



UNIVERSITÄT HOHENHEIM

UNIVERSITÄT HOHENHEIM
Fakultät Agrarwissenschaften
Institut für Tropische Agrarwissenschaften
(Hans-Ruthenberg-Institut)

Auswirkungen von Salzstress auf die Aufnahme und Verteilung von Natrium, Kalium und Chlorid bei Kartoffeln

Betreuer und Prüfer: Prof. Dr. Folkard Asch

von :
Johannes Brunner
Matrikelnr.: 642837
5. Fachsemester
Abgabetag: 05.10.2018

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VIII
1 Einleitung	1
1.1 Klimawandel und die Auswirkungen für Bangladesch.....	1
2 Stand der Forschung	3
2.1 Einteilung versalzener Böden und Messmethoden.....	3
2.2 Auswirkungen von Salzstress bei Kartoffeln	4
3 Material und Methoden	6
3.1 Pflanzenanzucht.....	6
3.2 Temperaturverlauf während des Versuchs	7
3.3 Bewässerung und Salzapplikation.....	8
3.4 Messungen.....	8
3.4.1 Nicht destruktive Messungen	8
3.4.2 Destruktive Messungen	9
3.4.3 Natrium und Kaliumanalyse	9
3.4.4 Chloridanalyse.....	9
3.5 Aeroponik	10
3.5.1 Aufbau der Aeroponik	10
3.5.2 Nährlösung der Aeroponik	11
3.5.3 Zeitlicher Ablauf der Aeroponik	12
3.6 Statistische Auswertung	13
4 Ergebnisse.....	14
4.1 Morphologische Unterschiede	14
4.2 Wasserverbrauch	16
4.3 Auswirkungen von Salzstress auf die Blattfläche, das Trockengewicht und die Frischmasse der Kartoffel.....	17
4.4 Elektrische Leitfähigkeit des Bodens	20
4.5 Verteilung des Natriums innerhalb der Pflanze.....	21
4.6 Verteilung des Kaliums innerhalb der Pflanze	24
4.7 Verteilung des Chlorids innerhalb der Pflanze	25
4.8 Kalium-Natrium-Verhältnis.....	28
4.9 Anionen-Kationenverhältnis.....	29
5 Diskussion.....	31

5.1	Abschätzen des Salzgehalts im Wurzelraum	31
5.2	Morphologische Unterschiede	32
5.3	Verteilung des Natriums, Kaliums und Chlorids	32
5.4	Veränderung der Verhältnisse von Natrium, Kalium und Chlorid	34
5.5	Temperaturbedingte Auswirkungen auf das Kartoffelwachstum	35
5.6	Mögliche Fehlerquellen und Verbesserungsvorschläge	35
6	Ausblick Aeroponik	37
	Anhang	VI
7	Literaturverzeichnis	VIII
	Eidestattliche Erklärung	X

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einfluss der Salzkonzentration auf das Wachstum. Hal: Halophyten; T: tolerante Pflanzen; M: moderat Salztolerante Pflanzen; S: Sensitive Pflanzen nach (Marschner und Marschner 2012)	4
Abbildung 2: Temperaturverlauf während des Topfversuchs	7
Abbildung 3: Blick von oben in das Kunststofffass mit dem Ventilator rechts und unten mittig den Vernebler installiert	10
Abbildung 4: (links) Triebe nach dem Ablösen von der Mutterknolle. Triebe im Schaumstoff befestigt (rechts).....	12
Abbildung 5: (links) Vollständig entwickelte Blätter mit braunen Blattspitzen und aufgehellten Blatträndern. (rechts) Der obere Teil der Triebe ist abgestorben mit scharfer Abgrenzung auf Höhe des Schaumstoffes	13
Abbildung 6: Mittelwerte (n = 3) der Wuchshöhe gemessen am höchsten Stängel in cm mit entsprechendem Standardfehler. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zur entsprechenden Kontrolle sind mit einem * gekennzeichnet.....	14
Abbildung 7: Mittelwerte (n = 3) der Stolonenanzahl.....	16
Abbildung 8: Gemessener EC-Wert in 1:10 Bodenextrakt mit 9 Teilen Wasser pro Teil Boden gemittelt über die Wiederholungen (n = 3) mit entsprechenden Standardfehler gegen den errechneten Salzgehalt im trockenen Boden in [mg g^{-1}] für die Töpfe der Salzbehandlung.	20
Abbildung 9: Natriummasse in mg pro Pflanzenteil gemittelt über die Wiederholungen (n = 3) mit entsprechendem Standardfehler. Behandlung 1, 2 bzw. 3 entspricht den Beprobungszeitpunkt; K steht für Kontrolle und S für Salzapplikation. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Salzbehandlung zur entsprechenden Kontrolle sind mit * gekennzeichnet.	22
Abbildung 10: Relative Verteilung von Natrium in der Pflanze gemittelt über die Wiederholungen (n = 3) in %. Dargestellt ist die Natriummenge einzelner Pflanzenorgane in Relation zur gesamten Natriummenge in der Pflanze. Behandlung 1, 2 bzw. 3 entspricht den Beprobungszeitpunkt; K steht für Kontrolle und S für Salzapplikation. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Salzbehandlung zur entsprechenden Kontrolle sind mit * gekennzeichnet.	23
Abbildung 11: Relative Verteilung von Kalium in der Pflanze gemittelt über die Wiederholungen (n = 3) in %. Dargestellt ist die Kaliummenge einzelner Pflanzenorgane in Relation zur gesamten Natriummenge in der Pflanze. Behandlung 1, 2 bzw. 3 entspricht den Beprobungszeitpunkt; K steht für Kontrolle	

und S für Salzapplikation. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Salzbehandlung zur entsprechenden Kontrolle sind mit * gekennzeichnet.	25
Abbildung 12: Mittelwert ($n = 3$) der Chloridmasse in mg pro Pflanzenteil mit entsprechendem Standardfehler. Behandlung 1, 2 bzw. 3 entspricht den Beprobungszeitpunkt; K steht für Kontrolle und S für Salzapplikation. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Salzbehandlung zur entsprechenden Kontrolle sind mit * gekennzeichnet.	27
Abbildung 13: System Pflanze am 21 DAP; vor dem Einsetzen in die Aeroponik.....	VI
Abbildung 14: Wurzelneubildung nach 4 Tagen im aeroponischen System	VI
Abbildung 15: Vergleich einer Kontrollpflanze (links) mit einer mit einer Pflanze, die durch Salzapplikation gestresst wurde am 46. DAP	VII
Abbildung 16: Pflanzen am 60. DAP. (vorne) Salzbehandlung; (hinten) Kontrollpflanzen	VII

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammensetzung der Stammlösungen und deren Anteil in der Nährlösung für das aeroponische System.....	11
Tabelle 2: Mittelwerte ($n = 3$) der gebildeten Knollenanzahl pro Pflanze mit entsprechendem Standardfehler. Der Zeitpunkt steht für den Beprobungszeitpunkt. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Salzbehandlung zur entsprechenden Kontrolle sind mit * gekennzeichnet.	15
Tabelle 3: Wasserverbrauch in ml gemittelt über die Wiederholungen ($n = 3$) mit entsprechendem Standardfehler. Der Zeitpunkt steht für den Beprobungszeitpunkt. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Salzbehandlung zur entsprechenden Kontrolle sind mit * gekennzeichnet.	16
Tabelle 4: Vergleich der photosynthetisch aktiven Blattfläche in cm^2 anhand von Mittelwerten ($n = 3$) und Standardfehler. Der Zeitpunkt steht für den Beprobungszeitpunkt. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Salzbehandlung zur entsprechenden Kontrolle sind mit * gekennzeichnet.	17
Tabelle 5: Vergleich von Trocken- und Frischmasse anhand von Mittelwerten ($n = 3$) und Standardfehler (SE). Der Zeitpunkt entspricht dem Beprobungszeitpunkt. Oberirdische Pflanzenteile setzen sich zusammen aus Blättern, Petiolen, Stängel oberhalb der Erdoberfläche; unterirdische Pflanzenteile beinhalten Wurzel, den unterirdischen Teil des Stängels, die Stolone sowie die neugebildeten Knollen. Die Mutterknolle wurde bei der Aufstellung nicht berücksichtigt. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Salzbehandlung zur entsprechenden Kontrolle sind mit * gekennzeichnet.	19
Tabelle 6: Mittelwerte ($n = 3$) der Natriumgehalte in mg g^{-1} Trockengewicht für die verschiedenen Pflanzenteile mit entsprechendem Standardfehler. Zeitpunkte 1, 2 und 3 entsprechen den Beprobungszeitpunkten. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Salzbehandlung zur entsprechenden Kontrolle sind mit * gekennzeichnet 21	21
Tabelle 7: Mittelwerte ($n = 3$) der Kaliumkonzentration in mg g^{-1} Trockengewicht für den oberirdischen Stängel und die Wurzel mit entsprechendem Standardfehler. Zeitpunkte 1, 2 und 3 entsprechen den Beprobungszeitpunkten. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Salzbehandlung zur entsprechenden Kontrolle sind mit * gekennzeichnet 24	24
Tabelle 8: Mittelwerte ($n = 3$) der Chloridgehalte in mg g^{-1} Trockengewicht für die verschiedenen Pflanzenteile mit entsprechendem Standardfehler. Die Zeitpunkte 1, 2 und 3 entsprechen den Beprobungszeitpunkten. Signifikante Unterschiede ($p <$	

0,05) der Salzbehandlung zur entsprechenden Kontrolle sind mit * gekennzeichnet.	26
Tabelle 9: Mittelwerte ($n = 3$) der Kalium Natriumverhältnisse für die verschiedenen Pflanzenteile mit entsprechendem Standardfehler. Die Zeitpunkte 1, 2 und 3 entsprechen den Beprobungszeitpunkten. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Salzbehandlung	28
Tabelle 10: Verhältnis von Chlorid zu Natrium und Kalium pro Pflanzenteil gemittelt über die Wiederholungen ($n = 3$) mit entsprechendem Standardfehler. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Salzbehandlung zur entsprechenden Kontrolle sind mit * gekennzeichnet.	30

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
° C	Grad Celsiuns
Cl	Chlor
cm ²	Quadratzenimeter
DAP	Tage nach dem Auspflanzen (Days after planting)
dS	Dezi Siemens
EC	Elektrische Leitfähigkeit
FM	Frischmasse
g	Gramm
h	Stunden
K	Kalium
kg	Kilogramm
l	Liter
min	Minuten
ml	Milliliter
mmol	Millimol
MPa	Megapascal
Na	Natrium
SE	Standardfehler (Standard Error)
TM	Trockenmasse
U	Umdrehungen
α	Signifikanzniveau

1 Einleitung

Abiotische Umweltfaktoren haben weltweit den größten Einfluss auf die Erträge der Landwirtschaft. Neben der Temperatur sowie der Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit stellt die Versalzung von Böden einen der wichtigen abiotischen Faktoren dar (Hallmann und Quadts-Hallmann 2009). Bereits 2012 waren eine Milliarde Hektar Land (Fritsche-Neto und Borém 2012) aufgrund ihres Salzgehaltes negativ beeinflusst. Es ist anzunehmen, dass durch die Veränderung des Klimas sowie durch unsachgemäße Bewässerung der Anteil der salzbelasteten Böden jährlich zunehmen wird. So schätzten Fritsche-Neto und Borém (2012) die Zunahme auf jährlich 10 %. Dies ist vor allem auf eine intensive Beregnung ohne gezielte Auswaschung der Salze in ariden Gebieten, in denen die Verdunstungsrate höher ist als die Menge an zugefügtem Wasser, zurückzuführen. Dadurch bleiben die Mineralien, die als gelöste Salze im Wasser vorliegen, im oberen Bodenhorizont zurück während das Wasser verdunstet. Aber auch durch den Anstieg des Meeresspiegels werden mehr Flächen betroffen sein. Dies ist zum einen durch die direkte Überschwemmung in Küstengebieten zum anderen auch durch die Rückspülung von Salzwasser in Flüsse in Trockenzeiten, in denen sie allgemein wenig Wasser führen, sowie durch die Gezeiten des Meeres bedingt (S. A. Haque 2006). Flächen, die einen höheren Salzgehalt aufweisen, sind nicht mehr uneingeschränkt für die Nahrungsmittelproduktion verwendbar, da die meisten der heutzutage verwendeten Kulturpflanzen nur einen geringen Toleranzbereich bezüglich des Salzgehalts aufweisen und bei Überschreiten der Schwelle starke Ertragsrückgänge zu erwarten sind (Fritsche-Neto und Borém 2012). Um diese Flächen auch weiterhin effektiv für die landwirtschaftliche Produktion nutzen zu können, ist es bereits heute wichtig angepasste Strategien zu entwickeln.

1.1 Klimawandel und die Auswirkungen für Bangladesch

Bangladesch gilt vom Anstieg des Meeresspiegels als besonders stark betroffen, da der Küstenbereich etwa 20 % der gesamten Landoberfläche beträgt und hier 30 % der nutzbaren Fläche Bangladeschs liegen (S. A. Haque 2006). Der Küstenbereich wird hauptsächlich für den Reisanbau in der warmen Regenzeit genutzt. In der Trockenzeit wird hier teilweise mithilfe von Bewässerung eine zweite Reiskultur etabliert, aber es werden auch auf einigen Flächen Kartoffeln angebaut. Die Salzbelastung im Boden entsteht durch Meereswasser, das mit den Gezeiten durch die Flüsse weit ins Landesinnere getragen wird und hier durch Überflutung, aber auch durch Bewässerungskanäle auf die

Felder gelangt. Auch das Grundwasser ist teilweise von Salzanreicherung in der Trockenzeit betroffen, wodurch es für die Bewässerung unbrauchbar wird. Durch die geringen Niederschläge reichert sich das Salz somit in den oberen Bodenschichten an, bis es in der Regenzeit wieder ausgewaschen wird (S. A. Haque 2006).

Im Rahmen dieses Versuchs sollen die Auswirkungen von Salzstress auf die Verteilung von Natrium, Kalium und Chlorid innerhalb der Kartoffel näher erforscht werden, um mögliche Ansätze zur Verbesserung der Salztoleranz in anschließenden Versuchen erlangen zu können. Außerdem soll versucht werden, die Kartoffeln in einem aeroponischen System anzuziehen, um für künftige Versuche einen besseren Zugang zu den Wurzeln zu erhalten bei gleichzeitig geringerem Arbeitsaufwand.

