



# UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Fakultät Agrarwissenschaften

Institut für Tropische Agrarwissenschaften

(Hans-Ruthenberg-Institut)

## **Transpiration und Photosynthese von Süßkartoffelblättern in Abhängigkeit von Salzstress, relativer Luftfeuchtigkeit und Blattalter**

Bachelorarbeit

Loraine Pesch

Studiengang Agrarwissenschaften

Matrikelnummer: 708913

Eingereicht: 29.03.2021

Prüfer: Prof. Dr. Folkard Asch



## I. Zusammenfassung

Süßkartoffeln (*Ipomoea batatas L.*) werden vor allem in Asien und darunter Bangladesch angebaut. Diese subtropische Zone ist, vor allem in den Küstenregionen, vermehrt durch Salinität beeinflusst. Durch den hohen Vitamin-A-Gehalt ist die Süßkartoffel ein wichtiges Grundnahrungsmittel, deshalb ist es besonders wichtig salztolerante Sorten zu untersuchen, zu verstehen und nutzbar zu machen.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Blätter verschiedenen Alters auf die sortenspezifischen Antworten von Süßkartoffeln auf Salzstress und Luftfeuchtigkeit zu untersuchen.

Für den hydroponischen Versuch wurde eine salzempfindliche (CIP 189151.8), eine moderat tolerante Sorte (CIP 106082.1) und eine salztolerante Sorte (CIP 420001) mit einer 100 mmol NaCl-Lösung versetzt. Um den Einfluss von VPD auf die Transpiration, Assimilation, stomatare Leitfähigkeit und SPAD zu untersuchen, wurden die Pflanzenkammern unter zwei verschiedenen hohen Luftfeuchten gesetzt. Zusätzlich wurden an jeder Süßkartoffelpflanze Blätter verschiedenen Alters beprobt, um den Effekt der Alterung miteinzubeziehen.

Bei der Auswertung der Daten zeigten sich meist deutliche Muster in Abhängigkeit der Behandlungen, der Sorte und des Alters der Blätter. Junge Blätter hatten meist höhere Raten der untersuchten Parameter als die älteren. Dies konnte man bei beiden Behandlungen erkennen. Außerdem hatte der Salzstress immer einen negativen Einfluss auf die untersuchten Parameter. Bei der Sorte CIP 420001 war die Differenz der älteren und jüngeren Blätter in Betrachtung der Transpiration und Assimilation besonders hoch. Bei den jungen Blättern konnten die physiologischen Aktivitäten gut aufrechterhalten werden, während diese bei den älteren Blättern stark zurückgingen.

Diese Ergebnisse deuten auf eine erhöhte Salztoleranz der Sorte hin. Durch eine effiziente Akkumulation der Salze in den älteren Blättern konnten die physiologischen Aktivitäten trotz Salzstress Bedingungen in den jungen Blättern aufrechterhalten werden.

## II. Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 1: Verlauf der Temperatur und der relativen Luftfeuchte im Gewächshaus während der Versuchstage. ....</b>	<b>7</b>
<b>Abb. 2: Auswirkung von Salzstress und Luftfeuchtigkeit auf die Transpirationsrate von Blättern unterschiedlichen Alters von drei Süßkartoffelklonen und zwei Luftfeuchten. ....</b>	<b>9</b>
<b>Abb. 3: Auswirkung von Salzstress und Luftfeuchtigkeit auf die Assimilationsrate von Blättern unterschiedlichen Alters von drei Süßkartoffelklonen und zwei Luftfeuchten. ....</b>	<b>12</b>
<b>Abb. 4: Auswirkung von Salzstress und Luftfeuchtigkeit auf die SPAD-Rate von Blättern unterschiedlichen Alters von drei Süßkartoffelklonen und zwei Luftfeuchten. ....</b>	<b>16</b>

### III. Tabellenverzeichnis

**Tab. 1: Liste der verwendeten Geräte.....3**

**Tab. 2: Zusammensetzung der Yoshida-EDTA-Nährlösung (pH 6).....5**

#### IV. Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
°C	Grad Celsius
cm	Zentimeter
l	Liter
m	Meter
SPAD	Single Photon Avalanche Diode
μ	Mikro
VPD	Vapour-pressure deficit
ABA	Abscisinsäure
M	Mol
pH	pondus Hydrogenii
rH	relative humidity

