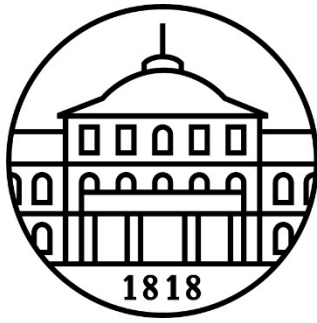




UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Fakultät Agrarwissenschaften

Institut für Tropische Agrarwissenschaften (Hans-Ruthenberg-Institut)

Fg. für Wasserstress-Management bei Kulturpflanzen in den Tropen und Subtropen
(490g)

Bachelorarbeit:

Auswirkungen von VPD und Salzstress auf den Gaswechsel unterschiedlich alter Blätter von Süßkartoffelklonen

Marc Neuberger

Matrikelnummer: 756 505

Agrarwissenschaften B.Sc.

Betreuer:

Prof. Dr. Folkard Asch

Shimul Mondal M.Sc.

Eingereicht: 20.09.2021

Vorwort

In der vorliegenden Bachelorarbeit wird der Punkt anstelle des Kommas als Dezimaltrennzeichen verwendet.

Außerdem möchte mich bei Prof. Dr. Folkard Asch und Shimul Mondal für die Betreuung bedanken. Hemanth Kumar für die Hilfe beim Durchführen des Versuchs und der Erhebung der Daten. Julia Asch, Josias Kern, Niels Maywald und Verena Neuberger für die allgemeine Unterstützung.

Marc Neuberger

Filderstadt, den 20.09.2021

Abstract

Der Klimawandel führt zu veränderten Umweltbedingungen in Anbaugebieten weltweit, so auch bei der Süßkartoffel (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). Die Auswirkungen dieser Veränderung, wie Dürre- oder Salzstress wurden in der folgenden Arbeit untersucht, um auf diese zukünftig reagieren zu können.

Mit dem Ziel die Auswirkungen von VPD und Salzstress auf den Gaswechsel unterschiedlich alter Blätter bei Süßkartoffelklonen zu untersuchen, wurden in einem hydroponischen Versuch eine salztolerantere Sorte CIP 188002.1 und eine salzempfindlichere Sorte CIP 189151.8 bei zwei Salinitätsstufen (0 mM NaCl und 50 mM NaCl) in zwei unterschiedlichen VPDs (0.76 kPa und 2.27 kPa) ausgesetzt. Die Transpirationsrate, die Assimilationsrate und die stomatäre Leitfähigkeit wurden an jedem ausgewachsenen Blatt gemessen.

Der Versuch zeigte, dass bei CIP 188002.1 und CIP 189151.8 sich durch Salzstress und VPD die Transpirationsraten, Assimilationsraten und stomatären Leitfähigkeiten der einzelnen Blätter reduzieren und dass es bei den einzelnen Blättern mit abnehmendem Alter zu Steigerungen der Transpirationsraten, Assimilationsraten und stomatären Leitfähigkeiten kommt. Nicht bewiesen werden konnte, dass der Salzeffekt von Salzstress bei zusätzlichem Trockenstress durch hohes VPD verringert wird. Aufgrund eines statistischen Fehlers sind die Daten nur bedingt valide.

Keywords: Süßkartoffel, VPD, Salzstress, Transpirationsrate, Assimilationsrate, stomatäre Leitfähigkeit.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	I
Abstract.....	II
Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einführung.....	1
1.1 Hintergrund	1
1.2 Stand der Forschung	2
1.2.1 Gaswechsel	2
1.2.2 VPD.....	2
1.2.3 Salzstress	3
2 Material und Methoden	5
2.1 Versuchsaufbau.....	5
2.2 Messung	6
2.2.1 Gesamtwasserverlust und Blattfläche	6
2.2.2 Gaswechsel	7
2.3 Statistische Auswertung	8
2.4 Literaturrecherche.....	8
3 Ergebnisse.....	9
3.1 Transpiration.....	9
3.2 Assimilationsrate.....	11
3.3 Stomatäre Leitfähigkeit.....	14
3.4 Assimilation-Transpiration-Verhältnis:	17
3.5 Assimilation-stomatäre Leitfähigkeit-Verhältnis.....	18
3.6 Transpiration-stomatäre Leitfähigkeit-Verhältnis.....	19
4 Diskussion	20
4.1 Gaswechsel	20
4.2 Mögliche Fehlerquellen	21
5 Fazit.....	22
6 Literaturverzeichnis	23
Anhang.....	A
Eigenständigkeitserklärung.....	D

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Stress-Phasenmodell von Larcher (Larcher 2001, S. 284).....	3
Abbildung 2: Hydroponik Topf mit Aluminiumfolienummantelung, Deckel mit Schaumstopfen und Belüftungsschlauch.	5
Abbildung 3: Aufbau im Klimaschrank.....	5
Abbildung 4: Versuchslayout.....	6
Abbildung 5: Wiegung des Gesamtwasserverlustes.....	6
Abbildung 6: Blattflächenmessung mithilfe der „Leaf Area Light“ App.....	6
Abbildung 7: Blattnummerierung.....	7
Abbildung 8: Ablauf der Gaswechsellmessung am Messtag 5, die hellgrünen Messpunkte stehen für die Sorte CIP 188002.1, dunkelgrüne Messpunkte für die Sorte CIP 189151.8, und die unterschiedlichen Symbole für die Wiederholungen 1-4	8
Abbildung 9: Auswirkungen von Salzstress und VPD auf die Transpirationsrate von unterschiedlich alten Süßkartoffelblättern der Sorte CIP 188002.1 und CIP 189151.8.....	10
Abbildung 10: Salzeffekt auf die Transpirationsrate bei Süßkartoffelblättern unterschiedlichen Alters der Sorte CIP 188002.1 und CIP 189151.8.....	10
Abbildung 11: Verhältnis der Transpirationsrate (0 mM NaCl) zur Transpirationsrate (50 mM NaCl)..	11
Abbildung 12: Auswirkungen von Salzstress und VPD auf die Assimilationsrate von unterschiedlich alten Süßkartoffelblättern der Sorte CIP 188002.1 und CIP 189151.8.....	12
Abbildung 13: Salzeffekt in Prozent auf die Assimilationsrate bei Süßkartoffelblättern unterschiedlichen Alters der Sorte CIP 188002.1 und CIP 189151.8.	13
Abbildung 14: Verhältnis der Assimilationsrate (0 mM NaCl) zur Assimilationsrate (50 mM NaCl)	13
Abbildung 15: Auswirkungen von Salzstress und VPD auf die stomatäre Leitfähigkeit von unterschiedlich alten Süßkartoffelblättern der Sorte CIP 188002.1 und CIP 189151.8.....	15
Abbildung 16: Salzeffekt auf die stomatäre Leitfähigkeit bei Süßkartoffelblättern unterschiedlichen Alters der Sorte CIP 188002.1 und CIP 189151.8.....	15
Abbildung 17: Verhältnis der stomatären Leitfähigkeit (0 mM NaCl) zur stomatären Leitfähigkeit (50 mM NaCl).....	16
Abbildung 18: Verhältnis der Assimilationsrate zur Transpirationsrate.....	17
Abbildung 19: Verhältnis der Assimilationsrate zur stomatären Leitfähigkeit	18
Abbildung 20: Verhältnis der Transpirationsrate zur stomatären Leitfähigkeit.....	19
Abbildung 21: Versuch der Einflussreduzierung bei den Messungen: Geringere Eintrittsöffnung, Referenzluftschlauch führt in die andere Klimakammer.....	21
Abbildung 22: Ablauf der Gaswechsellmessung am Messtag 1 und 2, die hellgrünen Messpunkte stehen für die Sorte CIP 188002.1, dunkelgrüne Messpunkte für die Sorte CIP 189151.8, und die unterschiedlichen Symbole für die Wiederholungen 1-4.....	A
Abbildung 23: Ablauf der Gaswechsellmessung am Messtag 3 und 4, die hellgrünen Messpunkte stehen für die Sorte CIP 188002.1, dunkelgrüne Messpunkte für die Sorte CIP 189151.8, und die unterschiedlichen Symbole für die Wiederholungen 1-4.....	B
Abbildung 24: Gesamtwasserverlust über Messtage.....	C

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Messablauf Gaswechsel.....	7
---------------------------------------	---

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
°C	Grad Celius
µmol	Mikromol
CIP	Internationales Kartoffel Zentrum in Peru, <i>Centro Internacional de la Papa</i>
Cl ⁻	Chlorid
dS/m	Dezisiemens pro Meter, Maß für Salinität
e	Dampfdruck
E	Sättigungsdampfdruck
FAO	Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen, <i>Food and Agriculture Organisation of the United Nations</i>
kPa	Kilopascal
mM	Millimol
mmol	Millimol
mol	Mol
n	Stichprobenmenge
Na ⁺	Natrium
NaCl	Natriumchlorid
pH	Negativer Potenzexponent der Wasserstoffionenkonzentration
REP	Wiederholung, <i>repetition</i>
VAR	Sorte, <i>variety</i>
VPD	Sättigungsdefizit, <i>vapour pressure deficit</i> :

1 Einführung

1.1 Hintergrund

Der Klimawandel führt zu weltweiten Veränderungen in der Atmosphäre, Biosphäre, Kryosphäre und den Ozeanen. Folgen sind unter anderem eine Erhöhung der Meeresspiegel und der Globaloberflächentemperatur. Zusätzlich nimmt die Häufigkeit und Intensität von Hitzeextremen, Starkniederschlägen und landwirtschaftlichen und ökologischen Dürren in großen Regionen zu (IPCC 2021, S. 6–20). Dadurch treten große Veränderungen und Probleme, wie Bodenversalzung, Trockenheit und Überflutung, in Anbaugebieten weltweit auf (Bates et al. 2008, S. 3). Ein Lösungsansatz könnte hierbei der Anbau von Süßkartoffeln sein. Diese sind ein potenzieller Klimagewinner durch ihre Trockenheitstoleranz und können zukünftig einen großen Beitrag zur Ernährungssicherheit leisten werden (Motsa et al. 2015; Manners und van Etten 2018).

Die Süßkartoffel ist eine zweikeimblättrige, perennierende, krautige Kletterpflanze aus der Familie der *Convolvulaceae*. Sie stammt ursprünglich aus tropischen Gebieten Zentral- und Südamerikas (Lebot 2020, S. 103–114). Aufgrund ihrer Toleranz gegenüber einem weiten Spektrum von edaphischen und klimatischen Bedingungen, kann sie weltweit und bis zu Höhen von 2500 m über dem Meeresspiegel angebaut werden (Lebot 2020, S. 111; Paneque Ramirez o. J.).

Die Süßkartoffel ist eine heliophile Kurztagpflanze. Ihre Blüte wird ab einer Tageslänge von 13.5 Stunden gehemmt. Ab 18 Stunden kommt es zu einer Verminderung des Ertrags. Ihr Temperaturspektrum liegt zwischen 15 und 33°C, wobei die Durchschnittstemperatur nicht unter 20°C fallen sollte. Geringe Nachttemperaturen führen bevorzugt zu einer Wurzelknollenbildung, wobei hohe Tagestemperaturen meist die vegetative Entwicklung fördern. Eine relative Luftfeuchtigkeit von 80% und feuchte Bodenbedingungen fördern ebenfalls die vegetative Entwicklung der Pflanze. Ein maximaler Ertrag kann bei Nachttemperaturen zwischen 15°C bis 20°C und Tagestemperaturen zwischen 25°C bis 30°C erreicht werden (Lebot 2020, S. 148–150; Paneque Ramirez o. J.).

Im Jahre 2019 betrug die weltweite Süßkartoffelproduktion 91.81 Millionen Tonnen auf einer Fläche von 7.77 Millionen Hektar. Dabei ist der Anbau in Asien mit 59.11 Millionen Tonnen, der etwa 64 % des weltweiten Anbaus entspricht, am höchsten, gefolgt von Afrika mit 27.87 Millionen Tonnen (etwa 30% des weltweiten Anbaus). Der größte Einzelproduzent ist China mit etwa 56% der Weltproduktion. (FAOSTAT 2021). Im weltweiten Vergleich der Grundnahrungsmittelnutzpflanzen ist die Süßkartoffel in Bezug auf die Produktionsmenge auf Platz 7 (FAOSTAT 2021; FAO o. J.). In manchen Ländern der Erde, wie Uganda, Rwanda, Burundi oder Papua Neu Guinea ist sie durch ihre Vielseitigkeit und Dürretoleranz das primäre Grundnahrungsmittel und hat somit einen beachtlichen Beitrag zur Ernährungssicherheit in diesen Ländern (Lebot 2020, S. 111). Im Vergleich zu Weizen, Reis oder Maniok kann die annuell angebaute Süßkartoffel mehr essbare Energie pro Hektar und Tag produzieren. Zusätzlich übertrifft sie die meisten Grundnahrungsmittel an Vitaminen, Mineralien, Ballaststoffen und Protein (Motsa et al. 2015). Der für die Ernährung wichtigste Teil der Pflanze

ist die Speicherwurzel, allerdings sind auch die Blätter und Stängel essbar und nahrhaft (Lebot 2020, S. 103–114).