2 Stand der Forschung

2.1 Einteilung versalzener Böden und Messmethoden

In humiden Klimaten entstehen vor allem Neutralsalzböden, die überwiegend NaCl enthalten, während die Böden in Trockengebieten häufiger auch alkalisch wirkende Sulfate und Carbonate enthalten (Larcher 2001). Bestimmt wird der Salzgehalt von Böden anhand der elektrischen Leitfähigkeit der gesättigten Bodenlösung (EC_e -Wert) (Blume et al. 2011). Ab einem EC_e -Wert von 4 dS m^{-1} treten bei den meisten Pflanzen bereits Ertragseinbußen auf, weswegen nach der Soil Science Society of America Böden mit einem EC_e größer als 4 dS m^{-1} als „saline soils“ klassifiziert werden (Marschner und Marschner 2012). Zwischen dem EC_e -Wert und dem osmotischen Potential des gesättigten Bodenextrakts besteht eine lineare Beziehung, wobei 1 dS m^{-1} $-0,036 \text{ MPa}$ entspricht (Larcher 2001). Dabei beschreibt das osmotische Potential, wieviel Arbeit verrichtet werden muss, um eine Einheitsmenge an Wasser durch eine semipermeable Membran aus der Bodenlösung zu ziehen (Scheffer et al. 2010). Da Pflanzen den Großteil ihres Wassers aus dem Boden aufnehmen, dies aber auf salzbelasteten Standorten je nach Salzgehalt durch die osmotischen Kräfte erschwert wird, ist der EC_e -Wert ein aussagekräftiger Anhaltspunkt um die Salzbelastung zu beschreiben. Neben den zunehmenden osmotischen Kräften werden die Pflanzen außerdem durch Ionenüberschüsse im Protoplasma belastet. Durch Na^+ und vor allem Cl^- entstehen Ionenungleichgewichte und ionenspezifische Wirkungen auf Enzymproteine und Membraneigenschaften (Larcher 2001).

Die Wachstumsvorgänge von Pflanzen reagieren schnell auf Salzeinwirkung, sodass Biomasseproduktion und Wachstumsgeschwindigkeit als verlässliches Kriterium für Salzstress und Salzbewältigung gelten (Larcher 2001). Dabei lassen sich Pflanzen in mehrere Gruppen unterteilen, wie in Abbildung 1 dargestellt wird.

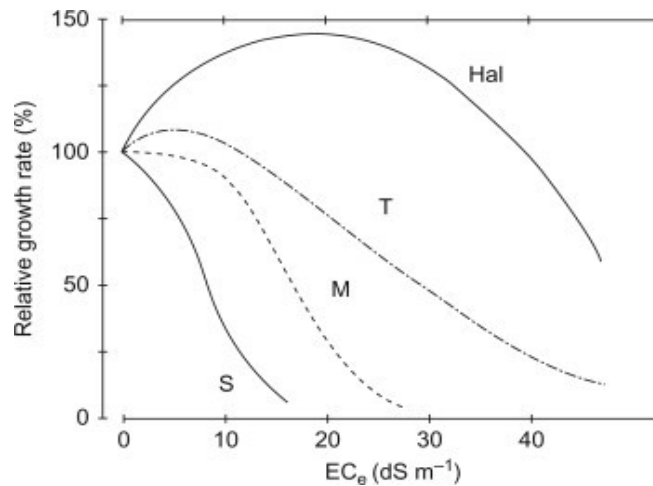


Abbildung 1: Einfluss der Salzkonzentration auf das Wachstum. Hal: Halophyten; T: tolerante Pflanzen; M: moderat Salztolerante Pflanzen; S: Sensitive Pflanzen nach (Marschner und Marschner 2012)

Während sensitive Pflanzen keinerlei Gegenmaßnahmen ergreifen können, wenn sie Salzstress ausgesetzt sind, haben tolerante Pflanzen Mechanismen entwickelt, um gegen die osmotischen Kräfte und Ionenungleichgewichte bestehen zu können oder durch Kompartimentierung im Protoplasten gewisse Salzkonzentrationen ertragen können. Halophyten erreichen ihr maximales Wachstum erst ab einer gewissen Salzkonzentration, denn Halophyten können den Salzgehalt aktiv regulieren (Larcher 2001). In dieser Arbeit sollen die Auswirkungen von Salzstress auf Kartoffeln, die nach Fritsche-Neto und Borém (2012) als „moderat sensitiv“ gelten, untersucht werden.

2.2 Auswirkungen von Salzstress bei Kartoffeln

Als moderat sensitive Pflanze erleiden Kartoffeln schon bei geringen Salzkonzentrationen Ertragseinbußen, diese zeigen sich nach Levy und Veilleux (2007) in einem reduzierten Wachstum bzw. einer Verkümmern des Stängels sowie in verringertem Wachstum von Blättern und Knollen, was zu einem geringeren Knollenertrag führt. Der geringere Ertrag setzt sich aus einer reduzierten Anzahl an Knollen pro Pflanze und einem geringeren durchschnittlichen Knollengewicht zusammen (Ghosh et al. 2001). Auch der qualitative und somit vermarktungsfähige Ertrag nimmt ab, da Knollen vermehrt Risse bilden und sich bei starkem Salzstress braun verfärben können. Außerdem nehmen Pflanzen, die unter Salzstress wachsen, insgesamt weniger Wasser auf (Levy und Veilleux 2007). Dies liegt vermutlich am höheren osmotischen Potential des Bodenwassers, weshalb die Pflanze mehr Arbeit verrichten muss, um die gleiche Menge an Wasser

aufzunehmen. Levy und Veilleux (2007) konnten auch chlorotische Flecken auf den Blättern, verbrannte Blattspitzen sowie ein verfrühtes Absterben der Pflanzen die unter Salzstress leiden beobachten.

Backhausen et al. (2005) haben außerdem nachgewiesen, dass die Ausprägung des Salzstress bei Kartoffeln von anderen Faktoren, wie der Lichtintensität und der relativen Luftfeuchtigkeit, abhängen.

Da die Wurzeln von Pflanzen nicht in der Lage sind Natrium und Chlorid von der Aufnahme auszuschließen, reichern sie die Ionen innerhalb der Pflanzenorgane an. Dabei verändert sich das Natrium-Kalium-Verhältnis mit zunehmender Salzkonzentration in allen Pflanzenorganen zugunsten des Natriums (Gao et al. 2014).

3 Material und Methoden

Der Versuch wurde an der Universität Hohenheim im Institut für Tropische Agrarwissenschaften (Hans-Ruthenberg-Institute), Fachgebiet Wasserstress-Management bei Kulturpflanzen in den Tropen und Subtropen (490g) durchgeführt. Er wurde mit vier Genotypen, zwei Behandlungen sowie je drei Wiederholungen angelegt.

3.1 Pflanzenanzucht

Durchgeführt wurde der Versuch im Gewächshaus des Instituts. Als Randomisationseinheiten wurden runde 12l Container (Jopa, Deutschland) mit einer Höhe von 21 cm verwendet. Die Töpfe wurden mit einer Mischung aus Ackerboden und Sand gefüllt. Der Ackerboden vom Heidfeldhof wurde bis zu seiner maximalen Wasserhaltekapazität aufgewässert und anschließend für 7 Stunden gedämpft (Sterilo, Harter, Deutschland), um den Einfluss von Schaderregern zu minimieren. Anschließend wurde der Boden gesiebt (Quadratmaß 6,5 mm), wodurch Pflanzenreste entfernt und Steine sowie stark verkrustete Aggregate abgetrennt wurden und ein homogenes Ergebnis erzielt werden konnte. Nach Kurz (2016) ist die Bodenart des Ackerbodens toniger Lehm. Für den Versuch wurde die Bodenart lehmiger Sand angestrebt. Aus diesem Grund wurde der Boden mit Sand (Spielsand Sahara, Obi, Deutschland) nach dem Bodenartendreieck (Blume et al. 2011) im Verhältnis von 45:55 gemischt.

Als Pflanzgut wurden die tropischen Sorten Colima aus Guatemala sowie der Zuchtsamm S 1759 aus Indien von der Genbank aus Gatersleben und die mitteleuropäischen Sorten Ditta (Anerkennungsnummer DE 997 251 1033; Z- Saatgut Herkunft Deutschland) und Selma (Anerkennungsnummer DE037-960094502003; Z-Saatgut Herkunft Deutschland) verwendet.

Da von der Sorte Colima keine ausreichende Anzahl an Pflanzknollen verfügbar war, wurden die Kartoffeln mit einem Messer halbiert. Dabei wurde darauf geachtet, dass auf jeder Hälfte noch mindestens drei Augen vorhanden waren. Zur Reduzierung der Krankheitsübertragung wurde das Messer nach jedem Schnitt für zehn Sekunden in eine 90% Ethanol-Lösung getaucht und anschließend abgeflammt. Um ein starkes Austrocknen zu vermeiden, wurden die Knollen mit der Schnittfläche auf ein Trockentuch gelegt.

Das Pflanzgut wurde am 2.5.2018 in Schalen zur Keimung ausgelegt. Am 10.5.2018 wurden die Töpfe mit 15kg (Kern, PCE-HPS 60x1g, Deutschland) Substrat gefüllt und anschließend wurden die Knollen in 10cm Tiefe von Bodenoberfläche bis zur Oberkante der Knolle mit den Keimen nach oben gerichtet eingepflanzt. Zur Bestimmung des Wassergehalts im Boden wurde 1000g (Kern, KB 2400-2N, Deutschland) Substrat in eine

Box eingewogen. Anschließend wurde solange Wasser zugegeben bis der Boden kein zusätzliches Wasser mehr aufnehmen konnte. Das Gewicht des Substrats wurde erneut bestimmt und als 100% Wassersättigung angenommen. Anschließend wurde das Substrat im Trockenschrank (Memmert, ULM 500, Deutschland) für 72 Stunden bei 80°C getrocknet und das Substratgewicht für 0% Wassersättigung bestimmt.

Vom Auspflanzen bis zum Auflaufen wurde ein Wassergehalt von 80% angestrebt, der durch Wiegen ermittelt wurde. Um die Evaporation zu minimieren, wurden die Töpfe abgedeckt.

Ab dem 8. Tag nach dem Auspflanzen (days after planting: DAP) wurde eine Assimilationsbeleuchtung (SON-K-400, DH Licht GmbH, Deutschland) mit Natriumdampflampen (SON-T 400 W, Phillips) von 8:00 bis 20:00 Uhr über den Pflanzen hängend beleuchtet.

3.2 Temperaturverlauf während des Versuchs

Die Temperatur im Gewächshaus wurde mithilfe eines Temperaturdatenloggers (Tinytag TGP-4500, Gemini, Großbritannien) halbstündlich erfasst. Die Tagesdurchschnittstemperatur lag dabei während des gesamten Versuchszeitraumes bei ca. 25°C. An mehr als der Hälfte aller Tage betrug die Höchsttemperatur über 32°C. Die Tiefsttemperatur lag dabei meist bei ca. 22 °C. In Abbildung 2 werden die einzelnen Tageswerte dargestellt.

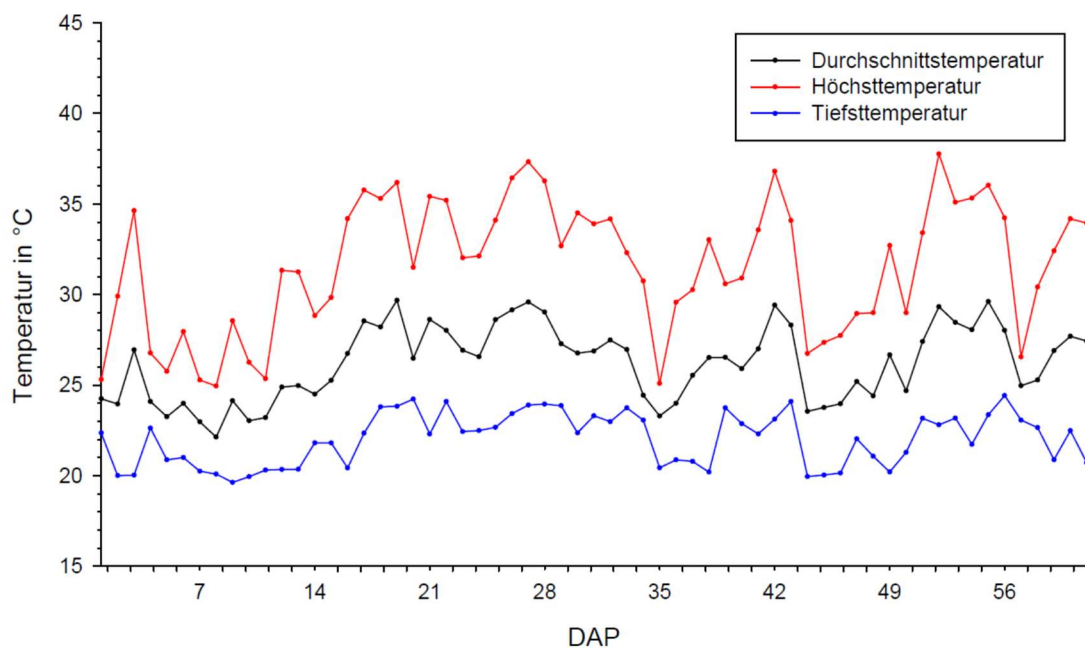


Abbildung 2: Temperaturverlauf während des Topfversuchs

3.3 Bewässerung und Salzapplikation

Als Wassergehalt des Bodens wurde bis zum Auflaufen 80% der Feldkapazität angestrebt. Dieser Wert wurde durch Wiegen vor dem Auspflanzen eingestellt. Durch die Abdeckung war es zu Beginn nicht nötig, die Töpfe zu bewässern, da kein Wasser evaporieren konnte. Am 7. DAP wurde die Abdeckung von allen Töpfen abgenommen, da die ersten Pflanzen der Sorte Ditta aufliefen. Ab dem Auflaufen bis zum Ende des Versuchs wurde ein Wassergehalt von 70% angestrebt. Dieser wurde bis zum 18. DAP durch regelmäßiges Gießen alle 72h mit deionisiertem Wasser anhand des Topfgewichts erreicht. Für drei Pflanzen der gleichen Behandlung wurde ein Topf gewogen und das Gewicht stellvertretend für alle angenommen. Ab dem 19. DAP bei ca. 8cm Wuchshöhe wurde mit der Salzapplikation begonnen. Hierfür wurde eine 100mmol Lösung mit Natriumchlorid $58,44\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ (Roth, Deutschland) und deionisiertem Wasser hergestellt. Alle 36h wurden die Pflanzen die Hälfte der Pflanzen mit der Salzlösung bewässert, wobei jedem Topf die gleiche Menge der Salzlösung appliziert wurde. Ein mögliches Wasserdefizit wurde mit deionisiertem Wasser ausgeglichen. Die Bewässerung der Kontrollpflanzen erfolgte ausschließlich mit deionisiertem Wasser.

3.4 Messungen

Es wurden sowohl kontinuierliche Messungen des Boden pH- und EC-Werts vorgenommen als auch Messungen nach der Ernte zu den drei Entwicklungsstadien 32 DAP, 46 DAP und 60 DAP. Ab dem 18. DAP wurde alle 72h Bodenproben entnommen. Hierzu wurde neben den Pflanzen (Abstand 5cm) mithilfe eines Stechzylinders (Durchmesser 12mm; Einstichtiefe 6 cm) Boden entnommen und in ein Beprobungsröhrchen (50ml, Roth, Deutschland) gefüllt. Anschließend wurde der Boden mit deionisiertem Wasser im Verhältnis 1:10 versetzt und die Suspension kurz per Hand geschüttelt. In dem Überstand der sich nach 10 min gebildet hat erfolgte die Messung des pH- und EC-Wert gemessen (WTW, Deutschland)

3.4.1 Nicht destruktive Messungen

An jedem Erntetermin wurden die Wachstumshöhe am höchsten Stängel, die Stängelhöhe und die Anzahl der Blätter von allen Pflanzen bestimmt.