## V. Inhaltsverzeichnis

<b>I.</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	i
<b>II.</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	ii
<b>III.</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	iii
<b>IV.</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	iv
<b>V.</b>	<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	v
<b>1.</b>	<b>Einleitung</b> .....	1
1.1	Kenntnisstand.....	2
<b>2.</b>	<b>Material und Methoden</b> .....	3
2.1	Material.....	3
2.2	Methoden.....	3
2.2.1	Pflanzenanzucht.....	3
2.2.2	Aufbau der Hydroponikanlage.....	3
2.3	Messungen.....	5
2.3.1	Klimadaten.....	7
<b>3.</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	8
3.1	Transpirationsrate.....	8
3.2	Assimilationsrate.....	10
3.3	Stomatäre Leitfähigkeit.....	13
3.4	SPAD.....	15
<b>4.</b>	<b>Diskussion</b> .....	17
4.1	Auswirkung auf die untersuchten Parameter durch die Blattalterung unter Kontrollbedingungen.....	17
4.2	Einfluss von Salzstress auf die untersuchten Parameter im Vergleich zur Kontrolle.....	17
4.3	Einfluss von Blattalter auf die Effekte von Salzstress und Luftfeuchtigkeit – Unterschied zwischen jungen und alten Blättern, sowie Sorteneffekt.....	18
4.4	Mögliche Fehlerquellen.....	19
4.5	Fazit und Ausblick.....	20
<b>VI.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	vi
<b>VII.</b>	<b>Danksagung</b> .....	viii
<b>VIII.</b>	<b>Eidesstattliche Erklärung</b> .....	ix

# 1 Einleitung

Die Anzahl unterernährter Menschen ist in Bangladesch eine der höchsten weltweit, vor allem betroffen sind davon Kinder. Sie leiden dabei häufig unter einem Mangel an Mikronährstoffen, wie z.B. Vitamin A. Eine ausreichende Vitamin-A-Versorgung ist für die Entwicklung der Kinder unabdingbar (FAO, 2010).

100 g einer Süßkartoffel decken bereits den Tagesbedarf einer erwachsenen Person (FAO, 2013 & DGE, 2021).

Asien, und darunter Bangladesch, ist der weltweitgrößte Süßkartoffelproduzent (FAOSTAT, 2019). 30% des kultivierbaren Landes liegen in Bangladesch an der Küste, dadurch ist dieser Boden besonders stark durch Salinität beeinflusst (Haque, 2006).

Die häufigsten Ursachen von Salinität sind Überflutungen von salzhaltigen Gewässern und die falsche Bewässerung von Feldern. Vor allem in ariden und semiariden Regionen sind hohe Evaporationsraten und ein steigender Salzgehalt im Grundwasser Gründe für den großen Flächenanteil, der von Salinität betroffen ist (Zaman et al., 2018).

Durch die hohe Evaporation in diesen Gebieten und den geringen Niederschlag ist der Wasserverlust aus den Böden sehr hoch, wodurch das Salz über die Jahre im Boden weiter akkumuliert wird (Mahajan & Tuteja, 2005).

Durch die großen saisonalen klimatischen Unterschiede in Bangladesch sind die Böden zusätzlich stark belastet.

In Bangladesch kann man das Jahr in drei Jahreszeiten einteilen. Die Monsun-Saison ist in den Monaten Juni bis Oktober, diese sind von kräftigen Regenfällen gezeichnet und machen 70% des Jahresniederschlags aus. Zudem sind in dieser feuchten und heißen Zeit mit Höchsttemperaturen von 35 bis 40 °C zu rechnen. Die Luftfeuchte ist zu dieser Zeit mit 95% extrem hoch. Von November bis Mitte März ist die Trockenzeit. Sie ist mit sehr geringem Niederschlag und kühleren Temperaturen zu verzeichnen. Die Maximaltemperaturen liegen bei ca. 25 °C. In der Nacht liegen die Temperaturen zwischen 12 und 15 °C. Die Luftfeuchte beträgt zu dieser Zeit nur noch 75%. Von Mitte März bis Ende Mai ist die heiße Jahreszeit. Die Temperaturen sind mit einem Mittelwert von 34 °C extrem hoch. Diese Monate liegen unmittelbar vor der Regenzeit. Zusätzlich sind in dieser Zeit die Monate März und April von schweren Wirbelstürmen betroffen, die zu starken Überschwemmungen und Salinität führen können. Die Niederschlagsverteilung ist in Bangladesch sehr unterschiedlich, jedoch wird hier nicht näher darauf eingegangen, da der Fokus auf dem Anbau bewässerter Süßkartoffeln liegt (Wetter-Atlas, 2021). Die Saisons unterscheiden sich stark in den klimatischen Bedingungen und in der Variabilität innerhalb der klimatischen Parameter. In der Monsun-Saison herrschen relativ stabile Bedingungen. Durch die hohe Luftfeuchte transpirieren die Pflanzen weniger, wodurch sie weniger Salz aufnehmen. Die Trockenzeit ist durch größere Schwankungen gekennzeichnet. Durch das Absinken der Luftfeuchte steigen die Transpirationsraten und durch die schwankenden Temperaturen müssen die Pflanzen größere Strapazen aushalten. Durch die hohe Gefahr der Überflutung und die extremen Bedingungen sind die Anbaubedingungen in der heißen Jahreszeit zusätzlich erschwert. Jedoch ist die am weitesten verbreitete Anbauzeit von Süßkartoffeln in den Küstenregionen Bangladeschs von Dezember bis Mai, also in der Trockenzeit (Khan & Awal, 2009). Somit muss die Pflanze nicht nur resistent gegenüber dem Salzstress sein, sondern auch gut mit Trockenheit zurechtkommen.