Trotz der Wichtigkeit und den genannten Vorzügen wird die Süßkartoffel als Grundnahrungsmittel immer noch häufig unterschätzt und bekommt von Agrarforschern weltweit bislang nicht ausreichend Aufmerksamkeit (Motsa et al. 2015; Manners und van Etten 2018). Mit dieser Arbeit über die Auswirkungen eines Sättigungsdefizits (VPD) und/oder Salzstresses auf den Gaswechsel unterschiedlichen Blattalters bei Süßkartoffelklonen soll ein Beitrag zum besseren Verständnis des Grundnahrungsmittels, Süßkartoffel, geleistet werden. Es wird erwartet, dass die Blätter mit abnehmendem Blattalter höhere Gaswechsel haben, begründet durch die fortschreitende Seneszenz. Außerdem, dass der Salzeffekt bei zusätzlichen Trockenstress durch das hohe VPD geringer ausfällt, begründet durch Abwehrreaktionen der Pflanze gegenüber dem Trockenstress des VPD und somit auch gegen den osmotisch wirkenden Teil des Salzstresses.

1.2 Stand der Forschung

1.2.1 Gaswechsel

Der Gaswechsel, auch Gasaustausch genannt, findet zwischen dem Blatt und der Atmosphäre statt. Dieser erfolgt gleichzeitig über zwei Wege. Erstens über die Epidermiszelle und die Kutikula und zweitens über die Stomata, welche den Großteil des Austausch kontrolliert (Márquez et al. 2021). Zu den wichtigsten Parameter des Gaswechsels gehören die **Transpiration**, die **Assimilation** und die **stomatäre Leitfähigkeit**. Beispielweise reagiert die Pflanze bei einem kurzzeitigen Trockenstress mit einer Reduktion der stomatären Leitfähigkeit, welche zur Reduzierung der Transpirationsrate, und der Assimilationsrate führt (Munjonji und Ayisi 2021).

Die **Transpiration** ist die Verdunstung unter Einfluss eines biotischen Faktors. Die Transpirationsrate ist größer, je stärker die Windgeschwindigkeit, höher das VPD und mehr Energie und Wasser vorhanden sind (Häckel 2016, S. 94–97).

Die **Assimilation** im Gaswechsel ist die CO-Assimilation, auch Photosynthese genannt (Larcher 2001, S. 91). Bei Süßkartoffelblättern ist das Assimilationsmaximum zwischen 10 und 11 Uhr gefolgt von einem signifikanten Rückgang um 12 Uhr (Lebot 2020, S. 148).

Die **stomatäre Leitfähigkeit** gibt die Spaltöffnung der Stomata und damit den Gasdurchfluss in Zahlen an, je weiter die Stomata geöffnet sind, desto größer ist die stomatäre Leitfähigkeit (Larcher 2001, S. 95).

1.2.2 VPD

Das VPD gibt an wieviel Wasserdampf die Luft noch bis zur Sättigung aufnehmen kann. Somit ist es die Differenz des Dampfdrucks (e) vom Sättigungsdampfdruck (E). Dabei gilt: Ist $E > e$, kommt es zur Verdunstung und ist $E < e$ kommt es zur Kondensation (Häckel 2016, S. 71–73). Daraus ergeben sich folgende Gesetzmäßigkeiten: Ist das Sättigungsdefizit größer null,

kommt es zur Verdunstung. Je größer das Sättigungsdefizit ist, desto größer ist die Verdunstungsrate.

Pflanzen reagieren sehr empfindlich auf Faktoren wie hohes VPD, die potenziell hohe Verdunstung zur Folge haben. Um ihre Transpiration zu vermindern, reagieren sie mit dem Schließen der Stomata. Somit gilt umso höher die potenzielle Verdunstung, je niedriger die Transpiration (Häckel 2016, S. 94–98). Eine hohe Verdunstung führt zu Trockenstress (Larcher 2001, S. 328).

1.2.3 Salzstress

Im Allgemeinen versteht man unter Stress eine Belastung eines Organismus durch Stressoren, die im Organismus eine Stressreaktion auslösen. Diese Belastung kann zu reversiblen Beeinträchtigungen führen. Wird sich nicht an diese Belastung angepasst und/oder wird das Resistenzminimum unterschritten, kommt es zu irreversiblen Beeinträchtigungen oder zum Tod des Organismus (Abbildung 1) (Larcher 2001, S. 282–284).

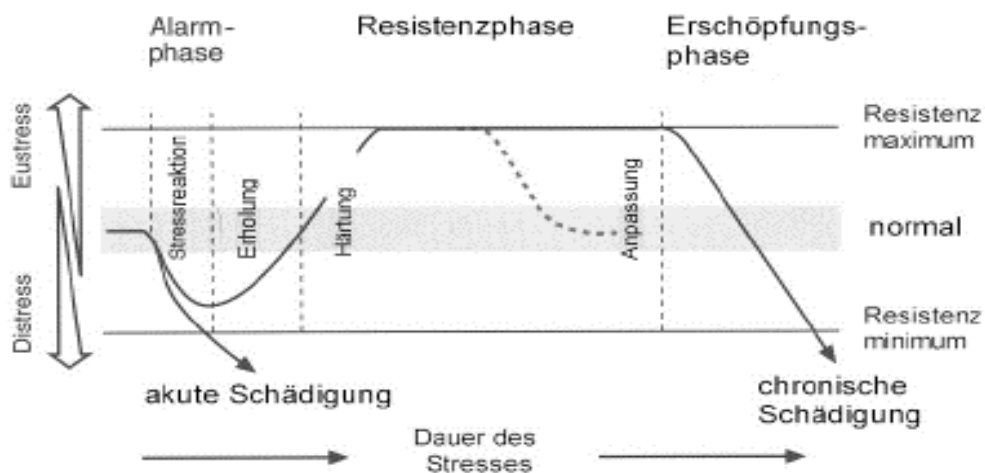


Abbildung 1: Stress-Phasenmodell von Larcher (Larcher 2001, S. 284)

Eine spezielle Art von Stress wird vom Stressor Salz verursacht. Dieser Salzstress entsteht bei einer erhöhten Konzentration von Salzen (NaCl, Carbonate oder Sulfate) im Boden und führt zu Problemen bei der Regulation des osmotischen Drucks und Ionengleichgewichts der Pflanze. Folgen davon sind eine gehemmte Wasseraufnahme durch eine starke osmotische Bindung des Wassers in der Salzlösung. (Larcher 2001, S. 341–343).

Die Belastung durch Salzstress führt zu einer Reduzierung der Blattfläche, der Assimilationsrate, der Transpirationsrate und der stomatären Leitfähigkeit der Blätter. Zusätzlich findet eine Beschleunigung der Seneszenz, sowie eine Hemmung der ATP-Synthese und des Sprosswachstums statt (Sharma 1996; Sharma et al. 2005; Schubert 2011). Wenn bei Süßkartoffeln eine Salinität von 8 dS/m überschritten wird, muss mit Ertragseinbußen von über 50% gerechnet werden (Amim et al. 2011, zitiert nach Begum et al. 2015).

Einführung

Gründe für eine Versalzung des Bodens sind unter anderem salzhaltige Gewässer, durch Überschwemmungen oder Aerosoltransport per Wind, sowie eine fehlerhafte Bewässerung oder eine erhöhte Evaporation (Larcher 2001, S. 341). Manche dieser Faktoren werden durch den Klimawandel stark begünstigt. Beispielsweise wird durch den Anstieg des Meeresspiegels eine Versalzung der Küstenregionen begünstigt, welche große Probleme für die Umwelt, die Landwirtschaft aber auch für den Anbau von Süßkartoffeln bedeuten (Haque 2006; Dasgupta et al. 2015).

2 Material und Methoden

2.1 Versuchsaufbau

Für den Versuch wurden zwei Sorten mit unterschiedlicher Sensitivität auf Salz gewählt. Die CIP 188002.1 als salztolerantere Sorte und CIP 189151.8 als salzempfindlichere Sorte. Beide stammen aus dem Internationalen Kartoffel Zentrum in Peru, kurz CIP (*Centro Internacional de la Papa*). Von jeder Sorte wurden 16 Versuchspflanzen per Stecklingsvermehrung gezüchtet und in Hydroponik-Töpfe mit einer Nährlösung aus 50% deionisiertem Wasser und 50% Yoshida-Nährlösung (Yoshida et al. 1976) eingesetzt.

Die Hydroponik-Töpfe waren ein Liter fassende Töpfe, mit einer Aluminiumfolienummantelung, zwecks Hemmung des Algenwachses per Abdunklung der Nährlösung, und einem Deckel mit Schaumstopfen zur Stabilisierung der Pflanze und einem Loch für die Belüftungsschläuche (siehe Abbildung 2). Abbildung noch mit Stabilisierungsgitter, welche im späteren Verlauf des Versuchs entfernt wurden. Die Töpfe wurden im Viertelstundentakt zur Sauerstoffversorgung per Pumpe belüftet, eine Pumpe versorgte hierbei 16 Töpfe.



Abbildung 2: Hydroponik Topf mit Aluminiumfolienummantelung, Deckel mit Schaumstopfen und Belüftungsschlauch.

Abbildung 3: Aufbau im Klimaschrank

Die Hydroponik-Töpfe befanden sich zu je 16 Stück in zwei Klimaschränken (Percival Scientific Inc., USA). Der Klimaschrank war auf einen zwölfstündigen Tagmodus von 7:00 bis 19:00 Uhr bei konstanter Temperatur von 28°C und Beleuchtung und einem zwölfstündigen Nachtmodus von 19:00 bis 7:00 Uhr bei konstanter Temperatur von 20°C eingerichtet. Eine Klimakammer war auf eine relative Luftfeuchtigkeit von ungefähr 80 % (bei 28°C = 0.76 kPa: Klimakammer niedriges VPD) und die andere auf eine relative Luftfeuchtigkeit von ungefähr 40 % (bei 28°C = 2.27 kPa: Klimakammer hohes VPD) eingestellt.

Ab Start wurde täglich die Pflanze gewogen und auf das Gewicht des Vortags mit deionisiertem Wasser wieder aufgefüllt. Nach einer 14-tägigen Aufzucht wurde auf 100 % Yoshida-Nährlösung umgestellt, die Nährlösung wurde von da an alle vier Tage gewechselt. Die zwei letzten Tage vor einem Nährlösungswechsel wurde der pH-Wert überprüft und gegebenenfalls auf das Optimum von einem pH-Wert von 5.6 mithilfe von einmolarer Natronlauge angepasst. Ab dem 20. Tag erhielten je vier Pflanzen einer Sorte in einem Klimaschrank eine Nährlösung mit 50 mM NaCl, während die restlichen vier einer Sorte als Kontrollgruppe eine Nährlösung ohne Natriumchlorid (0 mM NaCl) erhielten.

Material und Methoden

Der Versuchsstandort war ein Labor des Instituts für Tropische Agrarwissenschaften (Hans-Ruthenberg-Institut) der Universität Hohenheim in Stuttgart, Deutschland.

An den Pflanzen wurde gleichzeitig ein weiterer Versuch durchgeführt.

Das Versuchslayout bestand aus vier echten Wiederholungen, aber ohne Randomisation (siehe Abbildung 4).

Klimakammer: niedriges VPD

CIP 188002.1			CIP 189151.8		
a	b	b	a	b	b
a	b	b	a	b	b
a	a	c	a	a	c

a = 0 mM NaCl; b = 50 mM NaCl; c = Kontrolltopf ohne Pflanze

Klimakammer: hohes VPD

CIP 188002.1			CIP 189151.8		
a	b	b	a	b	b
a	b	b	a	b	b
a	a	c	a	a	c

a = 0 mM NaCl; b = 50 mM NaCl; c = Kontrolltopf ohne Pflanze

Abbildung 4: Versuchslayout

2.2 Messung

2.2.1 Gesamtwasserverlust und Blattfläche

Zur Messung des Gesamtwasserverlusts der Einzelpflanze wurde die Gesamtpflanze mit Belüftungsschlauch gewogen. Die spätere Entfernung des Stabilisierungsgitters wurde herausgerechnet. Gewogen wurde jeden Tag (siehe Abbildung 5).

Mithilfe der App „Leaf Area Light“ wurden die Blattflächen gemessen, um zu erfahren, welche Blätter ausgewachsen sind, damit bei diesen die Gaswechsellmessung durchgeführt werden konnte. Dabei wurde ein genormtes rotes Quadrat als Berechnungsparameter benutzt (siehe Abbildung 6).

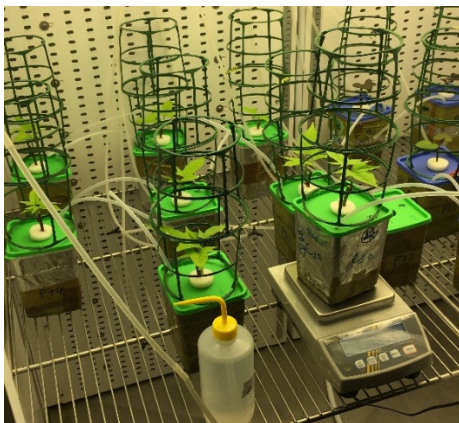


Abbildung 5: Wiegen des Gesamtwasserverlustes

Abbildung 6: Blattflächenmessung mithilfe der „Leaf Area Light“ App

2.2.2 Gaswechsel

Zur Messung der Gaswechselfparameter Transpirationsrate, Assimilationsrate und stomatären Leitfähigkeit wurde der LCI-SD (ADC BioScientific Ltd., UK) benutzt.

Wegen hoher CO₂-Werte im Labor, die beim Messen in die Klimakammer einströmten, wurde der Referenzluftschlauch des LCI-SD in die andere Klimakammer überführt.

Gemessen wurde vom 25 bis 34 Versuchstag, dabei konnte aus zeitlichen Gründen nur eine Klimakammer pro Tag gemessen werden. Deswegen wurde ein Messtag als zwei Versuchstage definiert und somit wurde die gleiche Anzahl an ausgewachsenen Blättern gemessen (siehe Tabelle 1). Die Reihenfolge der Messungen an den Blättern richtet sich an ihre Erscheinungsreihenfolge (Blattalter) (siehe Abbildung 7).