3.4.2 Destruktive Messungen

Zu den Beprobungszeitpunkten erfolgte die Zerlegung der Pflanzen in folgende Teile: Blätter mit Chloroplasten, Blätter ohne Chlorophyll, Petiolen, oberirdische Stängel, unterirdische Stängel, Wurzel, Stolone und Knollen und die Frischmasse bestimmt. Anschließend wurde die Blattfläche der photosynthetisch aktiven Blätter mithilfe des Blattflächenmessgeräts (LI-Cor Inc., LI-3000C, USA) ermittelt. Die Pflanzenteile wurden für 24Std bei 60°C im Trockenschrank (Memmert, ULM 500, Deutschland) getrocknet, um anschließend die Trockengewichte mithilfe der Waage (Entris, 3231-1S, Deutschland) und der Feinwaage (Precisa, XB 220 A, Schweiz) zu ermitteln.

3.4.3 Natrium und Kaliumanalyse

Zur Bestimmung der Natrium- und Kaliumgehalte in den Pflanzenteilen wurden diese mit einem Flammphotometer (Jenway, PFP 7, UK) analysiert. Dafür wurden die Pflanzenproben in ein Szintillationsgefäß (Roth, Deutschland) gefüllt und Mahlkugeln (VWR-Mahlkugeln, 3 Stk. 5mm Durchmesser und 6 Stk. 6mm Durchmesser) hinzugefügt. Anschließend wurden ca. 0,2g der gemahlten Probe in ein Szintillationsgefäß eingewogen (Precisa, XB 220 A, Schweiz). Die Proben wurden für 15min gemahlen. Durch das Hinzufügen von 10ml Salzsäure (1 Molar) sind die Pflanzenzellen aufgeschlossen worden. Nach 12h auf dem Schüttler (Edmund Bühler, SM, Deutschland) wurde die Suspension mithilfe von Filterpapier filtriert. Das Filtrat in einen 100ml-Messkolben gefüllt und bis zur Markierung mit deionisiertem Wasser aufgefüllt. Es folgte die Bestimmung des Na- und K-Gehalts der Lösung mithilfe des Flammphotometers und Standardlösungen der Na- und K-Gehalt bestimmt. Bei Bedarf wurden die Lösungen verdünnt.

3.4.4 Chloridanalyse

Die Proben für die Chloridanalyse wurden durch Hitze aufgeschlossen. Dafür wurden 0,1g gemahlene Pflanzenteile in ein Zentrifugenröhrchen (15ml, Roth, Deutschland) eingefüllt und mit 10ml deionisiertem Wasser versetzt. Die Proben wurden im Autoklav (Sanoclav MMCS, Wolf, Deutschland) für eine Stunde auf 121°C erhitzt, und nach dem Abkühlen mit einer Zentrifuge (Z 400, Hermle, Deutschland) bei 5000 U min⁻¹ für 5min zentrifugiert. Der Überstand wurde pipettiert (5ml, 10ml, Reasearch plus, Eppendorf, Deutschland), in einen 100ml-Messkolben gefüllt und anschließend mit deionisiertem Wasser aufgefüllt. Die Lösung wurde mit Hilfe des Autoanalysers (Autoanalyser II, Technicon, Amerika) und Standardlösungen beprobt und das Ergebnis durch den Schreiber (SE 140, ABB, Schweiz) visualisiert. Bei Bedarf wurden die Proben mit

deionisiertem Wasser verdünnt. Die Höhe des Ausschlags am Schreiber spiegelt die Menge an Chlorid in der Lösung wieder. Dieser Wert wurde abgemessen und für die weitere Auswertung der Daten herangezogen.

3.5 Aeroponik

Um für künftige Versuche einen besseren Zugang zu den unterirdischen Pflanzenteilen zu erhalten, wurde außerdem versucht die Wurzeln in mit Nährlösung gesättigter Luft anzuziehen. Ziel hierbei war es, ein System zu entwerfen und einige Pflanzen anzuziehen, sowie eine geeignete Nährlösung zu finden.

3.5.1 Aufbau der Aeroponik

Für die Erzeugung von Nebel wurde ein Ultraschallvernebler (Fogstar 100, Seliger, Deutschland) verwendet. Der Vernebler wurde in ein 60l-Kunststofffass (Menke, Deutschland) gestellt, das mit 4,5l Nährlösung gefüllt war. Der Wasserstand im Fass betrug ca. 7cm. Um den Nebel gleichmäßig im ganzen Fass zu verteilen, wurde ein wasserdichter Ventilator (San-ACE-80, Sanyo-Denki, Deutschland) mithilfe eines KG-Rohrs (16,5cm hoch, Durchmesser 15cm) mit acht seitlichen Löchern (Durchmesser 2,5cm) ca. 9cm über der Wasseroberfläche installiert. Dabei stellte sich heraus, dass der Venti-

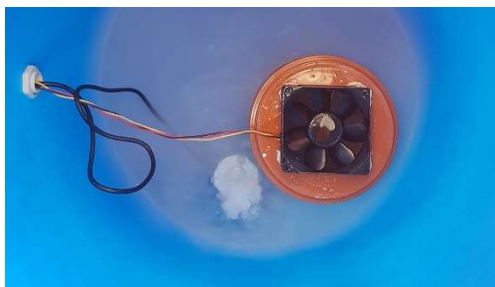


Abbildung 3: Blick von oben in das Kunststofffass mit dem Ventilator rechts und unten mittig den Vernebler installiert

lator nicht direkt über dem Vernebler installiert werden kann, da er die Wasseroberfläche zu stark beeinflusst, so dass der Vernebler letztendlich nicht mehr genug Nebel erzeugen würde. Deshalb wurde der Ventilator – mit Stömungsrichtung Richtung Wasseroberfläche - auf der anderen Seite des Fasses angebracht, wodurch Umluft im Fass erzeugt wurde.

In den Deckel des Fasses wurde ein Loch (Durchmesser 12,5cm) geschnitten. Mit einem Edelstahlraht wurde ein Netz an der Unterseite eines KG-Rohrs (Durchmesser 12,5cm) geflochten. Das Rohr wurde in den Deckel eingepasst und mit Silikon abgedichtet. Es Rohr wurde mit einem passenden Deckel geschlossen in dem sich drei Löcher (2,5cm Durchmesser) befanden. Diese wurden mit Schaumstoff geschlossen, in dem später die Pflanzen fixiert wurden.

3.5.2 Nährlösung der Aeroponik

Die Nährlösung für die Aeroponik wurde aus verschiedenen Salzen selbst zusammengestellt. Die Berechnung der Gehalte erfolgte in Anlehnung an die Nährstoffkonzentrationen nach Mbiyu et al. (2012). Es wurden verschiedene Stammlösungen, wie Tabelle 1 zu entnehmen ist, angefertigt. Die einzelnen Salze wurden entsprechend der vierten Spalte eingewogen und in einen 1-Liter Messkolben gegeben. Dieser wurde anschließend auf 1l mit deionisiertem Wasser aufgefüllt. Um das Löslichkeitsprodukt für die Stammlösung A nicht zu überschreiten wurde die Reagenz auf 2 Messkolben verteilt. Mithilfe eines Magnetrührers mit Wärmeplatte (Velp Scientifica, Italien) wurde das Salz im Wasser gelöst.

Tabelle 1: Zusammensetzung der Stammlösungen und deren Anteil in der Nährlösung für das aeroponische System.

Stammlösung	Chemisches Element	Reagenz	Stammlösung [g L ⁻¹]	Stammlösung/Nährlösung [ml L ⁻¹]
A	K, N	KNO ₃	252	2
B	Ca, N	Ca(NO ₃) ₂ * 4H ₂ O	236	1
C	Mg	MgSO ₄	496	1
D	Fe	FeNa - EDTA	24	1
E	K, P	KH ₂ PO ₄	136	1
F	Mn	MnSO ₄ * H ₂ O	3	1
	Zn	ZnSO ₄ * 7H ₂ O	1,585	
	Cu	CuSO ₄ * 5 H ₂ O	1,417	
	Mo	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ * 4H ₂ O	0,309	
	B	H ₃ BO ₃	0,7058	

Es folgte die Zusammenstellung der Nährlösung aus der Stammlösung und deionisiertem Wasser entsprechend der fünften Spalte (Tabelle 1). Da die Stammlösung mit Kaliumnitrat nur die halbe Konzentration der benötigten Nährstoffe beinhaltete, wurde hiervon die doppelte Menge zur Zusammenstellung der Nährlösung verwendet. Nach Messung des pH und EC-Wertes der Nährlösung erfolgte im Bedarfsfall eine Anpassung. Als Richtwerte wurden dabei ein pH-Wert zwischen 6,5 und 6,8 angestrebt sowie ein EC-Wert von unter 2,0dS m⁻¹ (Mbiyu et al. 2012). Bei diesem Versuch lag der EC-Wert stets bei 1,5dS m⁻¹. Die Nährlösung wurde alle zwei Wochen gewechselt um eine ausreichende Nährstoffversorgung sicherzustellen.

3.5.3 Zeitlicher Ablauf der Aeroponik

Am 13.06.2018 wurden je drei vorgekeimte Knollen pro Fass auf das Drahtgeflecht gelegt. Bereits vier Tage später hatten sich ca. 6cm lange Wurzeln gebildet (siehe Anhang; Abbildung 13). Am 13. DAP ließ sich feststellen, dass die Mutterknollen aufgrund der hohen Luftfeuchtigkeit im System zu verfaulen beginnen. Deshalb wurden die Triebe vorsichtig von der Mutterknolle gelöst und in Schaumstoff befestigt, sodass die Triebspitzen außerhalb des Nebels waren, wie auf Abbildung 4 ersichtlich.



Abbildung 4: (links) Triebe nach dem Ablösen von der Mutterknolle. Triebe im Schaumstoff befestigt (rechts)

Die Triebe waren in der Lage den Turgordruck anfangs aufrechtzuerhalten. Sie bildeten die ersten vollständigen Blätter aus, die jedoch braune Blattspitzen und aufgehellte Blattränder aufwiesen, wie in Abbildung 5 (links) erkenntlich. Vermutlich aufgrund der hohen Temperaturen und der relativ trockenen Luft begannen die Pflanzen ab dem 17. DAP zu verwelken. Dabei starben zuerst die Triebspitzen ab, bevor einige Tage später auch die Wurzeln abstarben (siehe Abbildung 5 (rechts)). Dabei stellte der Schaumstoff die Barriere dar, die den abgestorbenen Bereich scharf von dem voll turgiszenten trennt.



Abbildung 5: (links) Vollständig entwickelte Blätter mit braunen Blattspitzen und aufgehellten Blatträndern. (rechts) Der obere Teil der Triebe ist abgestorben mit scharfer Abgrenzung auf Höhe des Schaumstoffes

Des Weiteren wurde untersucht, ob es möglich ist einen Trieb, der in Substrat vorgezogen wurde, in das aeroponische System zu transferieren. Dazu wurden die Wurzeln einer Pflanze am 21 DAP mithilfe eines Wasserstrahls freigelegt (siehe Anhang Abbildung 14). Die Pflanze wurde anschließend mit dem Stängel im Schaumstoff befestigt, sodass die Wurzeln durch den Nebel mit Nährlösung versorgt wurden. Nach 10 Tagen war ein deutliches Aufhellen der Blätter zu beobachten. Auch die Interkostalfelder erschienen deutlich heller. Daraufhin wurde die Nährlösung angepasst, sodass im weiteren Verlauf die Stammlösungen A und C in 1,5-facher Menge als ursprünglich vorgesehen eingesetzt wurden. Die Symptome an den Blättern wurden im weiteren Verlauf unauffälliger.

3.6 Statistische Auswertung

Die Ergebnisse wurden in Exel (2016, Microsoft) dokumentiert. Die Daten des Flammphotometers und Autoanalysers wurden mithilfe von Regressionskurven aus den Messpunkten der Standardlösungen mit Exel berechnet. Die Mittelwerte sowie die Standardabweichung wurden mithilfe von Exel berechnet. Anschließend wurde ein t-Test mit dem Signifikanzniveau $\alpha = 5\%$ mithilfe von Exel durchgeführt.

Alle Grafiken wurden mit dem Programm SigmaPlot (Version 10, Systa Software GmbH) erstellt.

4 Ergebnisse

Lediglich für die Sorte Ditta ließ sich für den Versuche eine ausreichende Anzahl an Pflanzen heranziehen. Ein Genotypenvergleich ist somit nicht möglich. Für die Sorte Ditta sind morphologische Unterschiede sowie die Verteilung von Natrium, Kalium und Chlorid gemessen worden. Außerdem konnte ein Zusammenhang zwischen der elektrischen Leitfähigkeit im Boden und dem Salzgehalt im Wurzelraum hergestellt werden.

4.1 Morphologische Unterschiede

Bereits während der Versuchsphase konnten ab dem 10. Tag nach Beginn unterschiedliche Wuchshöhen beobachtet werden. Diese stellten sich im Verlauf immer stärker heraus. In Abbildung 15 (Anhang) wird eine Kontrollpflanze einer Pflanze gegenübergestellt, die 28 Tage mit Salzwasser bewässert wurde. In der Wuchshöhe war ein deutlicher Unterschied ersichtlich. Während die Kontrollpflanzen über den gesamten Versuchszeitraum an Wuchshöhe zulegen, konnte bei den Pflanzen, die durch Salz gestresst wurden, ab dem 46. DAP eine signifikant ($p < 0,05$) geringere Wuchshöhe festgestellt werden (Abbildung 6). Außerdem ist eine Stagnation der Wuchshöhe ab dem 46. DAP ersichtlich.

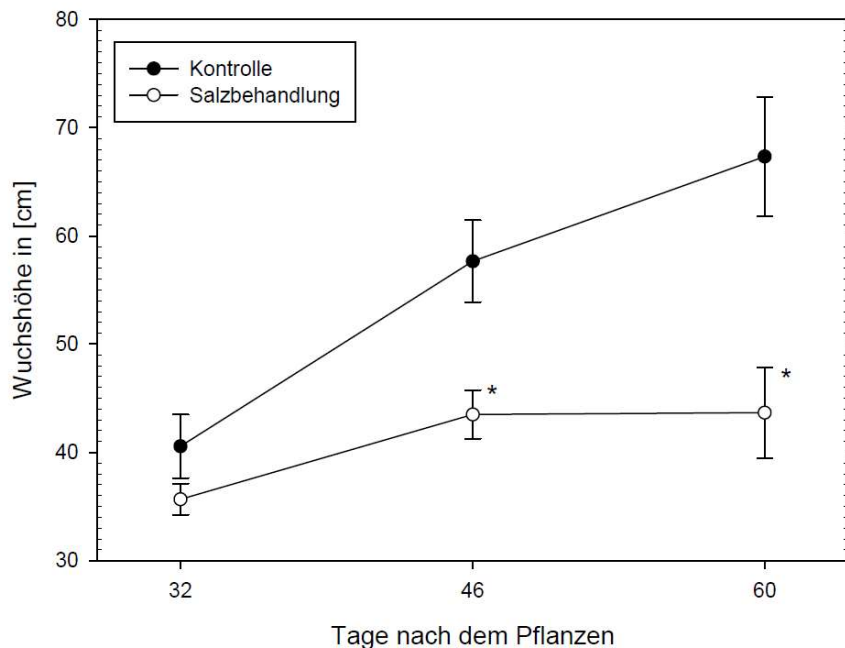


Abbildung 6: Mittelwerte (DAP: 32 n = 9; DAP: 46 n = 6; DAP: 60 n = 3) der Wuchshöhe gemessen am höchsten Stängel in cm mit entsprechendem Standardfehler. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zur entsprechenden Kontrolle sind mit einem * gekennzeichnet.