Durch die schnell wachsende Bevölkerung in Bangladesch wird die Nachfrage nach Lebensmitteln immer höher. Dahingegen vermindert sich jedoch die Produktivität der Böden vor allem durch abiotische Faktoren (Mahajan & Tuteja, 2005). Somit ist die Untersuchung von salztoleranten Sorten wichtig, da die Forschung nicht genug über die Salztoleranz bei Süßkartoffeln weiß, um diese sinnvoll zu selektieren und zu züchten. Wie der Mechanismus der Salzaufnahme und die Verteilung des Salzes funktioniert ist noch nicht geklärt. Ein Fokus dieser Arbeit liegt auf der Transpiration, da das im Wasser gelöste Salz mit dem Transpirationsstrom



aufgenommen wird. Ein zu hoher Salzgehalt im Blattgewebe führt zur Seneszenz, welches zu einer geringeren Chlorophylldichte führt. Dies wiederum reduziert die Assimilationsrate welche letztendlich den Ertrag beeinflusst (Sharma, 1996). Salztolerante Sorten müssen mit dieser Art von Stress umgehen können, besonders in trockenen Regionen, bzw. in der Trockenzeit. Mit salztoleranten Süßkartoffelsorten könnte die Vitamin-A-Versorgung der Menschen in Ländern wie z.B. Bangladesch sichergestellt werden.

Zielsetzung dieser Arbeit ist daher, die Auswirkungen des Blattalters auf die sortenspezifischen Antworten von Süßkartoffeln auf eine Kombination von Salzstress und Luftfeuchtigkeit zu untersuchen.

## 1.1 Kenntnisstand

Erhöhter Salzgehalt im Wurzelraum kann bei der Pflanze zwei Arten von Stress auslösen. Zum einen Stress durch Wassermangel, da die Wasseraufnahmen der Pflanze durch ein erhöhtes osmotisches Potential in der Bodenlösung erschwert wird, da dieses stark in der Salzlösung gebunden ist (Larcher, 2001). Zum anderen steht die Pflanze unter ionischem Stress, welcher entsteht, wenn das Salz über die Rhizosphäre durch die Pflanze transportiert und in den älteren Blättern akkumuliert wird und nicht mehr abgebaut werden kann. Ein anhaltender ionischer Stress kann für die Pflanze toxisch werden, wenn das Salz so stark in den Blättern akkumuliert wird, dass diese ihre Funktionen nicht mehr aufrechterhalten können und absterben (Munns & Tester, 2008). Diese beiden Prozesse hängen eng mit der Transpiration zusammen. Diese wirkt sich stark auf die Produktivität der Kulturen aus. Vor allem wird sie durch abiotische Faktoren, wie Bodensalinität, negativ beeinflusst. Das vorhandene Wasser kann in diesem Fall nicht mehr von der Pflanze genutzt werden (IAPN, 2020). Abiotische Faktoren sind jedoch nicht der einzige Faktor, welche die Transpiration beeinflussen. Die relative Luftfeuchte spielt ebenfalls eine große Rolle. Blätter verschiedenen Alters reagieren unterschiedlich auf Luftfeuchten. Die Verdunstungsmenge nimmt mit zunehmendem Blattalter stetig ab, das liegt daran, dass sich die Größe der Stomataöffnung mit zunehmenden Blattalter verkleinert. Die unterschiedlichen Öffnungen im Laufe des Blattalters werden durch Botenstoffe beeinflusst. Bei niedriger Luftfeuchte wird mehr von diesen Botenstoffen, wie z.B. Abscisinsäure (ABA), produziert, das bedingt das Schließen der Stomata. Junge Blätter reagieren weniger stark darauf als ältere Blätter. Dadurch können junge Blätter bei weit geöffneten Stomata mehr CO<sup>2</sup> aufnehmen, dies hält ihre Photosyntheseleistung aufrecht (Pantin, 2013).