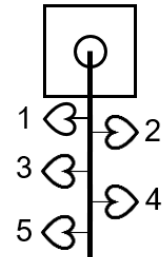


Abbildung 7:
Blattnummerierung

Tabelle 1: Messablauf Gaswechsel

Versuchstag	Messtag	Klimakammer	Blätter
25	1	hohes VPD	1 bis 4
26	1	niedriges VPD	1 bis 4
27	2	hohes VPD	1 bis 6
28	2	niedriges VPD	1 bis 6
29	3	hohes VPD	1 bis 8
30	3	niedriges VPD	1 bis 8
31	4	hohes VPD	1 bis 10
32	4	niedriges VPD	1 bis 10
33	5	hohes VPD	1 bis 11
34	5	niedriges VPD	1 bis 11

Die Messungen erstrecken sich über den ganzen Tag von 9:00 Uhr bis maximal 18:00 Uhr. Dabei wurde in der Regel die Wiederholungen (REP) drei und vier der Sorte (VAR) 188002.1 vormittags und die Wiederholungen eins und zwei nachmittags gemessen. Die Wiederholungen der Sorte 189151.8 wurden dazwischen am Mittag gemessen, Ausnahmen: an Tag fünf bei 50 mM NaCl wurden Wiederholungen der Sorte 189151.8 abends gemessen. Und bei den Messungen der CIP 188002.1 bei 0 mM NaCl bei hohem VPD, wurden die Wiederholungen zwei und vier morgens und eins und drei nachmittags gemessen (siehe Abbildung 8, und Anhang Abbildung 22 und 23).

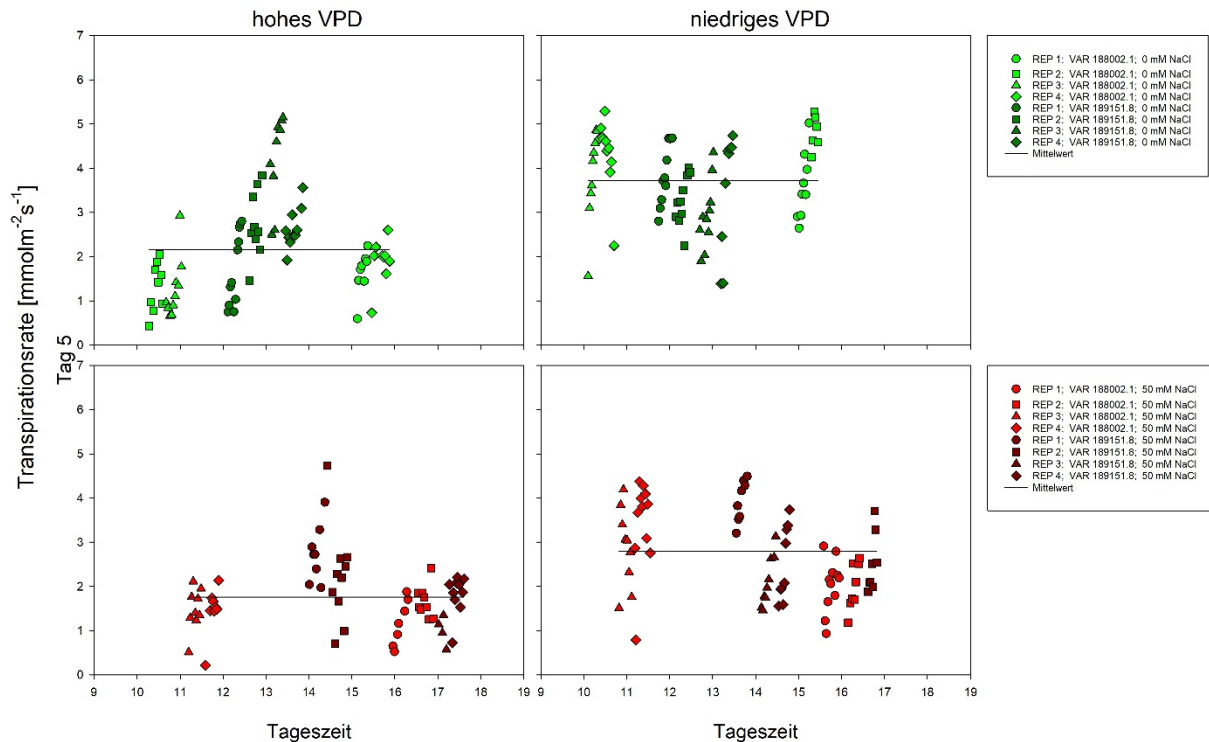


Abbildung 8: Ablauf der Gaswechsellmessung am Messtag 5, die hellgrünen Messpunkte stehen für die Sorte CIP 188002.1, dunkelgrüne Messpunkte für die Sorte CIP 189151.8, und die unterschiedlichen Symbole für die Wiederholungen 1-4

2.3 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung aller Daten erfolgte mit den Programmen Microsoft Excel, Version Microsoft 365 (Microsoft Corporation, USA), und SigmaPlot 12.5 (Systat Software Inc., UK).

Für die Messungen wurde durch die Anzahl von vier Wiederholungen eine Stichprobenmenge $n = 4$ festgelegt. Diese konnte aber durch Beschädigungen an den Blättern beim Messen, Blattabwurf und Nichtausbildung von Blättern nicht für alle Messungen sichergestellt werden.

Alle Blätter waren bei der Salzinduktion noch nicht ausgewachsen.

Die Berechnung des Salzeffekts: Einzelwerte (50 mM NaCl)/Mittelwerte (0 mM NaCl)*100.

2.4 Literaturrecherche

Die Literaturrecherche erfolgte über Google Scholar (Google LLC, USA) und HohSearch (Universität Hohenheim, Deutschland), die Suche erfolgte über Schlagwörter wie „Süßkartoffel“, „Gaswechsel“, „VPD“, „Salinität“, „Stomatäre Leitfähigkeit“ und „Salzstress“. Des Weiteren wurden die Literaturverzeichnisse passender Fachliteratur auf weitere relevante Quellen überprüft.

3 Ergebnisse

3.1 Transpiration

Bei CIP 188002.1 stieg die Transpirationsrate der einzelnen Blätter mit abnehmendem Blattalter unter hohem VPD (Abbildung 9). Bei niedrigem VPD sank diese aber wieder am Messtag vier ab Blatt acht (0 und 50 mM NaCl) und am Messtag fünf ab Blatt neun (0 mM NaCl) und Blatt sieben (50 mM NaCl) ab. Die Transpirationsraten veränderten sich mit der fortschreitenden Blattalterung über die Messtage unterschiedlich, unter hohem VPD sank sie bei allen Blättern, während sie bei niedrigem VPD von Tag eins bis Tag vier sanken, stiegen sie an Tag fünf wieder an. Der Salzeffekt, auf die Transpirationsrate im Vergleich zur Transpirationsrate der Kontrollpflanzen, bei hohem VPD lag am Messtag eins im negativen Bereich, am Messtag zwei war er positiv, am Messtag vier, fünf und sechs schwankte er zwischen positivem und negativem Effekt auf die Transpirationsraten der Blätter (Abbildung 10). Bei niedrigem VPD schwankte der Salzeffekt am Messtag eins und drei zwischen positiven und negativen Effekten, bei Messtag zwei, vier und fünf waren die Salzeffekte negativ. Bei hohem VPD gab es aber keine signifikanten Unterschiede ($\alpha < 0.05$) bei den einzelnen Blättern, anders bei niedrigem VPD, dort gab es am Messtag eins Blatt vier einen signifikant positiven Effekt durch Salz auf die Transpirationsrate. Am Messtag fünf gab es signifikante negative Effekte durch Salz bei Blatt zwei, sieben, acht und neun (Abbildung 9). Signifikante Unterschiede der Salzeffekte zwischen hohem und niedrigem VPD gab es am Messtag eins Blatt vier und Messtag fünf Blatt sieben und neun (Abbildung 10). Beim Verhältnis zwischen der Transpirationsrate unter Salzeinfluss und Kontrolle, war bei hohem VPD das Verhältnis ausgeglichen, während bei niedrigem VPD deutlicher mehr unter 0 mM NaCl als unter 50 mM NaCl transpiert wurde (Abbildung 11).

Bei CIP 189151.8 stieg die Transpirationsrate der einzelnen Blätter mit abnehmendem Blattalter unter hohem wie niedrigem VPD (Abbildung 9). Die Transpirationsraten veränderten sich mit der fortschreitenden Blattalterung über die Messtage unterschiedlich, meist schwankten sie über die Messtage mit Zu- und Abnahmen. Der Salzeffekt bei hohem VPD lag über die Messtage im negativen Bereich, mit Ausnahmen am Messtag eins und vier, wo es vereinzelte positive Effekte des Salzes auf die Transpirationsrate gegeben hat (Abbildung 10). Bei niedrigem VPD hatte der Salzeffekt durchgehend negative Auswirkungen, nur am Messtag zwei, drei und fünf hatte Blatt drei positive Salzeffekte. Signifikante Unterschiede zwischen Salz und Kontrolle gab es bei hohem VPD am Messtag zwei Blatt fünf mit einem signifikant negativen Salzeffekt. Bei niedrigem VPD am Messtag eins Blatt zwei, am Messtag drei Blatt sechs und am Messtag vier Blatt acht mit signifikant negativen Salzeffekten und am Messtag drei Blatt acht sogar einen hoch signifikanten ($\alpha < 0.01$) negativen Salzeffekt (Abbildung 9). Signifikante Unterschiede der Salzeffekte zwischen hohem und niedrigem VPD gab es keine (Abbildung 10). Beim Verhältnis zwischen der Transpirationsrate unter Salzeinfluss und Kontrolle, wurde bei hohem wie niedrigem VPD bei den Kontrollpflanzen (0 mM NaCl) deutlich mehr transpiert (Abbildung 11).

Ergebnisse

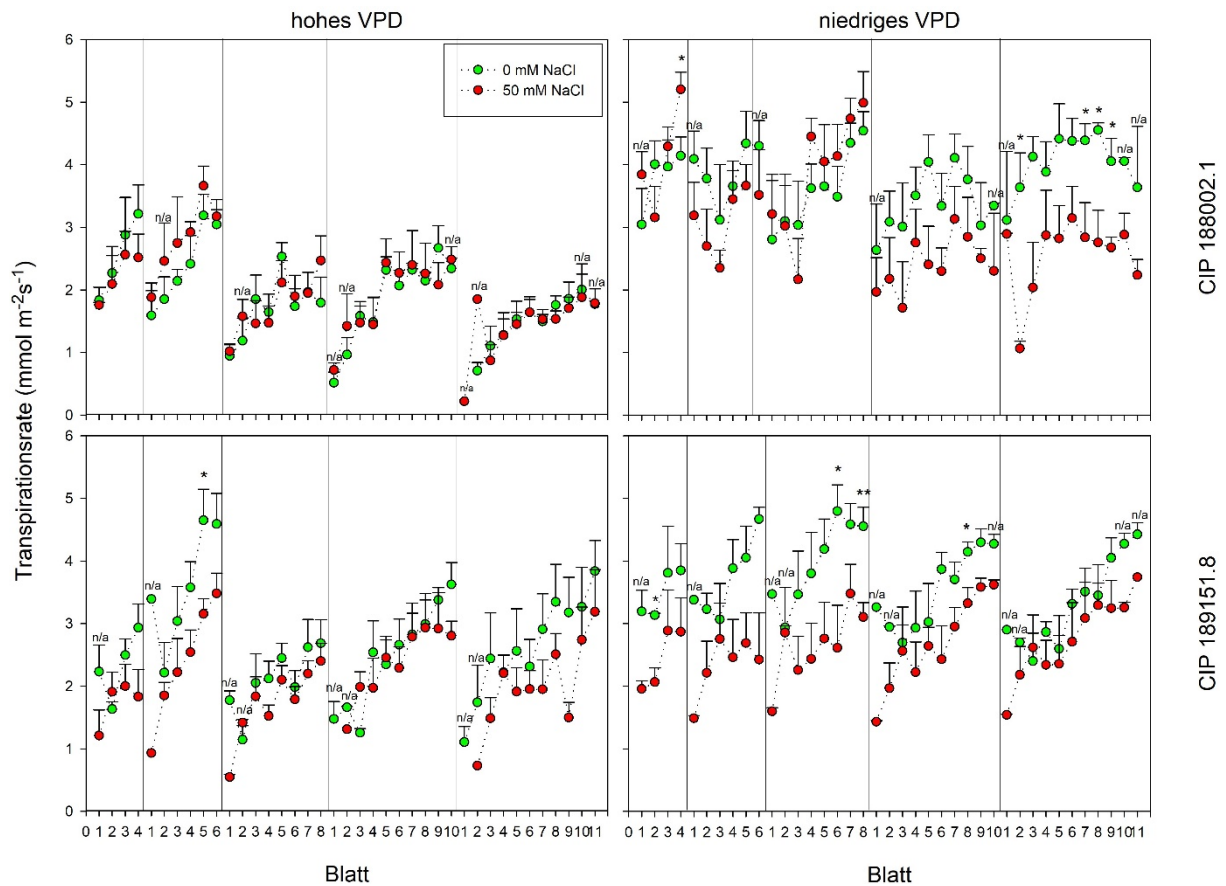


Abbildung 9: Auswirkungen von Salzstress und VPD auf die Transpirationsrate von unterschiedlich alten Süßkartoffelblättern der Sorte CIP 188002.1 und CIP 189151.8

