examine very seriously and carefully, finding out what is missing and why it could not be accomplished.*

*There is a saying: „The short-legged bird has difficulties following the long-legged bird“.*

*Whatever is yearned or wished for, should be within our reach and capacity. Such an approach will bring more wisdom and, consequently, great comfort.“*

*(Ji Kwang Dae Poep Sa Nim, 2012)*

# **„Einfluss der Schalenform auf das Pflanzenwachstum und die Fruchtqualität bei Tomaten“**

Birgit Brandstötter

## **Abstrakt Deutsch**

Durch zunehmendes Interesse der Bevölkerung am städtischen Gärtnern erregen neuartige, platzsparende Pflanzgefäße Aufmerksamkeit. Derzeit gibt es am Markt viele verschiedene Topfformen zu kaufen, die sich in Material und Form unterscheiden. Welcher Topf sich für städtisches Gärtnern auf kleinem Raum am besten eignet, ist nicht evident bekannt. Ein neuartiger Topf aus weißem Ton, welcher vier Lamellen an der Innenseite des Topfes aufweist, steht im Fokus der vorliegenden Arbeit. Die Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum wurden untersucht.

Im Rahmen der Analyse von insgesamt 24 Tomatenpflanzen, wovon 12 der Sorte `Moneymaker` und 12 der Sorte `Roma` angehörten, die in zwei verschiedenen Topfvarianten (mit und ohne Lamellen) und zwei verschiedenen Topfgrößen (vier und acht Liter) kultiviert wurden, wurden Untersuchungen zu Wurzel-, Pflanzen- und Fruchtwachstum, Fruchtdefiziten und den Inhaltsstoffen der Früchte durchgeführt.

Der Faktor „Lamellen“ bewirkte im Wurzelbereich sowohl ein signifikant geringeres Wachstum der Fein- und Gesamtwurzelmasse, als auch ein geringeres Wurzelvolumen. Auch die Anzahl und Länge der Nebenwurzeln wurde reduziert. Bei den vier Liter Töpfen mit Lamellen hatten die Tomatenfrüchte höhere Gewichte. Ansonsten bewirkten Lamellen beim Carotinoidgehalt bei `Moneymaker` niedrigere und bei `Roma` höhere Werte. Der Gehalt an reduzierenden Zuckern war bei `Roma` erhöht.

Eindeutig positive Auswirkungen der Lamellen konnten aus den vorliegenden Ergebnissen nicht abgeleitet werden, jedoch ist Einbeziehung eines zweiten Versuchsjahres notwendig, um zu entscheiden, ob sich diese Topfform für eine Kommerzialisierung eignet.

# **“Influence of the pot shape on plant growth and fruit quality of tomatoes”**

Birgit Brandstötter

## **Abstract English**

Increasing interest of people on urban gardening has attracted attention to new, space-saving plant containers. Currently, there are different kinds of containers available on the market, which differ in material and form. Which pot is best suited for urban gardening in a limited space, is yet unknown. A new container made from white clay, which has four ridges on the inner side, is in the focus of this study. The effects on plant growth were examined.

As part of the analysis of a total of 24 tomato plants, 12 of the variety ‘Moneymaker’ and 12 of the variety ‘Roma’, which were cultivated in two different container types (with or without ridges) and two different container sizes (four and eight liters), were investigated with respect to their root, plant and fruit growth, fruit deficits and the ingredients of the fruit.

The factor “ridges” resulted in the root zone in both, a significantly lower growth rate of the fine and total root masses, as well as a smaller root volume. The number and length of lateral roots was reduced. In the four-liter pots with ridges the tomato fruit had higher weights. In addition, ridges caused a lower carotenoid content in ‘Moneymaker’ and a higher in ‘Roma’. The content of reducing sugars was increased in ‘Roma’.

Evidently positive impacts of the ridges could not be derived from the present results, however, a second year with experiments is necessary to decide, whether this container form is suitable for commercialization.

# Inhaltsverzeichnis

Danksagung .....	III
Abstrakt Deutsch .....	IV
Abstract English .....	V
Inhaltsverzeichnis .....	VI
Abbildungsverzeichnis und Tabellenverzeichnis .....	VIII
Abkürzungsverzeichnis .....	IX
Eidesstattliche Erklärung .....	69
1 Einleitung .....	1
1.1 Forschungsfragen .....	3
1.2 Hypothese .....	4
1.3 Ziel der Arbeit: .....	4
2 Literaturteil .....	5
2.1 Kulturbeschreibung <i>Solanum lycopersicum</i> L. (Tomate) .....	5
2.1.1 Allgemeine Informationen .....	5
2.1.2 Herkunft der Tomate .....	6
2.1.3 Ökonomische Bedeutung der Tomaten weltweit und in Österreich .....	7
2.1.4 Häufige Krankheiten im Freilandanbau bei Tomaten .....	10
2.1.5 Inhaltsstoffe Tomaten .....	12
2.2 Wurzelwachstum allgemein und bei Tomaten .....	17
2.2.1 Wurzeln im Vergleich zum Spross .....	17
2.2.2 Wurzelwachstum einer Pflanze .....	18
2.2.3 Tomatenwurzeln im Detail .....	18
2.2.4 Ringwurzelbildung .....	20
2.3 Töpfe für den Gemüseanbau .....	21
2.3.1 Materialeigenschaften von Töpfen .....	21
2.3.2 Auswirkungen der Topfgröße .....	22
3 Material und Methoden .....	24
3.1 Verwendetes Material und Wirtschaftsweise .....	24
3.1.1 Ausgangsmaterialien .....	24
3.1.2 Verwendetes Erdsubstrat .....	28
3.1.3 Bewirtschaftung .....	28
3.2 Wetterdaten zum Standort .....	29
3.3 Durchgeführte Analysen .....	30

3.3.1	Analysen zur Wurzelstruktur .....	30
3.3.2	Untersuchungen zu Pflanzen- und Fruchtwachstum .....	34
3.3.3	Untersuchungen zu Inhaltsstoffen der Früchte:.....	35
3.4	Statistische Auswertung der Daten .....	38
4	Ergebnisse .....	39
4.1	Ergebnisse der Wurzelanalysen .....	39
4.2	Ergebnisse zu Pflanzen- und Fruchtentwicklung .....	43
4.3	Ergebnisse zu Fruchtdefiziten .....	47
4.4	Ergebnisse zu den Inhaltsstoffen der Früchte .....	49
4.5	Übersicht der Effekte der Faktoren „Lamellen“ und „Topfgröße“ .....	54
5	Diskussion .....	57
5.5	Verwendung der Ergebnisse in der Praxis .....	60
6	Zusammenfassung und Ausblick .....	61
7	Literaturverzeichnis .....	63

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Tomatenproduktion weltweit von 1990 bis 2011 .....	8
Abbildung 2 Ranking der pflanzlichen Erzeugnisse nach Pro-Kopf-Verbrauch .....	9
Abbildung 3 Wurzel-/Sprossverhältnis einer dicotylen Pflanze .....	17
Abbildung 4 Tomatenpflanze in Ravenna, Italien .....	19
Abbildung 5 Ansicht Töpfe von oben und seitlich. ....	25
Abbildung 6 Temperaturdaten Mai bis September, Hohe Warte .....	29
Abbildung 7 Niederschlagsmenge Mai bis September 2016, Hohe Warte .....	29
Abbildung 8 verschiedene Ansichten des Wurzelballens. ....	30
Abbildung 9 gereinigter Wurzelballen und Wurzeln eingelegt. ....	31
Abbildung 10 Übersicht der verwendeten Geräte für die Wurzelseparation. ....	31
Abbildung 11 Wurzelballen im Ganzen und separierte Teile. ....	32
Abbildung 12 Ausgewertetes Bild, Wurzelscanaufgabe, Wurzelmasse .....	33
Abbildung 13 Beispiel einer gefrorenen Frischprobe .....	35
Abbildung 14 Extrakte in Scintillationsgefäße. ....	37

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Übersichtstabelle Inhaltsstoffe Tomate pro kg Frischmasse.....	12
Tabelle 2 Maße der verwendeten Töpfe (eigene Darstellung). ....	25
Tabelle 3 Sorteneigenschaften der verwendeten Tomaten (Schumann, 2001).....	26
Tabelle 4 Statistische Analyse zu Wurzelwachstum.....	40
Tabelle 5 Statistische Analyse zu Pflanzen- und Fruchtentwicklung .....	43
Tabelle 6 Statistische Analyse zu Fruchtdefiziten .....	47
Tabelle 7 Statistische Analyse zu Inhaltsstoffe I.....	49
Tabelle 8 Statistische Analyse zu Inhaltsstoffe II.....	52
Tabelle 9 Signifikante Auswirkungen des Faktors „Lamellen“ .....	54
Tabelle 10 Tabelle 7: Signifikante Auswirkungen des Faktors „Topfgröße“ .....	55

## Abkürzungsverzeichnis

FM	Frischmasse
FRAP	ferric reducing anatioxidant power
gmL	Groß mit Lamellen
goL	Groß ohne Lamellen
KmL	Klein mit Lamellen
KoL	Klein ohne Lamellen
MM	‘Moneymaker’
nm	Nanometer
R	‘Roma’
UFT	Universitäts- und Forschungszentrum Tulln

## 1 Einleitung

Die Ernährung der Menschheit sowie die Bevölkerungsentwicklung spielen eine Rolle im wachsenden Bewusstsein der Bevölkerung. Die Weltbevölkerung steigt rapide an und es werden zunehmend hochwertige Agrarflächen verbaut. Anbauflächen gehen durch die Ansiedelung von Firmen verloren und durch allgemeine Verstädterung sind die Agrarflächen global rückläufig (Jungmeir, 2013). Man geht davon aus, dass 2050 9,551 Milliarden auf der Erde leben werden (Schaal et al., 2016).

Wie man eigens auf kleiner Fläche möglichst viel in guter Qualität ernten kann, liegt im Interessensgebiet von vielen zukunftsorientierten und gesundheitsbewussten Menschen (Hui, 2011). Durch zunehmendes Interesse an städtischem Gärtnern können platzsparende und sich auf das Wurzelwachstum positiv auswirkende Pflanzentöpfe von großem kommerziellen Interesse werden.

Angesichts des CO<sub>2</sub>-Footprints sind regionale Produkte zunehmend attraktiver für Konsumentinnen und Konsumenten (Nagy, 2013). Sowohl in Industrie- als auch in Entwicklungsländern besteht Interesse an diesem Thema, da es sowohl Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt betrifft. Urbanes Gärtnern ermöglicht nicht nur eigens produzierte Nahrung, sondern kann unter Umständen auch zum Einkommen einen Beitrag leisten und sogar Arbeitsplätze schaffen (Ackermann et al., 2014). Global betrachtet ist Platzmangel eine derzeitige sowie zukünftige Herausforderung im städtischen Bereich. Die Verbreitung von urbanen Gärten reflektieren ein zunehmendes Interesse daran, wie Lebensmittelproduktionsvorgänge ablaufen und weiters den Wunsch die städtischen Grünflächen auszubauen. Diese Grünflächen können sich auf Dächern, Balkonen, oder in geschlossenen Räumen befinden (Thomaier et al., 2014).

Städtisches Gärtnern kann zu wirtschaftlichem Wachstum, Arbeitsplatzbeschaffung und Nahrungsmittelsicherheit führen und wirkt gemeinschaftsbildend. Es kann allerdings aufgrund von Standorteigenschaften, Platzmangel, einem Mangel an Landnutzungsrechten (durch rechtliche Einschränkungen) und Gesundheitsri-

siken (Luftschadstoffe) auch zu Problemen führen (Whittinghill und Rowe, 2011). Städtische Gärten befinden sich häufig an Extremstandorten, welche stressbedingte Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum haben können. Mögliche Stressoren sind Temperatur, UV-Strahlung, Wassermangel, Wasserüberschuss, Salzstress und Luftschadstoffe (Königshofer, 2015).

Es stellt sich die Frage ob für urbanes Gärtnern Materialien zur Verfügung stehen, welche auf kleinem Raum und an Extremstandorten erfolgreiches Pflanzenwachstum gewährleisten. Nicht nur im städtischen Bereich, sondern global gesehen, sind solche Produkte von großem Interesse und Nutzen. Bis dato gibt es wenig Literatur zu neuartigen Pflanztopfformen. Auch zur Wurzelmasseausbildung in Töpfen für den Gemüseanbau gibt es nur beschränkt Informationen. Derzeit gibt es am Markt für solche Zwecke Pflanztöpfe mit variierenden Materialien und Größen. Allerdings wurden noch keine Töpfe mit Elementen innerhalb der Topfwände untersucht, nur erste Multitopfplatten. Da sich in den Töpfen das Wurzelwerk einer Pflanze befindet, welches aus pflanzenphysiologischer Sicht maßgeblich über das Gedeihen einer Pflanze entscheidet, liegt der Fokus dieser Arbeit auf dem Pflanzgefäß und die daraus resultierenden Auswirkungen auf das Wachstum einer Pflanze. Für die Untersuchung eines neuartigen Topfes, welcher Lamellen innerhalb der Topfwände hat, wurde die Tomatenpflanze (*Solanum lycopersicum*) exemplarisch herangezogen. Ziel war es, die Auswirkungen dieses neuartigen Topfes messbar zu machen. Bei den Tomatenpflanzen wurden zwei unterschiedliche Sorten, 'Moneymaker' und 'Roma' ausgewählt, welche in weiterer Folge noch näher beschrieben werden.

Es treten daher folgende Fragestellungen, Hypothese und Zielformulierung auf:

## 1.1 Forschungsfragen

- Wie wirkt sich eine Topfform mit Lamellen auf das Pflanzenwachstum und die Fruchtqualität bei den Tomatensorten `MoneyMaker` und `Roma` im Vergleich zu einer Topfform ohne Lamellen aus?
- Eignet sich ein Topf mit Lamellen für städtisches Gärtnern am Extremstandort Dach?

Aus den genannten Forschungsfragen ergeben sich folgende Unterfragen:

- Wie wirkt sich eine Topfform mit Lamellen auf das Pflanzenwachstum allgemein bei den Tomatensorten `MoneyMaker` und `Roma` im Vergleich zu einer Topfform ohne Lamellen aus?
- Wie wirkt sich eine Topfform mit Lamellen auf das Wurzelwachstum bei den Tomatensorten `MoneyMaker` und `Roma` im Vergleich zu einer Topfform ohne Lamellen aus?
- Wie wirkt sich eine Topfform mit Lamellen auf das Sprosswachstum bei den Tomatensorten `MoneyMaker` und `Roma` im Vergleich zu einer Topfform ohne Lamellen aus?
- Wie wirkt sich eine Topfform mit Lamellen auf die Fruchtqualität und den Fruchtertrag bei den Tomatensorten `MoneyMaker` und `Roma` im Vergleich zu einer Topfform ohne Lamellen aus?
- Welche Unterschiede sind bei der Topfgröße (4 oder 8 Liter) feststellbar bzw. welche Topfgröße eignet sich besser für den Tomatenanbau?
- Wie wirken sich Lamellen im Topfinneren auf die Biomasseproduktion bei der Tomatenpflanze aus (Wurzeln, Pflanzenwachstum und Früchte)?
- Hat ein Topf mit Lamellen positive Auswirkungen auf das Abwehrsystem einer Pflanze und schützt diese somit vor Krankheiten?

## 1.2 Hypothese

Die Hypothese lautet, dass eine Topfform mit Lamellen positive Auswirkungen auf das Wurzelmasse/Spross-Verhältnis sowie auf die Fruchtproduktion der Tomatenpflanzen mit sich bringt. Es wird angenommen, dass die Lamellen das Wurzelwachstum anregen und somit einen günstigen Einfluss auf das gesamte Pflanzenwachstum und die Fruchtqualität ausüben.

## 1.3 Ziel der Arbeit:

Ziel dieser Masterarbeit ist es, eine wissenschaftliche Übersicht über Parameter des Wurzel- und Sprosswachstums und der Fruchtqualität der Tomatensorten 'Moneymaker' und 'Roma' im Vergleich von Topfgröße (4 oder 8 Liter) und Topfform (mit/ohne Lamellen) zu geben. Weiters werden quantitative Parameter zu Pflanzen- und Fruchtentwicklung dargestellt.

Im günstigsten Fall ergeben sich signifikante Nachweise über differenzierte Auswirkungen von Lamellen in einem Topf bei der Kultivierung von Tomatenpflanzen. Ergeben sich signifikant positive Einflüsse der Lamellen auf das Pflanzenwachstum, ist dies auch im Interessensgebiet des Erfinders. Hier fehlt ein wenig mehr Information.

Ergeben sich günstige qualitative und quantitative Messwerte für die Variante mit Lamellen, könnte sich ein neues Marktprodukt für urbanes Gärtnern daraus entwickeln.

## 2 Literaturteil

In der folgenden Literaturübersicht werden botanische, gartenbauliche, historische und ökonomische Informationen über die Kulturpflanze Tomate (*Solanum lycopersicum* L.), davon ausgewählte Pflanzeninhaltsstoffe, das Wurzelwachstum von Pflanzen und im Speziellen von Tomaten und diverse Topfarten sowie Materialien für Töpfe näher beleuchtet.