Trotzdem sind jüngere Blätter weniger von dem Salzstress betroffen als ältere, da die älteren sich nicht weiter expandieren und so das ankommende Salz nicht mehr verdünnen können, wie es die jüngeren Blätter tun. Wenn die Sterberate der älteren Blätter größer ist als die Rate der neuproduzierten Blätter, ist die photosynthetische Kapazität der Pflanze nicht mehr dazu in der Lage den Kohlenhydratbedarf der jungen Blätter zu versorgen. Dies führt im weiteren Verlauf ebenfalls zu einer verminderten Wachstumsrate. Bei einem hohen Salzstress hat der ionische Stress verheerendere Auswirkungen als der osmotische Stress. Dies liegt an der fehlenden Fähigkeit den Na<sup>+</sup>-Transport zu kontrollieren.

Salztoleranz ist bei den meisten Pflanzen eine Kombination aus der Fähigkeit Na<sup>+</sup> und Cl<sup>-</sup> zu akkumulieren und der Grad diese Ionen zu tolerieren. Die Mechanismen der Toleranz lassen sich generell in drei Kategorien einteilen: 1. die Toleranz des osmotischen Stresses, 2. die Na<sup>+</sup> Exklusion von der Blattspreite, indem das Na<sup>+</sup> erst gar nicht von den Wurzeln aufgenommen wird und 3. die Gewebetoleranz um Na<sup>+</sup>, bzw. seltener auch Cl<sup>-</sup>, im Gewebe zu akkumulieren ohne dass ein toxisches Level erreicht wird. Eine erhöhte osmotische Toleranz zeichnet sich hauptsächlich durch die Fähigkeit aus, dass weiterhin junge Blätter produziert werden, wohingegen eine Gewebetoleranz durch das Überleben älterer Blätter zu erkennen wäre (Munns & Tester, 2008).

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Material

Alle verwendeten Chemikalien des Versuchs stammten von Sigma-Aldrich Chemie (Deutschland). Die Laborverbrauchsmittel stammten von Carl Roth (Deutschland) und Sarestedt AG (Deutschland).

Die, in dem Versuch, verwendeten Geräte sind in **Tab. 1** aufgelistet.

**Tab. 1: Liste der verwendeten Geräte**

Gerät	Hersteller	Typ	Herstellersitz
Feinwaage	Precisa	XB 220A	Schweiz
Luftpumpe	KNF Neuberger	N022AN. 18	Deutschland
Pflanzen-Beleuchtung	Philips	SON-T Agro 400W	Niederlande
SPAD-Meter	Konica minolta	502 plus	Japan

### 2.2 Methoden

#### 2.2.1 Pflanzenanzucht

Für den Versuch wurden drei verschiedene Sorten ausgewählt, welche in einem vorherigen Versuch auf ihre Reaktion auf Salzstress getestet wurden. Die Sorte CIP 189151.8 wurde als salzempfindlich, CIP 106082.1 als moderat tolerant und CIP 420001 als salztolerant charakterisiert. Die Sorten wurden ursprünglich vom International Potato Center Peru (CIP) zur Verfügung gestellt und vom Bangladesh Agriculture Research Institut (BARI) kollektiert und in einem Gewächshaus der Universität Hohenheim kultiviert und vermehrt.

Von jeder Süßkartoffelsorte wurden 60 Stecklinge (jeder Abschnitt hatte zwei Internodien) für die Anzucht abgeschnitten (30 für hohe Luftfeuchte und 30 für niedrige). Diese wurden mit einer Rasierklinge (Astra, Vereinigtes Königreich), welche vorher in eine NaOCl-Lösung getunkt wurde, abgeschnitten und die Blätter wurden entfernt. Die NaOCl-Lösung diente dem Schutz vor Viren, Pilzen oder Bakterien. Zusätzlich dazu wurden die Pflanzen in ein Pestizid (5ml/l) (Spruzi, NeuDorfft, Deutschland) getaucht und mit destilliertem Wasser abgespült.