Dargestellt sind Mittelwerte $\pm$ Standardfehler; Zweiseitiger F-Test; Zweiseitiger T-Test ($\alpha=0.05$)
 * signifikante Unterschiede in einer konstanten Behandlung am selben Tag ($\alpha=0.05$)
 ** hoch signifikante Unterschiede in einer konstanten Behandlung am selben Tag ($\alpha=0.01$)
 n/a = statistisch nicht auswertbar, da $n < 3$

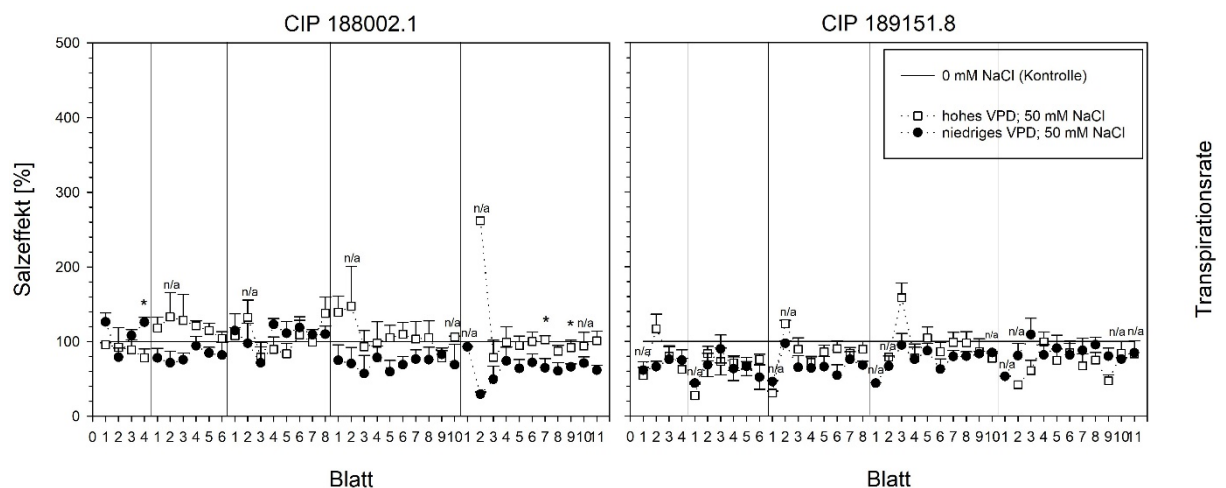


Abbildung 10: Salzeffekt auf die Transpirationsrate bei Süßkartoffelblättern unterschiedlichen Alters der Sorte CIP 188002.1 und CIP 189151.8.

Dargestellt sind Mittelwerte $\pm$ Standardfehler; Zweiseitiger F-Test; Zweiseitiger T-Test ($\alpha=0.05$)
 * signifikante Unterschiede in einer konstanten Behandlung am selben Tag ($\alpha=0.05$)
 ** hoch signifikante Unterschiede in einer konstanten Behandlung am selben Tag ($\alpha=0.01$)
 n/a = statistisch nicht auswertbar, da $n < 3$

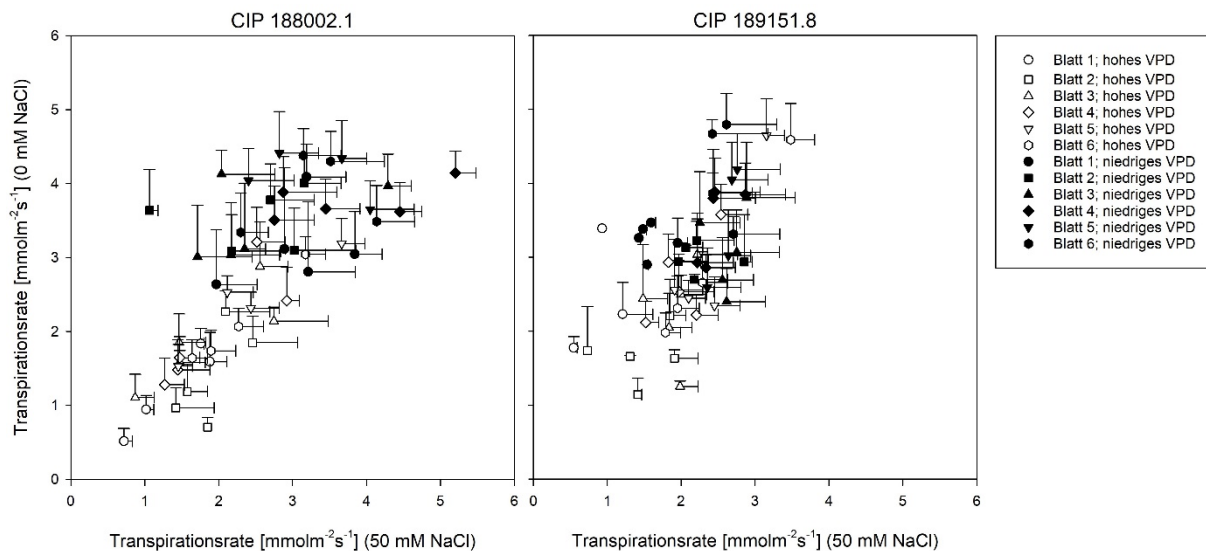


Abbildung 11: Verhältnis der Transpirationsrate (0 mM NaCl) zur Transpirationsrate (50 mM NaCl)

3.2 Assimilationsrate

Bei CIP 188002.1 stieg die Assimilationsrate der einzelnen Blätter mit abnehmendem Blattalter unter hohem VPD (Abbildung 12). Bei niedrigem VPD sank diese aber wieder am Messtag vier ab Blatt acht (0 mM NaCl) und Blatt neun (50 mM NaCl) und am Messtag fünf ab Blatt neun (0 mM NaCl) und Blatt acht (50 mM NaCl) ab. Die Assimilationsraten veränderten sich mit der fortschreitenden Blattalterung über die Messtage, unter hohem VPD und niedrigem VPD sank sie durchgehend mit Ausnahme am Messtag vier bei allen Blättern. Der Salzeffekt auf die Assimilationsrate lag bei hohem VPD am Messtag eins im negativen Bereich, während sie an den Messtagen zwei bis fünf auch mal im positiven Bereich lag (Abbildung 13). Bei niedrigem VPD war der Salzeffekt bis auf bei Blatt eins und vier an allen Messtagen, Blatt vier am Messtag eins und Blatt drei am Messtag zwei im negativen Bereich. Bei hohem VPD gab es aber keine signifikanten Unterschiede des Salzeffektes auf die Assimilationsraten der einzelnen Blätter, anders bei niedrigem VPD, dort gab es am Messtag eins Blatt vier einen signifikanten positiven Effekt durch Salz auf die Assimilationsrate (Abbildung 12). Am Messtag vier gab es einen signifikanten negativen Einfluss des Salzes bei Blatt 7 und einen hoch signifikanten bei Blatt fünf. Am Messtag fünf gab es signifikante negative Einflüsse bei Blatt zwei, acht und neun. Signifikante Unterschiede der Salzeffekte zwischen hohem und niedrigem VPD gab es am Messtag fünf Blatt sechs und acht (Abbildung 13). Beim Verhältnis zwischen der Assimilationsrate unter Salzeinfluss und Kontrolle, war bei hohem VPD das Verhältnis ausgeglichen, während bei niedrigem VPD die Assimilationsrate bei den Kontrollpflanzen höher war (Abbildung 14).

Ergebnisse

Bei CIP 189151.8 stieg die Assimilationsrate der einzelnen Blätter mit abnehmendem Blattalter unter hohem wie niedrigem VPD (Abbildung 12). Die Assimilationsrate veränderten sich mit der fortschreitenden Blattalterung über die Messtage, in der Regel sank die Assimilationsrate sowohl bei niedrigem als auch hohem VPD ab, vereinzelt steigt die Assimilationsrate kurzfristig zu einem Messzeitpunkt. Der Salzeffekt war über die Messtage meist negativ auf die Assimilationsrate (Abbildung 13). Ausnahme war Blatt drei über die Messtage zwei bis fünf, dort war der Salzeffekt positiv. Die Assimilationsrate zwischen Salz und Kontrolle waren meist nicht signifikant, außer bei hohem VPD am Messtag zwei Blatt fünf und am Messtag fünf Blatt neun, da gab es hoch signifikant negative Salzeffekte (Abbildung 12). Bei niedrigem VPD gab es am Messtag eins Blatt zwei, am Messtag drei Blatt fünf und sechs und am Messtag vier Blatt sechs und acht signifikante negative Salzeffekte, beziehungsweise am Messtag drei Blatt acht einen hoch signifikanten negativen Salzeffekt. Der Salzeffekt zwischen hohem und niedrigem VPD war nur am Messtag drei Blatt acht und am Messtag fünf Blatt neun signifikant und am Messtag eins Blatt zwei hoch signifikant, sonst nicht signifikant (Abbildung 13). Unter Salzstress war eine leichte Abnahme der Assimilationsrate erkennbar (Abbildung 14).

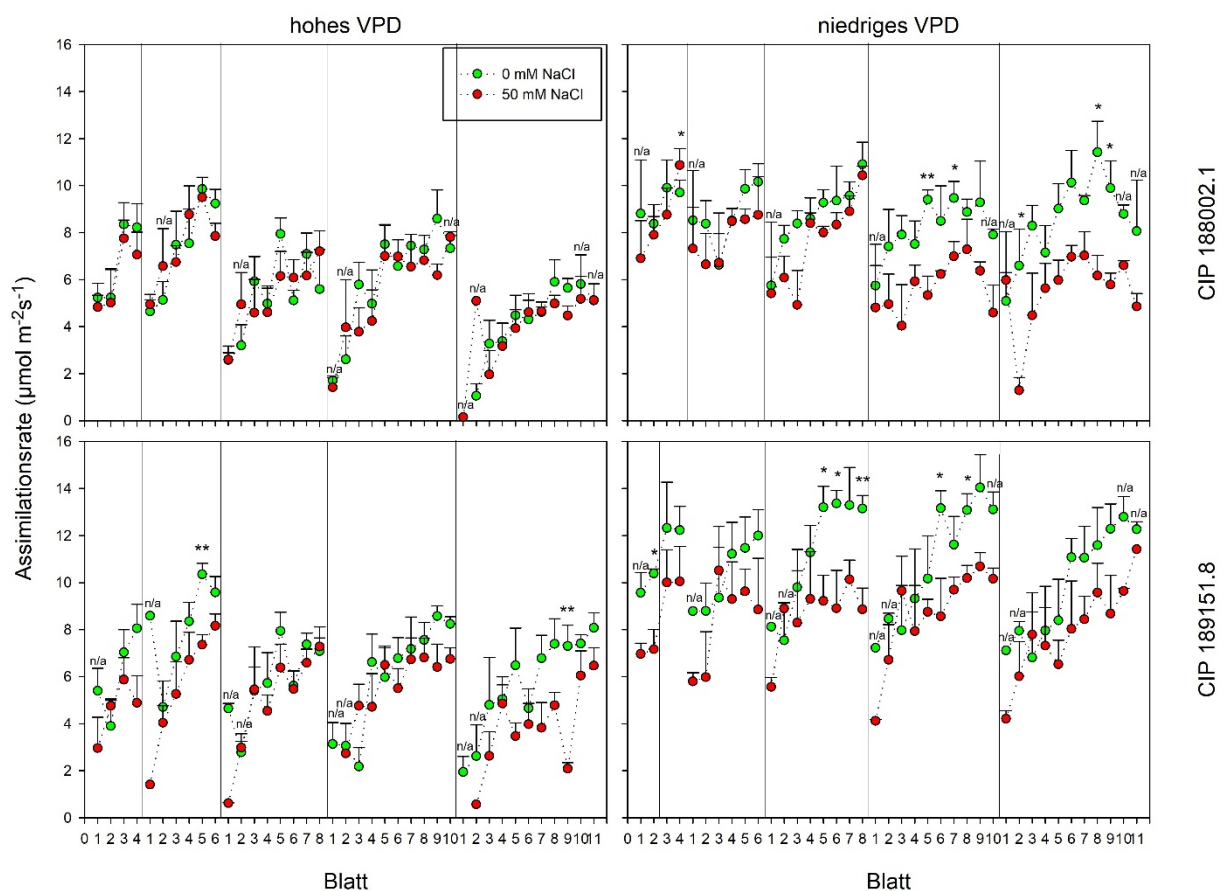


Abbildung 12: Auswirkungen von Salzstress und VPD auf die Assimilationsrate von unterschiedlich alten Süßkartoffelblättern der Sorte CIP 188002.1 und CIP 189151.8

Dargestellt sind Mittelwerte $\pm$ Standardfehler; Zweiseitiger F-Test; Zweiseitiger T-Test ($\alpha=0.05$)
 * signifikante Unterschiede in einer konstanten Behandlung am selben Tag ($\alpha=0.05$)
 ** hoch signifikante Unterschiede in einer konstanten Behandlung am selben Tag ($\alpha=0.01$)
 n/a = statistisch nicht auswertbar, da $n < 3$

Ergebnisse

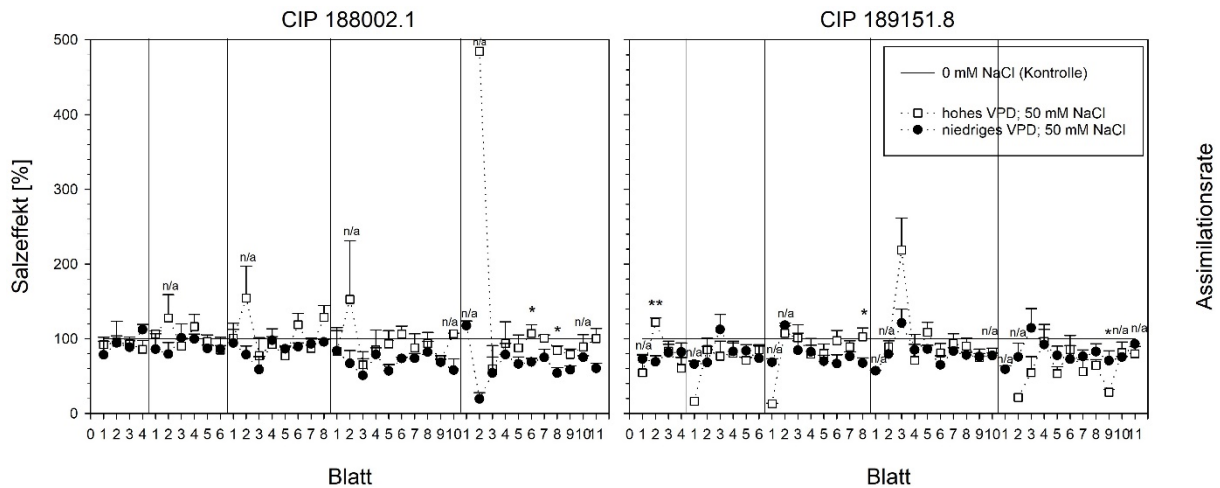


Abbildung 13: Salzeffekt in Prozent auf die Assimilationsrate bei Süßkartoffelblättern unterschiedlichen Alters der Sorte CIP 188002.1 und CIP 189151.8.