Aufgrund der inhomogenen Pflanzen zu Beginn des Versuchs ist ein relativ großer Standardfehler entstanden, weshalb am 32. DAP kein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) in der Wuchshöhe nachgewiesen werden konnte. Es konnte eine geringere Höhenzunahme vom 46. DAP auf den 60. DAP im Vergleich zum 32. DAP auf den 46. DAP bei der Kontrolle festgestellt werden. Bei den Pflanzen der Salzbehandlung konnten im Durchschnitt kein Höhenzuwachs vom 46. DAP auf den 60. DAP festgestellt werden. Trotz der geringeren Wuchshöhen bei den Pflanzen der Salzhbehandlung konnten keine Veränderungen in der Anzahl der Blattetagen festgestellt werden.

Bei allen Kontrollpflanzen konnten ab dem zweiten Beprobungszeitpunkt Knollen erfasst werden. Dabei nahm die durchschnittliche Knollenanzahl vom zweiten auf den dritten Beprobungszeitpunkt von 5,3 auf 7,3 Knollen pro Pflanze bei den Kontrollpflanzen zu (Tabelle 2). Bei den Pflanzen der Salzbehandlung hingegen konnten sowohl bei der zweiten als auch bei der dritten Beprobung bei keiner Pflanze neugebildete Knollen erfasst werden. Die statistische Auswertung hat einen signifikanten Unterschied ($p < 0,05$) beim zweiten Beprobungszeitpunkt für die Knollenanzahl der Behandlungen ergeben.

Tabelle 2: Mittelwerte ($n = 3$) der gebildeten Knollenanzahl pro Pflanze mit entsprechendem Standardfehler. Der Zeitpunkt steht für den Beprobungszeitpunkt. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Salzbehandlung zur entsprechenden Kontrolle sind mit * gekennzeichnet.

Zeitpunkt	Kontrolle		Salzbehandlung	
	Mittelwert	Standardfehler	Mittelwert	Standardfehler
2	5,3	$\pm 1,33$	0*	± 0
3	7,3	$\pm 3,84$	0	± 0

Neben der Veränderung der bereits gebildeten Knollenanzahl ist auch die Anzahl der Stolone von Interesse, um den potentiellen Knollenertag abschätzen zu können. Die Mittelwerte der Stolonenanzahl ist dabei in Abbildung 7 dargestellt. Dabei nimmt die Anzahl der Stolone bei den Kontrollpflanzen stets zu, während bei den mit Salz behandelten Pflanzen zu Beginn ein geringerer Anstieg zu verzeichnen war und später sogar eine Abnahme der Stolonenanzahl zu verzeichnen war. Aufgrund der großen Streuung innerhalb der Wiederholungen konnten keine Signifikanzen ($p < 0,05$) festgestellt werden.

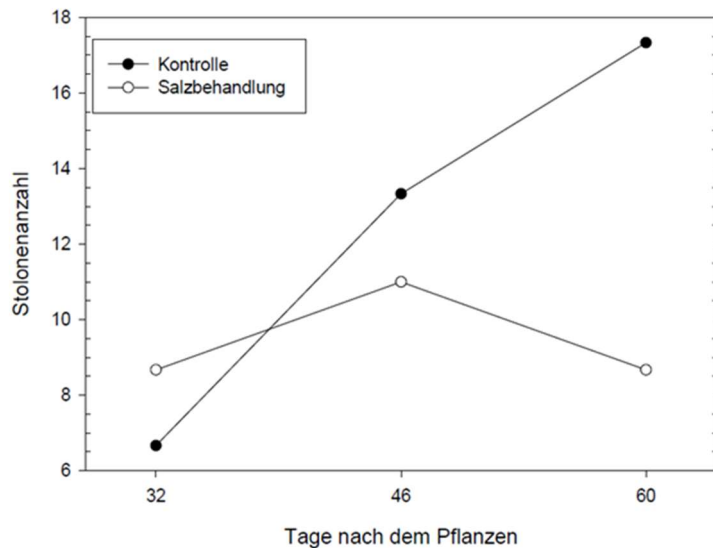


Abbildung 7: Mittelwerte (n = 3) der Stolonenanzahl.

Ab dem 55. DAP konnte ein Absterben einzelner Triebe bei den salzbehandelten Pflanzen festgestellt werden. Bis zum 3. Beprobungstermin am 60. DAP waren der Großteil der Triebe der Salzbehandlung abgestorben. Die Kontrollpflanzen zeigten sich hingegen unverändert vital (Anhang: Abbildung 16)

4.2 Wasserverbrauch

Der Wasserverbrauch der Pflanzen, die mit Salzwasser behandelt wurden, weicht von dem der Kontrollpflanzen ab. Die Messung erfolgte ab dem Zeitpunkt der ersten Salzapplikation. Tabelle 3 stellt den Wasserverbrauch der einzelnen Pflanzengruppen dar.

Tabelle 3: Wasserverbrauch in ml gemittelt über die Wiederholungen (n = 3) mit entsprechendem Standardfehler. Der Zeitpunkt steht für den Beprobungszeitpunkt. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Salzbehandlung zur entsprechenden Kontrolle sind mit * gekennzeichnet.

Zeitpunkt	Kontrolle		Salzbehandlung	
	Mittelwert in ml	Standardfehler	Mittelwert in ml	Standardfehler
1	5250	± 104	4583*	± 33
2	11017	± 283	8717*	± 67
3	16500	± 800	12317*	± 183

Der Wasserverbrauch der Kontrollpflanzen lag deutlich über dem der mit Salz behandelten Pflanzen. Dabei lag der Wasserverbrauch der Kontrollpflanzen mit 5250ml zum ersten Betrachtungszeitpunkt nur knapp über dem der Pflanzen, die mit Salz behandelt wurden. Dort lag der Verbrauch bei 4583ml. Zu den späteren Betrachtungszeitpunkten zeigten die Werte weitaus größere Abweichungen. So lag der durchschnittliche Wasserverbrauch zum dritten Beprobungszeitpunkt bei den Kontrollpflanzen bei 16500ml, wohingegen die Pflanzen der Salzbehandlung mit durchschnittlich 12317ml deutlich weniger Wasser aufgenommen hatten. Die statistische Auswertung ergab dabei signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Pflanzen der Salzbehandlung und den entsprechenden Kontrollpflanzen für alle Beprobungszeitpunkte.

4.3 Auswirkungen von Salzstress auf die Blattfläche, das Trockengewicht und die Frischmasse der Kartoffel

Die gemessene Blattfläche bezieht sich auf die der photosynthetisch aktiven Blätter. Bei der dritten Beprobung waren nahezu alle Blätter sowie einzelne Triebe bereits abgestorben (Anhang: Abbildung 16), weshalb in Tabelle 4 nur die Beprobungszeitpunkte eins und zwei dargestellt sind. Es ist ersichtlich, dass die Kontrollpflanzen im Mittel stets eine größere Blattfläche aufweisen als die Pflanzen der Salzbehandlung. Im ersten Zeitraum lag der Unterschied bei 262cm^2 , während er bei der zweiten Beprobung bei 124cm^2 lag. Die Blattflächen bei der zweiten Beprobung waren insgesamt kleiner als bei der ersten Beprobung.

Tabelle 4: Vergleich der photosynthetisch aktiven Blattfläche in cm^2 anhand von Mittelwerten ($n = 3$) und Standardfehler. Der Zeitpunkt steht für den Beprobungszeitpunkt. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Salzbehandlung zur entsprechenden Kontrolle sind mit * gekennzeichnet.

Zeitpunkt	Kontrolle		Salzbehandlung	
	Mittelwert in cm^2	Standardfehler	Mittelwert in cm^2	Standardfehler
1	661	± 43	339*	± 67
2	457	± 86	333	± 58

Bei der ersten Beprobung war die durchschnittliche Blattfläche der Kontrollpflanzen mit 661cm^2 deutlich größer als die der Salzbehandlung mit 339cm^2 . Zum zweiten Beprobungszeitpunkt war die Differenz zwischen Kontrollpflanzen und der mit Salz behandelten Pflanzen mit 124cm^2 deutlich geringer als zum ersten Beprobungszeitpunkt. Dabei

hat sich die Blattfläche der Kontrollpflanzen vom ersten zum zweiten Beprobungszeitpunkt stärker verändert als die der Pflanzen, die unter Salzstress litten. Zum dritten Beprobungszeitpunkt konnte bei den Pflanzen der Salzbehandlung keine Blattfläche ermittelt werden, da die Triebe bereits verwelkten und die Blätter größtenteils nicht mehr turgiszent waren. Die Blattfläche betrug bei den Kontrollpflanzen der dritten Beprobung im Mittel 523cm². Bei Betrachtung der Einzelwerte zeigt sich bei der Blattfläche ein großer Schwankungsbereich bei allen Pflanzen, der den inhomogenen Pflanzen zu Beginn des Versuchs geschuldet ist.

Bei Betrachtung der Trocken- und Frischmasse konnte bezüglich der einzelnen Pflanzenorgane festgestellt werden, dass die Werte der Salzbehandlung im Mittel immer deutlich unter denen der entsprechenden Kontrolle lagen. Allerdings ließen sich aufgrund der hohen Standardabweichungen nur bei der Trockenmasse der Wurzeln zum ersten Beprobungszeitpunkt signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) ermitteln. Dies spiegelte sich auch bei einer Darstellung in ober- und unterirdischen Pflanzenteile wider, wie in Tabelle 5 dargestellt ist.

Im oberirdischen Teil ist erkennbar, dass die Mittelwerte der Salzbehandlung immer deutlich unter denen der Kontrolle liegen. Ausgenommen ist hierbei die dritte Beprobung, bei der das Verhältnis zwischen Frisch- und Trockenmasse bei den Pflanzen der Salzbehandlung geringer ist. Die oberirdische Trockenmasse der mit salzbehandelten Pflanzen bei der dritten Beprobung liegt deutlich näher an der Kontrolle, wohingegen bei der Frischmasse noch größere Unterschiede bestehen. Dies liegt v.a. an den bereits vertrockneten Stängeln und Blättern bei der dritten Beprobung der Pflanzen, die behandelt wurden.

Unterirdisch zeigt sich bei der ersten Beprobung ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) in der Trockenmasse. Bei der Frischmasse ist dieser Unterschied geringer. Die Zunahme der Masse bei den Kontrollpflanzen ergibt sich v.a. aus dem Zuwachs an Knollen. Die Wurzelmasse der Salzbehandlung und der Kontrolle wiesen eine Abnahme über die Zeit auf. Dabei war die Wurzelmasse der Pflanzen der Salzbehandlung stets geringer als bei den Pflanzen der Kontrolle.

Tabelle 5: Vergleich von Trocken- und Frischmasse anhand von Mittelwerten (n = 3) und Standardfehler (SE). Der Zeitpunkt entspricht dem Beprobungszeitpunkt. Oberirdische Pflanzenteile setzen sich zusammen aus Blättern, Petiolen, Stängel oberhalb der Erdoberfläche; unterirdische Pflanzenteile beinhalten Wurzel, den unterirdischen Teil des Stängels, die Stolone sowie die neugebildeten Knollen. Die Mutterknolle wurde bei der Aufstellung nicht berücksichtigt. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Salzbehandlung zur entsprechenden Kontrolle sind mit * gekennzeichnet.

Masse in g	Pflanzen- teil	Zeit- punkt	Kontrolle Mittelwert $\pm$ SE		Salzbehandlung Mittelwert $\pm$ SE	
TM	oberir- disch	1	6,087	$\pm 0,937$	3,931	$\pm 0,772$
		2	6,357	$\pm 1,478$	3,397	$\pm 0,484$
		3	7,840	$\pm 3,232$	6,568	$\pm 0,541$
	unterir- disch	1	5,732	$\pm 0,691$	3,065*	$\pm 0,560$
		2	4,628	$\pm 1,693$	1,904	$\pm 0,716$
		3	6,061	$\pm 4,049$	1,662	$\pm 0,062$
FM	oberir- disch	1	58,56	$\pm 7,52$	37,41	$\pm 8,20$
		2	44,06	$\pm 10,46$	27,60	$\pm 4,34$
		3	59,77	$\pm 23,65$	27,96	$\pm 5,43$
	unterir- disch	1	54,22	$\pm 6,63$	33,73	$\pm 7,89$
		2	40,36	$\pm 9,78$	16,22	$\pm 4,98$
		3	58,63	$\pm 30,48$	17,16	$\pm 0,26$

Insgesamt zeigt sich bei den salzbehandelten Pflanzen mit steigender Salzkonzentration in Bezug auf die Masse ein deutlich geringerer Standardfehler als ihn Pflanzen der entsprechenden Kontrolle aufweisen. In Tabelle 5 ist dargestellt, dass die Pflanzen der Salzbehandlung eine geringere Biomasse aufweisen als die Pflanzen der entsprechenden Kontrolle. Dies gilt für alle Beprobungszeitpunkte. Bei Betrachtung der einzelnen Pflanzenteile ist hingegen kein eindeutiger Trend aufgrund von Ausreißern zu erkennen. Für ein aussagekräftiges Ergebnis hinsichtlich der Masse der einzelnen Organe hätten mehr Wiederholungen mit homogeneren Pflanzen zu Versuchsbeginn durchgeführt werden müssen.

4.4 Elektrische Leitfähigkeit des Bodens

Bei den kontinuierlichen Messungen der elektrischen Leitfähigkeit in einem Bodenextrakt mit einem Teil Boden pro neun Teilen Wasser konnte ein Anstieg des EC-Werts bei steigender Salzkonzentration gemessen werden. Diese kann aus dem durch das Bewässerungswasser hinzugefügte Salz und dem Bodentrockengewicht berechnet werden. Aus diesen Daten ist Abbildung 8 entstanden. Dabei ist der Schnittpunkt der Regression mit der y-Achse aus den gemessenen EC-Werten der Kontrolle, die um Ausreißer größer 2 mS dm^{-1} bereinigt wurden, errechnet worden. Der Schnittpunkt gibt somit die elektrische Leitfähigkeit des Ausgangssubstrats wider.