### 2.1 Kulturbeschreibung *Solanum lycopersicum* L. (Tomate)

#### 2.1.1 Allgemeine Informationen

Tomatenfrüchte zählen zu den beliebtesten Gemüsesorten der ÖsterreicherInnen und werden mitunter auf Balkonen und Terrassen kultiviert. Tomaten sind nicht nur variabel in Form, Farbe und Geschmack, sondern sind auch reich an Inhaltsstoffen (Bergougnoux, 2014).

Kutschera et al. (2009) beschreiben *Solanum lycopersicum* im europäischen Raum als einjährig, allerdings in ihrem ursprünglichen Heimatgebiet vereinzelt können sie auch mehrjährig sein. Das Tausendkorngewicht (TKG) beträgt 2-3 Gramm, die Keimtemperatur beträgt mindestens 18° Celsius. Aus botanischer Sicht sind Tomaten (*Solanum lycopersicum*) Beeren und gehören zu Früchten. Die Tomate gehört zur Familie der *Solanaceae* (Nachtschattengewächse), welcher über 3000 verschiedene Arten angehören. Dazu zählen wichtige Kulturen wie Kartoffeln, Auberginen, Tabak, Pfeffer und Physalis.

Die Erntemenge an Früchten wird nach Anzahl der Früchte und Fruchtgewicht gemessen. Durch Düngung und gezielte Züchtung wurden Erntemengen erheblich gesteigert. Faktoren wie Temperatur, Wasserhaushalt sind weitere Einflussfaktoren auf den Ernteertrag (Bergougnoux, 2014).

Die Resistenz beziehungsweise die Anfälligkeit auf biotische und abiotische Stressfaktoren sind weitere große ertragsbestimmende Komponenten. Tomaten sind gegen über 200 Schädlingen und Krankheiten anfällig. Empfindlich sind To-

matenpflanzen gegen Frost. In Mitteleuropa werden daher Standorte mit Kälteeindämmung wie Folienhäuser oder Kalthäuser bevorzugt. Die Tomatenpflanze ist weitgehend selbstverträglich. Allerdings besteht bei enger Fruchtfolge die Möglichkeit diverser Krankheiten, zum Beispiel Samtfleckenkrankheit (*Cladosporium fulvum*) oder Korkwurzelkrankheit (*Pyrenochaeta lycopersici*). Unreife Früchte können nicht verzehrt werden, da sie den giftigen Inhaltsstoff Solanin enthalten (Kutschera et al., 2009).

### **2.1.2 Herkunft der Tomate**

Die südamerikanischen Anden, dem heutigen Ecuador, Bolivien und Peru, zählen zu den Ursprungsländern der Tomate. Mit Wanderungen der Ureinwohner gelangte die Frucht Richtung Norden. Die Maya und Azteken aus Mexiko züchteten mit natürlichen Mutationen immer größere Früchte. Diese wurden zunächst „xictomatl“ und in weiterer Folge „tomatl“, von „tomana“ = anschwellen genannt (Heuvelink, 2005).

Christoph Kolumbus brachte diese Tomatenpflanzen im Jahr 1498 von Amerika nach Europa, wo die damals gelbschaligen Früchte auf großes Interesse stießen. Allerdings fand die Pflanze damals nur als Zierpflanze Verwendung, da die Früchte für giftig und für den Auslöser eines „Liebeswahns“ gehalten wurden. Etwas mystisches wurde den Tomaten lange Zeit angehaftet und wurde deshalb ebenfalls „Liebes- oder Paradiesapfel“ genannt. Erste Anbauversuche innerhalb Europas unternahm die Italiener im 16. Jahrhundert, wo die Pflanze „Pomodoro“ = Goldapfel genannt wurde. Erst ab dem 19. Jahrhundert wurde die Tomate für Küchengerichte verwendet. Heute ist die Tomate ein wesentlicher Bestandteil der mediterranen Küche (Schumann, 2014).

Ins nördliche Europa gelangte die Tomate erst nach und nach. Der erwerbsmäßige Anbau begann um etwa 1890, sie erlangte aber erst im ersten Weltkrieg besondere Anerkennung. Häufige Sorten waren ‚Luccullus‘, ‚Ponderosa‘, ‚König Humbert‘, und ‚Frühe Geisenheimer‘.

Schätzungen zufolge kann man heutzutage von etwa 20.000 verschiedenen Tomatensorten, weltweit ausgehen, welche sich durch Mutationen sowie gezielte Selektion ergeben haben (Coirazza, 2014).

### **2.1.3 Ökonomische Bedeutung der Tomaten weltweit und in Österreich**

Tomaten sind weltweit gesehen das wirtschaftlich bedeutendste Gemüse. Sie werden nicht nur als Frischware sondern auch in verarbeiteter Form als Suppe, Paste, Konzentrat, Saft oder Ketchup gehandelt. Diese Frucht ist ein bedeutender Lieferant von wichtigen Inhaltsstoffen wie etwa Lycopin,  $\beta$ -Carotin und Ascorbinsäure, welche allesamt eine bedeutende Rolle für die menschliche Gesundheit spielen. Tomaten sind nach Kartoffeln und vor Zwiebeln das am meisten konsumierte Gemüse weltweit (FAOSTAT, 2016) und das wahrscheinlich beliebteste Gartengemüse. In den vergangenen 20 Jahren hat sich die Tomatenproduktion und auch die Fläche, auf der Tomaten kultiviert werden, verdoppelt. Früher repräsentierten Europa und Amerika die größten Tomatenanbaugebiete, heute zählt China zum größten Tomatenproduzenten weltweit (Abb.1). Global werden durchschnittlich 20,5 kg pro Kopf und Jahr an Tomaten verzehrt (FAO, 2016). Spitzenreiter im Konsum mit 100 kg pro Kopf/Jahr sind Libyen, Ägypten und Griechenland. Die Produktionsmenge an Tomaten weltweit ist von knapp 80 Millionen Tonnen auf das Doppelte, etwa 160 Millionen in den letzten 20 Jahren angestiegen (Abb. 1, Bergougnoux, 2014).

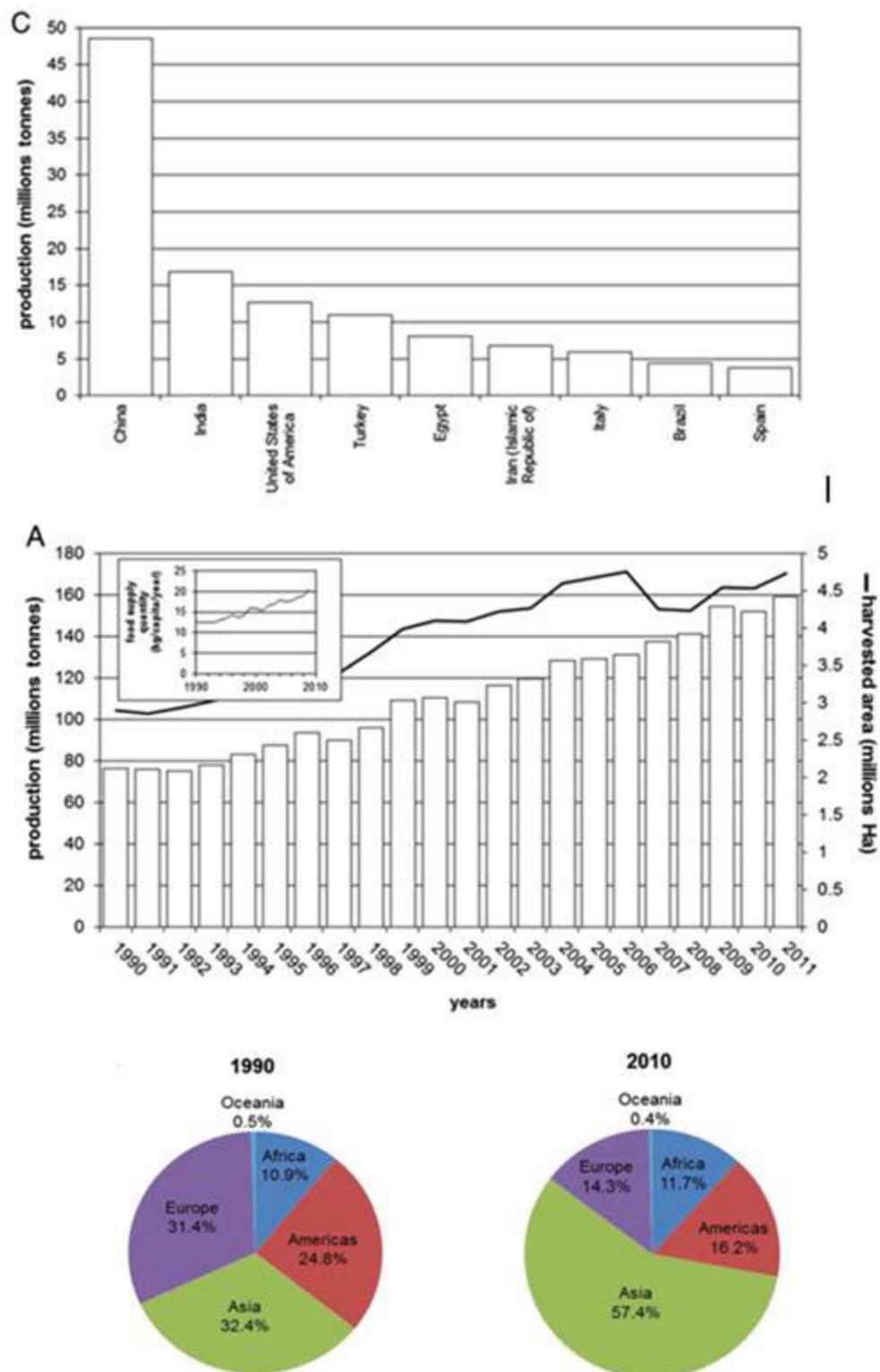


Abbildung 1 Tomatenproduktion weltweit von 1990 bis 2011 und Gewichtung nach Länder, FAO Stat. (2014).

Der Pro-Kopf Tomatenverzehr pro Person und Jahr lag im Jahr 2015 in Österreich laut Statistik Austria (2016) bei 28 kg. Der Selbstversorgungsgrad in Österreich lag bei 22 Prozent (2015), Tendenz steigend und Tomaten (Paradeiser) belegten den Platz fünf unter den Top 10 pflanzlichen Erzeugnissen nach Pro-Kopf-Verbrauch 2014/2015 (Abb. 2, Statistik Austria 2016).

## Top 10 pflanzliche Erzeugnisse nach Pro-Kopf-Verbrauch 2014/15



Quelle und Grafik: STATISTIK AUSTRIA, Versorgungsbilanzen, erstellt am 29.04.2016. – \*Keine Angabe aus Gründen des Datenschutzes.

Abbildung 2 Ranking der pflanzlichen Erzeugnisse nach Pro-Kopf-Verbrauch (Statistik Austria, 2016).

Aufgrund langer Hitze- und Trockenperioden fiel 2015 die gesamte Feld- und Gemüsebauernte insgesamt unterdurchschnittlich (minus zwölf Prozent zum Fünfjahresmittel) aus.

Laut Statistik Austria wurde 2015 jedoch eine leicht überdurchschnittliche Erntemenge von plus drei Prozent bei Fruchtgemüse gegenüber dem Vorjahr mit einem Ernteertrag von 147.700 Tonnen verzeichnet. Bei Tomaten, wobei 78 Prozent Rispenparadeiser ausmachen, wurde österreichweit eine Menge von 55.700 Tonnen produziert und drei Prozent weniger als 2014 geerntet (Statistik Austria, 2016).

#### 2.1.4 Häufige Krankheiten im Freilandanbau bei Tomaten

Die Tomatenpflanze ist eine sehr anspruchsvolle Kultur, welche hohe Anforderungen an die Umwelt stellt. Werden nicht alle Ansprüche erfüllt treten häufig Krankheiten auf. Bedlan (2012) beschreibt folgende, häufige Krankheitsbilder an Tomaten:

*Botrytis cinerea* (Grauschimmel) tritt an Tomaten sowohl im Gewächshaus als auch im Freiland auf. An den Früchten, Blättern, Blattstielen und Stängeln entstehen zuerst graugrüne Flecken, welche in weiterer Folge von einem Konidienrasen bedeckt werden. Die Früchte fallen ab, sobald die Fruchtstiele befallen werden.

Fruchtverfärbungen wie etwa „Grünkragen“ oder „Gelbkragen“ entstehen, wenn die Tomatenfrüchte einer starken Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind oder wenn sie sehr stark ausgegeizt wurden. Erhöhte Stickstoffgaben sowie Kalium- und Magnesiummangel oder übermäßige Wasserversorgung mit einhergehender Staunässe können ebenfalls dazu führen.

Blütenendfäule oder Kalziummangel entstehen häufig durch Schwankungen in der Wasserversorgung, welche die Aufnahme von Kalzium beeinträchtigen. Eine weitere, häufige Ursache ist die Pflanzung von Jungpflanzen in sehr kalte Erde. Bei beiden Fällen sind die ersten Früchte betroffen – die darauffolgenden sind meist wieder normal ausgebildet. Die dazugehörigen Blätter sind etwas kleiner und weisen teilweise chlorotische Flecken auf.

Bei der Kraut- und Braunfäule befällt der Pilz *Phytophthora infestans* Früchte, Stängel, Blattstiele und Blätter. An den Früchten fallen zunächst graubraune bis olivbraune Flecken auf, an denen das Fruchtfleisch hart bleibt. Bei den Blättern werden zuerst die älteren befallen. Es bilden sich ebenfalls graugrüne, bis braune oder schwarze Flecken bis die Blätter schließlich absterben. Auf den Blattunterseiten bilden sich unter feuchten Bedingungen weiße Pilzrasen.

Diese beschriebenen Krankheiten sind häufig im Freilandanbau und wirken sich auf den Ertrag und die Qualität der Tomatenfrüchte aus. Auch die enthaltenen Inhaltsstoffe wirken sich auf die Qualität der Früchte aus. Diese werden im nächsten Kapitel genauer beschrieben.

### 2.1.5 Inhaltsstoffe Tomaten

In der folgenden Tabelle wird eine Übersicht der enthaltenen Inhaltsstoffe der Tomatenfrucht angegeben. Die Werte beziehen sich pro Kilogramm des Frischmaterials.

Tabelle 1 Übersichtstabelle Inhaltsstoffe Tomate pro kg Frischmasse, verändert nach Bergognoux, 2016.

Inhaltsstoff	Einheit	Gehalt kg <sup>-1</sup> FM
Wasser	g	945,2
Brennwert	kcal	180
Eiweiß	g	8,8
Fette	g	2,0
Ballaststoffe	g	12
Zucker	g	26,3
<b>Mineralstoffe und Vitamine</b>		
Kalzium	mg	100
Magnesium	mg	110
Phosphor	mg	240
Natrium	mg	50
Vitamin C	mg	137
Vitamin A	µg	420
α- Karotin	mg	4,49
β Karotin	mg	1,01
Lykopen	mg	25,73

Auf die Bedeutung und Funktionen von Carotinoiden, Chlorophyll, Polyphenolen, Antioxidantien, Ascorbinsäure und Anthozyane wird in weiterer Folge genauer eingegangen, da diese für wichtige Prozesse im menschlichen Körper zuständig sind.

### **Antioxidantien**

Antioxidantien fangen freie Radikale und andere reaktive Sauerstoffe (Reactive Oxygen Species - ROS) und Stickstoffverbindungen, welche zu verbreiteten chronischen Krankheiten führen können. Es wird angenommen, dass Antioxidantien aus Lebensmitteln eigenständig Funktionen übernehmen, oder über andere Mechanismen wie etwa als Induktor für antioxidative Schutzmechanismen, Langlebigkeit, Zellerhaltung und DNA Reparaturen bewirken (Kensler et al., 2007, Joeng et al., 2006; Baur et al., 2006 und Carlsen et al., 2010).

### **Carotinoide**

Carotinoide kommen vor allem in Obst und Gemüse vor und bewirken eine gelbe bis rote Farbe. Menschen speichern Carotinoide vorwiegend im Fettgewebe (80-85%), Leber (8-12%) und teilweise auch in der Muskulatur ein. Carotinoide werden eingeteilt in Sauerstoff-freie und Sauerstoff-haltige oder oxidierte Carotinoide, auch Xanthophylle genannt. Am Bekanntesten ist das  $\beta$ -Carotin, welches meist in orangefarbenen Obst- und Gemüsearten vorkommt, sowie in grünblättrigem Gemüse. Sauerstoff-freie Carotinoide ( $\alpha$ - und  $\beta$ -Carotin) sind vor allem im gelb-orange-farbenen Gemüse enthalten (bis 11,5 mg/100g). Grünblättriges Gemüse enthält im Gegensatz dazu großteils (60-80%) Xanthophyllen. Von der jeweiligen Ernährung des Menschen abhängig, enthält das Blutserum unterschiedliche Mengen an  $\beta$ -Carotin,  $\beta$ -Cryptoxanin,  $\alpha$ -Carotin, Lycopin und Lutein. Etwa 15-30% der Serumcarotinoide macht das  $\beta$ -Carotin aus.