Dargestellt sind Mittelwerte $\pm$ Standardfehler; Zweiseitiger F-Test; Zweiseitiger T-Test ($\alpha=0.05$)

* signifikante Unterschiede in einer konstanten Behandlung am selben Tag ($\alpha=0.05$)

** hoch signifikante Unterschiede in einer konstanten Behandlung am selben Tag ($\alpha=0.01$)

n/a = statistisch nicht auswertbar, da $n < 3$

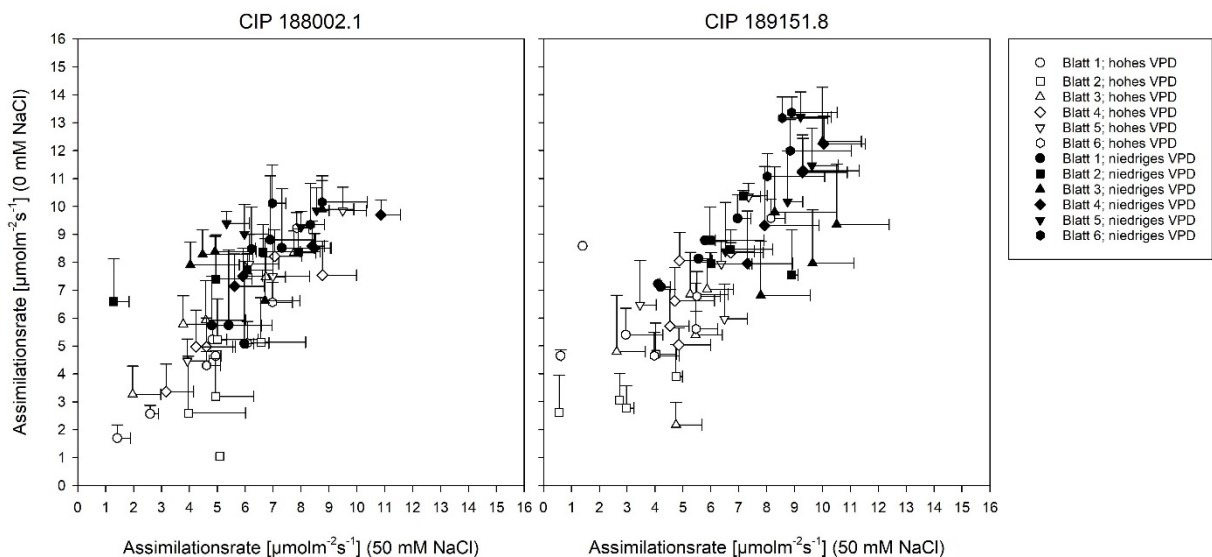


Abbildung 14: Verhältnis der Assimilationsrate (0 mM NaCl) zur Assimilationsrate (50 mM NaCl)

3.3 Stomatäre Leitfähigkeit

Bei CIP 188002.1 stieg die stomatäre Leitfähigkeit der einzelnen Blätter mit abnehmendem Blattalter unter hohem VPD (Abbildung 15). Bei niedrigem VPD sank diese aber wieder am Messtag vier ab Blatt sechs (0 mM NaCl) und Blatt acht (50 mM NaCl) und am Messtag fünf Blatt sechs (0 mM NaCl) und Blatt sieben (50 mM NaCl) ab. Die stomatäre Leitfähigkeit veränderte sich mit der fortschreitenden Blattalterung über die Messtage, unter hohem VPD und niedrigem VPD sank sie bei allen Blättern. Der Salzeffekt bei hohem VPD war an den Messtagen eins, drei und fünf durchschnittlich negativ, während am Messtag zwei durchschnittlich positiv war und am Messtag drei schwankte er zwischen positiv und negativ (Abbildung 16.) Signifikante Unterschiede der stomatären Leitfähigkeit bei hohem VPD zwischen salzgestressten Pflanzen und den Kontrollpflanzen gab es nicht, bei niedrigem VPD gab es hingegen am Messtag eins für Blatt zwei, am Messtag zwei für Blatt zwei, am Messtag drei für Blatt drei und sieben, am Messtag vier für Blatt zwei, drei und sechs und Messtag fünf für Blatt drei, vier, sieben und acht signifikante Unterschiede, somit einen signifikanten negativen Salzeffekt. Am Messtag vier für Blatt vier und fünf und am Messtag fünf für Blatt fünf und sechs einen hoch signifikanten negativen Salzeffekt (Abbildung 15). Die Salzeffekte zwischen hohem und negativem VPD war an den Messtagen eins Blatt eins, Messtag vier Blatt fünf und Messtag fünf Blatt sieben und acht hoch signifikant und an den Messtagen zwei Blatt eins und fünf, drei für Blatt eins, vier für Blatt eins und sechs und fünf für Blatt fünf, sechs und neun signifikant unterschiedlich (Abbildung 16). Unter Salzstress ist eine erkennbare Abnahme der stomatären Leitfähigkeit zu beobachten (Abbildung 17). Wobei es bei CIP 188002.1 deutlicher zu erkennen ist als bei CIP 189151.8.

Bei CIP 189151.8 stieg die stomatäre Leitfähigkeit der einzelnen Blätter mit abnehmendem Blattalter unter hohem VPD und niedrigem VPD (Abbildung 15). Die stomatäre Leitfähigkeit veränderte sich mit der fortschreitenden Blattalterung über die Messtage, unter hohem VPD und niedrigem VPD sanken sie bei allen Blättern, gelegentlich stieg sie bei einem Messpunkt an, sank danach aber wieder. Der Salzeffekt bei hohem wie auch bei niedrigem VPD war durchschnittlich an allen Messtagen negativ, außer bei hohem VPD bei Blatt zwei am ersten Messtag und Blatt drei am vierten Messtag (Abbildung 16) und bei niedrigem VPD bei Blatt drei am zweiten, vierten und fünften Messtag ist der Salzeffekt positiv. Signifikante Unterschiede der stomatären Leitfähigkeit bei hohem VPD zwischen salzgestressten Pflanzen und den Kontrollpflanzen gab es nur am Messtag zwei, Blatt vier, negativer Salzeffekt (Abbildung 15). Hoch signifikante Unterschiede gab es nur am Messtag drei Blatt acht und am Messtag vier Blatt neun, negativer Salzeffekt. Sonst waren weder bei niedrigem noch hohem VPD die Unterschiede signifikant. Bei dem Salzeffekt zwischen den VPDs gab es keine signifikanten Unterschiede (Abbildung 16). Unter Salzstress war eine erkennbare Abnahme der stomatären Leitfähigkeit zu beobachten (Abbildung 17).

Ergebnisse

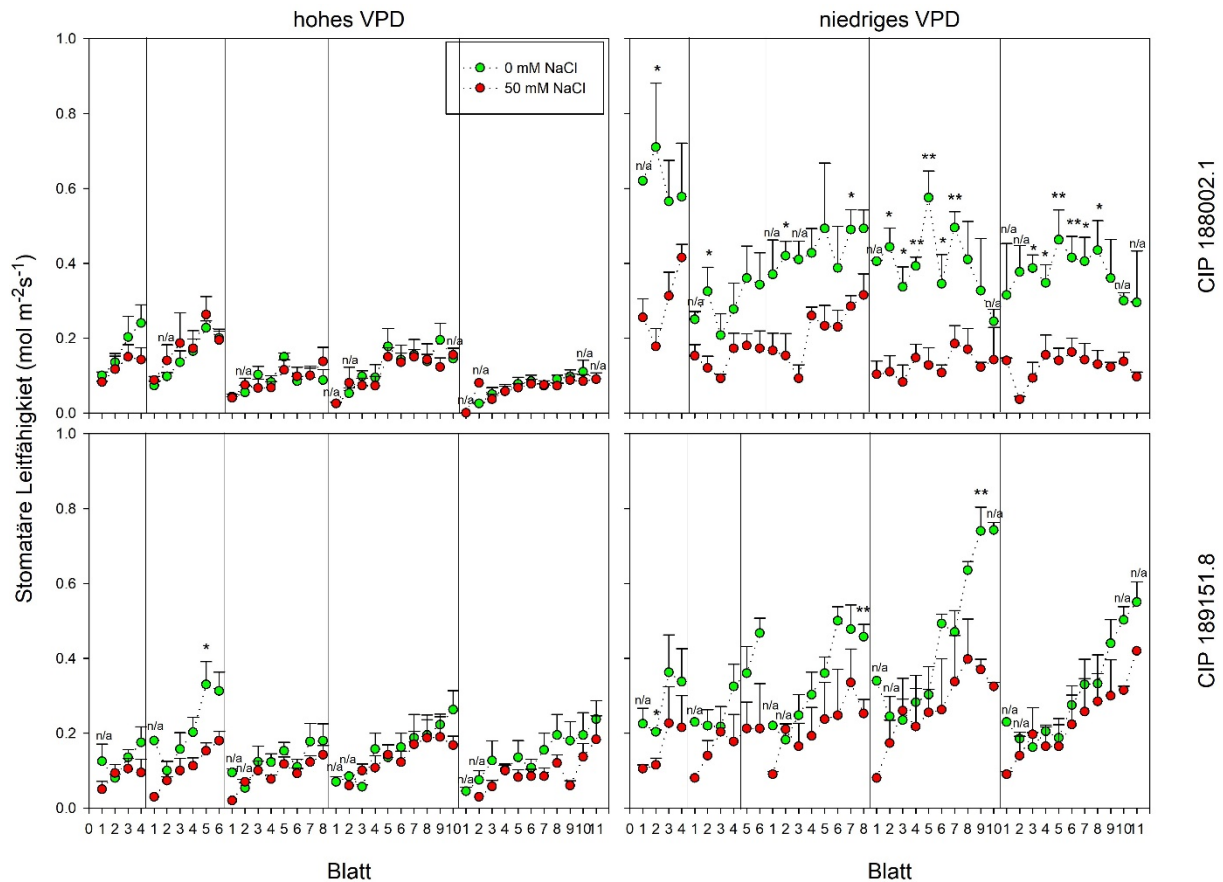


Abbildung 15: Auswirkungen von Salzstress und VPD auf die stomatäre Leitfähigkeit von unterschiedlich alten Süßkartoffelblättern der Sorte CIP 188002.1 und CIP 189151.8

Dargestellt sind Mittelwerte $\pm$ Standardfehler; Zweiseitiger F-Test; Zweiseitiger T-Test ($\alpha=0.05$)
 * signifikante Unterschiede in einer konstanten Behandlung am selben Tag ($\alpha=0.05$)
 ** hoch signifikante Unterschiede in einer konstanten Behandlung am selben Tag ($\alpha=0.01$)
 n/a = statistisch nicht auswertbar, da $n < 3$

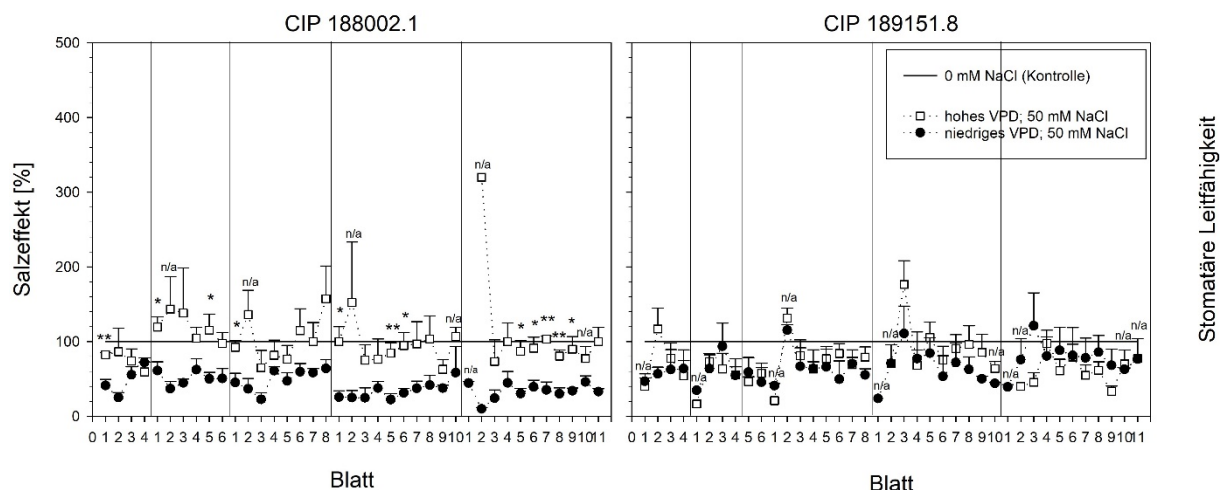


Abbildung 16: Salzeffekt auf die stomatäre Leitfähigkeit bei Süßkartoffelblättern unterschiedlichen Alters der Sorte CIP 188002.1 und CIP 189151.8.