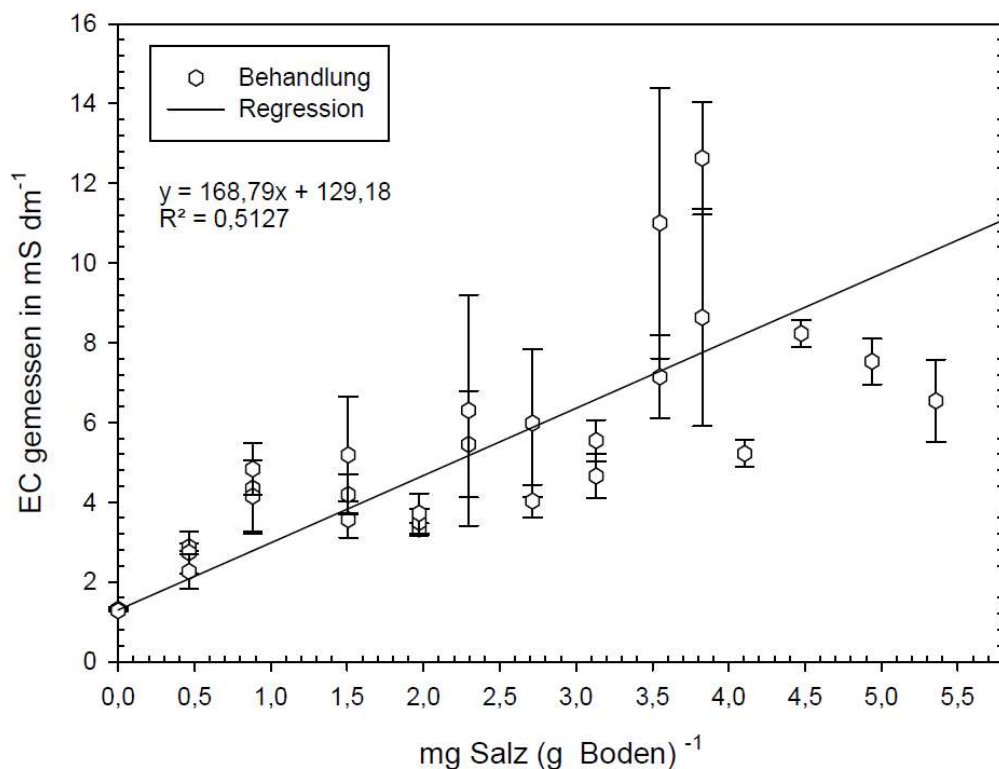


Abbildung 8: Gemessener EC-Wert in 1:10 Bodenextrakt mit 9 Teilen Wasser pro Teil Boden gemittelt über die Wiederholungen ($n = 3$) mit entsprechenden Standardfehler gegen den errechneten Salzgehalt im trockenen Boden in $[\text{mg g}^{-1}]$ für die Töpfe der Salzbehandlung.

Der berechnete Salzgehalt im Boden bezieht sich dabei nur auf das hinzugefügte Salz, da das bereits vorhandene nicht gemessen werden konnte. Aus der Grafik lässt sich für einen gemessenen EC-Wert der ungefähre Salzgehalt in Wurzelnähe bestimmen.

4.5 Verteilung des Natriums innerhalb der Pflanze

Die Natriumkonzentration pro Gramm Trockengewicht lag bei allen Pflanzen der Salzbehandlung über denen der Kontrolle (Tabelle 6). Der Unterschied wurde durch zweiseitige t-Tests statistisch abgesichert. Bei nahezu allen Mittelwerten konnte eine signifikant ($p < 0,05$) höhere Natriumkonzentration bei den mit Salz behandelten Pflanzen festgestellt werden. Die einzige Ausnahme bildet hierbei die Beprobung der Blätter zum ersten Zeitpunkt.

Tabelle 6: Mittelwerte ($n = 3$) der Natriumgehalte in mg g^{-1} Trockengewicht für die verschiedenen Pflanzenteile mit entsprechendem Standardfehler. Zeitpunkte 1, 2 und 3 entsprechen den Beprobungszeitpunkten. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Salzbehandlung zur entsprechenden Kontrolle sind mit * gekennzeichnet

mg g^{-1} TM	Zeitpunkt	Kontrolle Mittelwert $\pm$ SE		Salzbehandlung Mittelwert $\pm$ SE	
Blatt	1	0,614	$\pm 0,072$	3,92	$\pm 1,297$
	2	0,706	$\pm 0,051$	17,35*	$\pm 5,242$
	3	0,752	$\pm 0,122$	43,56*	$\pm 4,176$
Petiole	1	0,727	$\pm 0,044$	12,94*	$\pm 3,415$
	2	0,782	$\pm 0,013$	25,81*	$\pm 1,913$
	3	1,084	$\pm 0,249$	45,64*	$\pm 5,679$
Oberirdischer Stängel	1	0,752	$\pm 0,070$	10,71*	$\pm 0,844$
	2	0,995	$\pm 0,119$	21,23*	$\pm 0,927$
	3	1,238	$\pm 0,314$	52,70*	$\pm 10,560$
Abgestorbene Blätter	2	0,767	$\pm 0,107$	18,29*	$\pm 1,760$
	3	1,059	$\pm 0,202$	30,20*	$\pm 8,204$
Unterirdischer Stängel	1	1,399	$\pm 0,119$	12,62*	$\pm 2,562$
	2	1,525	$\pm 0,151$	20,86*	$\pm 3,187$
	3	2,545	$\pm 0,203$	36,67*	$\pm 4,804$
Wurzel	1	2,965	$\pm 0,647$	9,90*	$\pm 2,238$
	2	3,975	$\pm 1,630$	14,71*	$\pm 2,720$
	3	6,224	$\pm 3,898$	25,05*	$\pm 1,249$

Im Mittel war die Natriumkonzentration bei den Pflanzen der Salzbehandlung zum ersten und zweiten Beprobungszeitpunkt in der Petiole am höchsten. Bei der dritten Beprobung war im Durchschnitt die höchste Konzentration in dem oberirdischen Stängelteil zu finden. Der Mittelwert hatte jedoch einen deutlich größeren Standardfehler. Die niedrigsten

Konzentrationen waren zu Beginn in den Blättern zu messen, später in den Wurzeln. Bei den Kontrollpflanzen hingegen zeigten sich im Mittel die höchsten Konzentrationen in den Wurzeln und die niedrigsten in den Blättern. Auch der unterirdische Stängel wies im Mittel eine deutlich höhere Konzentration auf. Insgesamt betrachtet sind die Konzentrationen der Behandlungen zu den einzelnen Zeitpunkten in der gesamten Pflanze relativ homogen.

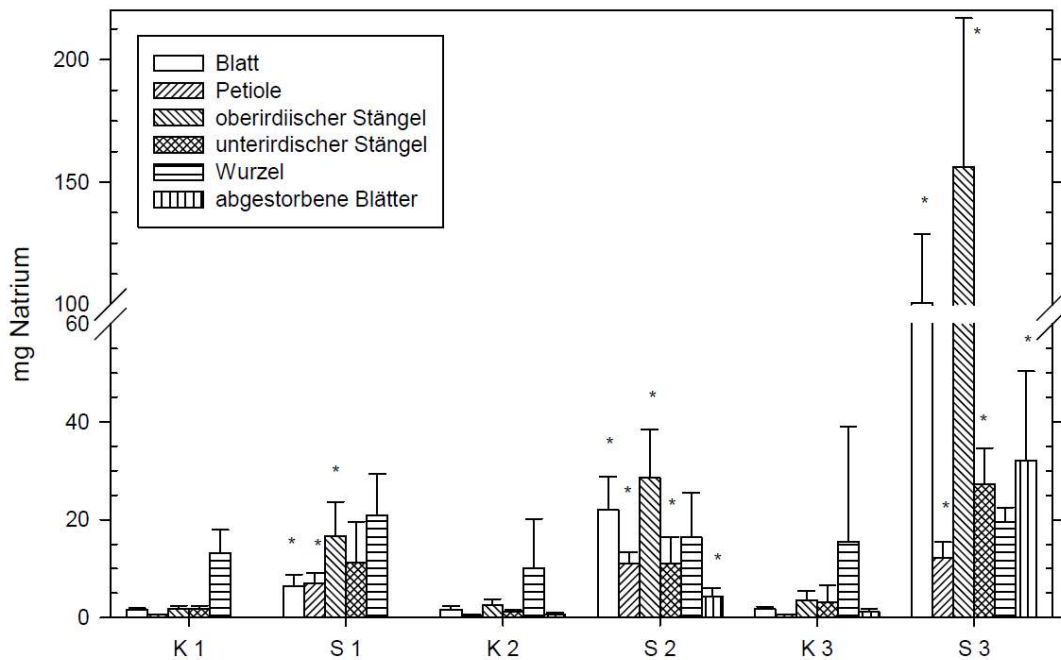


Abbildung 9: Natriummasse in mg pro Pflanzenteil gemittelt über die Wiederholungen (n = 3) mit entsprechendem Standardfehler. Behandlung 1, 2 bzw. 3 entspricht den Beprobungszeitpunkt; K steht für Kontrolle und S für Salzapplikation. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Salzbehandlung zur entsprechenden Kontrolle sind mit * gekennzeichnet.

Die Natriummasse pro Pflanzenteil ist in Abbildung 9 dargestellt. Zur besseren Darstellbarkeit wurde der Bereich zwischen 60 und 100mg Na Pflanzenteil⁻¹ auf der y-Achse ausgespart. Dabei fällt der hohe Anteil in den Blättern und im oberirdischen Stängelteil gegen Ende des Versuchs bei den Pflanzen der Salzbehandlung auf. Bei den Kontrollpflanzen sind hier niedrige Werte zu finden. Die höchsten Werte bei den Kontrollen sind im unterirdischen Bereich zu finden. Die Natriummasse war im Durchschnitt bei allen Pflanzenteilen der Salzbehandlung deutlich höher als bei denen der entsprechenden Kontrolle. Durch die statistische Auswertung konnten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) von der Salzbehandlung zu der entsprechenden Kontrolle bezüglich der Blätter, Petiolen und oberirdischen Stängeln festgestellt werden. Im

unterirdischen Bereich war der Unterschied zwischen Salzbehandlungspflanzen und Kontrollpflanzen in Hinblick auf die Natriummasse pro Pflanzenteil geringer als im oberirdischen Teil. Es konnten selbst hier im Mittel höhere Werte bei der Salzbehandlung festgestellt werden, jedoch nicht immer statistisch abgesichert werden. Lediglich die unterirdischen Stängelteile wiesen bei der zweiten und dritten Beprobung signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) auf. Die Natriummasse in den Wurzeln der Salzbehandlung hat sich nur geringfügig von denen der Kontrolle unterschieden, obwohl sie über die Zeit einen deutlichen Massezuwachs erfahren haben. Bei den salzbehandelten Pflanzen bleibt die Natriummasse in den Wurzeln über den Versuchszeitraum nahezu konstant. Neben der absoluten Natriummenge wurde auch die relative Natriummenge berechnet. Dabei zeigt sich, dass bei den Kontrollpflanzen der größte Teil des Natriums zum ersten Beprobungszeitpunkt in den Wurzeln ist. Bei den zeitlich späteren Beprobungen ist der relative Natriumanteil in den Wurzeln der Pflanzen im Durchschnitt zugunsten der oberirdischen Pflanzenteile gesunken.

Bei den Pflanzen der Salzbehandlung hingegen war bereits zum ersten Beprobungszeitpunkt ca. die Hälfte des gesamten Natriums in oberirdischen Pflanzenteilen zu finden. Dieser Anteil wird bei den darauffolgenden Beprobungen noch weiter vergrößert, sodass sich letztendlich ca. drei Viertel des Natriums in oberirdischen Pflanzenteilen befinden. Bei den ersten beiden Beprobungen ist bei den Pflanzen der Salzbehandlung ein größerer Anteil in den Petiolen und im oberirdischen Stängel als bei den entsprechenden Kontrollpflanzen vorzufinden. Dies konnte durch einen zweiseitigen

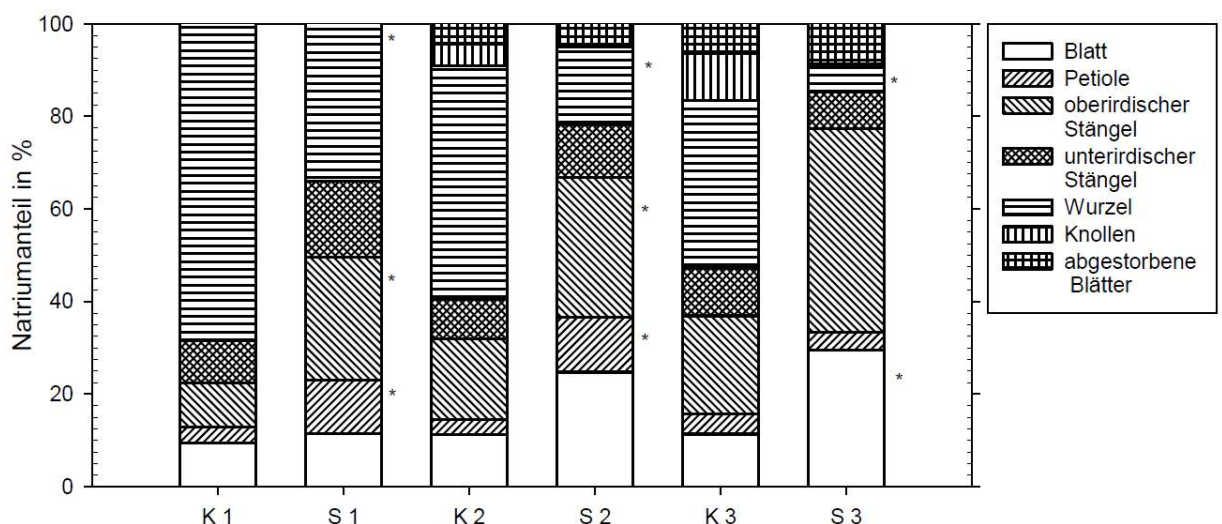


Abbildung 10: Relative Verteilung von Natrium in der Pflanze gemittelt über die Wiederholungen ($n = 3$) in %. Dargestellt ist die Natriummenge einzelner Pflanzenorgane in Relation zur gesamten Natriummenge in der Pflanze. Behandlung 1, 2 bzw. 3 entspricht den Beprobungszeitpunkt; K steht für Kontrolle und S für Salzapplikation. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Salzbehandlung zur entsprechenden Kontrolle sind mit * gekennzeichnet.

t-test statistisch abgesichert werden. Mit zunehmender Salzkonzentration ist der Hauptanteil vom Natrium in den oberirdischen Stängel sowie in den Blättern zu finden. Bei den Kontrollpflanzen hingegen ist das meiste Natrium stets in den Wurzeln vorzufinden.