Xanthophylle und Sauerstoff-freie Carotinoide unterscheiden sich im Wesentlichen in ihrer Hitzestabilität. Das  $\beta$ -Carotinoid ist relativ hitzestabil und verliert lediglich 8-10% der Moleküle während des Erhitzens. Bei den Xanthophyllen wird ein Großteil (60-100%) beim Kochen zerstört. Tomaten enthalten im rohen Zustand 5,2 mg  $\text{kg}^{-1}$   $\beta$ -Carotin, 31,0 00 mg  $\text{kg}^{-1}$  Lycopin und 1,0 mg  $\text{kg}^{-1}$  Lutein und Zeaxanthin.

Für Mensch und Tier sind Carotinoide als Vorstufe von Vitamin A essentiell (Watzl und Leitzmann, 1995).

Jedoch wirken lediglich 10 Prozent der circa 600 ausgewiesenen Carotinoide als Provitamin A (Bendlich und Olson, 1989, in Watzl und Leitzmann, 1995). Diverse Studien belegen die gesundheitsfördernde Wirkung von Carotinoiden bezogen auf ihre antioxidative Kapazität, ihre Immunsystemstimulation sowie eine Hemmung der Tumorentwicklung (Raiola et al., 2014; Gonzáles-Vallinas et al., 2013; Ciccone et al., 2013)

### **Chlorophyll**

Chlorophyll ist ein Farbpigment, welchem alle höheren Pflanzen ihre grünliche Farbe verdanken. Gemeinsam mit Carotinoiden bewirkt es für Pflanzen lebenswichtige Energie- und Bioprozesse aus anorganischen Grundsubstanzen und dem Sonnenlicht. Pflanzen bauen aus Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Wasser (H<sub>2</sub>O) zuerst das Kohlenhydrat Glucose und im Anschluss darauf alle für das Wachstum notwendige Stoffe selbst auf. Aus chemischer Sicht ist Chlorophyll kein einheitlicher Stoff, da es eine Mischung aus vier Chlorophylltypen ist (Welsch und Liebmann, 2012). Im menschlichen Verdauungstrakt entsteht aus Chlorophyll das Abbauprodukt Chlorophyllin. Diese hemmen *in vitro* mutagene Wirkungen von Pyrolyseprodukten, welche aus tierischen Lebensmitteln entstehen können. Es ist wahrscheinlich, dass Chlorophyll diese Mutagene bindet und dadurch inaktiv macht. Aus diesem Grund erklärt sich die protektive Wirkung des grünen Gemüses gegen Tumore (Watzl und Leitzmann, 1995).

### **Polyphenole**

Polyphenole sind verbreitete Antioxidantien, welche in einer großen Anzahl an Lebensmitteln enthalten sind. Die durchschnittlich empfohlene Tageszufuhr beträgt 1 g (Perez-Jimenez et al., 2010; Ovaskainen et al., 2008). Charakteristisch für alle Polyphenole ist das Vorhandensein der Struktur eines oder mehrerer Phenolgruppen mit Redoxpotential. Diese Eigenschaft erklärt das enorme Interesse an der Vermeidung von diversen chronischen Krankheiten, welche in Verbindung mit oxidativem Stress in Verbindung gebracht werden, wie etwa kardiovaskuläre

Krankheiten, Krebs, Diabetes Typ II, neurodegenerative Krankheiten oder Osteoporose (Scalbert et al., 2005). Polyphenole zeigen unterschiedliche Strukturen und über 500 verschiedene Moleküle sind in Lebensmitteln bekannt (Perez-Jimenez et al., 2010). Diese Diversität muss hinsichtlich Bioverfügbarkeit, biologische Eigenschaften und Gesundheitseffekte mit in Betracht gezogen werden (Loke et al., 2008). In der von Pérez-Jeminez et al. (2010) erstellten Liste, der 100 reichhaltigsten Lebensmitteln an Polyphenole, reihen sich Tomaten auf Platz 83 mit 2,1 Milligramm Polyphenole pro 50 Gramm Frischmasse ein.

### **Ascorbinsäure**

Unter der Bezeichnung Vitamin C werden L-[+]- Ascorbinsäure und die dazugehörigen Derivate mit identischer biologischer Funktion zusammengefasst. Dieses Vitamin ist in der Natur häufig anzufinden (Biesalski et al, 2015). Es reagiert empfindlich auf Verarbeitung und Lagerung. Es wird durch Licht und Hitze, vor allem unter Anwesenheit von Metallionen wie Kupfer oder Eisen, oder in alkalischer Umgebung einfach oxidiert und mindert somit seine physiologische Wirkung. Längeres Warmhalten von Speisen verursacht hohe Vitamin C-Verluste (Elmadfa, 2015). In saurem Milieu, wie etwa in Zitrusfrüchten, ist es relativ stabil. Je kälter und feuchter die Umgebung und je kompakter, inaktiver und saurer das Lebensmittel, desto mehr können Verluste vermieden werden (Biesalski et al, 2015). Die Zufuhrempfehlung liegt pro Tag bei 100 mg für Erwachsene, für Raucher und Schwangere ist der Bedarf auf etwa 150 mg pro Tag erhöht. Das Vitamin C nimmt wichtige Funktionen auf der Körperebene ein. Dazu zählen eine Verbesserung der Eisenabsorption, es ist ein Cofaktor bei der Neubildung des Bindegewebes (Narbenbildung, Wundheilung). Bei der Hormon- und Neurotransmitterbildung und bei der Carnitinbildung, wirkt es als Antioxidans und Vitamin C ist mitbeteiligt an der Formation von Gallensäure aus Cholesterin (Elmadfa, 2015).

## **Anthozyane**

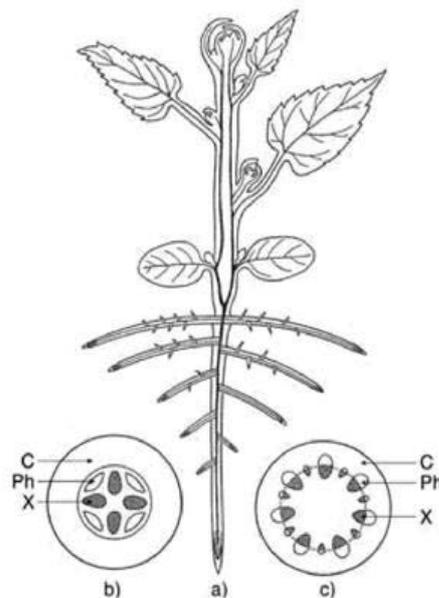
Anthozyane gehören zu den Flavonoiden und bewirken blaue, violette und rote Färbungen in Gemüse und Obst. Die meisten Anthozyane kommen in der Natur gebunden an Zucker vor und liegen in den Randschichten der Früchte oder Blätter (Watzl und Leitzmann, 1995).

## 2.2 Wurzelwachstum allgemein und bei Tomaten

Der kommende Abschnitt bezieht sich auf die Wurzelentwicklung im Allgemeinen bei Pflanzen. Darauf folgend wird auf das Wurzelwachstum bei Tomaten eingegangen.

### 2.2.1 Wurzeln im Vergleich zum Spross

Das Wurzel- und Sprosswachstum wird von vielen BotanikerInnen als separat betrachtet, obwohl viele Interaktionen zwischen denen stattfinden. Funktionsmäßig absorbieren Wurzeln Wasser und Nährstoffe und verankern die Pflanze im Boden. Die Pflanzentriebe hingegen betreiben Photosynthese, transpirieren und sorgen für sexuelle Reproduktion. Ein Zusammenwirken beider Komponenten ist unabdingbar.



**Fig. 1.1** Diagrammatic representation of a typical dicotyledon showing the characteristic properties of roots and shoots: (a) longitudinal view, (b) transverse section of a root, and (c) transverse section of a stem. The shoots bear leaves and daughter shoots that originate exogenously while lateral roots arise far from the root apex and are endogenous in origin. The arrangement of the cortex (C), phloem (Ph) and xylem (X) is shown. (Redrawn and reproduced with permission from Groff and Kaplan, *The Botanical Review*; New York Botanical Garden, 1988.)

Abbildung 3 Wurzel-/Sprossverhältnis einer dicotylen Pflanze (Gregory 2006).

Die unterschiedliche Morphologie, Anatomie, Physiologie und Funktionen von Wurzel- und Pflanzenwachstum führten zu den separaten Betrachtungen inner-

halb einer Pflanze. Bereits 1883 erkannte Hellriegel im „Basic law of agriculture“, dass oberirdisches Pflanzenwachstum unmittelbar vom Wurzelwachstum abhängt und dass die Pflanze ihr volles Potential nutzen kann, solange sich die Wurzeln ausreichend entwickeln können. Normale Pflanzenentwicklung hängt auch von Interaktionen zwischen externen Faktoren (zum Beispiel Licht, Wasserversorgung) und von internen Faktoren wie Pflanzenhormonen ab (Gregory, 2006). Das Hormon Indol-3-Essigsäure (IES) ist ein Auxin, welches hauptsächlich in den jungen Blattspitzen synthetisiert wird, allerdings eine große Rolle im Wurzelwachstum, vor allem in den Wurzelspitzen, spielt (Hodge et al 2009). Es ist ein Wuchsstoff, welcher im Phloem in beide Richtungen und von Zelle zu Zelle, je nach Bedarfsort, transportiert wird (Wild und Schmitt, 2012).

### **2.2.2 Wurzelwachstum einer Pflanze**

Wurzeln sind in der Regel unterirdische Pflanzenorgane. Als Wurzelsystem wird die Gesamtheit der Wurzelmasse einer Pflanze bezeichnet. Zweikeimblättrige oder dicotyle Pflanzen haben Haupt- sowie Nebenwurzeln, beziehungsweise ein allorhizes (heterogenes) Wurzelsystem. Einkeimblättrige oder monokotyle Pflanzen haben viele gleichwertige Wurzeln, oder ein homorhizes (homogenes) Wurzelsystem (Mayr, 2011; Kull, 2000).

### **2.2.3 Tomatenwurzeln im Detail**

Kutschera et al. (2009) beschreiben Tomatenwurzeln wie folgt: "Die Primärwurzel, polbürtige Wurzel oder Polwurzel wächst in entgegengesetzter Richtung zum Spross. Das Wurzelbild ist kegelförmig und nach oben stark verbreitert, hin zu zylinderförmig. Die Sprosshöhe beträgt etwa 70-200 cm (Becker und John, 2000). Die Wurzeltiefe beträgt etwa 60 cm vor der Blüte und zur Erntezeit etwa 100 cm im semihumiden Gebiet des Burgenlandes unter Freilandanbau. In humiden Gebieten von Mitteleuropa reicht die Wurzeltiefe auch 160 cm tief. Die Blütezeit in Österreich ist Juni bis Oktober. Das Wurzelbild der Tomatenpflanze ist unter Freilandanbau durch ein ausgeprägtes Wachstum der seitlichen Wurzeln gegenüber dem Tiefenwachstum der Wurzeln geprägt. Die Fähigkeit Trockenheit bis zu ei-

nem gewissen Grad zu ertragen, steht wahrscheinlich im Zusammenhang des Wasserspeichervermögens ihrer Wurzeln".

In Abbildung 4 wird das Wurzelwachstum einer Tomatenpflanze in Ravenna, Italien, dargestellt. Die oberirdischen Pflanzenteile reichen 30 cm über den Boden, die Wurzeln reichen 76 cm in die Tiefe und 164 cm in die Breite (Kutschera et al, 2009).

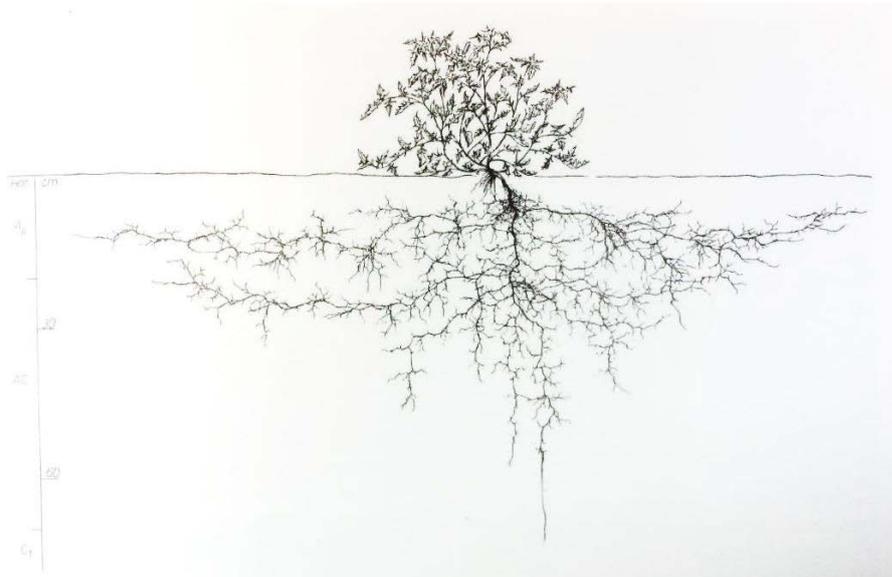


Abbildung 4 Tomatenpflanze in Ravenna, Italien (Kutschera et al, 2009).

#### **2.2.4 Ringwurzelbildung**

Dadurch, dass es für Pflanzen unklar ist, ob sie in einem Topf oder in der Natur wächst, bildet sie das Wurzelsystem immer so aus, als ob sie natürlich wachsen würde. In einem Topf versucht die Pflanze unentwegt dem Hindernis der Wand auszuweichen, was zwangsläufig zur Bildung von sehr langen, an der Innenwand eines Topfes entlang verlaufenden Ringwurzeln führt. Längerfristig wachsen Wurzeln konsequenterweise ineffizient. Folglich ist der Weg des Nährstofftransportes sehr lange und die Wurzeln nehmen bei Hitzeeinstrahlung durch dunkle Topfwände Schaden und trocknen aus. Nährstoffe und Mikroorganismen, welche sich im Substrat befinden, sowie Wasser können nicht aufgenommen werden (Morte und Varma, 2014). Speziell bei Tomatenpflanzen in Topfkultivierung tritt diese Symptomatik häufig auf.

## 2.3 Töpfe für den Gemüseanbau

Am Markt stehen unterschiedliche Töpfe zum Verkauf bereit. Welche Materialien oder Größen geeignet sind, wird im folgenden Abschnitt betrachtet.

### 2.3.1 Materialeigenschaften von Töpfen

Zur Kultivierung von Topftomaten stehen unterschiedliche Materialien zur Verfügung. Laut Pinske (2004) eignen sich Ton-, Naturstein-, Metall-, Faserzement-, Beton-, Holz-, Weiden- und Kunststofftöpfe zur Kultivierung von Topfgemüse.

Da für den durchgeführten Versuch Tongefäße verwendet wurden, werden diese nun genauer beleuchtet und mit Kunststofftöpfen, welche ebenfalls häufig in Verwendung sind, verglichen. Tontöpfe unterscheiden sich in Keramik und Terrakotta Töpfe, sowie mit oder ohne Glasur (Haas, 2004). Tontöpfe weisen eine hohe Standfestigkeit auf und sie geben Wasser durch die Topfwände ab, sofern sie nicht glasiert sind. Dies führt zu unerwünschten Zerbersten bei Frost (Kötter, 2003). Tontöpfe von minderer Qualität sind häufig nicht winterhart und springen auf. Durch die Atmungsaktivität der Tontöpfe wird Staunässe vermieden und überschüssiges Wasser verdunstet. Hoch gebrannte Töpfe hingegen (bei Brennvorgängen von mindestens 1000 °C) nehmen nur mehr etwa drei Prozent Wasser auf. Allerdings sind diese Modelle dickwandiger und haben auch entsprechend ein höheres Gewicht und einen höheren Preis (Pinske, 2004).

Kunststoffgefäße weisen ein niedriges Gewicht und günstige Materialkosten auf. Die Standfestigkeit ist durch die geringere Stabilität gegenüber Tongefäßen reduziert (Kötter, 2003). Weitere Eigenschaften sind Langlebigkeit und dass sich diese Töpfe einfach säubern lassen. Für das Wurzelleben ist ein ausreichender Wasserabzug ein wichtiger Faktor und eine gute Wurzelverträglichkeit, welche bei handelsüblichen Kunststoffgefäßen gewährleistet werden kann und das Umtopfen erleichtert. Dunkelfarbige Kunststoffe entwickeln unter Sonneneinwirkung hohe Temperaturen und verursachen im ungünstigen Falle Wurzelverbrennungen (Pinske, 2004).