Dargestellt sind Mittelwerte $\pm$ Standardfehler; Zweiseitiger F-Test; Zweiseitiger T-Test ($\alpha=0.05$)
 * signifikante Unterschiede in einer konstanten Behandlung am selben Tag ($\alpha=0.05$)
 ** hoch signifikante Unterschiede in einer konstanten Behandlung am selben Tag ($\alpha=0.01$)
 n/a = statistisch nicht auswertbar, da $n < 3$

Ergebnisse

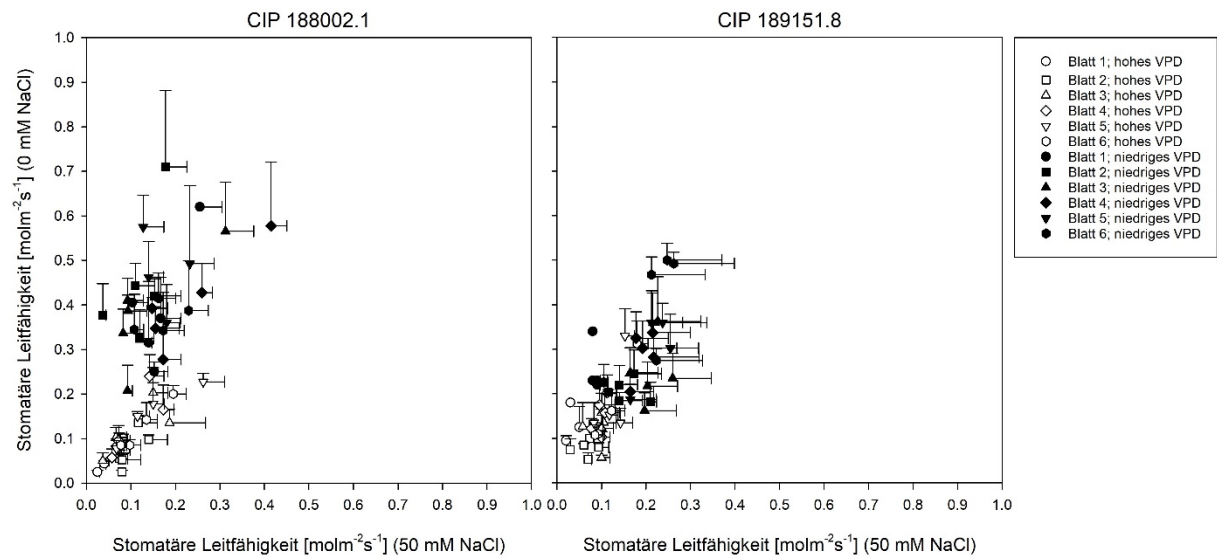


Abbildung 17: Verhältnis der stomatären Leitfähigkeit (0 mM NaCl) zur stomatären Leitfähigkeit (50 mM NaCl)

3.4 Assimilation-Transpiration-Verhältnis:

Beim Verhältnis zwischen der Assimilations- und der Transpirationsrate bei 0 mM NaCl war bei CIP 188002.1 und bei CIP 189151.8 bei hohem VPD keine Unterschiede erkennbar (Abbildung 18). Bei CIP 188002.1 bei niedrigem VPD verschob sich das Verhältnis Richtung geringere Assimilationsrate pro Transpirationsrate, während bei CIP 189151.8 bei niedrigem VPD keine Veränderung des Verhältnisses erkennbar war.

Bei 50 mM NaCl waren bei CIP 188002.1 und CIP 189151.8 bei hohem VPD ausgeglichene Verhältnisse erkennbar. Bei niedrigem VPD verschob sich das Verhältnis bei CIP 188002.1 zu Gunsten der Transpiration und bei CIP 189151.8 zu Gunsten der Assimilation.

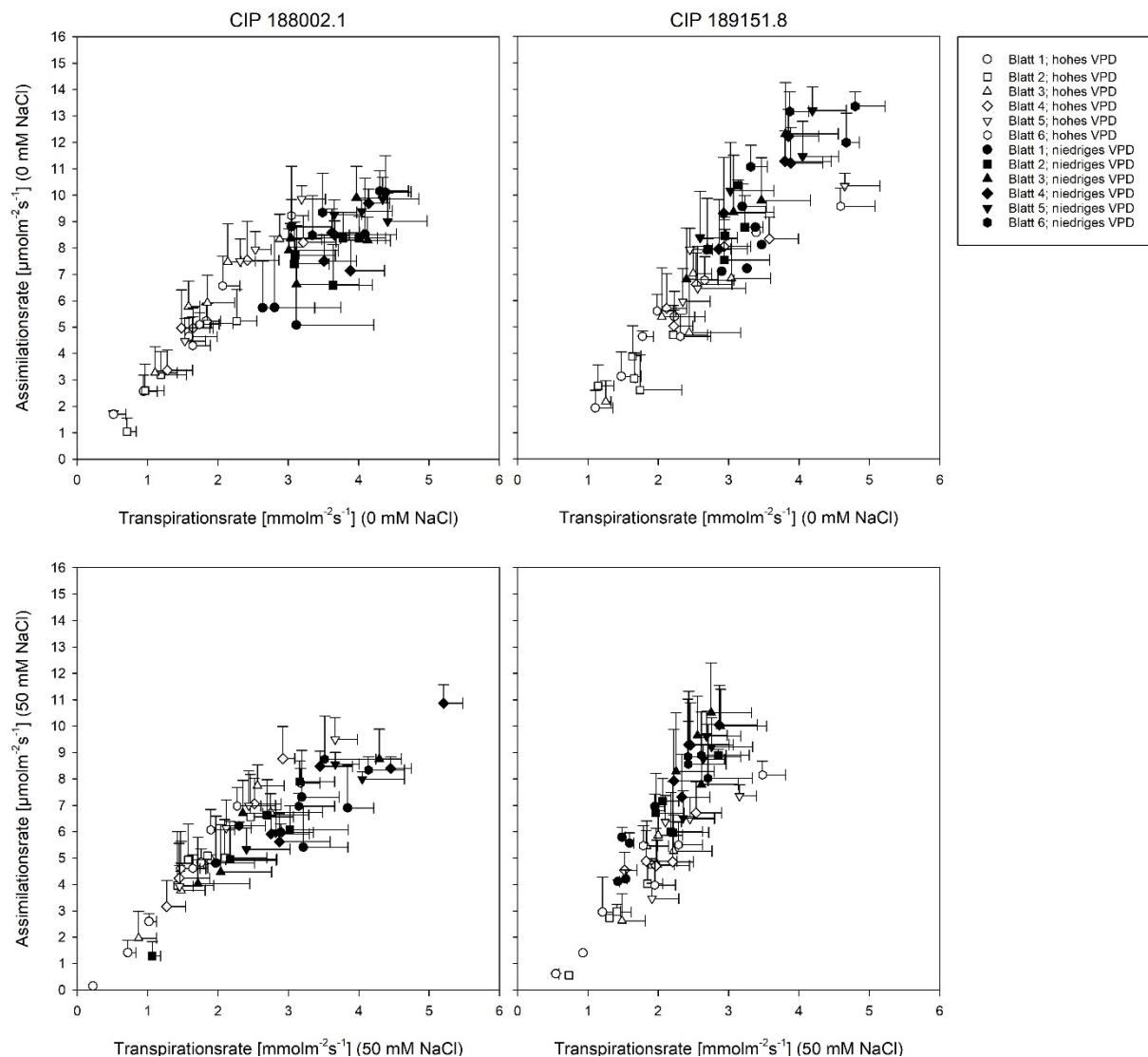


Abbildung 18: Verhältnis der Assimilationsrate zur Transpirationsrate

3.5 Assimilation-stomatäre Leitfähigkeit-Verhältnis

Bei 0 mM NaCl war das Verhältnis zwischen der Assimilationsrate und stomatären Leitfähigkeit bei CIP 188002.1 und bei CIP 189151.8 bei hohem VPD bei deutlich höherer Assimilationsrate pro stomatärer Leitfähigkeit (Abbildung 18). Bei CIP 188002.1 bei niedrigem VPD verlagerte sich dieses Verhältnis deutlich in Richtung höherer stomatärer Leitfähigkeit pro Assimilationsrate, während aber die Streuung zwischen den stomatären Leitfähigkeiten deutlich zunahm. Bei CIP 189151.8 bei niedrigem VPD verschob sich das Verhältnis nur gering zu höherer stomatärer Leitfähigkeit, während die Streuung nur gering zunahm.

Bei 50 mM NaCl waren bei CIP 188002.1 und CIP 189151.8 bei hohem VPD und bei niedrigem VPD nur geringe Unterschiede in Form einer Streckung des Bereichs der Assimilationsrate pro stomatäre Leitfähigkeit bei CIP 189151.8 erkennbar.

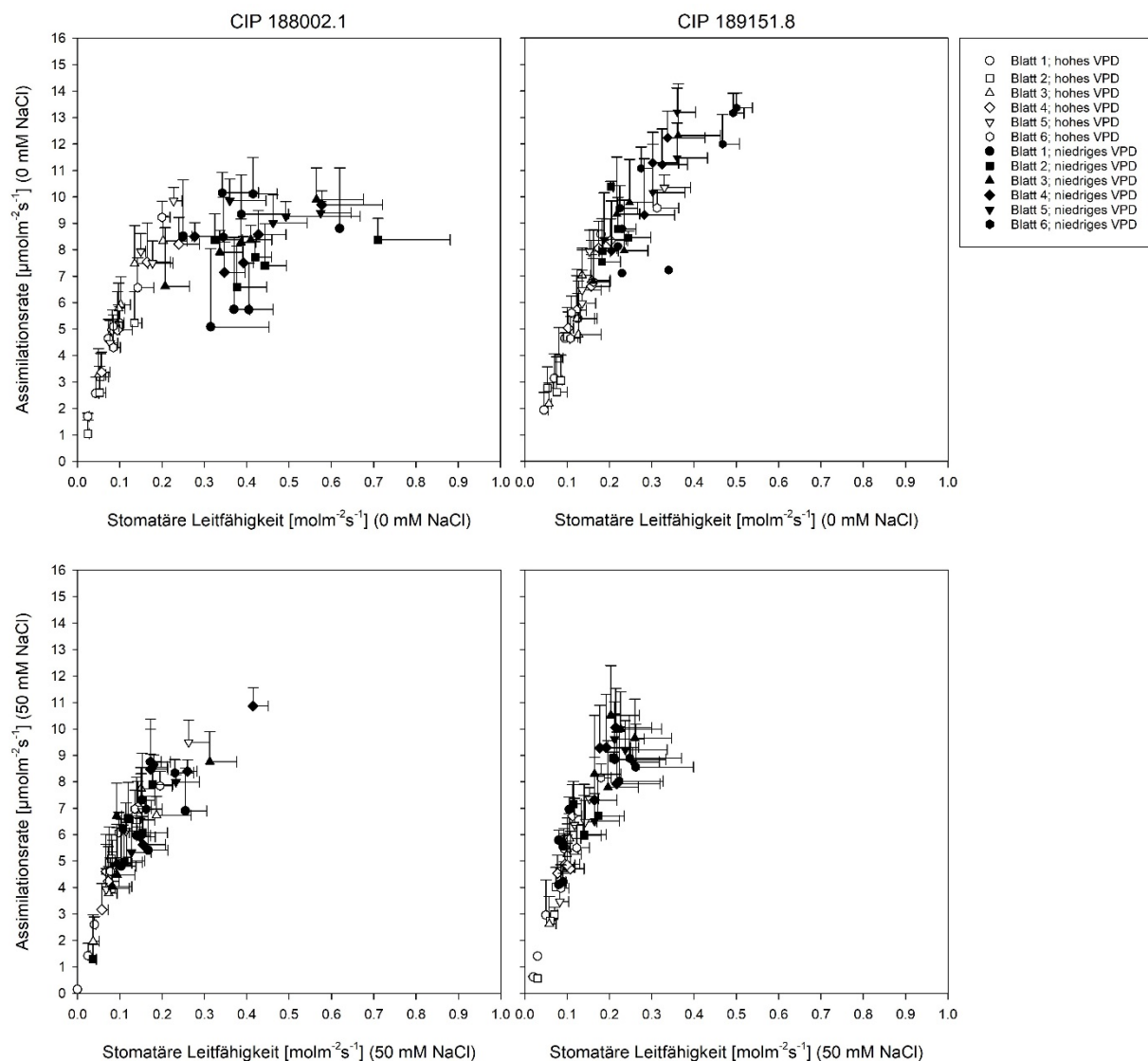


Abbildung 19: Verhältnis der Assimilationsrate zur stomatären Leitfähigkeit

3.6 Transpiration-stomatäre Leitfähigkeit-Verhältnis

Bei der Transpirationsrate pro stomatärer Leitfähigkeit war bei 0 mM NaCl eine deutliche Steigerung der stomatären Leitfähigkeit zur Transpirationsrate zu erkennen von hohem zum niedrigem VPD, wobei bei CIP 188002.1 diese Steigerung größer und gestreuter war als bei CIP 189151.8 (Abbildung 20).