4.6 Verteilung des Kaliums innerhalb der Pflanze

Die Kaliumkonzentration ergab ein indifferentes Bild bezüglich der Verteilung zwischen Kontrollpflanzen und der Pflanzen, die unter Salzstress standen. Dabei variierten die Konzentrationen sehr stark, weswegen für die meisten Pflanzenteile keine Aussage bezüglich der Veränderung unter Salzstress aus den erhobenen Daten zu treffen ist. Lediglich bei den Wurzeln und dem oberirdischen Stängel ergibt sich ein eindeutiger Unterschied mit klarer Tendenz (Tabelle 7). Die Kaliumkonzentration im oberirdischen Stängel liegt dabei bei der Salzbehandlung im Mittel stets über dem der Kontrollpflanzen. Zum letzten Beprobungszeitpunkt ist dieser Unterschied signifikant ($p < 0,05$). Die Gehalte bei den Wurzeln verhalten sich genau umgekehrt, hier liegt der Gehalt in der Kontrolle stets über dem der Salzbehandlung. Der Mittelwert der Salzbehandlung zum letzten Beprobungszeitpunkt ist signifikant ($p < 0,05$) kleiner als der der Kontrolle. Diese Abweichung lässt sich bei der letzten Beprobung aufgrund der verhältnismäßig kleinen Standardfehler nachweisen. Bei allen anderen Pflanzenteilen sind die Standardfehler deutlich größer und die Werte lassen keinen klaren Trend erkennen, weshalb sie nicht abgebildet wurden.

Tabelle 7: Mittelwerte ($n = 3$) der Kaliumkonzentration in mg g^{-1} Trockengewicht für den oberirdischen Stängel und die Wurzel mit entsprechendem Standardfehler. Zeitpunkte 1, 2 und 3 entsprechenden den Beprobungszeitpunkten. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Salzbehandlung zur entsprechenden Kontrolle sind mit * gekennzeichnet

mg g⁻¹ TM	Zeitpunkt	Kontrolle Mittelwert $\pm$ SE		Salzbehandlung Mittelwert $\pm$ SE	
Oberirdischer Stängel	1	78,20	$\pm 3,84$	88,56	$\pm 6,36$
	2	63,34	$\pm 3,74$	74,91	$\pm 6,13$
	3	67,55	$\pm 2,30$	78,50*	$\pm 2,53$
Wurzel	1	17,15	$\pm 4,03$	15,51	$\pm 2,33$
	2	21,34	$\pm 5,65$	14,44	$\pm 1,57$
	3	18,31	$\pm 3,04$	9,26*	$\pm 1,06$

Zwischen den salzbehandelten und nicht salzbehandelten Pflanzen konnte kein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) in den gemessenen Kaliummasse pro Pflanzenteil festgestellt werden. Auch hierbei lässt sich aufgrund der großen Streuung der Einzelwerte kein klarer Trend erkennen.

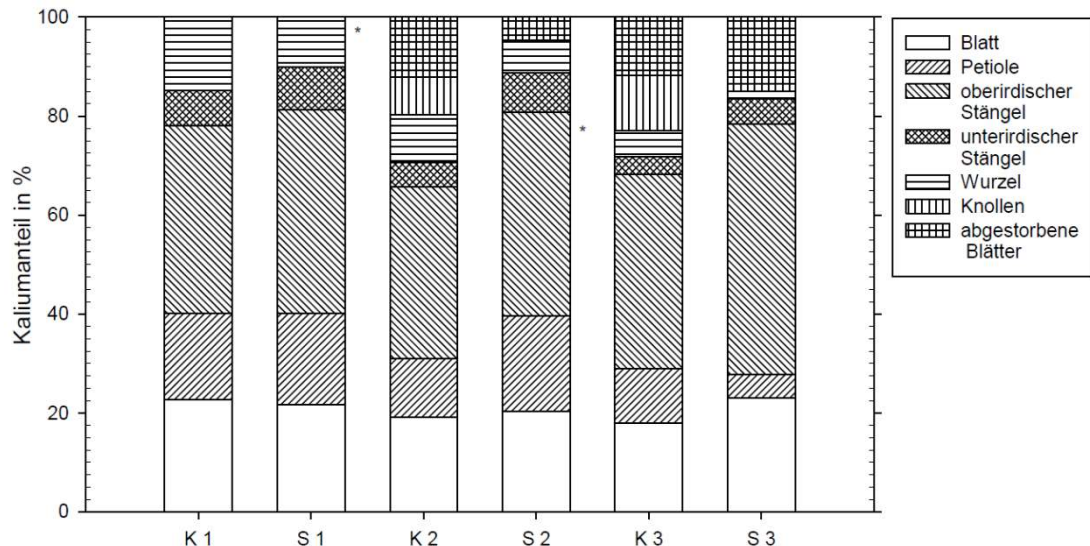


Abbildung 11: Relative Verteilung von Kalium in der Pflanze gemittelt über die Wiederholungen ($n = 3$) in %. Dargestellt ist die Kaliummenge einzelner Pflanzenorgane in Relation zur gesamten Natriummenge in der Pflanze. Behandlung 1, 2 bzw. 3 entspricht den Beprobungszeitpunkt; K steht für Kontrolle und S für Salzapplikation. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Salzbehandlung zur entsprechenden Kontrolle sind mit * gekennzeichnet.

Aus Abbildung 11 wird deutlich, dass die Kaliumverteilung innerhalb der Pflanzen relativ homogen ist, dabei weichen die Pflanzen der Salzbehandlung kaum ab. Lediglich die neugebildeten Knollen, die nur bei den Kontrollpflanzen vorkamen, verzerren das Bild, da sie als Kaliumsinks in den Kontrollpflanzen fungieren.

4.7 Verteilung des Chlorids innerhalb der Pflanze

Die Chloridkonzentration ist bei allen mit Salz behandelten Pflanzen im Mittel deutlich höher als bei den entsprechenden Kontrollpflanzen (Tabelle 8). Durch zweiseitige t-Tests konnte dies statistisch belegt werden. Dabei ist im zeitlichen Verlauf kein Anstieg hinsichtlich der Mittelwerte der Chloridkonzentration der Kontrollpflanzen zu verzeichnen. Die Konzentrationen bei den mit Salz behandelten Pflanzen steigen innerhalb des gemessenen Zeitraums stark an. Die Chloridkonzentrationen in den Wurzeln bilden hierbei die einzige Ausnahme. Der Mittelwert zum zweiten Beprobungszeitpunkt liegt unter dem des ersten. Die höchsten Chloridkonzentrationen waren sowohl bei den Kontroll-

pflanzen als auch bei den Pflanzen der Salzbehandlung in der Petiole und im oberirdischen Stängel zu finden. Der unterirdische Pflanzenteil weist die niedrigsten Konzentrationen auf. Die Chloridkonzentration steigt zwischen der zweiten und dritten Beprobung bei den Pflanzen der Salzbehandlung im Mittel deutlich stärker an als zwischen der ersten und zweiten Beprobung. So nimmt die Chloridkonzentration in den Blättern von der ersten auf die zweite Beprobung um ca. 27mg g^{-1} zu, von der zweiten auf die dritte Beprobung hingegen um ca. 51mg g^{-1} . Die Konzentrationen für die Petiole sowie den oberirdischen und den unterirdischen Stängel verhalten sich in ihrer Verhältnismäßigkeit ähnlich.

Tabelle 8: Mittelwerte ($n = 3$) der Chloridgehalte in mg g^{-1} Trockengewicht für die verschiedenen Pflanzenteile mit entsprechendem Standardfehler. Die Zeitpunkte 1, 2 und 3 entsprechen den Beprobungszeitpunkten. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Salzbehandlung zur entsprechenden Kontrolle sind mit * gekennzeichnet.

mg g⁻¹ TM	Zeitpunkt	Kontrolle Mittelwert $\pm$ SE		Salzbehandlung Mittelwert $\pm$ SE	
Blatt	1	4,85	$\pm 0,91$	27,91*	$\pm 4,38$
	2	4,51	$\pm 0,68$	54,95*	$\pm 5,17$
	3	5,95	$\pm 0,59$	106,27*	$\pm 4,58$
Petiole	1	11,25	$\pm 0,59$	61,65*	$\pm 6,67$
	2	11,99	$\pm 1,37$	103,83*	$\pm 7,89$
	3	9,48	$\pm 7,30$	155,92*	$\pm 17,10$
Oberirdischer Stängel	1	16,05	$\pm 3,95$	60,01*	$\pm 8,56$
	2	11,04	$\pm 1,44$	82,07*	$\pm 4,89$
	3	8,93	$\pm 4,22$	162,93*	$\pm 30,01$
Unterirdischer Stängel	1	2,44	$\pm 0,13$	44,50*	$\pm 2,28$
	2	3,17	$\pm 0,34$	53,69*	$\pm 7,90$
	3	2,38	$\pm 0,46$	78,37*	$\pm 4,49$
Wurzel	1	3,86	$\pm 0,37$	27,55*	$\pm 6,49$
	2	3,46	$\pm 0,70$	21,75*	$\pm 5,64$
	3	3,23	$\pm 1,31$	49,45*	$\pm 3,18$

Da bei einigen der abgestorbenen Blätter nicht genügend Trockensubstanz für eine Messung von Natrium, Kalium und Chlorid zur vorhanden war, wurde die Chloridanalyse nicht durchgeführt.

Chlorid wird bei den Pflanzen der Salzbehandlung in den gleichen Pflanzenteilen gehäuft akkumuliert (Abbildung 12) wie das Natrium (Abbildung 9). Das meiste Chlorid war bei den Pflanzen der Salzbehandlung in den Blättern sowie im oberirdischen Stängel zu finden. Die Werte für die Pflanzen der Salzbehandlung sind dabei zum ersten Beprobungszeitpunkt bereits mehr als doppelt so hoch wie bei den Kontrollpflanzen. Zum dritten Beprobungszeitpunkt sind die Unterschiede am deutlichsten. Hier beträgt die Menge des Chlorids bei den Pflanzen der Salzbehandlung im Durchschnitt im oberirdischen Stängel das 100-fache der Menge der entsprechenden Kontrollpflanzen. Bei den übrigen Pflanzenteilen ist ein ähnliches Verhältnis gemessen worden.

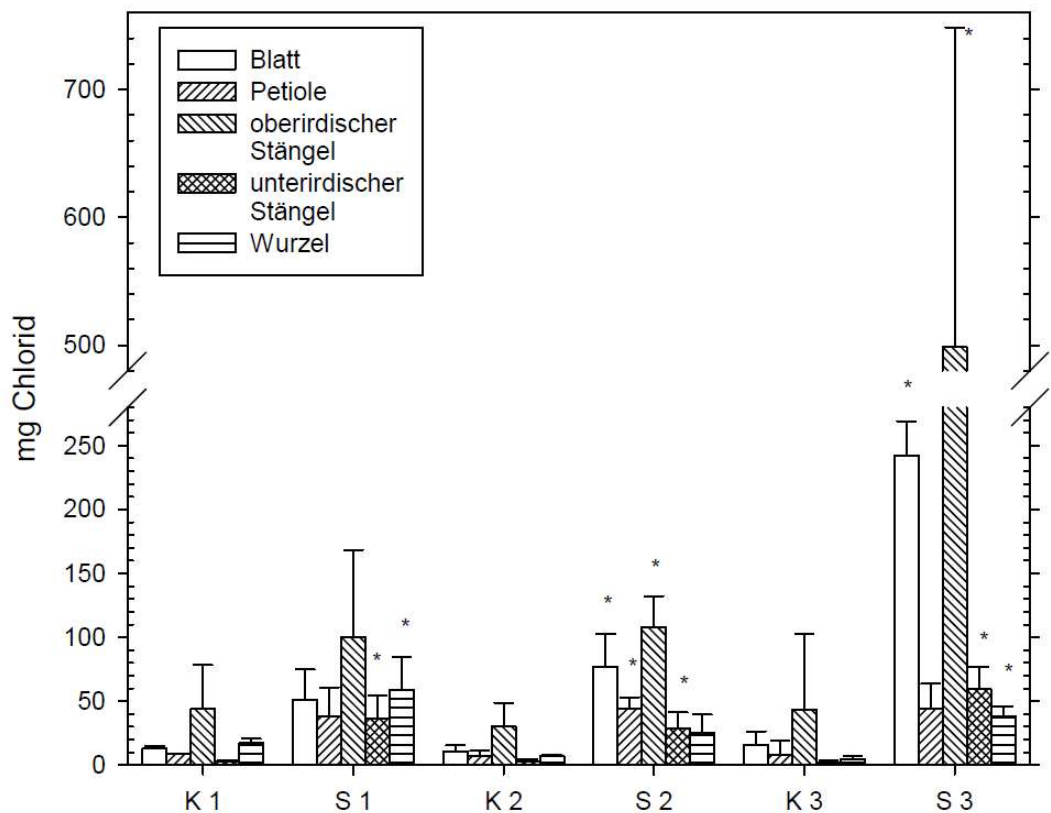


Abbildung 12: Mittelwert (n = 3) der Chloridmasse in mg pro Pflanzenteil mit entsprechendem Standardfehler. Behandlung 1, 2 bzw. 3 entspricht den Beprobungszeitpunkt; K steht für Kontrolle und S für Salzapplikation. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Salzbehandlung zur entsprechenden Kontrolle sind mit * gekennzeichnet.

Bei der statistischen Auswertung konnten nicht alle Werte statistisch abgesichert ($p < 0,05$) werden, da aufgrund der schwankenden Trockenmasse große Standardfehler entstanden sind. Die signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$) sind in Abbildung 12 mit einem * gekennzeichnet.

Die Anreicherung von Chlorid findet dementsprechend mengenmäßig v.a. in den Blättern und den oberirdischen Stängeln statt. Die Wurzeln und der unterirdische Stängel zeigen bei der Salzbehandlung als einzige eine Abnahme der Chloridmenge pro Pflanzenteil im zeitlichen Verlauf.

4.8 Kalium-Natrium-Verhältnis

Das Verhältnis von Kalium zu Natrium ist im Mittel bei den Pflanzen der Salzbehandlung für alle Pflanzenteile enger als bei den Kontrollpflanzen (Tabelle 9). Lediglich in den Wurzeln sind für den Beprobungszeitpunkt zwei und drei konnte keine signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$) zur Kontrolle festgestellt werden.