### 2.3.2 Auswirkungen der Topfgröße

Poorter et al (2012) berichten in einer Meta-Analyse über die Wichtigkeit der Topfgröße bei der Durchführung von Versuchen. Kleine Töpfe können Untersuchungsergebnisse unter Umständen verzerren, indem eine die Einschränkung der Wurzelmassebildung erfolgen kann. Eine Verdopplung der Topfgröße bringt in den meisten Fällen eine Steigerung der Biomasse um 43 Prozent. Reduziertes Pflanzenwachstum entsteht hauptsächlich durch eine Einschränkung der Photosynthesefähigkeit pro Blattoberfläche (Blattflächenindex) und weniger aufgrund von Veränderungen der Blattmorphologie oder Biomasseverteilung. Die Topfgröße resultiert gegebenenfalls aus dem entsprechenden Pflanzenwachstum. Aus wirtschaftlicher Sicht ist das kleinstmögliche Topfvolumen mit einem ertragreichen Output relevant.

Nur selten wird in wissenschaftlichen Publikationen über die Topfgröße der Versuchspflanzen berichtet. Der Gebrauch von kleineren Töpfen erlaubt mehrere Versuchswiederholungen und eine höhere Anzahl an Individuen aufgrund der räumlichen Kapazitäten. Weiters ist der Transport durch ein reduziertes Gewicht erleichtert. Allerdings werden Pflanzen in kleineren Töpfen in der Nährstoff- und Wasserversorgung benachteiligt und im Wurzelwachstum eingeschränkt. Viele Spezies produzieren mit Leichtigkeit einen Meter Wurzellänge in frühen Stadien der Entwicklung. Wachsen große Pflanzen in kleinen Töpfen, so bildet sich ein eingewachsener Wurzelballen, welche diverse Konsequenzen mit sich bringt.

Laut Kelley et al. (2001) greifen KonsumentInnen tendenziell eher zu kleineren Töpfen als zu großen aufgrund des vereinfachten Transportes.

Hess und Kroon (2007) behaupten dass die Wurzelmasse mit der Topfgröße zunimmt, ungeachtet der Nährstoffzufuhr, wobei die Pflanzengröße mit dem Nährstoffangebot korreliert.

Allerdings widerlegen Murphy et al. (2013) diese These, da größere Töpfe auch mehr Nährstoffe enthalten - bei konstanter Nährstoffverteilung. In einigen Untersuchungen nahm die Biomasseproduktion mit zunehmender Topfgröße sogar ab. Die Wurzelbildung steigerte sich nicht zwangsläufig mit der Topfgröße, unabhängig von den Nährstoffen. Die Wurzelmasse steigerte sich mit zunehmender Topfgröße unter zusätzlicher Düngergabe.

## **3 Material und Methoden**

Im folgenden Kapitel wird auf das im Versuch verwendete Material, die Wirtschaftsweise, die Standortdaten, die Analysemethoden und die Auswertungsform der erhobenen Daten genauer eingegangen.

### **3.1 Verwendetes Material und Wirtschaftsweise**

Der angelegte Versuch bestand aus 40 Versuchsobjekten, wobei 16 Objekte nicht für die Untersuchungen herangezogen wurden, da diese als Randpflanzen ausgeschieden sind. Somit wurden Analysen an insgesamt 24 Tomatenpflanzen (*Solanum lycopersicum*) durchgeführt. Der Versuch fand von Mai bis Oktober 2015 am Dach des Instituts für Pflanzenphysiologie der Universität Wien statt.

#### **3.1.1 Ausgangsmaterialien**

Es wurden zwei verschiedene Topfformen - eine Variante mit vier Lamellen im Topfinneren und eine ohne Lamellen - in Verwendung gebracht. Weiters variierte die Topfgröße, welche in Tabelle 2 näher beschrieben wird.

Tabelle 2 Maße der verwendeten Töpfe (eigene Darstellung).

	<b>Kleiner Topf</b>	<b>Großer Topf</b>
Höhe außen	17,8 cm	28,5 cm
Höhe innen	15 cm	27 cm
Breite oben außen	18,2 cm	19 cm
Breite oben innen	14,7 cm	26 cm
Breite unten außen	12 cm	20 cm
Breite unten innen	10,5 cm	18 cm
Gewicht	2,4 kg	6,7 kg
Kapazität	Ca. 4 Liter	Ca. 8 Liter

Die Töpfe bestanden aus weißem Ton, welcher einen Schamottanteil von 40 Prozent und eine Korngröße von bis zu einem Millimeter aufweist. Dieser Ton hat eine Brenntemperatur von 1000 bis 1260 Grad Celsius. Die verwendeten Töpfe wurden bei 1250 Grad Celsius gebrannt (hoch gebrannte Töpfe), was eine hohe Frostfestigkeit gewährleistet. Die Wasseraufnahme im gebrannten Zustand ist unter drei Prozent. In der Abbildung 5 sind die Tongefäße ersichtlich.



Abbildung 5 Ansicht der Töpfe von oben und seitlich (eigenes Photo).

Es wurden die Tomatensorten `Moneymaker` (MM) und `Roma` (R) für die Analyse gewählt, welche in der Tabelle 3 näher erläutert werden. Beide sind gängige und handelsübliche Sorten.

Tabelle 3 Sorteneigenschaften der verwendeten Tomaten (Schumann, 2001).

`Moneymaker`	`Roma`
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Früchte sind mittelgroß und rot</li> <li>• Sorte ist früh, robust und ertragreich</li> <li>• Hochwachsende Pflanzen müssen an Stäben, Schnüren oder am Spalier geleitet werden</li> <li>• Ist eine typische Gewächshaus tomate</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buschtomate (Höhe 50-60 cm)</li> <li>• Früchte sind rot, länglich, saftreich, festfleischig</li> <li>• Eignen sich für Verarbeitung zu Tomatensaft, zum Kochen und Grillen</li> <li>• Resistent gegen Fusarium</li> </ul>

Im weiteren Verlauf werden die verschiedenen Topfvarianten wie folgt benannt und abgekürzt:

Groß mit Lamellen.....GmL

Groß ohne Lamellen.....GoL

Klein mit Lamellen.....KmL

Klein ohne Lamellen.....KoL.

Die Tomatenpflanze wurde aus folgenden Gründen als die Versuchspflanze ausgewählt:

Sie...

- ...kann unter verschiedenen Bedingungen kultiviert werden,
- ...erlaubt Rückverfolgbarkeiten bezüglich abiotischer Stresssituationen (Hitze, Trockenheit...),
- ... hat einen relativ kurzen Lebenszyklus,
- ... ist photoperiodisch unempfindlich (hat die Fähigkeit zu blühen und Samen zu produzieren, unabhängig von der Tageslänge),
- ...hat eine hohe Selbstfertilität und Homozygotie,
- ...ist einfach zu Bestäuben und Hybridisieren,
- ...hat eine einfache Genetik mit einem kleinem Genom,
- ...kann asexuell durch Veredelung vermehrt werden (Bergougnoux, 2014).

Der Versuch umfasste folgende Kombinationen:

MMGmL    MMGoL    MMKmL    MMKoL

RomaGmL    RomaGoL    RomaKmL    RomaKoL.

Jede Versuchskombination enthielt jeweils drei Wiederholungen. In Summe ergeben sich 24 Versuchspflanzen ohne Randpflanzen.

### 3.1.2 Verwendetes Erdsubstrat

Als Erdsubstrat wurde der Substrattyp „KKS Bio Potgrond“ mit folgender Zusammensetzung verwendet: durchfrorener Schwarztorf, 20 Volumprozent, gütegesicherter Grünkompost (0-10 mm), Tonmehl, kohlenaurer Kalk, Mischung aus Hornmehl, Horngries, Rohphosphat (Dolophos), Radigen-Spurenelementdünger (Aufdüngung mg/l:3,0 (Horndünger); pH (CaCl<sub>2</sub>): 5,5-6,0) (Kammflott, 2016).

### 3.1.3 Bewirtschaftung

Es erfolgte eine Tröpfchenbewässerung zwei Mal pro Tag für fünf Minuten. Hierbei wurde ein Hauptschlauch mit zwei Zuleitungen pro Topf verlegt. Die Bewirtschaftung der Tomatenpflanzen unterlag einer proökologischen Wirtschaftsweise und unter Ausschluss von Düngematerial. Die Hauptwurzel wurde zum Zeitpunkt des Pikierens von einer fachkundigen Person gekappt. Die Tomatenstauden wurden im Oktober abgeerntet und die krautigen Anteile entfernt. Der verbleibende Strunk und der Wurzelballen im Topf wurden bis zur unmittelbaren Analyse zwischengelagert.

### 3.2 Wetterdaten zum Standort

Der Standort des Versuches war auf den Dächern der Universität Wien in der Augasse, 1090 Wien und liegt auf 198 Meter Seehöhe. Das Klima steht unter pannonischem Einfluss und 2015 lag die Jahresdurchschnittstemperatur bei 12,6 Grad Celsius und 513 Liter Jahresniederschlag. Der durchschnittliche Jahresniederschlag in den Jahren 1981 bis 2010 betrug 664mm und die Durchschnittstemperatur betrug 11 Grad Celsius (ZAMG, 2016). Die Kenndaten wurden von der Wetterstation Hohe Warte entnommen, welche sich 2,5 Kilometer von dem Versuchsstandort befindet.

Der Mittelwert der Temperatur von Anfang Mai bis Ende September beträgt 20,3°C. Der Maximale Wert in diesem Zeitraum wurde am 19.07.2015 mit 37,1°C erreicht (Abb. 6). Die minimale Temperatur von 6,3°C wurde am 12.05.2015 verzeichnet (ZAMG, 2016).

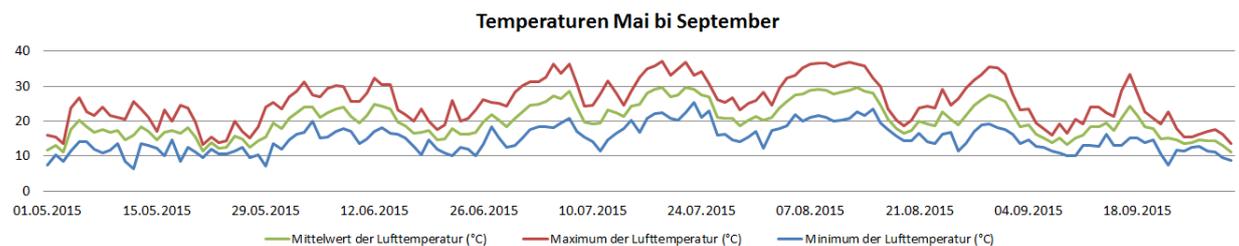


Abbildung 6 Temperaturdaten Mai bis September, Hohe Warte (ZAMG, 2016).

Die Summe der Niederschläge betrug im Zeitraum 1. Mai bis 30. September 2015 199,6 Liter 2015 (ZAMG, 2016). Allerdings wurden die Tomatenpflanzen zusätzlich mit einer Tröpfchenbewässerung zwei Mal pro Tag für fünf Minuten versorgt.

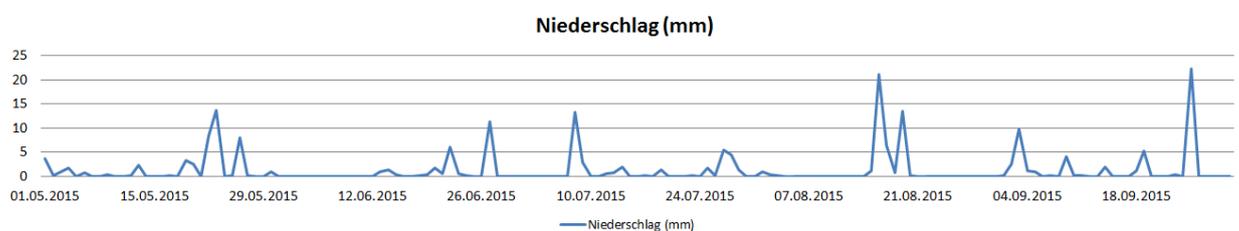


Abbildung 7 Niederschlagsmenge Mai bis September 2016, Hohe Warte, (ZAMG, 2016)

### 3.3 Durchgeführte Analysen

Die Analysen umfassten die Wurzelstruktur, Pflanzenwachstum, Ertragsentwicklung und Fruchthaltsstoffen.

#### 3.3.1 Analysen zur Wurzelstruktur

Im Rahmen der Vorbereitungen für die Wurzelanalysen wurden drei Wochen im November Wurzel auswaschungen im UFT (Universitäts- und Forschungszentrum Tulln) vorgenommen. Dazu wurde der Wurzelballen aus dem Topf genommen und Fotos von verschiedenen Perspektiven (Vogelperspektive, Froschperspektive und seitliche Perspektive) aufgenommen, wie in Abbildung 8 ersichtlich. Danach wurde auf einem Sieb unter laufendem Wasserstrahl die Wurzelmasse von dem Erds substrat getrennt. Mit einer Pinzette wurden weitere, feine Verunreinigungen des Wurzelballens entfernt.

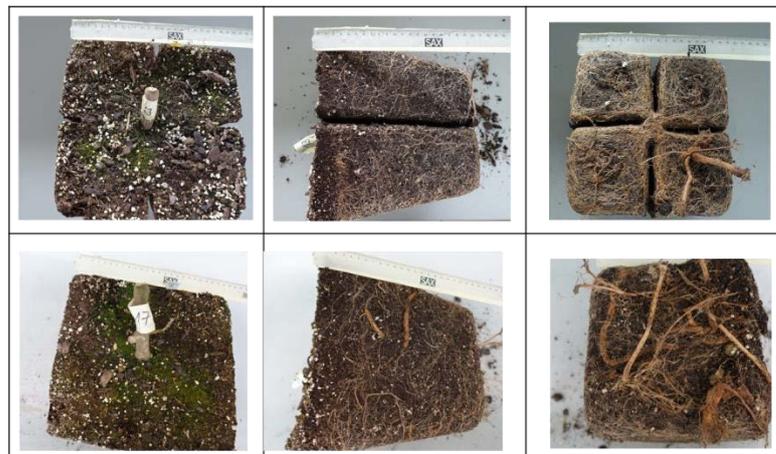


Abbildung 8 verschiedene Ansichten des Wurzelballens.

Nach dieser Reinigung wurde der Wurzelballen in einem Glas mit einer Lösung aus deionisiertem Wasser und 20 prozentigem Ethanol eingelegt und gekennzeichnet (Abbildung 9). Die luftdichtverschlossenen Wurzeln wurden im Kühlhaus der Abteilung Pflanzenbau in Tulln bei vier Grad Celsius gelagert.



Abbildung 9 gereinigter Wurzelballen und Wurzeln eingelegt (eigene Quelle).

Die eingelegten Tomatenwurzeln wurden im Versuchslabor vom Pflanzenbau im UFT detaillierten Untersuchungen unterzogen. Die Analysen fanden an folgenden Tagen statt: 17.12.2015 und 21.12.2015 sowie von 18. bis 26. Jänner 2016. Je Wurzelballen wurden mehrere Prüfungen durchgeführt. Zu Beginn wurde die Wurzelmasse aus dem Glas genommen und mit Wasser abgespült. Darauf wurde der Wurzelstrunk von den Neben- und Feinwurzeln mit einem Skalpell getrennt. Danach wurden die Wurzelteile in die zuvor festgelegten Kategorien eingeteilt: Strunk (Hauptwurzel), Nebenwurzeln mit Durchmesser  $\geq 5\text{mm}$ , Nebenwurzeln mit Durchmesser  $\geq 3\text{ mm}$  und Feinwurzeln. Als Nebenwurzeln wurden alle Wurzeln definiert, welche vom Strunk ausgehen und einen minimalen Durchmesser von 3mm Wurzeldicke aufweisen.

Zu den verwendeten Arbeitsgeräten zählten eine Schnittschutzmatte, ein Lineal, ein Kugelschreiber, eine Schublehre, eine Schere, ein Skalpell, Papiertücher und Papiertüten (Abbildung 10).



Abbildung 10 Übersicht der verwendeten Geräte für die Wurzelseparation.

In Abbildung 11 ist der gesamte Wurzelballen vor und nach der Separation der einzelnen Wurzelkomponenten ersichtlich.



Abbildung 11 Wurzelballen im Ganzen und separierte Teile.

Die durchgeführten Messungen an den Wurzeln werden nun im Detail beschrieben:

### **Analyse des Wurzelgewichtes**

Die Messung des Wurzelgewichtes mit Hilfe einer Feinwaage und einem Waagschälchen erfolgte nach 3 Tagen Trocknung im Trockenschrank bei 60 Grad Celsius unter Reduktion des Wassergehaltes. Gewogen wurden der Strunk, die Nebenwurzeln mit Durchmesser  $\geq 5$  mm, die Nebenwurzeln mit Durchmesser  $\geq 3$  mm und die Feinwurzeln (auf vier Kommastellen genau).

### **Messung der Anzahl der Nebenwurzeln**

Je Pflanze wurden die angelegten Nebenwurzeln, eingeteilt nach Kategorien (Durchmesser  $\geq 5$  mm/ $\geq 3$  mm), gezählt und in weiterer Folge wurde der Durchschnitt an Nebenwurzeln pro Versuchsform erhoben.