Bei 50 mM NaCl war bei CIP 188002.1 im Vergleich von hohem VPD zu niedrigem VPD keine Steigerung der stomatären Leitfähigkeit zur Transpirationsrate erkennbar im Vergleich. Bei CIP 189151.8 war eine geringe Steigerung der stomatären Leitfähigkeit erkennbar bei niedrigem VPD.

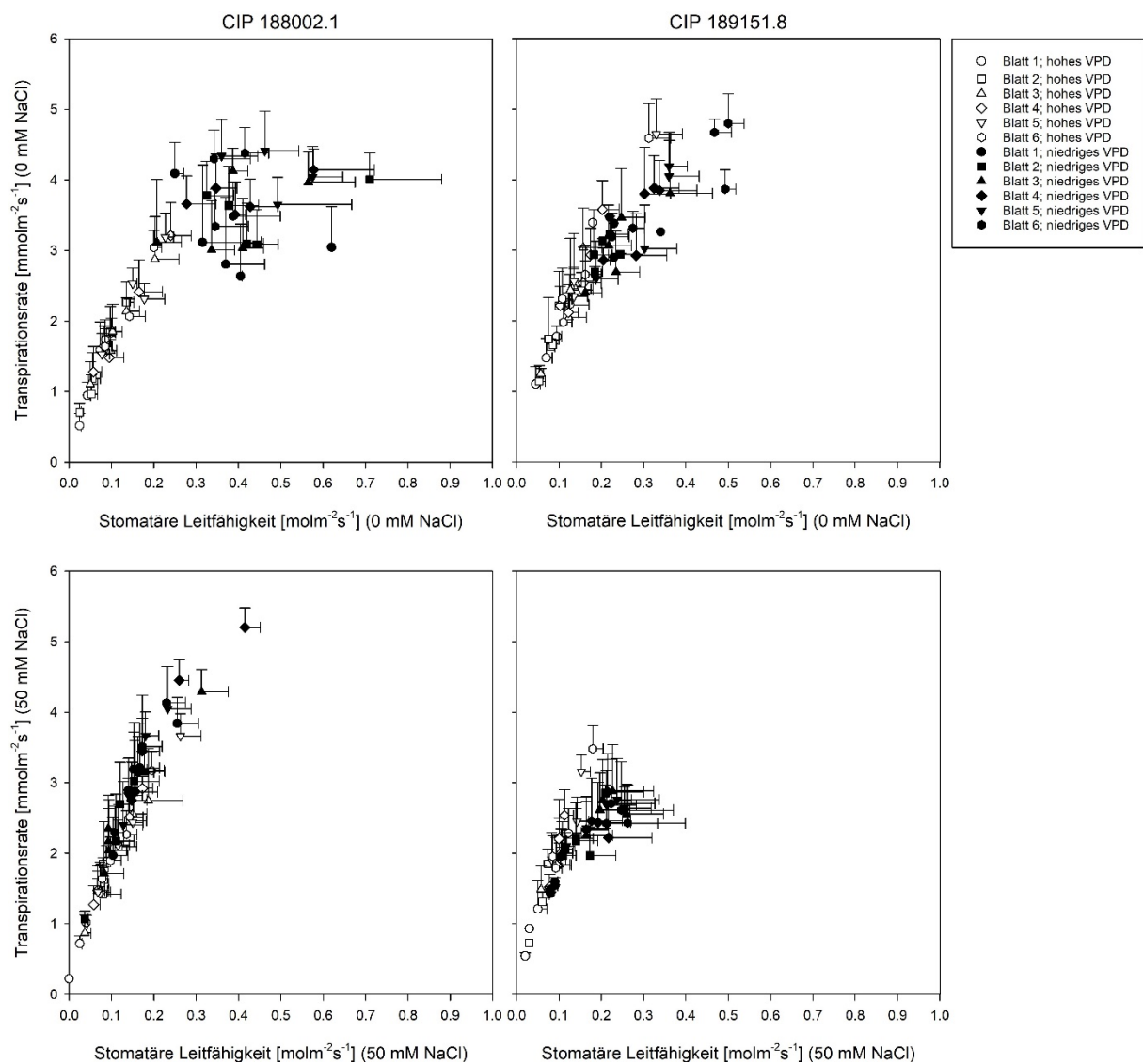


Abbildung 20: Verhältnis der Transpirationsrate zur stomatären Leitfähigkeit

4 Diskussion

4.1 Gaswechsel

Das Ziel der Arbeit war die Auswirkungen von VPD und Salzstress auf den Gaswechsel unterschiedlich alter Blätter von Süßkartoffeln zu untersuchen. Mit den Hypothesen, dass die Blätter mit abnehmendem Blattalter höheren Gaswechsel haben und dass der Salzeffekt bei zusätzlichem Trockenstress durch den hohen VPD geringer ausfällt.

Die erste Hypothese, dass Blätter mit abnehmendem Blattalter einen höheren Gaswechsel haben wird durch Sharma (1996) gestützt. Die Ergebnisse des Versuchs ergaben, dass die ältesten Blätter die geringsten Transpirationsraten, Assimilationsraten und stomatäre Leitfähigkeit hatten, und diese bei Blättern mit abnehmenden Blattalter gestiegen sind, Grund dafür könnte die Seneszenz der Blätter sein. Nur bei CIP 188002.1 bei niedrigem VPD wurde am Messtag vier durchschnittlich ab Blatt acht (0 und 50 mM NaCl) und am Messtag fünf durchschnittlich ab Blatt acht (0 mM NaCl) und sieben (50 mM NaCl) rückläufige Transpirationsraten, Assimilationsraten und stomatäre Leitfähigkeiten gemessen, was der Hypothese widerspricht.

Die zweite Hypothese, dass der Salzeffekt bei zusätzlichen Trockenstress durch das hohe VPD geringer ausfällt, wird nur durch die Ergebnisse des Salzeffektes auf die stomatäre Leitfähigkeit bei CIP 188002.1 gestützt, da hier deutliche signifikante Unterschiede gemessen wurden, dazu lassen sich Tendenzen am Messtag fünf beim Salzeffekt auf die Transpirationsrate und die Assimilationsrate bei CIP 188002.1 erkennen. Bei CIP 189151.8 sind zwei signifikante Unterschiede erkennbar (Assimilationsrate Messtag eins Blatt zwei und Messtag drei Blatt acht), die diese These unterstützen. Jedoch gibt es bei CIP 189151.8 auch Tendenzen, die sogar für eine Verstärkung des Salzeffektes durch den zusätzlichen Trockenstress sprechen oder zumindest der Hypothese stark widersprechen. Zu erkennen am Messtag fünf bei der Transpirationsrate, der Assimilationsrate und der stomatären Leitfähigkeit. Wahrscheinlich liegt der Grund dieses Unterschieds im Sortenunterschied, da CIP 188002.1 salztoleranter und CIP 189151.8 salzsensitiver ist, sodass diese Salztoleranz CIP 188002.1 durch Anpassung an den osmotischen Salzstressbestandteil besser an anderen Trockenstresse angepasst ist, während bei CIP 189151.8 die Überlast durch die kombinierten Stressoren überwiegt (Larcher 2001, S. 287).

Außerdem ist die Tendenz zur Reduzierung der Transpirationsraten, der Assimilationsraten und der stomatären Leitfähigkeiten der Blätter durch Salzstress und hohem VPD zu beobachten. Diese Tendenz wurden von Sharma (1996) im Bezug zu Salzstress und von Clough und Sim (1989) im Bezug zu hohem VPD bestätigt.

Auch sollte laut Shibuya et al. (2018) die Assimilationsrate bei geringer Salinität und hohem VPD nicht reduziert werden, was die Ergebnisse aber nicht bestätigen können. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass hohes VPD sogar für stärkere Einbußen im Vergleich zu Salzeffekt bei niedrigen VPD verantwortlich sind. Bei den Verhältnissen zwischen den Gaswechselparametern bei 0 mM NaCl und bei 50 mM NaCl war deutlicher zu erkennen, dass

das VPD einen stärkeren Einfluss ausübt als der Salzstress und dass die stomatäre Leitfähigkeit am deutlichsten durch VPD und Salz reduziert wird.

4.2 Mögliche Fehlerquellen

Zur Messung musste die Tür der Klimakammer geöffnet werden, was zum Austausch der CO₂-Konzentration, Luftfeuchtigkeit und Temperatur zwischen Klimakammer und dem Labor und somit zu veränderten Umgebungsbedingungen führte. Vor allem war die hohe CO₂-Konzentration ein Problem, weswegen auch die Referenzluft für die Messungen mit dem LCI-SD aus der anderen Klimakammer verwendet wurde (Abbildung 21).

Da keine Randomisation der Behandlung auf die Versuchspflanzen durchgeführt wurde, verlieren die Daten an statistischer Aussagekraft und sind deshalb nur bedingt valide (Abbildung 4). Außerdem hat sich gezeigt, dass der geringe Stichprobenumfang $n = 4$ zu einer geringeren statistischen Aussagekraft geführt hat.



Abbildung 21: Versuch der Einflussreduzierung bei den Messungen: Geringere Eintrittsöffnung, Referenzluftschlauch führt in die andere Klimakammer.

5 Fazit

In dieser Arbeit wurden die Auswirkungen von VPD und Salzstress auf den Gaswechsel unterschiedlich alter Blätter von Süßkartoffelklonen untersucht. Zu einem konnte gezeigt werden, dass durch VPD und Salzstress der Gaswechsel reduziert wird, zum anderen das bei Blättern mit abnehmendem Alter der Gaswechsel steigt. Die Hypothese, dass der Salzeffekt bei zusätzlichen Trockenstress durch ein hohes VPD niedriger ausfällt, konnte weder bestätigt noch verworfen werden. Aufgrund des Fehlens der Randomisation können die Daten nicht unbedenklich für wissenschaftliche Zwecke herangezogen werden. Bei einer Wiederholung des Versuches sollte die Stichprobenanzahl (Wiederholungen) für stärkere statistische Aussagekraft erhöht werden, die Zuteilung der Behandlungen auf die Versuchspflanzen randomisiert werden und eine Methode zur Eindämmung des Austausches der Umweltfaktoren erdacht werden. Weitere Forschungen in Richtung Grundlagenforschung Salzstress, VPD und Süßkartoffel wären wichtig, um Wissen zu generieren, dass den Züchtern hilft die Süßkartoffel auf die Veränderung durch den Klimawandel anzupassen und somit die Ernährung der Weltbevölkerung zu sichern.

6 Literaturverzeichnis

Bates, Bryson; Kundzewicz, Z. W.; Wu, S.; Palutikof, J. P. (2008): Climate change and water. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.

Begum, F.; Haque, M. A.; Alam, M. S.; Mohanta, H. C. (2015): Evaluation of sweet potato genotypes against salinity. In: *Bangladesh Journal of Agricultural Research* 40 (2), S. 249–257. DOI: 10.3329/bjar.v40i2.24562.

Clough, B. F.; Sim, R. G. (1989): Changes in gas exchange characteristics and water use efficiency of mangroves in response to salinity and vapour pressure deficit. In: *Oecologia* 79 (1), S. 38–44.

Dasgupta, S.; Hossain, M.; Huq, M.; Wheeler, D. (2015): Climate change and soil salinity: The case of coastal Bangladesh. In: *Ambio* 44 (8), S. 815–826. DOI: 10.1007/s13280-015-0681-5.

FAO (o. J.): Dimensions of need - Staple foods: What do people eat? FAO. Online verfügbar unter <http://www.fao.org/3/u8480e/u8480e07.htm>, zuletzt aktualisiert am 17.02.2021, zuletzt geprüft am 30.08.2021.

FAOSTAT (2021): Crops and livestock products. FAO. Online verfügbar unter <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>, zuletzt aktualisiert am 19.08.2021, zuletzt geprüft am 30.08.2021.

Häckel, H. (2016): Meteorologie. 8. Aufl. Stuttgart, Deutschland: Verlag Eugen Ulmer.

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

IPCC (2021): Summary of policymakers. In: Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press.

Larcher, W. (2001): Ökophysiologie der Pflanzen. Leben, Leistung und Streßbewältigung der Pflanzen in ihrer Umwelt. 6. Aufl. Stuttgart, Deutschland: Verlag Eugen Ulmer.

Lebot, V. (2020): Tropical root and tuber crops. Cassava sweet potato yams and aroids. 2. Aufl. Wallingford, UK: CABI.

Manners, R.; van Etten, J. (2018): Are agricultural researchers working on the right crops to enable food and nutrition security under future climates? In: *Global Environmental Change* 53, S. 182–194. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2018.09.010.

Márquez, D. A.; Stuart-Williams, H.; Farquhar, G. D. (2021): An improved theory for calculating leaf gas exchange more precisely accounting for small fluxes. In: *Nature Plants* 7 (3), S. 317–326. DOI: 10.1038/s41477-021-00861-w.

Motsa, N. M.; Modi, A. T.; Mabhaudhi, T. (2015): Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) as a drought tolerant and food security crop. In: *South African Journal of Science* 111 (11/12). DOI: 10.17159/sajs.2015/20140252.