Tabelle 9: Mittelwerte ($n = 3$) der Kalium Natriumverhältnisse für die verschiedenen Pflanzenteile mit entsprechendem Standardfehler. Die Zeitpunkte 1, 2 und 3 entsprechen den Beprobungszeitpunkten. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der Salzbehandlung

K Na-1	Zeitpunkt	Kontrolle Mittelwert $\pm$ SE		Salzbehandlung Mittelwert $\pm$ SE	
Blatt	1	38,95	$\pm 4,79$	7,77*	$\pm 2,73$
	2	32,75	$\pm 3,18$	1,87*	$\pm 1,18$
	3	29,33	$\pm 2,59$	0,65*	$\pm 0,13$
Petiole	1	84,55	$\pm 1,55$	5,58*	$\pm 1,45$
	2	72,60	$\pm 3,91$	2,47*	$\pm 0,35$
	3	55,15	$\pm 11,69$	1,01*	$\pm 0,21$
Oberirdischer Stängel	1	62,16	$\pm 6,18$	4,97*	$\pm 0,68$
	2	38,88	$\pm 6,59$	2,07*	$\pm 0,09$
	3	35,95	$\pm 7,65$	0,97*	$\pm 0,25$
Abgestorbene Blätter	2	56,74	$\pm 17,15$	1,47*	$\pm 0,38$
	3	31,24	$\pm 2,74$	1,54*	$\pm 0,49$
Unterirdischer Stängel	1	12,48	$\pm 1,39$	1,87*	$\pm 0,49$
	2	11,33	$\pm 0,28$	1,08*	$\pm 0,18$
	3	5,52	$\pm 1,13$	0,51*	$\pm 0,15$
Wurzel	1	3,60	$\pm 0,88$	0,95*	$\pm 0,08$
	2	4,77	$\pm 2,70$	0,59	$\pm 0,05$
	3	3,73	$\pm 1,60$	0,22	$\pm 0,02$

Je kleiner das Verhältnis ist, desto weniger Mol Kalium ist pro Mol Natrium zu finden. Im Mittel verringert sich das Verhältnis mit Ausnahme der Wurzel bei der Kontrolle sowohl bei den Pflanzen der Salzbehandlung als auch bei den Pflanzen der Kontrolle im Laufe der Zeit. Die höchsten Werte sind bei der Kontrolle in den Petiolen zu finden. Bei den Pflanzen der Salzbehandlung sind im Mittel zum ersten Zeitpunkt die höchsten Werte in den Blättern zu finden, später in der Petiole und in den abgestorbenen Blättern. Die niedrigsten Verhältnisse sind sowohl bei der Kontrolle als auch bei der Salzbehandlung in den unterirdischen Pflanzenteilen vorzufinden. Innerhalb der Pflanzen variieren die Verhältnisse im Durchschnitt stark. Gegen Ende des Versuchs waren bei den Pflanzen der Salzbehandlung im Durchschnitt in den meisten Pflanzenteilen ausgeglichene Verhältnisse oder ein Überschuss an Natrium zu finden.

4.9 Anionen-Kationenverhältnis

Neben dem Verhältnis der beiden wichtigsten Kationen unter Salzstress zueinander ist auch das Verhältnis von Anionen zu Kationen für die Pflanze und ihre Regulationsmechanismen entscheidend. Da in dem Versuch nicht alle Kationen und Anionen analysiert wurden, kann kein absolutes Anionen-Kationenverhältnis diskutiert werden. Für Pflanzen, die unter Salzstress leiden, ist das Chlorid das wichtigste Anion und Natrium und Kalium sind die wichtigsten Kationen. Im Folgenden ist, wenn über das Anionen-Kationen Verhältnis gesprochen wird, das Verhältnis von Chlorid zu Natrium und Kalium gemeint.

Aus Tabelle 10 wird ersichtlich, dass das Anionen-Kationen-Verhältnis bei den Kontrollpflanzen über alle Pflanzenteile weitestgehend konstant blieb. Wohingegen das der Pflanzen, die mit Salz gestresst wurden, im oberirdischen Teil kontinuierlich mit der Zeit ansteigt und sich auf einem deutlich höheren Niveau befand. Im unterirdischen Teil der Pflanzen der Salzbehandlung ist der Anstieg nicht klar zu erkennen, jedoch haben sich auch hier deutlich höhere Werte als bei den Kontrollpflanzen ergeben. Somit unterscheiden sich alle Bereiche der behandelten Pflanzen bezüglich des Anionen-Kationenverhältnisses signifikant ($p < 0,05$) von den entsprechenden Kontrollpflanzen.

Tabelle 10: Verhältnis von Chlorid zu Natrium und Kalium pro Pflanzenteil gemittelt über die Wiederholungen (n = 3) mit entsprechendem Standardfehler. Signifikante Unterschiede (p < 0,05) der Salzbehandlung zur entsprechenden Kontrolle sind mit * gekennzeichnet.

Cl (K+Na)⁻¹	Zeitpunkt	Kontrolle Mittelwert ± SE		Salzbehandlung Mittelwert ± SE	
Blatt	1	0,129	± 0,014	0,652*	± 0,083
	2	0,125	± 0,020	0,963*	± 0,221
	3	0,179	± 0,032	0,975*	± 0,036
Petiole	1	0,118	± 0,003	0,530*	± 0,052
	2	0,138	± 0,022	0,766*	± 0,071
	3	0,127	± 0,103	1,131*	± 0,116
Oberirdischer Stängel	1	0,227	± 0,063	0,616*	± 0,063
	2	0,191	± 0,037	0,828*	± 0,097
	3	0,146	± 0,073	1,055*	± 0,136
Abgestorbene Blätter	2	0,103	± 0,020	-	± -
	3	0,095	± 0,013	0,817*	± 0,054
Unterirdischer Stängel	1	0,087	± 0,011	0,853*	± 0,022
	2	0,115	± 0,026	0,816*	± 0,072
	3	0,093	± 0,007	0,951*	± 0,106
Wurzel	1	0,203	± 0,029	0,927*	± 0,054
	2	0,140	± 0,021	0,609*	± 0,139
	3	0,129	± 0,055	1,051*	± 0,008

5 Diskussion

Ziel der Arbeit war es, die Auswirkungen von Salzstress sowie die Verteilung von Natrium, Kalium und Chlorid in Kartoffeln nachzuvollziehen. Dafür wurde ein Topfversuch angelegt, bei dem die Hälfte der Pflanzen unter Salzstress aufwuchs. Die Verteilung von Natrium, Kalium und Chlorid wurde bei allen Pflanzenteilen gemessen, die Kontrollpflanzen mit den Pflanzen der Salzbehandlung verglichen, sowie weitere morphologische Unterschiede erfasst. Des Weiteren sollte untersucht werden, welche Ansprüche die Kartoffel an ein aeroponisches System stellt und welche Salzkonzentrationen bei Kartoffeln im Wurzelbereich zu finden sind.

5.1 Abschätzen des Salzgehalts im Wurzelraum

Da der Salzgehalt im Boden stark variieren kann, wurde der EC-Wert kontinuierlich in Wurzelnähe gemessen. Um aus den gemessenen EC-Werten eine Aussage über die Salzbelastung im Wurzelraum treffen zu können, wurde der errechnete zugefügte Salzgehalt gegen den EC-Wert abgetragen. Durch die gebildete Regression lässt sich nun die Salzbelastung anhand des gemessenen EC-Werts einem tatsächlichen Salzgehalt im Wurzelraum zuordnen. Die gebildete Regression ist dabei nur für das verwendete Substrat gültig, da der y-Achsenabschnitt die elektrische Leitfähigkeit ohne zugefügtes Salz darstellt. Ferner wird bei der Regression nur das zugefügte Salz berücksichtigt, die Salzbelastung aus dem Ausgangssubstrat lässt sich damit nicht beschreiben.

Eine Standardisierung des gemessenen EC-Werts auf einen EC_e -Wert ist aufgrund des verwendeten Messverfahrens nicht möglich, da hierfür der Wassergehalt des Bodens zum Zeitpunkt der Probenahme berücksichtigt werden hätte müssen. Alle gemessenen EC-Werte sind untereinander vergleichbar, da die Bodenfeuchtigkeit bei den Messungen in einem ähnlichen Bereich lag. Sie lassen sich allerdings nicht mit Werten aus der Literatur vergleichen, da neben dem Wassergehalt des Bodens die Zeit für das Lösen der Salze aus dem Boden länger hätte sein müssen. Der gemessene EC-Wert beschreibt somit einen momentanen Salzgehalt im Boden. Da die Gehalte aufgrund der Pufferwirkung von Böden jedoch ständig schwanken, ist es sinnvoll den Salzstress im aeroponischen System weiter zu erforschen, da in der Aeroponik ein kontinuierlicher Salzgehalt der Nährlösung gewährleistet werden kann.

5.2 Morphologische Unterschiede

Durch den Versuch konnte die von Hütsch et al. (2018) beobachtete Verringerung der Wuchshöhe bestätigt werden. Levy und Veilleux (2007) haben außerdem eine geringere Wasseraufnahme bei Pflanzen unter Salzstress beobachtet, was bestätigt werden konnte. Auch das Absterben von Trieben und Vergilben der Blattspitzen konnte an den Versuchspflanzen festgestellt werden. Dies konnte mit signifikanten Unterschieden ($p < 0,05$) für alle Vergleiche zwischen den Pflanzen der Salzbehandlung und der Kontrolle trotz der inhomogenen Pflanzen zu Versuchsbeginn belegt werden. Ausschlaggebend hierfür könnte die reduzierte Wasseraufnahme sein. Darauf deutet ein tendenziell höheres Verhältnis von Trockenmasse zu Frischmasse bei Pflanzen hin, bei denen Salzstress induziert wurde hin.

Die reduzierte Wasseraufnahme resultiert vermutlich aus dem höheren osmotischen Potential von Salzwasser, wodurch die Pflanze mehr Energie zur Wasseraufnahme benötigt. Die geringere Knollenanzahl ab dem zweiten Beprobungszeitpunkt sowie die im Mittel deutlich verringerte Stolonenanzahl bei den Pflanzen der Salzbehandlung lässt vermuten, dass der Knollenertrag geringer ausfallen würde. Aufgrund der inhomogenen Pflanzen zu Versuchsbeginn sind die erhobenen Daten in Bezug auf die Stolonen- und Knollenanzahl nicht aussagekräftig genug, um die Beobachtungen statistisch zu belegen.

5.3 Verteilung des Natriums, Kaliums und Chlorids

Es konnte nachgewiesen werden, dass sich sowohl Natrium als auch Chlorid deutlich stärker in den Pflanzen der Salzbehandlung anreichert. Für das Kalium kann anhand der Versuchsdaten keine klare Aussage in Hinblick auf eine veränderte Anreicherung innerhalb der Pflanze getroffen werden. Somit ist davon auszugehen, dass Kalium als einer der wichtigsten Nährstoffe für die Kartoffel auch unter Salzstress in allen Pflanzenteilen in ausreichender Menge vorhanden ist.

Nach Marschner und Marschner (2012) wird Natrium hauptsächlich durch den Transpirationsstrom innerhalb der Pflanze verlagert. Dabei wird das Wasser von den Wurzeln aufgenommen und durch die Stomata an den Blättern und Stängeln transpiriert. Im Versuch konnte eine höhere Natriumkonzentration in den oberirdischen Pflanzenteilen beobachtet werden. Nach Gao et al. (2014) steigen die Natriumkonzentrationen bei Pflanzen unter Salzstress an. Dies deckt sich mit den Ergebnissen dieses Versuchs. Die abgestorbenen Blätter weisen dabei eine niedrigere Natriumkonzentration als die photosynthetisch aktiven Blätter auf. Dies lässt vermuten, dass die Blätter zu einem Zeitpunkt

abgestorben sind als die Natriumkonzentration in den Blättern noch niedriger war. Es deutet auch darauf hin, dass die Kartoffel das Natrium nicht aktiv in absterbende Pflanzenteile verlagern kann. Obwohl die Pflanzenmasse bei den Pflanzen der Salzbehandlung deutlich geringer war, konnten -bezogen auf die einzelnen Pflanzenteile- im oberirdischen Bereich signifikant ($p < 0,05$) höhere Natriummengen gemessen werden. Lediglich bei den Wurzeln konnten diese Signifikanzen nicht bestätigt werden. An den Wurzeln zeigten die Kontrollpflanzen deutlich erhöhte Werte, die vermutlich durch Bodenreste in den Proben verursacht worden sind. Der relative Vergleich der Natriumverteilung innerhalb der Pflanze verdeutlicht die Verlagerung in die oberirdischen Pflanzenteile bei den mit Salz behandelten Pflanzen, im Vergleich zu den Kontrollpflanzen. Daraus lässt sich die Verlagerung mit dem Transpirationsstrom erklären.

Die Kaliumkonzentrationen weisen große Schwankungen innerhalb der Kontrolle und der Salzbehandlung auf. Tendenziell ist die Kaliumkonzentration in den oberirdischen Pflanzenteilen bei den Pflanzen der Salzbehandlung höher und in den unterirdischen Pflanzenteilen niedriger als bei den entsprechenden Kontrollpflanzen. Eine eindeutige Aussage kann hier aufgrund von vielen Ausreißern nicht getroffen werden. Die relative Verteilung innerhalb der Pflanzen lässt aber den Schluss zu, dass sich die Kaliumkonzentrationen nicht signifikant ($p < 0,05$) verändern. Bei den Messwerten ist für die Wurzel ein möglicher erhöhter Erdanhang an den Proben zu berücksichtigen. Ab dem 2. Beprobungszeitpunkt waren bei den Kontrollpflanzen zudem Knollen vorhanden, die als Kaliumsink dienen und dadurch das Bild verzerren. Eine Abnahme der Kaliumkonzentration in den Blättern, wie ihn Gao et al. (2014) nachwies, konnte im Versuch nicht nachgewiesen werden.

Die Chloridkonzentration in den Pflanzen waren bei den Salzbehandlungen in allen Pflanzenteilen höher. Die Konzentrationen in den oberirdischen Pflanzenteilen sind deutlich höher als in den unterirdischen Pflanzenteilen, wobei hier erscheint eine mögliche Verunreinigung bei der Probenahme durch Bodenreste möglich. Insgesamt verhält sich die Chloridverteilung ähnlich der Natriumverteilung in der Pflanze mit homogenen Verhältnissen im oberirdischen Teil. Bei den Kartoffeln der Kontrolle konnte eine Verringerung der Chloridkonzentration im Zeitverlauf gezeigt werden. Möglicherweise geschah dies durch Massezuwachs ohne weitere Chloridaufnahme. Das meiste Chlorid ist aufgrund der hohen Trockenmassen in den Blättern und dem oberirdischen Stängeln zu finden, was vermutlich durch den Transpirationsweg sowie die Sink-Wirkung des Stängels und der Blätter in frühen Entwicklungsstadien zu erklären ist.

5.4 Veränderung der Verhältnisse von Natrium, Kalium und Chlorid

Das Kalium-Natrium Verhältnis gibt an, wie viele Kaliumatome pro Natriumatom in den Pflanzenteilen vorzufinden sind. Dabei ist Kalium für alle Pflanzen ein essentieller Nährstoff, Kartoffeln haben einen besonders hohen Bedarf im Vergleich zu anderen Kulturpflanzen (Keller et al. 1999). Natrium ist hingegen kein essentieller Pflanzennährstoff, bewirkt aber in einigen Pflanzen bei geringer Konzentration Ertragsvorteile, da es aufgrund seiner ähnlichen Größe einige Funktionen des Kaliums übernehmen kann. In höheren Konzentrationen wirkt es sich jedoch negativ auf das Pflanzenwachstum aus (Marschner und Marschner 2012). Bei Kartoffeln sind keine Ertragsvorteile durch Natrium bekannt. Somit beschreibt das Kalium-Natrium Verhältnis das Verhältnis von lebensnotwendigen Kalium gegenüber dem negativ wirkenden Natrium. Je kleiner das Verhältnis dabei ist, desto mehr negative Auswirkungen sind zu erwarten. Bei den Kontrollpflanzen lag das Verhältnis in den oberirdischen Pflanzenteilen zwischen 29 und 55 zum dritten Beprobungszeitpunkt, bei den Pflanzen der Salzbehandlung hingegen lag das Verhältnis bei unter 1,6. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen von Gao et al. (2014). Da sich der Kaliumgehalt in den Pflanzenteilen des Versuchs kaum unterschied ist die Veränderung vor allem auf den Anstieg des Natriumgehalts zurückzuführen. Das niedrigere Verhältnis im unterirdischen Bereich ist zum einen durch den Transpirationsstrom, aber eventuell auch durch Verunreinigungen im unterirdischen Bereich, die durch Erdanhaftungen hervorgerufen wurden, zu erklären.