### **Abmessung der Längen der Nebenwurzeln in mm**

Die Nebenwurzeln wurden kategorisch, mit Hilfe eines Lineals ohne Rücksicht auf Sprossabweichungen, abgemessen.

### **Erhebung des maximalen und mittleren Durchmessers der Wurzel**

Der maximale Durchmesser wurde mithilfe einer Schublehre an der maximal breitesten Stelle der Wurzel und in der Mitte der Wurzel gemessen.

### Berechnung des Wurzelvolumens in mm<sup>3</sup>

Bei der Feinwurzelanalyse wurde das Spezialprogramm „WinRhizo“ am Standort Tulln verwendet. Für die Datengenerierung wurden je Pflanze drei Proben genommen und mit dem genannten Programm analysiert. Die gelieferten Parameter waren unter anderem: die gesamte Wurzellänge, Anzahl der Wurzelüberschneidungen, Anzahl der Wurzelgabelungen, und das gesamte Volumen.

Für diese Analysen wurde eine Teilprobe der Feinwurzeln herangezogen und diese in etwa zwei Zentimeter Stücke geschnitten. Der Behälter für den Scanvorgang wurde mit Wasser und den geschnittenen Wurzelstückchen gefüllt und die Wurzelmasse gleichmäßig verteilt. Die gescannten Dateien erscheinen wie exemplarisch in Abbildung 12. Anschließend wird die verwendete Wurzelmasse in separaten Papiertüten drei Tage bei etwa 60° getrocknet.



Abbildung 12 Ausgewertetes Bild, Wurzelscanaufnahme und verwendete Wurzelmasse

### **3.3.2 Untersuchungen zu Pflanzen- und Fruchtwachstum**

Es wurden an verschiedenen Terminen unterschiedliche Untersuchungen zum Pflanzen- und Fruchtwachstum durchgeführt und dokumentiert. In weiterer Folge werden diese Messungen genauer betrachtet.

#### **3.2.1.1 Untersuchungen des Pflanzenwachstums**

Messungen bezüglich des Pflanzenwachstums wurden im Jahr 2015 von Juni bis Mitte September wöchentlich durchgeführt. Im Rahmen dieser Messtätigkeiten wurde die Gesamthöhe (cm), der Stammdurchmesser an der Basis (mm), die Anzahl der Rispen mit dazugehörigen befruchteten Früchten, Anzahl der Blüten und Blätter gemessen. Die Blätter wurden von unten nach oben gezählt. Geiztriebe sowie trockene Blätter wurden nicht mitgezählt. Als Blüte wurde eine ganze Blütenrispe bezeichnet. Die Pflanzenlänge wurde von der Substratoberfläche bis zur obersten Blattspitze gemessen. Im Falle einer Krümmung der Sprossachse wurde nicht der Krümmung gefolgt.

#### **3.2.1.2 Untersuchungen der Ertragsentwicklung**

Messungen bezüglich der Früchte der Tomatenpflanzen fanden am 19.08., 25.08., 31.08. und 07.09.2015 statt. Es wurden jeweils die reifen Früchte auf Anzahl, Krankheiten (Grauschimmelfäule (*Botrytis cinerea*), Grüner Kragen, Gelber Kragen, Blütenendfäule, das Gewicht und Allgemeinzustand (zerplatzt, matschig, intakt) untersucht.

Die abgefallenen und geernteten Früchte wurden je Pflanze gezählt und das Frischgewicht erhoben. Das Fruchtgewicht wurde ohne Kelch gemessen und die Fruchthöhe und der Durchmesser anhand einer Schublehre beziehungsweise eines Lineals verglichen.

An jedem Erntetermin wurden reife Früchte von allen Versuchspflanzen entnommen und in Frischhaltesäckchen abgepackt, beschriftet und tiefgekühlt. Diese Proben befanden sich bis April 2016 in einer Tiefkühltruhe in der Versuchsstation der Universität für Bodenkultur Wien, Jedlersdorf (Sowinetzgasse 1, 1221 Wien).

### 3.3.3 Untersuchungen zu Inhaltsstoffen der Früchte:

Am 07. April 2016 wurden die Proben ins Labor des Instituts für Pflanzenschutz der Universität für Bodenkultur Wien am Standort Türkenschanze befördert. Dort wurden im Zeitraum April bis Mai 2016 folgende Untersuchungen an den gefrorenen Tomatenfrüchten durchgeführt:

- Vitamin C (Ascorbinsäure-) Gehalt,
- die gesamtphenolischen Verbindungen,
- Gehalt an Gesamtzucker und an reduzierenden Zuckern,
- Gesamtcarotinoide,
- Chlorophyll
- antioxidative Kapazität gemessen als FRAP.

Die einzelnen durchgeführten Analysemethoden wurden nach speziellen Schritten durchgeführt. Für die Aufbereitung des Frischmaterials wurden grundsätzlich zwei verschiedene Verfahren durchgeführt. Die Probenaufbereitung für die Analyse des Ascorbinsäuregehaltes wird im nächsten Punkt genauer dargestellt. Die Probenaufbereitung für alle weiteren Analysen wird unter Punkt 3.2.3.2 erläutert.



Abbildung 13 Beispiel einer gefrorenen Frischprobe

### **3.2.3.1 Analyse des Vitamin C (Ascorbinsäure) Gehaltes**

Für die Analyse des Ascorbinsäuregehaltes wurden zunächst 5 g der gefrorenen Frischprobe abgewogen und mit einem Stabmixer (Simpex Stabmixer SR 12412 professional Edelstahl) homogenisiert. Darauf wurde die Masse in einen Messbecher gegeben, 30 ml 2 prozentige Oxalsäure hinzugefügt und wieder püriert. Diese Proben wurden im Anschluss in 50 ml Kolben gefüllt und mit zweiprozentiger Oxalsäure bis zur 50 ml Markierung aufgefüllt. Danach wurden Filterpapiere zu einem Trichter gefaltet und diese in einen Plastiktrichter gegeben. Diese Trichter wurden auf einen Erlenmeyerkolben gesetzt und darauf wurde die Probe geträufelt. Die Probe benötigte nun etwas Zeit um sich abzusetzen und die Flüssigkeit durchzusetzen. Die Feststoffe wurden in diesem Schritt weggefiltert und es blieb eine klare, nahezu farblose Flüssigkeit im Erlenmeyerkolben übrig.

Um den Gehalt an Vitamin C in den Tomatenfrüchten bestimmen zu können, wurde nach der Tillman's Reagenz Methode (1932) gearbeitet und nach Keutgen & Keutgen (2015) abgewandelt. Bei dieser Methode wird mit einer Pipette eine DCPIP Lösung titriert, bis sich ein rosa-farbiger Umschlag ergibt.

### **3.2.3.2 Probenvorbereitung für die Messung der Phenole, Antioxidative Kapazität, Carotinoide, Chlorophyll, Zucker und Anthozyane**

Dafür wurden 10 g von der tiefgefrorenen Tomatenfruchtprobe mit einem Stabmixer (Simpex Stabmixer SR 12412 professional Edelstahl) in einem Messbecher püriert und mit 30 ml Ethanol vermengt und erneut gemixt.

Dieses flüssige Gemisch wurde anschließend in Erlenmeyerkolben umgefüllt und luftdicht mit einem Parafilm verschlossen und in den Schüttler (GFL 1086) für 30 Minuten gegeben. In der Zwischenzeit wurden mithilfe von Filterpapieren kleine Trichter gefaltet. Diese wurden in Plastiktrichter gelegt, welche sich wiederum auf einem größeren Erlenmeyerkolben befanden. Nach den 30 minütigen Schüttelvorgängen wurden die Proben herausgenommen und die luftdichte Schutzfolie entfernt. Die geschüttelte Probe wurde nun durch das Filterpapier und den Plastikfilter filtriert. Dabei entstand ein gelbliches Extrakt, welches in kleinen Plastikfläschchen

(Szintilationsgefäße) gefüllt und beschriftet für weitere Untersuchungen im Gefrierschrank gelagert wurde (Abb. 14).



Abbildung 14 Extrakte in Scintilationsgefäßen (eigene Quelle).

Für diese Untersuchungen wurde jeweils das Spektrophotometer der Firma Meter-tech, Taiwan verwendet. Die Durchführung der Inhaltsstoffanalysen anhand des produzierten Extraktes werden im folgenden Abschnitt näher beleuchtet.

### **Antioxidative Kapazität**

Die antioxidative Kapazität oder FRAP (ferric reducing antioxidant power) wurde nach den Methoden von Benzie & Strain, (1996) durchgeführt.

### **Phenolgehalte**

Die in den Tomaten enthaltenen Phenole werden mit der Folin-Ciocalteu-Reagenz zu einer bläulichen Farbe umgesetzt, welche bei 735,8 nm im Spektrophotometer gemessen wird. Die Probenaufbreitung wurde nach Adom und Liu (2002) durchgeführt. Der pH-Wert der Lösung soll sich im alkalischen Bereich zwischen 10 und 14 befinden. Die photometrische Bestimmung wurde nach Singleton und Rossi (1965) durchgeführt.

### **Gesamtcarotinoid- und Chlorophyllgehalt**

Die Bestimmung der Chlorophylle und Gesamtcarotinoide erfolgte nach Wellburn (1994).

### **Gesamte und reduzierte Zuckergehalte**

Die gesamten und reduzierten Zuckergehalte der Tomatenfrüchte wurden anhand der photometrischen Bestimmung nach Talburt & Smith (1967) durchgeführt.

### **3.4 Statistische Auswertung der Daten**

Die Eingabe der Daten sowie graphische Darstellungen der Daten erfolgte mit Microsoft Excel. Es wurden die jeweiligen Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet. Anhand der Statistiksoftware SPSS wurde eine mehrfaktorielle ANOVA durchgeführt, welche signifikante Interaktionen darstellt.

## **4 Ergebnisse**

Die Ergebnisse dieses Projektes gliedern sich in Wurzelanalysen, Pflanzen- und Fruchtentwicklung, Fruchtdefizite, Inhaltsstoffe der Früchte sowie eine Zusammenfassung der signifikanten Auswirkungen der Effekte „Lamellen“ und „Topfgröße“.

### **4.1 Ergebnisse der Wurzelanalysen**

Im Fall der Wurzelparameter ergaben sich bei der statistischen Analyse der Faktoren „Sorte“, „Topfgröße“ und „Lamellen“ mittels einer mehrfaktoriellen ANOVA keine signifikanten Interaktionen (siehe Tabelle 4). Daher können generelle Rückschlüsse zu Einzeleffekten gezogen werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Effekte „Topfgröße“ und „Sorte“ die geringsten Auswirkungen auf die Versuchsgruppen haben.

Die Untersuchungen der Einzelparameter beziehen sich auf das Gewicht der gesamten Wurzelmasse, die Anzahl der Nebenwurzeln und der Prozentanteil an Feinwurzeln an der gesamten Wurzelmasse.

Tabelle 4 Statistische Analyse zu Wurzelwachstum

Variante	Wurzel- masse [g]	Länge [mm]	Volumen [cm <sup>3</sup> ]	Anzahl größere Nebenwur- zeln [Stk]	Feinwur- zelanteil [%]
MMkml	2.39±0.18 d	124±32 b	6.87±1.37 e	3.3±0.6 a	46.9±3.0 a
MMkol	5.27±1.27 c	266±171 b	10.72±3.29 de	3.3±2.3 a	37.6±11.8 a
Rkml	5.62±2.14 c	138±91 b	25.23±12.60 cd	5.0±0.0 a	29.2±10.1 a
Rkol	12.92±4.1 9 b	250±91 b	57.20±16.95 abc	10.0±4.6 a	23.8±6.4 a
MMgml	8.16±0.72 bc	279±60 ab	23.66±5.91 cd	3.0±1.7 a	40.9±7.6 a
MMgol	10.91±0.2 5 b	350±106 ab	30.32±9.24 bc	4.3±1.5 a	37.6±15.1 a
Rgml	15.06±3.7 1 ab	352±61 ab	71.00±19.34 ab	5.7±1.5 a	34.4±5.9 a
Rgol	26.57±6.6 8 a	864±301 a	104.71±23.9 6 a	9.7±2.5 a	37.6±10.0 a
P <sub>Levene</sub>	0.052	0.126	0.421	0.030	0.126
P <sub>ANOVA</sub>	0.000	0.001	0.000	0.005	0.185
P <sub>Sorte</sub>	0.000	0.09	0.000	0.000	0.025
P <sub>Topfgröße</sub>	0.000	0.000	0.000	0.789	0.408
P <sub>Lamellen</sub>	0.000	0.002	0.003	0.013	0.353
P <sub>Interactions T x L</sub>	0.082	0.682	0.231	0.929	0.358
P <sub>Interactions T x S</sub>	0.609	0.111	0.342	0.929	0.122
P <sub>Interactions L x S</sub>	0.399	0.311	0.271	0.054	0.513
P <sub>Interactions T x L x S</sub>	0.644	0.366	0.585	0.535	0.877

### **Gesamtwurzelmenge [g]**

Wie in Tabelle 4 ersichtlich ist, hatte ROMAgol die höchste Gesamtwurzelmenge ( $26.57 \pm 6.68$  g). Das geringste Wurzelgewicht wies MMkml auf ( $2.39 \pm 0.18$  g). Statistisch signifikant zeigte die Sorte `Roma` ein höheres Wurzelgewicht sowohl in den kleinen als auch in den großen Töpfen. Töpfe ohne Lamellen hatten höhere Gesamtwurzelmasse als Töpfe mit Lamellen. Außerdem wurde in großen Töpfen statistisch signifikant mehr Wurzelmasse angelegt als in den kleinen Töpfen.

### **Anzahl Nebenwurzeln [Stück]**

Die Sorte `Roma` bildete sowohl in den kleinen als auch in den großen Töpfen mehr Nebenwurzeln aus (Tab. 4). Die niedrigste Zahl an Nebenwurzeln zeigte MMgmL, mit durchschnittlich  $3.0 \pm 1.7$  Stück. Die meisten Nebenwurzeln produzierten ROMAkoL mit  $10.0 \pm 4.6$  Stück. Versuchsgruppen ohne Lamellen legten im Durchschnitt 2,5 Stück Nebenwurzeln mehr an. Somit wurden in Töpfen ohne Lamellen signifikant mehr Nebenwurzeln gebildet. Die Topfgröße hatte keine Auswirkung auf die Produktion von Nebenwurzeln.

### **Feinwurzelanteil [%]**

Den höchsten Anteil an Feinwurzeln hatte MMkml mit 47 Prozent (Tab. 4). Der niedrigste Anteil war bei ROMAkoL mit 24 Prozent. Töpfe mit Lamellen erzielten tendenziell einen höheren prozentmäßigen Feinwurzelanteil. Die Sorte `Money-maker` wies einen höheren Feinwurzelanteil als die Sorte `Roma` auf. Bei der Topfgröße konnten diesbezüglich keine deutlichen Unterschiede festgestellt werden.

### **Wurzelvolumen [cm<sup>3</sup>]**

Die Sorte `Money-maker` bildete generell weniger Wurzelmasse als die Sorte `Roma` aus (Tab. 4). Das höchste Wurzelvolumen hatte ROMAgol mit  $104.71 \pm 23.96$  cm<sup>3</sup>. Das geringste Wurzelvolumen bildete MMkml mit  $6.87 \pm 1.37$  cm<sup>3</sup> aus. Tomatenpflanzen in Töpfen ohne Lamellen produzierten größeren Wur-

zelvolumen als Tomatenpflanzen in Töpfen mit Lamellen. In den großen acht Liter Töpfen wurde allgemein mehr Wurzelvolumen ausgebildet als in vier Liter Töpfen.

### **Länge Nebenwurzeln [cm]**

MMkmL und ROMAkmL hatten eine durchschnittliche Länge der Nebenwurzeln von 12,4 cm und somit die kürzesten Nebenwurzeln (Tab.4). ROMAgoL hatte mit 86,4 cm Durchschnitt die längsten Nebenwurzeln. Sortenunterschiede konnten nicht festgestellt werden. Versuchsgruppen mit Lamellen zeigten tendenziell eine geringere durchschnittliche Länge der Nebenwurzeln. In großen Töpfen wurden mehr Nebenwurzeln ausgebildet als in kleinen Töpfen.

## 4.2 Ergebnisse zu Pflanzen- und Fruchtentwicklung

Im nächsten Kapitel wird auf die Ergebnisse zu Blattzahl, Pflanzenhöhe, Durchmesser der Stammbasis, Anzahl der Früchte, durchschnittliches Gewicht Einzel Früchte sowie Summe Gewicht Einzel Früchte eingegangen (Tabelle 5).