Die Sprossabschnitte wurden in die Hydroponikanlage eingesetzt und auf die beiden Luftfeuchteammern aufgeteilt.

#### 2.2.2 Aufbau der Hydroponikanlage

Die Versuchstöpfe aus Plastik (11x11x14 cm) hatten ein Fassvermögen von 1,2 Liter (Gies, Deutschland). Zur Abdunklung der Nährlösung und somit zum Unterdrücken des Algenwachses wurden die Versuchstöpfe mit Aluminiumfolie umwickelt. Die Süßkartoffelstecklinge wurden mit einem 3x3,6 cm Schaumstoffpfropfen (Ceaprenstopper, 36 mm, Greiner Bioone, Germany) in der Mitte des Deckels fixiert. Auf dem Deckel wurde ein kleines Gerüst mittels Heißkleber befestigt, sodass die Pflanzen sich darum ranken konnten und Platz gespart wurde, sowie bessere Lichtverhältnisse entstanden.

Die 180 Töpfe standen jeweils in zwei geschlossenen Kammern mit unterschiedlich hoher Luftfeuchte, die aus einem Holzrahmen bestanden, durch eine Plexiglasscheibe getrennt und mit einem Plastikvorhang abgedeckt wurden. In den Kammern standen die Töpfe in drei Reihen, mit einem Abstand von ca. 8 cm zwischen den Reihen und 4 cm innerhalb der Reihe.

90 Töpfe standen unter dem Einfluss von ca. 40% Luftfeuchtigkeit und die andere Hälfte unter ca. 75% Luftfeuchtigkeit. Die Luftfeuchte in der lufttrockenen Kammer wurde mittels eines Luftentfeuchters (Concorb DC-10, Seibu Giken DST, Schweden) reguliert.

Die Töpfe wurden innerhalb der jeweiligen Kammern in fünf Blöcke à 18 Töpfe unterteilt. Jeder Block bestand aus den drei verschiedenen Sorten mit drei Wiederholungen und zwei Behandlungen (0 und 100 mmol NaCl). Diese Blöcke stellten jeweils eine Woche des Versuchs dar. Jede Woche wurden die Pflanzen aus einem weiteren Block geerntet und weiter untersucht (Messung der Länge, Blätter entfernt und Blattfläche bestimmt und danach eingetütet, sowie Haupt- und Seitentriebe getrennt und eingetütet).

Um eine ausreichende Sauerstoffversorgung zu gewährleisten, wurde jeweils ein Schlauch (4 mm Durchmesser, 1 mm Wandbreite, Aquaristikschauch, OBI, Deutschland) mittels eines Loches am Deckel angeschlossen. Diese wurden an einen Fünf-Wege-Verteiler (Cole-Parmer, fisher scientific, Deutschland) angeschlossen.

Es wurde mit Hilfe einer Luftpumpe (diaphragma vacuum pump N 022AN.18, KNF LAB, Deutschland) alle 60 Minuten für 15 Minuten Luft in die Nährlösung gepumpt.

Die Temperatur in den Töpfen betrug stets ca. 28 °C, die Temperaturen in den Luftfeuchtekammern wurde auf Grund eines Fehlers nicht aufgezeichnet.

Die Pflanzen wurden täglich von 8.00 Uhr bis 20.00 Uhr mit einer Assimilationsbeleuchtung (DH Licht GmbH, SON-K 400) beleuchtet, diese befand sich ca. 1,20 m über den Pflanzen. Die Beleuchtungsdauer wurde mit Hilfe einer Zeitschaltuhr reguliert.

Da die Pflanzen in einem Hydrokultursystem wuchsen, wurden sie mit einer Yoshida Nährlösung (Yoshida, 1976) versorgt (**Tab. 2**).

Zur Orientierung der Befüllung wurde an den Töpfen eine Markierung 1 cm unterhalb der Oberkante angebracht. Die Yoshida Nährlösung wurde mit deionisiertem Wasser vermischt und in die Töpfe gefüllt. Während der ersten beiden Wochen des Experimentes wuchsen die Stecklinge in einer 50% Yoshida Nährlösung. Nach der zweiten Woche wurde die Yoshida Nährlösung auf 100% erhöht.