Munjonji, L.; Ayisi, K. K. (2021): Leaf gas exchange and $\delta^{13}\text{C}$ in cowpea and triticale under water stress and well-watered conditions. In: *Heliyon* 7 (5), e07060. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e07060.

Paneque Ramirez, G. (o. J.): Roots, tubers, plantains and bananas in animal feeding. FAO. Online verfügbar unter <http://www.fao.org/3/t0554e/t0554e14.htm>, zuletzt aktualisiert am 17.02.2021, zuletzt geprüft am 09.09.2021.

Schubert, S. (2011): Pflanzenernährung. Grundwissen Bachelor. 2. Aufl. Stuttgart, Deutschland: Verlag Eugen Ulmer (2802).

Sharma, N.; Gupta, N. K.; Gupta, S.; Hasegawa, H. (2005): Effect of NaCl salinity on photosynthetic rate, transpiration rate, and oxidative stress tolerance in contrasting wheat genotypes. In: *Photosynthetica* 43 (4), S. 609–613. DOI: 10.1007/s11099-005-0095-x.

Sharma, S. K. (1996): Soil salinity effects on transpiration and net photosynthetic rates, stomatal conductance and Na^+ and Cl^- contents in durum wheat. In: *Biologia Plantarum* 38 (4), S. 519–523. DOI: 10.1007/BF02890599.

Shibuya, T.; Kano, K.; Endo, R.; Kitaya, Y. (2018): Effects of the interaction between vapor-pressure deficit and salinity on growth and photosynthesis of *Cucumis sativus* seedlings under different CO_2 concentrations. In: *Photosynthetica* 56 (3), S. 893–900. DOI: 10.1007/s11099-017-0746-8.

Yoshida, S.; Forno, D. A.; Cock, J. H.; Gomez, K. A. (1976): Laboratory manual for physiological studies of rice. 3. Aufl. Los Banos, Phillipines: International Rice Research Institute.

Anhang

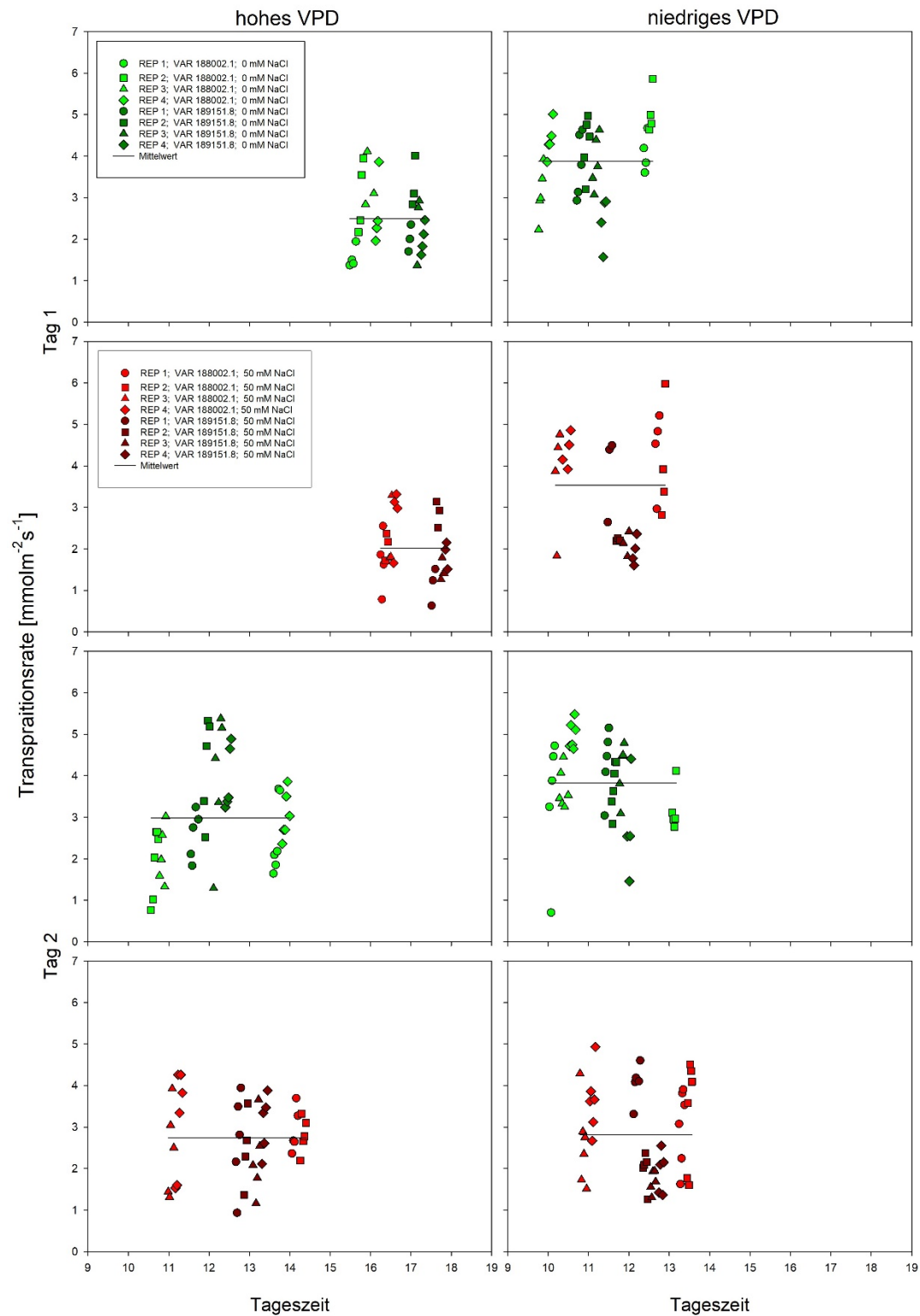


Abbildung 22: Ablauf der Gaswechselformung am Messtag 1 und 2, die hellgrünen Messpunkte stehen für die Sorte CIP 188002.1, dunkelgrüne Messpunkte für die Sorte CIP 189151.8, und die unterschiedlichen Symbole für die Wiederholungen 1-4

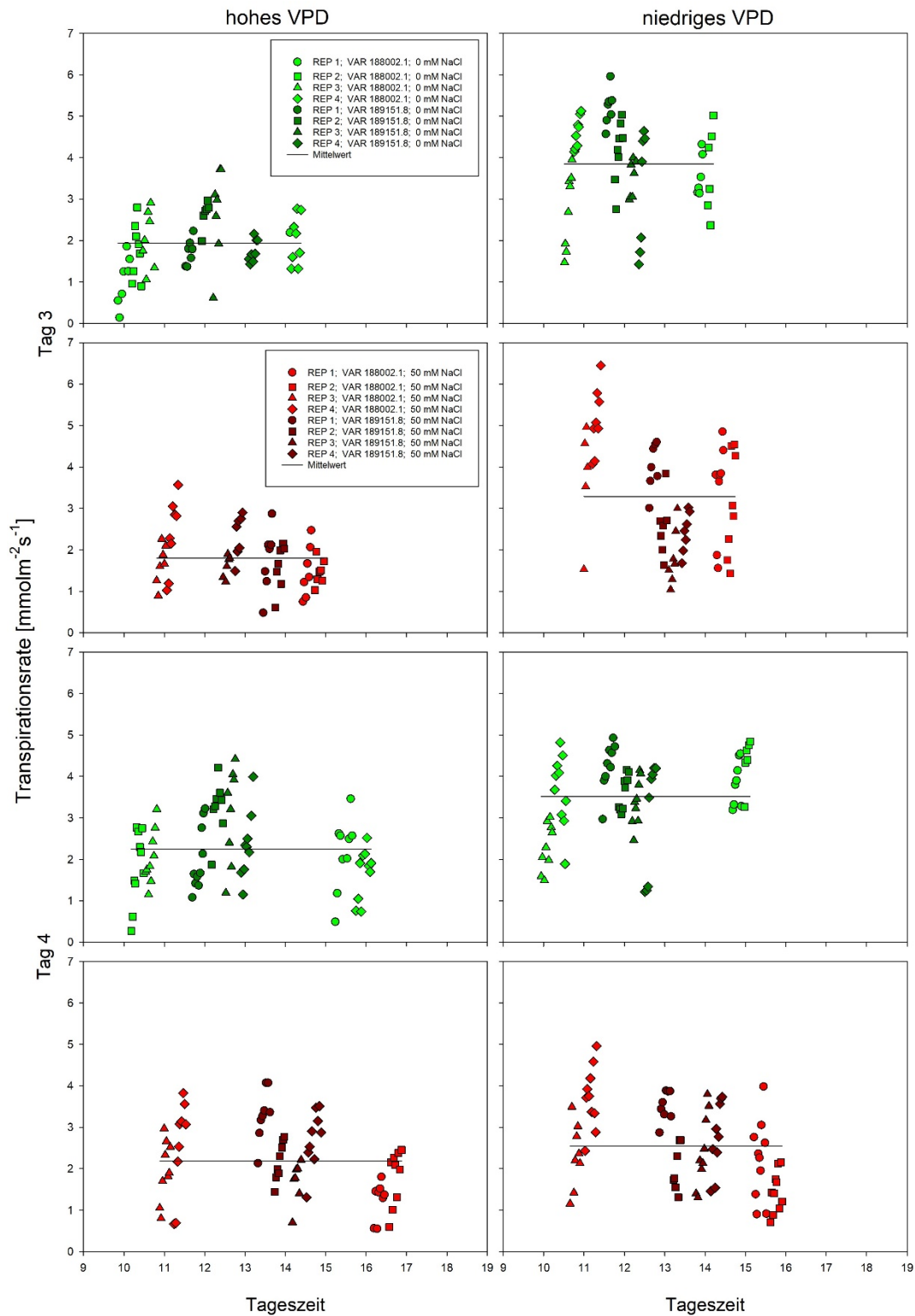


Abbildung 23: Ablauf der Gaswechsellmessung am Messtag 3 und 4, die hellgrünen Messpunkte stehen für die Sorte CIP 188002.1, dunkelgrüne Messpunkte für die Sorte CIP 189151.8, und die unterschiedlichen Symbole für die Wiederholungen 1-4

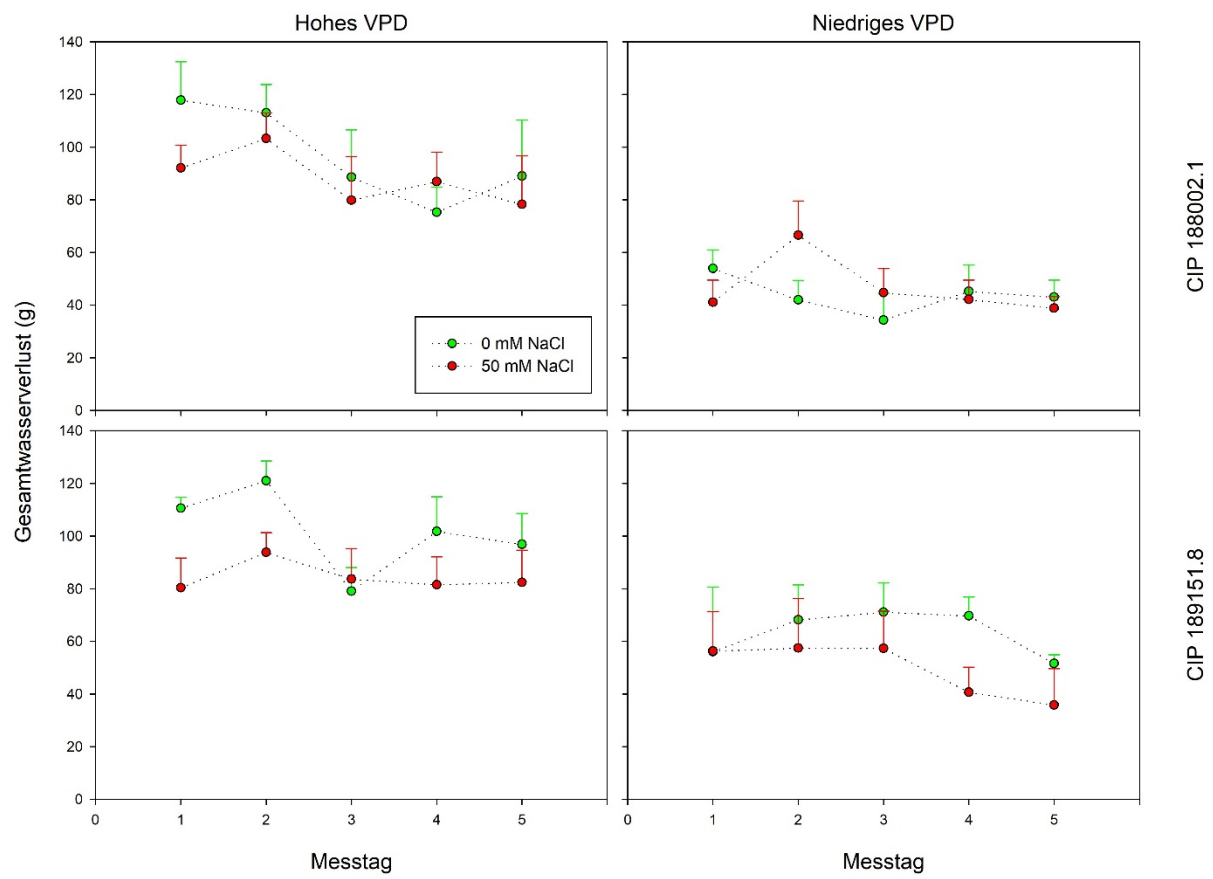


Abbildung 24: Gesamtwasserverlust über Messtage