Tabelle 5 Statistische Analyse zu Pflanzen- und Fruchtentwicklung

Variante	Anzahl Früchte [Stk]	mittleres Gewicht Einzel-früchte [g]	Summe Gewicht Einzel-früchte [g]	Blattzahl 10.09.16 [Stk]	Pflanzen-höhe 02.09.16 [m]	Durch-messer Stamm-basis [mm]
MMkmL	5.4±0.9 bc	38.3±4.2 b	204±24 b	20.0±3.7 a	1.07±0.11 bcd	11±0.1 e
MMkoL	5.6±3.5 bc	35.6±20.3 b	247±150 b	24.8±5.2 a	1.18±0.10 bc	12±0.1 de
RkmL	3.6±1.3 c	42.4±5.3 ab	151±54 b	18.2±6.4 a	0.59±0.11 e	15±0.3 bc
RkoL	4.6±0.9 bc	40.5±9.8 ab	185±57 b	20.0±8.2 a	0.68±0.18 e	17±0.3 abc
MMgmL	10.8±2.4 a	60.0±5.5 a	638±91 a	24.2±4.0 a	1.26±0.32 ab	14±0.1 cd
MMgoL	8.4±1.7 ab	60.5±4.0 a	508±105 a	25.1±1.0 a	1.50±0.06 a	14±0.1 cd
RgmL	5.4±3.2 bc	52.1±10.5 ab	257±123 b	22.6±5.5 a	0.89±0.16 cde	18±0.2 ab
RgoL	3.8±2.3 c	41.6±20.7 ab	189±159 b	22.8±4.1 a	0.80±0.20 de	19±0.2 a
P <sub>Levene</sub>	0.302	0.003	0.050	0.219	0.117	0.048
P <sub>ANOVA</sub>	0.000	0.026*	0.000	0.335	0.000	0.000
Test	Tukey B	Tanhome	Tukey B	--	Tukey B	Tukey B nach Trans-formie-rung
P <sub>Sorte</sub>	(0.000)		(0.000)	0.122	0.000	0.000
P <sub>Topfgröße</sub>	(0.003)		(0.000)	0.086	0.000	0.000
P <sub>Lamellen</sub>	0.328		(0.370)	0.255	0.119	0.183
P <sub>Interaktionen T x L</sub>	0.074		0.047	0.399	0.834	0.350
P <sub>Interactions T x S</sub>	0.016		0.000	0.672	0.710	0.531
P <sub>Interactions L x S</sub>	0.574		0.688	0.586	0.107	0.677
P <sub>Interactions T x L x S</sub>	1.000		0.602	0.717	0.165	0.939

**Durchschnittliche Anzahl der Blätter [Stk] (10.09.2015)**

Die tendenziell höchste Anzahl an Blättern hatte die Versuchsgruppe MmkoL mit  $24.8 \pm 5.2$  Stück ausgebildet (Tab. 5). Die niedrigste Anzahl an Blättern hatte RkmL mit  $18.2 \pm 6.4$  Stück angelegt. Pflanzen in Töpfen ohne Lamellen bildeten mehr Blätter aus als Pflanzen in Töpfen mit Lamellen. Die Sorte `Roma´ legte in großen Töpfen mehr Blätter an als in den kleinen. Es traten keine Wechselwirkungen auf und die Lamellen bewirkten keine signifikanten Effekte.

**Durchschnittliche Pflanzenhöhe [m] (02.09.2015)**

Die Sorte `Moneymaker´ zeigte ein tendenziell höheres Pflanzenwachstum im Vergleich zu der Sorte `Roma´ (Tab. 5). Dies ist aufgrund der Sortenbeschreibung nicht verwunderlich, da die Sorte `Roma´ als Buschtomate klassifiziert ist und die Sorte `Moneymaker´ als Stabtomate. Die Versuchskombination MmgoL rankte am weitesten in die Höhe und wurde mit  $1.50 \pm 0.06$  m bonitiert. Die Versuchskombination RkoL hatte die niedrigste Pflanzenhöhe mit  $0.59 \pm 0.11$  m Sprosshöhe. Bei drei von vier Versuchspaaren hatten Pflanzen in Töpfen ohne Lamellen ein höheres Pflanzenwachstum. Pflanzen in größeren Töpfen hatten auch ein höheres Pflanzenwachstum. Es traten auch hier keine Wechselwirkungen auf und die Lamellen bewirkten keine signifikanten Effekte.

**Durchmesser der Stammbasis [mm]**

RgoL hatte den höchsten Durchmesser der Stammbasis mit  $19 \pm 0.2$  mm (Tab. 5). MMkmL hatte den niedrigsten Durchmesser der Stammbasis mit  $12 \pm 0.1$  mm. Die Sorte `Roma´ wies eine dickere Stammbasis auf als die Sorte `Moneymaker´. Pflanzen in Töpfen ohne Lamellen zeigten in drei von vier Versuchskombinationen einen gering größeren Durchmesser der Stammbasis im Vergleich zu Pflanzen in Töpfen mit Lamellen. Große Töpfe bewirkten größere Umfänge der Stammbasis. Es traten im Bereich Durchmesser der Stammbasis ebenfalls keine Wechselwirkungen auf und die Lamellen bewirkten keine signifikanten Effekte.

**Anzahl der Früchte [Stk]**

Wie in Tab. 5 ersichtlich, wies die Sorte `Moneymaker` eine höhere Anzahl der Früchte in großen, sowie in kleinen Töpfen auf. Die höchste Anzahl an Früchten lieferte MMgmL mit  $10.8 \pm 2.4$  Früchten. Den geringsten Fruchtertrag lieferte Rkml mit  $3.6 \pm 1.3$  Früchten. Lamelleneffekte traten keine auf. Die Sorte `Moneymaker` lieferte in großen Töpfen deutlich mehr Früchte als in kleinen Töpfen. Bei der Sorte `Roma` konnten keine Unterschiede bezüglich der Topfgröße festgestellt werden. In diesem Fall können keine generalisierten Aussagen getroffen werden, da Wechselwirkungen auftreten.

**Durchschnittliches Fruchtgewicht [g]**

Die Versuchsgruppe MmgoL lieferte die schwersten Früchte mit einem durchschnittlichen Gewicht von  $60.5 \pm 4.0$  g pro Einzelfrucht (Tab. 5). Mit einem durchschnittlichen Gewicht von  $35.6 \pm 20.3$  g pro Einzelfrucht hatte MmkoL die leichtesten Früchte aller Versuchskombinationen. Früchte aus Töpfen mit Lamellen hatten in drei von vier Versuchskombinationen gering höhere Fruchtgewichte als Früchte aus Töpfen ohne Lamellen. Früchte aus großen Töpfen erzielten höhere Fruchtgewichte. Es lassen sich keine generalisierbaren Aussagen in diesem Fall treffen aufgrund der Wechselwirkungen.

**Gesamtertrag [g]**

Die Tomatensorte `Moneymaker` lieferte, wie auch bereits in Tab. 5 ersichtlich, mehr Früchte. Dementsprechend fiel auch der Gesamtertrag zugunsten von `Moneymaker` aus. Die höchsten Gewichtserträge lieferte MMgmL mit durchschnittlich  $638 \pm 91$  g Früchten pro Pflanze. Der niedrigste Gesamtfruchtertrag lieferte RkmL mit  $151 \pm 54$  g pro Pflanze. In großen Töpfen mit Lamellen wurden tendenziell höhere Erträge erzielt als in großen Töpfen ohne Lamellen.

### 4.3 Ergebnisse zu Fruchtdefiziten

Im Folgenden wird auf ausgewählte Fruchtdefizite eingegangen, d.h. auf den Anteil der geplatzten Früchte, den Befall mit gelben und grünem Kragen, Blütenendfäule und Fraßspuren. Aufgrund der geringen Probenzahl konnten kaum Signifikanzen anhand der statistischen Analyse festgestellt werden (siehe Tabelle 6). Lediglich der Faktor „Topfgröße“ hatte einen signifikanten Einfluss auf das Auftreten von gelben oder grünen Krägen.

Tabelle 6 Statistische Analyse zu Fruchtdefiziten

Variante	Geplatzte Früchte [%]	Gelber oder grüner Kragen [%]	Blütenend-Fäule [%]	Fraßspuren [Stk]
MMkmL	21.3±30.7 ab	28.7±25.2 a	0.0±0.0 a	3.3±7.4 a
MmkoL	32.0±30.2 ab	57.2±19.7 a	0.0±0.0 a	2.8±5.6 a
RkmL	4.0±8.9 b	65.3±40.9 a	0.0±0.0 a	0.0±0.0 a
RkoL	4.4±8.9 b	36.0±38.5 a	4.0±8.9 a	4.0±8.9 a
MMgmL	58.4±9.6 a	24.8±7.9 a	6.9±6.6 a	11.0±11.6 a
MmgoL	63.0±22.7 a	20.5±23.2 a	8.7±14.4 a	2.0±4.5 a
RgmL	26.0±42.2 ab	26.0±37.1 a	25.3±19.8 a	0.0±0.0 a
RgoL	0.0±0.0 b	20.4±19.0 a	24.0±27.7 a	6.7±14.9 a
P <sub>Levene</sub>	0.003	0.174	0.000	0.012
P <sub>ANOVA</sub>		0.149		
Test	Tanhame	--	Tanhame	Tanhame
P <sub>Sorte</sub>		0.656		
P <sub>Topfgröße</sub>		0.015		
P <sub>Lamellen</sub>		0.773		
P <sub>Interaktionen T x L</sub>		0.808		
P <sub>Interactions T x S</sub>		0.699		
P <sub>Interactions L x S</sub>		0.120		
P <sub>Interactions T x L x S</sub>		0.137		

**Geplatzte Früchte [Stk]**

Geplatzte Früchte treten bei `Moneymaker` tendenziell häufiger auf als bei `Roma` (Tab. 6). Die meisten geplatzten Früchte verzeichnet die Versuchsgruppe MMgoL mit  $63.0 \pm 22.7$  % der gesamten Tomatenernte. Am wenigsten betroffen war RgoL mit keinen aufgeplatzten Früchten. Lamelleneffekte lassen sich nicht feststellen. Die Sorte `Moneymaker` produzierte in großen Töpfen mehr Früchte und es entstanden auch relativ mehr aufgeplatzte Früchte.

**Anteil gelber oder grüner Kragen [%]**

Den höchsten Anteil an betroffenen Tomatenfrüchten wies RkmL mit  $65.3 \pm 40.9$  % auf (Tab. 6). Am geringsten betroffen waren RgoL und MMgol mit  $20.4 \pm 19.0$  %. Sortenunterschiede waren nicht feststellbar. Pflanzen in den kleinen vier Liter Töpfen waren signifikant häufiger betroffen als Pflanzen in großen acht Liter Töpfen. Lamelleneffekte traten keine auf.

**Blütenendfäule [%]**

Die Sorte `Roma` scheint etwas anfälliger gewesen zu sein (Tab. 6). Am meisten betroffen war RgmL mit  $25.3 \pm 19.8$  %, hingegen waren MMkmL, MMkoL und RkmL nicht von Blütenendfäule betroffen. Blütenendfäule kam in den großen Töpfen häufiger vor als in den kleinen Töpfen. Es waren keine Lamelleneffekte feststellbar.

**Fraßspuren [%]**

Die Versuchsgruppe MMgml war mit  $11.0 \pm 11.6$  % am intensivsten von Fraßspuren betroffen (Tab. 6). RkmL und RgoL hingegen waren nicht betroffen. Sortenunterschiede, Lamelleneffekte oder Topfgrößenunterschiede ließen sich nicht feststellen.

#### 4.4 Ergebnisse zu den Inhaltsstoffen der Früchte

Bei den Inhaltsstoffen der Tomatenfrucht wurden die Gehalte an Chlorophyll (a, b und gesamt), Carotinoiden, Phenolen, Antioxidantien, reduzierenden Zuckern und Ascorbinsäure untersucht. Signifikante Effekte ergaben sich nur bei den Faktoren „Sorte“ und „Topfgröße“ bei der antioxidativen Kapazität, angezeigt durch den FRAP-Wert. Beim Ascorbinsäuregehalt gab es Wechselwirkungen zwischen den Faktoren „Topfgröße“ und „Sorte“, bei den reduzierenden Zuckern Wechselwirkung zwischen Sorte und Lamellen (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7 Statistische Analyse zu Inhaltsstoffe I

Variante	Chl a [mg kg <sup>-1</sup> FM]	Chl b [mg kg <sup>-1</sup> FM]	Gesamt-Chl [mg kg <sup>-1</sup> FM]	Carotinoide [mg kg <sup>-1</sup> FM]	Phenolgehalt [mg GAE kg <sup>-1</sup> FM]	FRAP [mmol Fe <sup>2+</sup> kg <sup>-1</sup> FM]
MMkmL	1.4±0.7 a	0.6±0.2 a	2.0±0.9 a	15.7±1.6 ab	54.1±5.8 a	4.7±0.4 a
MMkoL	1.9±0.6 a	0.9±0.1 a	2.8±0.7 a	16.8±0.9 ab	53.9±0.6 a	4.4±0.1 a
RkmL	1.1±1.2 a	0.8±0.2 a	1.9±1.4 a	18.9±2.5 a	47.2±1.9 a	3.4±0.2 ab
RkoL	1.5±1.2 a	0.9±0.5 a	2.4±1.6 a	16.7±2.6 ab	53.0±6.1 a	3.6±0.6 ab
MMgmL	1.4±0.5 a	0.8±0.3 a	2.3±0.8 a	16.3±1.7 ab	55.3±17.0 a	3.1±0.2 ab
MMgoL	2.0±1.2 a	1.0±0.5 a	3.0±1.7 a	15.9±2.6 ab	49.5±5.4 a	3.5±1.1 ab
RgmL	0.8±0.5 a	0.4±0.1 a	1.2±0.5 a	16.6±1.8 ab	44.0±5.6 a	2.4±0.4 b
RgoL	0.8±0.6 a	1.0±0.8 a	1.8±1.2 a	11.3±1.2 b	44.6±11.2 a	2.4±0.8 b
P <sub>Levene</sub>	0.219	0.102	0.206	0.277	0.060	0.056
P <sub>ANOVA</sub>	0.603	0.701	0.672	0.017	0.363	0.001
Test	--	nach Trans- formi- erung	--	Tukey B	nach Trans- formierung	Tukey B
P <sub>Sorte</sub>	0.103	0.400	0.173	(0.707)	0.069	0.001
P <sub>Topfgröße</sub>	0.555	0.576	0.661	(0.025)	0.109	0.000
P <sub>Lamellen</sub>	0.292	0.205	0.192	(0.050)	0.981	0.688
P <sub>Interaktionen T x L</sub>	0.840	0.808	0.989	0.179	0.440	0.672
P <sub>Interactions T x S</sub>	0.417	0.355	0.389	0.035	0.412	0.865
P <sub>Interactions L x S</sub>	0.689	0.879	0.860	0.022	0.665	0.925
P <sub>Interactions T x L x S</sub>	0.741	0.380	0.980	0.657	0.766	0.313

### **Chlorophyll a**

Den höchsten Chlorophyll a Gehalt hatte MMgoL mit  $2.0 \pm 1.2$  mg kg<sup>-1</sup> Frischmasse (Tab. 7). Den geringsten Chlorophyll a Gehalt beinhaltete RgmL mit  $0.8 \pm 0.5$  mg kg<sup>-1</sup> Frischmasse. Die Sorte 'Moneymaker' erreichte tendenziell etwas höhere Werte an Chlorophyll a. Früchte von Pflanzen in Töpfen ohne Lamellen wiesen einen höheren Chlorophyll a Gehalt im Vergleich zu Früchten aus Töpfen mit Lamellen auf. Die Größe der Töpfe liefert keine Unterschiede bei den Chlorophyll a Werten.

### **Chlorophyll b**

Den höchsten Chlorophyll b Gehalt der Tomatenfrüchte lieferte MMgol mit  $1.0 \pm 0.8$  mg kg<sup>-1</sup> Frischmasse (Tab. 7).. RgmL hingegen hatte mit Abstand den geringsten Chlorophyll b Gehalt aller Versuchsgruppen mit  $0.4 \pm 0.1$  mg kg<sup>-1</sup> Frischmasse. Deutliche Sortenunterschiede traten bei den Chlorophyll b Gehalten nicht auf. Früchte von Pflanzen aus Töpfen ohne Lamellen hatten, wie auch bei Chlorophyll a, bei Chlorophyll b einen leicht höheren Wert als Früchte von Pflanzen aus Töpfen mit Lamellen. Die Größe der Töpfe liefert keine deutlichen Unterschiede bezüglich des Chlorophyll b Gehaltes.

### **Gesamtchlorophyll**

Den höchsten Gesamtchlorophyllgehalt wies MMgoL mit  $3.0 \pm 1.7$  mg kg<sup>-1</sup> Frischmasse auf (Tab. 7). Den niedrigsten Gehalt wies RgmL mit  $1.2 \pm 0.5$  mg kg<sup>-1</sup> Frischmasse auf. Die Sorte 'Moneymaker' wies einen etwas höheren Gesamtchlorophyllgehalt auf im Vergleich zur Sorte 'Roma'. Der Gehalt an Gesamtchlorophyll ist in Früchten von Töpfen ohne Lamellen etwas höher als in Früchten von Töpfen mit Lamellen. Die Topfgröße scheint keine Auswirkungen auf den Chlorophyllgehalt zu haben.