Nach 17 Tagen wurde NaCl hinzugefügt. Hierfür wurde 58,44 g mol<sup>-1</sup> NaCl (Roth, Deutschland) hinzugefügt, bis eine NaCl-Konzentration von 100 mmol erreicht wurde.

Um die Yoshida Nährlösung an einen hydroponischen Versuch anzupassen, wurde FeCl<sub>3</sub> mit ironEDTA substituiert.

Die Nähr- und Salzlösung wurde nach einer Woche erneuert. Dabei wurde der pH-Wert kontrolliert, dieser sollte ungefähr bei 5,8-6 liegen. Falls der pH-Wert zu hoch war, wurde er durch Zugabe von 1 M HCl gesenkt. Falls dieser zu niedrig war, wurde er mit 1 M NaOH erhöht.

Um die Wasserversorgung der Pflanzen sicher zu stellen, wurde bis zu der Markierung deionisiertes Wasser aufgefüllt, sobald sich der Wasserstand merklich verringerte. Der Wasserverlust wurde dabei immer dokumentiert (Gewicht vorher – Gewicht nachher = Wasserverlust).

**Tab. 2: Zusammensetzung der Yoshida-EDTA-Nährlösung (pH 6) (Burgert, 2020)**

Stammlösung	Chemisches Element	Reagenz	Stammlösung [g L <sup>-1</sup> ]	Stammlösung/ Nährlösung [mL L <sup>-1</sup> ]	Löslichkeit [g L <sup>-1</sup> ]
<b>A</b>	N	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	114.29	1	2089
<b>B</b>	P	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> * 2H <sub>2</sub> O	50.37	1	850
<b>C</b>	K	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	89.14	1	111
<b>D</b>	Ca	CaCl <sub>2</sub> * 2H <sub>2</sub> O	146.73	1	986
<b>E</b>	Mg	MgSO <sub>4</sub> * 7H <sub>2</sub> O	405.64	1	710
<b>F</b>	Fe	FeNa - EDTA	15.080	1	N.N.
<b>G</b>	Mn	MnCl <sub>2</sub> * 4H <sub>2</sub> O	1.875	1	700
	Zn	ZnSO <sub>4</sub> * 5H <sub>2</sub> O	0.0440		965
	Cu	CuSO <sub>4</sub> * 4H <sub>2</sub> O	0.0393		203
	Mo	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> * 4H <sub>2</sub> O	0.0920		430
	B	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	11.675		50

### 2.3 Messung

Der Versuch fand in einem Gewächshaus der Universität Hohenheim, im Institut für Tropische Agrarwissenschaften (Hans-Ruthenberg-Institut), statt.

Nach 17-tägiger Anzucht der Pflanzen wurden die Pflanzen beprobt.

Zunächst wurde bei allen Pflanzen das jüngste vollentwickelte Blatt mit einem Faden markiert. Die Nummerierung der Blätter erfolgte aufsteigend in Richtung Triebspitze.

An den beprobten Blättern wurden dann verschiedene Daten ermittelt. Es wurde der SPAD-Wert (Manitol, Konika, Japan), die stomatare Öffnungsweite, Photosyntheserate, Transpiration und CO<sub>2</sub>-Konzentration (LCPro, ref) für diese Arbeit gemessen.

Die weiteren Messungen erfolgten so, dass es bei der darauffolgenden Messung mindestens ein neues vollentwickeltes Blatt gab, dies entsprach bei uns einer Messung pro Woche.

Es wurden zunächst nur Blätter des Haupttriebes beprobt. Aufgrund des Stresses, bzw. Alters, starben die Blätter vom Haupttrieb schnell ab, sodass bei einigen Pflanzen auf Blätter des Nebentriebes zurückgegriffen werden musste.

Die Messungen begannen morgens um ca. 10 Uhr. Am ersten Messtag wurden von allen Pflanzen zuerst mit dem LCPro die bereits erwähnten Daten von dem jüngsten vollentwickelten Blatt ermittelt und festgehalten. Dieser Messdurchlauf hat innerhalb des Versuches im Schnitt ca. sechs Stunden gedauert. Da in den fortschreitenden Wochen immer mehr Blätter zu messen waren, variierte die Dauer der Messungen etwas. Wichtig war dabei zu beachten, dass das Gerät die benötigte Referenz- CO<sub>2</sub>-Konzentration mit genügend Abstand zu Personen im Gewächshaus bezieht, da diese sonst verfälscht werden könnte.