Das hier beschriebene Anionen-Kationen-Verhältnis bezieht sich nur auf die gemessenen Kationen Natrium und Kalium und das Anion Chlorid. In Pflanzen sind noch viele weitere wichtige Anionen und Kationen enthalten, unter starkem Salzstress -wie in diesem Versuch- spiegelt das Verhältnis von Natrium und Kalium zu Chlorid wahrscheinlich die Tendenz des tatsächlichen Verhältnisses wider. Dabei ist das Anionen-Kationen-Verhältnis für die elektrische Ladung sowie wichtige Transportsysteme in der Pflanze essentiell (Marschner und Marschner 2012). Je niedriger die Zahl dabei ist, desto mehr Kationen sind pro Anion vorhanden. Während das Verhältnis bei den Kontrollpflanzen hauptsächlich zwischen 0,1 und 0,2 liegt, ist das der mit Salz behandelten Pflanzen signifikant ($p < 0,05$) für alle Betrachtungen erhöht. Dabei erreicht das Verhältnis bis zum dritten Beprobungszeitpunkt ein Verhältnis von ca. 1 für die oberirdischen Pflanzenteile. Somit ist zu erwarten, dass das elektrische Potential nur durch erheblichen Energieeinsatz aufrechterhalten werden konnte.

Aus den erhobenen Daten kann lediglich auf die Verteilung innerhalb der Pflanze geschlossen werden, es bleibt zu klären, ob dabei das Natrium oder das Chlorid den größeren negativen Effekt hatte.

5.5 Temperaturbedingte Auswirkungen auf das Kartoffelwachstum

Hohe Temperaturen bewirken bei Kartoffeln Hitzestress. Bei Temperaturen von über 29°C stoppt die Assimilateinlagerung in die Knolle, da die durch Photosynthese erzeugten Assimilate für die erhöhte Atmung verbraucht werden (Keller et al. 1999). Die Temperatur während des Versuchs lag im Durchschnitt bei 25°C und an mehr als der Hälfte der Tage lag die Höchsttemperatur bei über 32°C. Somit sind auch temperaturbedingte Auswirkungen auf die Pflanzen zu erwarten. van Dam et al. (1996) beschreiben einen deutlich verzögerten Knollenansatz als Auswirkung auf hohe Temperaturen, sowie eine deutlich höhere Trockenmassenproduktion der oberirdischen Pflanzenteile. Der im Versuch festgestellte geringe Knollenansatz der Pflanzen ist somit vermutlich auch den hohen Temperaturen geschuldet, da sich die Pflanzen gegen Ende des Versuchs noch in der Ansatzphase befunden haben. Aufgrund der Temperatur war der Knollenansatz im Versuch wahrscheinlich verspätet und durch den Salzstress sind die Pflanzen der Salzbehandlung früher abgestorben.

Um die Auswirkungen von Salzstress auf den Knollenertrag beschreiben zu können ist eine Versuchsanordnung mit späterem Erntetermin sowie unter angepassten Temperaturen durchzuführen. Dies würde auch die Verlagerung von Natrium und Chlorid innerhalb der Pflanze besser beschreiben, da eine klare Zuordnung der einzelnen Pflanzenteile als Source bzw. Sink in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium deutlich leichter durchzuführen ist. Somit könnte geklärt werden, ob die Kartoffel Chlorid und Natrium aktiv verlagern kann.

5.6 Mögliche Fehlerquellen und Verbesserungsvorschläge

Die Versuchspflanzen wurden in Erde kultiviert, weshalb die unterirdischen Pflanzenteile mittels eines Wasserstrahls aus dem Boden ausgewaschen wurden. Dabei konnte nicht abschließend sichergestellt werden, dass alle Pflanzenwurzeln vom Boden getrennt wurden. Somit waren geringe Bodenreste in den Proben der unterirdischen Pflanzenteile nicht zu vermeiden. Bei der Analyse für Natrium, Kalium und Chlorid sind nur äußerst geringe Mengen von den jeweiligen Pflanzenteilen verwendet worden, wodurch selbst geringe Bodenreste das Ergebnis unter Umständen stark verfälschen. Außerdem konnte

nicht sichergestellt werden, dass alle Wurzelteile beprobt wurden, da insbesondere Feinwurzeln leicht reißen und im Boden zurückbleiben. Die erhobenen Daten sollten somit insbesondere für den unterirdischen Bereich durch eine Wiederholung des Versuchs überprüft werden oder idealerweise mit einem aeroponischen System abgesichert werden.

Bei der Messung der EC-Werte könnten Fehler aufgetreten sein, da sowohl das Vermischen des Bodens mit Wasser als auch die Bodenfeuchtigkeit nicht standardisiert wurden. Bei einer Wiederholung des Versuchs sollte die Messmethodik für den EC-Wert außerdem angepasst werden, sodass mit der Literatur vergleichbare Werte erhoben werden können.

Die Auswertung der Daten wurde durch die inhomogenen Pflanzen erschwert. So hatten einige Pflanzen lediglich einen Stängel gebildet während andere bis zu sechs Stängel aufwiesen. Die Auswahl von möglichst gleich großen Pflanzknollen hat sich nicht als ausreichend herausgestellt. Für künftige Versuche sollte daher versucht werden, möglichst viele Pflanzen anzuziehen und nach dem Auflaufen homogene Pflanzen für den Versuch zu selektieren.

Auch das gewählte Substrat stellte sich nicht als optimal heraus, da es aufgrund seines hohen Tonanteils dazu neigt, dicht zu lagern und somit die Sauerstoffzufuhr zu den Knollen und Wurzeln erschwert wurde. Dieser Effekt wurde durch das Sieben des Bodens verstärkt, da dadurch vorhandene Aggregate zerstört wurden. Bei einer Wiederholung des Versuchs sollte der Boden einen geringeren Tonanteil und einen höheren Schluff bzw. Sandanteil aufweisen.

Auch die Bewässerung zeigte weiteren Optimierungsbedarf auf. So muss zu Beginn des Versuchs stärker auf ein Einhalten der optimalen Bodenfeuchte geachtet werden. Diese ist aus meiner Sicht 10% niedriger anzusetzen bis die Kartoffeln aufgelaufen sind, um die Ausbreitung von Fäulnisbakterien zu verringern.

6 Ausblick Aeroponik

Die erhobenen Daten aus dem Topfversuch decken sich in vielen Bereichen mit den Erkenntnissen der Literatur. Allerdings ist für einen Versuchsaufbau mit mehr Wiederholungen -um Unterschiede statistisch besser absichern zu können- viel Erde notwendig und es muss mit schweren Töpfen hantiert werden. Bei den Messungen an den unterirdischen Pflanzenteilen wird der Versuchsfehler durch anhaftenden Boden an den Proben vergrößert. Auch die Pufferwirkung des Bodens vergrößert den Versuchsfehler, da die Bedingungen für die Pflanzen somit nicht exakt eingestellt werden können. Auch der Zugang zu den Wurzeln ist erschwert.

Bei einem aeroponischen System hingegen ist ein ständiger Zugang zu den Wurzeln gewährleistet und Bodeneffekte können ausgeschlossen werden. Auch das Hantieren mit den Pflanzen wird deutlich vereinfacht. Aus diesen Gründen ist ein aeroponisches System v.a. für die Forschung gut geeignet, auch wenn die Kosten pro Pflanze deutlich höher liegen.

In dem von mir entwickelten System konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, Kartoffeln in einer Aeroponik heranzuziehen und ausreichend mit Nährstoffen zu versorgen. Problematisch für die Aeroponik erscheinen mir die hohen Temperaturen der Nährlösung während meines Versuchs, was den Pflanzen aufgrund der hohen Transpiration Probleme bereitete. Nach der Anpassung der Nährlösung erscheint mir die Nährstoffversorgung gut möglich. Eine Anzucht der Triebe in sehr sandigem Substrat und ein späteres Umpflanzen in die Aeroponik ist aus jetziger Sicht die zu bevorzugende Variante, da dem Faulen der Mutterknolle aufgrund der hohen Luftfeuchtigkeit im Nährlösungsnebel dadurch vorgebeugt werden kann und die Transpiration der Blätter nicht schlagartig einsetzen muss.

Durch die Messungen pro Trieb im aeroponischen System ist die Variabilität der Pflanzen vermutlich geringer, wodurch der Versuchsfehler sinkt. Anhand einer Waage können die Transpirationsraten einfach erfasst werden.

Zur Ausweitung meines Versuchsaufbaus ist es anzustreben, möglichst viele Pflanzen pro Vernebelungseinheit zu haben. Dabei hat sich gezeigt, dass die Vernebellungsleistung für mehr als drei Triebe bis zum Knollenansatz ausreicht. Die Höhe des Fasses hat sich als vorteilhaft herausgestellt. Die Fixierung der Stängel mit Schaumstoff erscheint ausreichend, das zusätzliche Rohr im Fassdeckel wäre nicht notwendig gewesen. Eventuell müsste der Stängel nach Knollenansatz zusätzlich fixiert werden.

Insgesamt sind die Erfahrungen mit dem aeroponischen System jedoch durchwegs positiv.

Anhang



Abbildung 13: Pflanze am 21 DAP; vor dem Einsetzen in die Aeroponik



Abbildung 14: Wurzelbildung nach 4 Tagen im aeroponischen System



Abbildung 13: Vergleich einer Kontrollpflanze (links) mit einer mit einer Pflanze, die durch Salzapplikation gestresst wurde am 46. DAP



Abbildung 14: Pflanzen am 60. DAP. (vorne) Salzbehandlung; (hinten) Kontrollpflanzen

7 Literaturverzeichnis

- Backhausen, Jan E.; Klein, Michael; Klocke, Michael; Jung, Sabrina; Scheibe, Renate (2005): Salt tolerance of potato (*Solanum tuberosum* L. var. Désirée) plants depends on light intensity and air humidity. In: *Plant Science* 169 (1), S. 229–237.
- Blume, Hans-Peter; Stahr, Karl; Leinweber, Peter (Hg.) (2011): Bodenkundliches Praktikum. Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen insbesondere Land- und Forstwirte und für Geowissenschaftler. 3., neubearb. Aufl. Heidelberg: Spektrum Akad. Verl.
- Fritsche-Neto, Roberto; Borém, Aluizio (Hg.) (2012): Plant breeding for abiotic stress tolerance. Heidelberg, New York: Springer.
- Gao, Hui-Juan; Yang, Hong-Yu; Bai, Jiang-Ping; Liang, Xin-Yue; Lou, Yan; Zhang, Jun-Lian et al. (2014): Ultrastructural and physiological responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) plantlets to gradient saline stress. In: *Frontiers in plant science* 5, S. 787.
- Ghosh, Subhash Chandra; Asanuma, Koh-ichiro; Kusutani, Akihito; Toyota, Masanori (2001): Effect of salt stress on some chemical components and yield of potato. In: *Soil Science and Plant Nutrition* 47 (3), S. 467–475.
- Hallmann, Johannes; Quadts-Hallmann, Andrea (2009): Phytomedizin. Grundwissen Bachelor. 2., überarb. Aufl. Stuttgart: UTB GmbH (UTB M).
- Hütsch, Birgit W.; Keipp, Katrin; Glaser, Ann-Kathrin; Schubert, Sven (2018): Potato plants (*Solanum tuberosum* L.) are chloride-sensitive: Is this dogma valid? In: *Journal of the science of food and agriculture* 98 (8), S. 3161–3168. DOI: 10.1002/jsfa.8819.
- Keller, Ernst Robert; Hanus, Herbert; Heyland, Klaus-Ulrich (Hg.) (1999): Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen. Stuttgart: Ulmer (Handbuch des Pflanzenbaues, 3).
- Kurz, Hannes (2016): Prüfbericht. 2016/1-00006. Bodenuntersuchung Heidfeldhof. Universität Hohenheim.
- Larcher, Walter (2001): Ökophysiologie der Pflanzen. Leben, Leistung und Stressbewältigung der Pflanzen in ihrer Umwelt ; 77 Tabellen, 8 Boxen. 6., neubearb. Aufl. Stuttgart: Ulmer (UTB, 8074 : Botanik, Agrar- und Forstwissenschaften, Ökologie, Geographie).
- Levy, David; Veilleux, Richard E. (2007): Adaptation of potato to high temperatures and salinity-a review. In: *Amer J of Potato Res* 84 (6), S. 487–506.

Marschner, Horst; Marschner, Petra (2012): Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3rd ed. Amsterdam, Boston, MA: Academic Press. Online verfügbar unter <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=453799>.

Mbiyu, M. W.; Muthoni, J.; Kabira, J.; Elmar, G.; Muchira, C.; Pwaipwai, P.; Ngaruiya, M. W. (2012): Use of aeroponics technique for potato (*Solanum tuberosum*) minitubers production in Kenya. In: *Journal of Horticulture and Forestry* 2012 (4 (11)), S. 172–177.

S. A. Haque (2006): Salinity problems and crop production in coastal regions of Bangladesh. In: *Pakistan Journal of Botany* 2006 (38(5)), S. 1359–1365.

Scheffer, Fritz; Schachtschabel, Paul; Blume, Hans-Peter; Kandeler, Ellen; Stahr, Karl (2010): Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Aufl. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

van Dam, J.; Kooman, P. L.; Struik, P. C. (1996): Effects of temperature and photoperiod on early growth and final number of tubers in potato (*Solanum tuberosum* L.). In: *Potato Research* 39 (1), S. 51–62. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1007/BF02358206>.

Eidstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich,

Name, Vorname

Geboren am

Matrikelnummer

dass die vorliegende, an diese Erklärung angefügte

- ☐ Haus-/Seminararbeit
- ☐ Bachelor-Arbeit
- ☐ Master-Arbeit
- ☐ Diplom-Arbeit

selbständig und ausschließlich unter Zuhilfenahme der im Literaturverzeichnis genannten Quellen angefertigt wurde und noch an keiner anderen Stelle vorgelegt wurde. Alle Stellen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen oder aus anderen fremden Mitteilungen entnommen wurden, sind als solche einzeln kenntlich gemacht.

Betreuende/r
Dozent/in

Thema der Arbeit

Semester

Ich erkläre weiterhin, dass der betreuenden Dozentin/dem betreuenden Dozenten ein unverschlüsseltes digitales Textdokument (in einem der Formate doc, docx, odt, pdf, rtf) der Arbeit übermittelt wurde, das in Inhalt und Wortlaut ausnahmslos der gedruckten Ausfertigung entspricht. Mir ist bekannt, dass diese digitale Version anhand einer Analyse-Software auf Plagiate überprüft werden kann.

Ort, Datum, Unterschrift