### **Carotinoide**

Den höchsten Anteil an Carotinoiden in den Tomatenfrüchten lieferte die Versuchskombination Rkml mit  $18.9 \pm 2.5 \text{ mg kg}^{-1}$  Frischmasse (Tab. 7). Den niedrigsten Gehalt an Carotinoiden beinhaltete RgoL mit  $11.3 \pm 1.2 \text{ mg kg}^{-1}$  Frischmasse. Sortenunterschiede traten nicht auf. Topfform oder Größe hatten ebenfalls keine Auswirkung auf den Carotinoidgehalt der Früchte.

### **Gesamtphenolgehalt**

Den höchsten Gesamtphenolgehalt lieferte MMgmL mit  $55.3 \pm 17.0 \text{ mg GAE kg}^{-1}$  FM (Tab. 7). Hingegen beinhaltete die Versuchsgruppe RgmL mit  $44.0 \pm 5.6 \text{ mg GAE kg}^{-1}$  FM den geringsten Anteil an Gesamtphenolen. Früchte der Sorte 'Moneymaker' beinhalteten mehr Gesamtphenole als Früchte der Sorte 'Roma'. Weder Topfform noch Topfgröße hatten einen Einfluss auf den Gesamtphenolgehalt der Früchte.

### **Antioxidative Kapazität**

Die höchste antioxidative Kapazität zeigte die Versuchsgruppe MMkml mit  $4.7 \pm 0.4 \text{ mmol Fe}^{2+} \text{ kg}^{-1}$  Frischmasse (Tab. 7). Die geringste Kapazität wies die Versuchsgruppe RgmL mit  $2.4 \pm 0.4 \text{ mmol Fe}^{2+} \text{ kg}^{-1}$  Frischmasse auf. Die Sorte 'Moneymaker' zeichnete sich durch eine höhere antioxidative Kapazität aus als die Sorte 'Roma'. Lamelleneffekte traten keine auf. Hingegen war die antioxidative Kapazität der Früchte von Pflanzen in kleinen Töpfen höher als in großen Töpfen.

Tabelle 8 Statistische Analyse zu Inhaltsstoffen II

Variante	Reduzierende Zucker [g kg <sup>-1</sup> ]	Ascorbinsäure [mg kg <sup>-1</sup> ]
MMkml	20.2±6.9 a	219.7±6.6 bc
MMkoL	24.4±1.7 a	215.9±22.7 bc
Rkml	30.2±2.6 a	295.4±41.0 a
RkoL	26.6±3.0 a	272.7±19.7 ab
MMgmL	23.0±3.3 a	200.8±32.8 bc
MMgoL	29.1±5.0 a	231.1±34.7 abc
RgmL	27.2±6.1 a	200.8±23.6 bc
RgoL	22.3±8.4 a	174.2±17.4 c
P <sub>Levene</sub>	0.111	0.223
P <sub>ANOVA</sub>	0.281	0.001
Test	--	Tukey B
P <sub>Sorte</sub>	(0.274)	(0.103)
P <sub>Topfgröße</sub>	0.967	(0.000)
P <sub>Lamellen</sub>	(0.838)	0.612
P <sub>Interaktionen T x L</sub>	0.953	0.500
P <sub>Interactions T x S</sub>	0.098	0.001
P <sub>Interactions L x S</sub>	0.039	0.103
P <sub>Interactions T x L x S</sub>	0.705	0.401

### Reduzierende Zucker

Den höchsten Gehalt an reduzierenden Zuckern hatten Früchte der Versuchsgruppe Rkml mit 30.2±2.6 g kg<sup>-1</sup> Frischmasse (Tab. 8). Den niedrigsten Gehalt an reduzierenden Zuckern hatte die Gruppe MMkml mit 20.2±6.9 g kg<sup>-1</sup> Frischmasse. Bei der Sorte 'Moneymaker' bewirkten Töpfe ohne Lamellen (große sowie kleine) höhere Gehalte an reduzierenden Zuckern. Bei der Sorte 'Roma' bewirkten in großen sowie in kleinen Töpfen vorhandene Lamellen höhere Gehalte an reduzierenden Zuckern.

**Ascorbinsäure**

Den höchsten Ascorbinsäuregehalt lieferten Früchte der Versuchsgruppe RkML mit  $295.4 \pm 41.0$  mg kg<sup>-1</sup> Frischmasse, den niedrigsten Gehalt Früchte der Gruppe RgoL mit  $174.2 \pm 17.4$  mg kg<sup>-1</sup> Frischmasse (Tab. 8). Sortenunterschiede wurden keine festgestellt. Früchte in Töpfen mit Lamellen hatten in den meisten Versuchsgruppen etwas höhere Werte an Ascorbinsäure als die vergleichbaren Gruppen ohne Lamellen in den Töpfen. Die Topfgröße schien bei der Sorte 'Roma' eine Rolle zu spielen, wobei kleinere Töpfe einen höheren Gehalt an Ascorbinsäure hervorbrachten.

## 4.5 Übersicht der Effekte der Faktoren „Lamellen“ und „Topfgröße“

### 4.5.1 Fazit des Faktors „Lamellen“

Die signifikanten Effekte des Faktors „Lamellen“ sind in Tabelle 9 zusammengestellt.

Tabelle 9 Signifikante Auswirkungen des Faktors „Lamellen“

Bereich	Einteilung
Wurzeln	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesamtgewicht generell niedriger</li> <li>• Gesamtgewicht Feinwurzeln niedriger</li> <li>• Volumen geringer</li> <li>• kürzere Nebenwurzeln</li> <li>• Anzahl der Nebenwurzeln geringer</li> </ul>
Früchte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesamtfruchtgewicht <ul style="list-style-type: none"> <li>○ bei kleinen Töpfen höher</li> </ul> </li> </ul>
Inhaltsstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carotinoidgehalt: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ bei Moneymaker niedriger</li> <li>○ bei Roma höher</li> </ul> </li> <li>• reduzierende Zucker: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ bei Roma höher</li> </ul> </li> </ul>

In Töpfen mit Lamellen (kleine und große Töpfe) wurde ein signifikant geringeres Gesamtwurzelgewicht sowie Feinwurzelgewicht gemessen. Das Gesamtvolumen der Wurzelmasse war in Töpfen ohne Lamellen höher als in Töpfen mit Lamellen. Im Wurzelbereich bewirkten Lamellen ein reduziertes Nebenwurzellängenwachstum sowie eine geringere Anzahl an Nebenwurzeln. In kleinen Töpfen mit Lamellen war das Gewicht der Einzelfrüchte höher als in kleinen Töpfen ohne Lamellen. Bei der Sorte `Moneymaker` bewirkten Lamellen tendenziell eine Abnahme des Carotinoidgehaltes sowie der reduzierenden Zuckergehalte. Bei der Sorte `Roma`

hingegen bewirkten Lamellen eine gering signifikante Zunahme des Carotinoidgehaltes und der reduzierenden Zuckergehalte.

#### 4.5.2 Fazit des Faktors „Topfgröße“

Die gesammelten signifikanten Auswirkungen der unterschiedlichen Topfgrößen (vier und acht Liter Fassungsvermögen) sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Signifikante Auswirkungen des Faktors „Topfgröße“

Wurzeln	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesamtmasse in großen Töpfen höher</li> <li>• Gesamtmasse Feinwurzeln in großen Töpfen höher</li> <li>• Längere Nebenwurzeln in großen Töpfen</li> <li>• Volumen in großen Töpfen höher</li> </ul>
Pflanzen- und Fruchtentwicklung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anzahl Früchte: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ nur bei MM in großen Töpfen höher</li> </ul> </li> <li>• Mittleres Gewicht der Einzelfrüchte: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Nur bei MM in großen Töpfen höher</li> </ul> </li> <li>• Blattzahl: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ nur bei `Roma´ höher</li> </ul> </li> <li>• Pflanzenhöhe in großen Töpfen höher</li> <li>• Durchmesser Stammbasis in großen Töpfen breiter</li> </ul>
Fruchtdefizite	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geplatzte Früchte <ul style="list-style-type: none"> <li>○ bei MM in großen Töpfen Anteil höher</li> </ul> </li> <li>• Gelber/grüner Kragen in großen Töpfen seltener</li> </ul>
Inhaltsstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Antioxidative Kapazität in kleinen Töpfen höher</li> <li>• Ascorbinsäure: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ bei Roma in kleinen Topf höher</li> </ul> </li> </ul>

Bei den Wurzeln wurden in den größeren acht Liter Töpfen mehr Gesamtmasse sowie Masse der Feinwurzeln angelegt. Die Länge der Nebenwurzeln war in größeren Töpfen deutlich länger als in den kleineren Töpfen. Das Volumen der Wurzelmasse war ebenfalls deutlich höher in den acht Liter Gefäßen.

Die Anzahl der Früchte sowie das Gewicht der Einzel Früchte steigerte sich lediglich bei der Sorte Moneymaker in den größeren Gefäßen. Die Anzahl der Blätter der Sorte `Roma` war höher in den größeren Gefäßen, bei der Sorte `Moneymaker` waren keine Unterschiede erkennbar. Die Pflanzhöhe und der Durchmesser der Stammbasis waren jeweils in den acht Liter Töpfen gesteigert.

Effekte bezüglich der Fruchtdefizite ergaben sich insofern, dass bei der Sorte `Moneymaker` prozentuell mehr geplatze Früchte in großen Töpfen auftraten. Bei dem Auftreten eines gelben oder grünen Kragens wirkten sich große Töpfe positiv aus.

Die Ergebnisse der Inhaltsstoffanalyse ergab, dass sich kleine Töpfe sowohl positiv auf die antioxidative Kapazität als auch auf den Ascorbinsäuregehalt auswirken.

## 5 Diskussion

### 5.1 Diskussion zum Ergebnisteil Wurzeln

Dass größere Töpfe höhere Anteile an Wurzelmasse hervorbringen, war abzusehen. Allerdings liefern die Ergebnisse, bezogen auf das Wurzelwachstum, keine signifikanten Auswirkungen, bezüglich fördernder Effekte, welche auf das Vorhandensein der Lamellen in den Töpfen zurückzuführen wären. Daher werden in diesem Vergleich Lamellen tendenziell als limitierender Faktor für die Entstehung von Neben- und Feinwurzeln betrachtet.

### 5.2 Diskussion zum Ergebnisteil Pflanzen- und Fruchtentwicklung

Die Zunahme der Pflanzenhöhe und ein größerer Durchmesser der Stammbasis in großen Töpfen waren nicht überraschend, da mehr Nährsubstrat zur Verfügung standen. Die Anzahl sowie das Gewicht der Früchte stiegen hingegen nur bei der Sorte `Moneymaker` in größeren Töpfen an. Die Sorte `Roma` hingegen weist in diesem Bereich weniger Unterschiede auf, alleinig eine höhere Blattzahl in größeren Töpfen wurde dokumentiert. `Roma` ist auch eine Buschtomate, welche tendenziell mehr Blätter aufweist. Hierbei sind die Unterschiede als sortenspezifisch zu bewerten. Lamellen bewirkten lediglich geringfügig höhere mittlere Gewichte der Einzelfrüchte bei kleinen Töpfen.

### 5.3 Diskussion zum Ergebnisteil Fruchtdefizite

Der Anteil an geplatzen Früchten, welcher bei der Sorte `Moneymaker` den höchsten Anteil hat, hängt vielleicht damit zusammen, dass die Früchte der Sorte `Moneymaker` in den großen Töpfen auch die schwersten waren. Es liegen auch Sortenunterschiede vor, da fast ausschließlich `Moneymaker` betroffen war und `Roma` nicht.

Dadurch, dass gelber oder grüner Kragen entstehen können, wenn die Früchte einer sehr starken Sonneneinstrahlung oder Mineralstoffmangel ausgesetzt sind oder stark ausgegeizt wurden, kann darauf geschlossen werden, dass dies der Fall bei diesen Individuen war. Es ist auch möglich, dass Pflanzen in großen Töp-

fen das Ausgeizen oder die extreme Sonneneinstrahlung besser kompensieren haben bzw. auf mehr Nährstoffe zurückgreifen konnten als Pflanzen in kleinen Töpfen.

## 5.4 Diskussion zum Ergebnisteil Inhaltsstoffe

### Antioxidative Kapazität

Für die Untersuchung von antioxidativen Stoffen bei Gemüse und Obst sind neben der durchgeführten Methode FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) noch andere Verfahren, wie etwa Cupric Reducing Antioxidant Capacity (CUPRAC), 2,2-di(4-tert-octylphenyl)-1-picrylhydrazyl (DPPH) oder 2,2'-Azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) möglich (Apak et al., 2013).

Bei der durchgeführten Analyse wurden 2,4 bis 4,7 mmol Fe<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup> FM identifiziert. Carlsen et al. (2010) führten Analysen ebenfalls mit der FRAP Methode durch, welche bei Tomatensaft zu Ergebnissen von durchschnittlich 0,48 mmol kg<sup>-1</sup> kamen. Perez-Jimenez et al. (2010) kamen zu 44 mg/kg<sup>-1</sup> welches einem Molgewicht von 0,791 Fe<sup>2</sup>/kg<sup>-1</sup> entspricht. Somit sind die gemessenen Daten etwas höher als die in der Literatur angegebenen Daten. Gründe dafür können u.a. die verschiedenen Sorten bzw. negativer Einfluss der Verarbeitung sein.

### Carotinoide und Chlorophyllgehalt

Carotenoid- und Chlorophyllgehalte können entweder mit einem Spektrophotometer oder einer HPLC Analyse gemessen werden (Krumbeit et al. 2006, Monterumici et al. 2015). Der Carotinoidgehalt in den Tomatenfrüchten betrug in den Messungen zwischen 11,3 und 18,9 mg kg<sup>-1</sup> FM. Ghorbani et al. (2012) geben an, dass der Carotinoidgehalt während des Reifens in den Früchten kontinuierlich steigt von 0,1 zu 70 mg kg<sup>-1</sup> FM.

Der beschriebene Chlorophyllgehalt aus der Literatur beträgt 0,00043 mg kg<sup>-1</sup> (Kadiri et al., 2015). Der Wert, welcher bei den Messungen erhoben wurde ist demnach zu hoch (zwischen 1,2 und 3 mg kg<sup>-1</sup>). Mögliche Ursache kann der grüne Kragen sowie auch der manchmal grünliche Stielansatz der Frucht sein. Auch der Reifezustand kann eine Rolle spielen.

### **Gesamtphenole**

Für die Berechnung der Gesamtphenole kann neben dem Spektrophotometer auch eine HPLC Analyse durchgeführt werden (Perez-Jimenez et al., 2010). Bei der Messung der Phenole wurden 44 bis 55,3 mg kg<sup>-1</sup> FM berechnet. Diese Werte scheinen mit den in der Literatur angegebenen Werten von 42 mg kg<sup>-1</sup> überein zu stimmen.

### **Zucker**

Die Messung der Zuckergehalte wird häufig anhand der Bestimmung des Gesamtgehaltes an löslichen Zuckern mit Hilfe eines Refraktometers durchgeführt, welcher den Gesamtgehalt an löslichen Trockensubstanzen (TSS= Total Soluble Solids) einer Frucht misst. Angegeben werden diese Werte in °Brix (Beckles, 2012; Barzamini et al., 2015). Gonzales Riviero (2007) berechnete bei den Untersuchungen der Tomatenfrüchte einen Gehalt von 26,3 g kg<sup>-1</sup> Frischmasse an reduzierenden Zuckern anhand einer HPLC Analyse. Somit sind die in der Untersuchung erhobenen Werte von 20,2 – 30,2 g kg<sup>-1</sup> FM annehmbar.

### **Ascorbinsäure**

Die Untersuchung von Ascorbinsäure kann ebenfalls durch verschiedene Verfahren realisiert werden. Neben der durchgeführten Titration mit Dichlorophenol Indophenol (DCPIP), kann ebenfalls mit Kaliumiodat oder Bromate titriert werden. Chromatographische Methoden, wie flüssige Chromatographie und HPLC (high-performance liquid chromatography) mit elektrochemischer Erkennung, werden häufig für Lebensmittel und bioaktive Flüssigkeiten angewendet (Pisoschi et al. 2013).

Bei der durchgeführten Analyse anhand der Titration mit DCPIP wurden Werte von 174,2 bis 295,4 mg kg<sup>-1</sup> FM erhoben. In der Literatur wurden ähnliche Werte von Ghorbani et al. (2012) (200 mg kg<sup>-1</sup>) berichtet.

## **5.5 Verwendung der Ergebnisse in der Praxis**

Für die Praxis liefert diese Arbeit Belege dafür, dass Tomatenpflanzen in größeren Töpfen, in diesem Fall acht Liter Töpfen, mehr Erträge liefern als Tomatenpflanzen in kleineren, vier Liter Töpfen. Somit sind für den Hausgarten größere Pflanzgefäße für Tomaten zu bevorzugen. Da keine Vergleichsdaten zu anderen Topfmaterialien vorliegen, kann lediglich die Aussage getroffen werden, dass sich Tontöpfe für den Standort Dach eignen. Positive Eigenschaften von Tontöpfen, wie etwa eine günstige Wasserspeicherkapazität, welche für aride und semiaride Standorte von Vorteil ist, wurden bereits in vorigen Kapiteln dargestellt (Tesfaye et al, 2011).

### **5.5.1 Marktchancen**

Für eine Markteinführung des Topfes fehlen die signifikanten Evidenzen mit positiven Effekten der Lamellen. Um die erforderlichen wissenschaftlichen Belege liefern zu können ist es sinnvoll, einen größer angelegten Versuch durchzuführen.

Für eine Kommerzialisierung des Topfes ist es überlegenswert, auch andere Materialien in Betracht zu ziehen. Eine kostengünstigere Variante stellt im Vergleich zu Ton beispielsweise Kunststoff dar. Für den Hausgarten eignen sich häufig größere Kunststoffgefäße. Auch in den durchgeführten Analysen bewährten sich größere Töpfe auf vielen Ebenen. Die Pflanzen- und Fruchtentwicklung, sowie die Pflanzengesundheit entwickelten sich in größeren Töpfen vorteilhafter als in kleineren Töpfen, da auch der Nährstoffgehalt und die Speichermöglichkeiten höherer sind. Ob Konsumentinnen und Konsumenten allerdings im Handel zu großen, gewichtigen, womöglich kostenintensiven Tontöpfen greifen, ist fraglich.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde festgestellt, dass Lamellen in einem Topf mit Tomatenpflanzen sowohl positive als auch negative Konsequenzen mit sich bringen.

Im Wurzelbereich ergibt sich ein reduziertes Wachstum der Fein- sowie Gesamtwurzelmasse, als auch ein geringeres Wurzelvolumen. Auch die Anzahl und Länge der Nebenwurzeln ist vermindert. Bei den vier Liter Töpfen mit Lamellen haben die Tomatenfrüchte höhere Einzelfruchtgewichte. Ansonsten bewirken Lamellen für den Carotinoidgehalt bei 'Moneymaker' niedrigere und bei Roma höhere Werte. Der Gehalt an reduzierenden Zuckern ist bei 'Roma' erhöht.

Die Hypothese lautete, dass eine Topfform mit Lamellen positive Auswirkungen auf die gesamte Tomatenpflanze zur Folge hat. Diese kann nicht bestätigt werden, da die Ergebnisse lediglich positive Effekte im Bereich der Inhaltsstoffe sowie beim Gewicht der Einzelfrüchte signifikant darlegen. Bei anderen Bereichen fehlen die Evidenzen. Somit sind die Vorteile dieser Topfform nicht auf allen Ebenen gewährleistet.

Allerdings muss bemerkt werden, dass 2015 ein besonderes Jahr mit klimatischen Höhen und Tiefen in Bezug auf Temperatur und Niederschlag war. Somit kann festgestellt werden, dass sich Tontöpfe am Extremstandort Dach mit extremen Wetterbedingungen, allerdings mit regelmäßiger Bewässerung, für die Gemüsekultur Tomate eignen. Bei 23 von insgesamt 24 Versuchspflanzen wurden Früchte geerntet. Vergleichswerte zu weniger extremen Standorten mit denselben Topffarben und denselben klimatischen Bedingungen sind nicht vorhanden. Somit kann lediglich bestätigt werden, dass städtisches Gärtnern in Tontöpfen auf Hausdächern möglich ist und Ertrag ermöglicht. Da beispielsweise in der Stadt Wien viele Flächen an Dächern ungenützt sind, wäre dies eine Möglichkeit für „Urban Farming“. Projektanträge in diese Richtung erhalten auch Förderungen (Pozsogar, 2014).

Schließlich fehlen eindeutige Belege für die positiven Konsequenzen der Lamellen. Die Wahl des Standortes ist bei einer neuerlichen Durchführung zu überdenken. Ergebnisse zu dem Extremstandort Dach wurden mit diesem Versuch geliefert. Interessant wären auch Vergleichsdaten zu geschützten Arealen mit Überdachung. Analoge Daten zu Feldtomaten unter Freilandanbau oder Glashauskultur derselben Sorten wären für Vergleichswerte von Nutzen.

## 7 Literaturverzeichnis

- Ackerman K., Conard M., Culligan P., Plunz R., Sutto M.P., Whittinghill L. (2014): Sustainable Food Systems for Future Cities: The Potential of Urban Agriculture. *The Economic and Social Review* 45(2): 189-206.
- Adom K.K., Liu R.H. (2002): Antioxidant activity of grains. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 50: 6182-1987.
- Andres-Lacueva C., Medin-Remon A., Llorach R., Urpi-Sarda M., Khan N., Chiva-Blanch G., Zamora-Ros R., Rotches-Ribalta M., Lamuela-Raventos R. (2010): Phenolic Compounds – Chemistry and Occurrence in Fruits and Vegetables. In: De la Rosa L., Alvarez-Parilla E., Gonzalez A. (Hrsg): *Fruit and vegetable phytochemicals: chemistry, nutritional value and stability*. Singapore. Wiley-Blackwell, 53-88.
- Apak R., Gorinstein S., Böhm V., Schaich K. M., Özürek M., Güclü K. (2013): Methods for measurement and evaluation of natural antioxidant capacity/activity IUPAC Technical Reprint. *Pure Appl. Chem.*, Vol 85 (5): 957-998.
- Barzamini H., Ghorbani A., Hosseini S.S. (2015): Study on Biochemical Traits of different Tomato Cultivars of Heins Company. *Acta Biologica Indica* 4(2): 143-148.
- Becker K., John S. (2000): *Farbatlas Nutzpflanzen in Mitteleuropa*. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag.
- Beckles D.M. (2012): Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology* 63: 129-140.
- Bedlan, G. (2012): *Gemüse Krankheiten*. Wien: Edelbacher Druck Ges.m.b.H.
- Benzie I.F.F., Strain J.J. (1996): The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of „Antioxidant Power“: The FRAP Assay. *Analytical biochemistry* 239: 70-76.

- Bergougnoux V. (2014): The history of tomato: From domestication to biopharming. *Biotechnology Advances* 32: 170-189.
- Biesalki H.K., Grimm P., Nowitzki-Grimm S. (2015): Taschenbuch Ernährung. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Carlsen M.H. et al. (2010) The total antioxidant content of more than 3100 foods, beverages, spices, herbs and supplements used worldwide. *Nutrition Journal* 9(3):1-11.
- Carlsen M.H., Halvorsen B.L., Holte K., Bøhn S.K., Dragland S., Sampson L., Willey C., Senoo H., Umezono Y., Sanada C., Barikmo I., Berhe N., Willett W.C., Phillips K.M., Jacobs D.R., Blomhoff R. (2010): The total antioxidant content of more than 3100 foods, beverages, spices, herbs and supplements used worldwide. *Nutrition Journal* 9(3) 1-11.
- Ciccone M.M. et al. (2013): Dietary intake of carotenoids and their antioxidant and anti-inflammatory effects in cardiovascular care. *Mediators of Inflammation*, vol. 2013, 1-11.
- Coirazza A. (2014): Tomaten 2. Witten: Fomosa Verlag.
- Elmadfa I. (2015): Ernährungslehre. Stuttgart: Ulmer Verlag.
- Ghorbani R., Poozesh V., Khorramdel S.(2012): Tomato Production for Human Health, not only for food. *Sustainable Agriculture Reviews* 9:185-225.
- Gonzales Riviero A. (2007) Nutritional and antioxidant properties of fresh and processed tomato (*Lycopersicon esculentum*) cultivars from Cuba and Germany. Cuvillier Verlag: Göttingen.
- Gonzales-Vallinas M., Gonzales-Catejon M., Rodriguez- Casado A., and Ramirez M. (2013): Dietary phytochemicals in cancer prevention and therapy: a complementary approach with promising perspectives. *Nutrition Reviews* 71(9): 585–599.
- Gregory P.J. (2006): Plant Roots: their growth, activity, and interaction with soils. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
- Haas F. (2004): Kübelpflanzen – auswählen und pflegen. Leopoldsdorf: Österreichischer Agrarverlag.

- Heeb A., Lundegardh B., Ericsson T., Savage G.P. (2005): Effects of nitrate-, ammonium- and organic-nitrogen-based fertilizers on growth and yield of tomatoes. *J. Plant Nutr. Soil Sci* 168: 123-129.
- Hess L., de Kroon H. (2007): Effects of rooting volume and nutrient availability as an alternative explanation for root self/non-self discrimination. *J.Ecol.* 95:245-251.
- Heuvelink E. (2005): Tomatoes. Wallingford: CABI Publ.
- Hui S.C.M. (2011): Green roof urban farming for buildings in high-density urban cities. The Hainan China World Green Roof Convergence, 1-9.
- Ji Kwang Dae Poep Sa Nim (2012): Social Buddhism for the 21<sup>st</sup> century – wisdom for daily living – the teachings of Ji Kwang Dae Poep Sa Nim. Hawaii, USA: Bo Duk Religious Research Center, Inc.
- Jungmeir F. (2013): Landwirtschaftliche Rohstoffe – Preisentwicklung durch Marktallokation oder Renaissance als Spekulationsobjekt?. Masterarbeit Universität Wien.
- Kadiri M., Ojewumi A.W., Olawale S.O. (2015): Minerals, vitamins and chlorophyll contents of fruits, stems and leaves of tomato and garden egg. *Pakistan Journal of Food Sciences* 25(3): 150-154.
- KAMMLOTT (2016) Informationen zu Nährsubstrat: <http://www.kammlott.info/78.0.html>. [abgerufen am 10.5.2016].
- Kelley K.M., Behe B.K, Biernbaum J.A., Poff K.L. (2001): Consumer Preference for Edible-flower Color, Container Size, and Prize. *Hort Science* 36(4): 801-804.
- Keutgen A.J., Pawelzik E. (2007): Modifications of strawberry fruit antioxidant pools and fruit quality under NaCl. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 55: 4066-4072.
- Keutgen A. J., Keutgen N. (2015) Vorlesungsunterlagen für Lagerung von gartenbaulichen Produkten, Akademisches Jahr 2015/2016, BOKU Wien.
- Königshofer H. (2015): Vorlesungsunterlagen für Stressphysiologie der Nutzpflanzen, Akademisches Jahr 2015/2016, BOKU Wien.
- Kötter E. (2003): Topf- und Kübelpflanzen. Stuttgart: Franck-Kosmos Verlags-GmbH.

- Krumbein A., Schwarz D., Kläring H.-P. (2006): Effects of environmental factors on carotenoid content in tomato (*Lycopersicon esculentum* (L.) Mill.) grown in a greenhouse. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 80: 160-164.
- Kuchenbuch, R.O., Ingram, K.T. (2001): Methode zur zerstörungsfreien Messung der Wurzelentwicklung. In: Merbach W., Wittenmayer L., Augustin J. (Hrsg): *Physiologie und Funktion von Pflanzenwurzeln*. 24-29.
- Kutschera L., Lichtenegger E., Sobotik M. (2009): *Wurzelatlas der Kulturpflanzen gemäßigter Gebiete mit Arten des Feldgemüsebaues*. Frankfurt am Main: DLG-Verlags-GmbH.
- Loke W.M, Proudfoot J.M, Stewart S., McKinley A.J., Needs P.W., Kroon P.A. (2008): Metabolic transformation has a profound effect on anti-inflammatory activity of flavonoids such as quercetin: lack of association between antioxidant and lipoxygenase inhibitory activity. *Biochem Pharmacol* 75: 1045–1053.
- Monterumici M., Rosso D., Montoneri E., Ginepro M., Baglieri A., Novotny E.H., Kwapinski W. und Negre M. (2015): Processed vs. Non Processed Biowastes for Agriculture: Effects of Post-Harvest Tomato Plants and Biochar on Radish Growth , Chlorophyll Content and Protein Production. *Int. J. Mol. Sci*, 16: 8826-8843.
- Morte A., Varma A. (2014): *Root Engineering – Basic and Applied Concepts*. Heidelberg: Springer Verlag.
- Murphy G. P., File A. L., Dudley S. A. (2013): Differentiating the effects of pot size and nutrient availability on plant biomass and allocation. *Botany* 91: 799-803.
- Nagy N. (2013): *Das Potential der Etablierung und weiteren Verbreitung von Community Supported Agriculture (CSA) in Österreich*. Diplomarbeit: Universität Wien.
- Nolf M., Mayr S. (2011): *Vorlesungsunterlagen für Einführung in die Botanik. Bau und Funktion der Pflanzen*. Akademisches Jahr 2011/2012, Universität Innsbruck.
- Nultsch W. (2012): *Allgemeine Botanik*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

- Ovaskainen M.L., Torronen R., Koponen J.M., Sinkko H., Hellstrom J., Reinivuo H. (2008): Dietary intake and major food sources of polyphenols in Finnish adults. *The Journal of Nutrition* (138): 562–566.
- Pérez-Jimenez J., Neveu V., Vos F., Scalbert A. (2010): Identification of the 100 richest dietary sources of polyphenols: an application of the Phenol-Explorer database. *European Journal of Clinical Nutrition* (64): 112-120.
- Pinske J. (2004): *Gärtnern in Töpfen & Kübeln*. Stuttgart: Ulmer Verlag.
- Pisoschi A.M., Pop A., Serban A.I., Fafaneata C. (2013): Electrochemical methods for ascorbic acid determination. *Electrochimica Acta* 121 (2014): 443-460.
- Pozsogar W (2014): *Dachgärten: Paradeiser, Gurken, Ranken*. Die Presse, 20.06.2014, Wien.
- Raiola A., Rigano M. M., Calafiore R., Frusciante L., Barone A. (2014): Enhancing the Health Promoting Effects of Tomato Fruit for Biofortified Food. *Hindawi Publishing Corporation Mediators of Inflammation* (2014):1-16.
- Rasch D., Verdooren L.R., Gowers J.I. (2007): *Planung und Auswertung von Versuchen und Erhebungen*. Oldenburg Wissenschaftsverlag GmbH: München.
- Scalbert A., Manach C., Morand C., Remesy C., Jimenez L. (2005): Dietary polyphenols and the prevention of diseases. *Crit Review of Food Science and Nutrition* (45): 287–306.
- Schaal S., Kunsch K., und Kunsch S. (2016): *Der Mensch in Zahlen*. Berlin: Springer Verlag.
- Schumann E. (2014): *Tomaten für Garten und Balkon*. Stuttgart: Ulmer Verlag.
- Singleton V.L., Rossi J.A. Jr (1965): Colorimetry of total phenolics with phosphomolibdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.*, 16: 144-158.
- Smit A.L., George E., Groenwold J. (2000): Root observations and measurements at (transparent) interfaces with soil. In: Smit A.L., Bengough A.G., Engels C., von Noordwijk M., Pellerin S., van de Geijn S.C. (Hrsg): *Root Methods – a Handbook*. Springer Verlag: Heidelberg, 235-271.

- STATISTIK AUSTRIA 2016  
[http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/wirtschaft/land\\_und\\_forstwirtschaft/agrarstruktur\\_flaechen\\_ertraege/gemuese/105828.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/gemuese/105828.html) [abgerufen am 12.04.2016].
- Talburt W., Smith O. (1959): Potato Processing. American Potato Journal, Volume 36(4): 139-140.
- Tesfaye T., Tesfaye K., Woldetsadik K. (2011): Clay pot irrigation for tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) production in the north east semiarid region of Ethiopia. Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics 112 (1):11-18.
- Tillmans J., Hirsch P. (1932). Vitamin C. Biochem. Zeitschrift, 250: 312-320.
- Tomaier S., Specht K., Henckel D., Dietrich A., Siebert R., Freisinger U.B., Sawicka M. (2014): Farming in and on urban buildings: Present practice and specific novelties of Zero-Acreage Farming (ZFarming). Renewable Agriculture and Food Systems, 1-12.
- Wellburn A.R. (1994): The spectral determination of chlorophyll a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with Spectrophotometers of different resolution. Journal of Plant Physiology 144: 307-313.
- Welsch N., Liebmann, C.C. (2012): Farben: Natur, Technik, Kunst. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Whittinghill L. J., Rowe B.D. (2011): The role of green roof technology in urban agriculture. Renewable Agriculture and Food Systems: 27 (4): 314-322.
- Wild A., Schmitt V. (2012): Biochemische und physiologische Versuche mit Pflanzen. Heidelberg: Springer Verlag.
- ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) 2016: Informationen der Station Hohe Warte (Wien) <http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/jahresrueckblick> [abgerufen am 13.04.2016].

## **Eidesstattliche Erklärung**

*„Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig verfasst, und in der Bearbeitung und Abfassung keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benutzt, sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe. Die vorliegende Masterarbeit wurde noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt.“*

**Datum: TT MM JJJJ**

**[Unterschrift]**

**[Birgit Brandstötter]**