Alle Messungen wurden innerhalb der Kammern durchgeführt und es wurde darauf geachtet, dass der LCPro immer im gleichen Winkel und Abstand zur Beleuchtung gerichtet war, da

bereits kleine Veränderungen die Daten verschieben könnten.

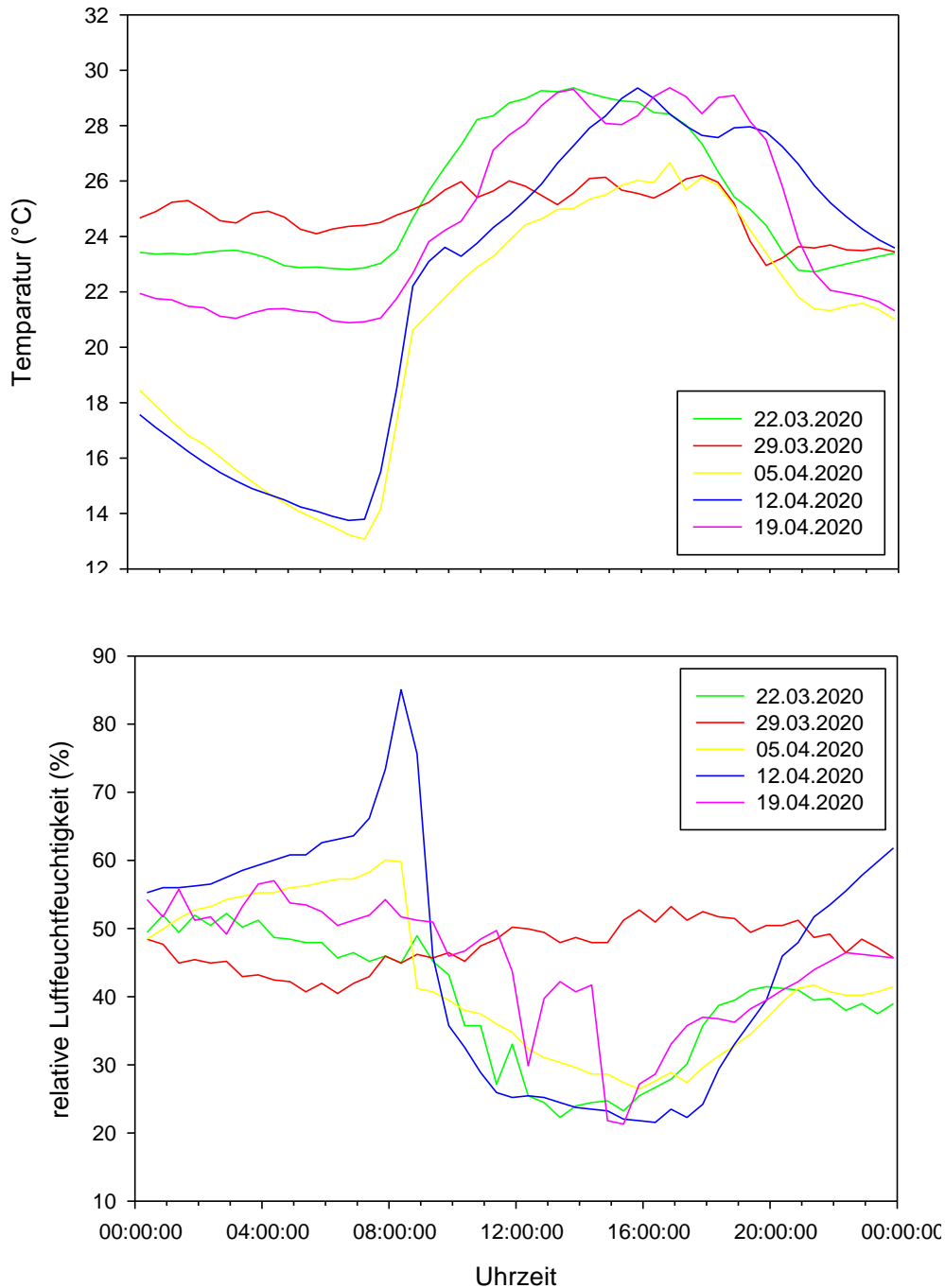
Nach den Messungen mit dem LCPro wurden innerhalb einer Stunde die Messungen bezüglich des SPADs durchgeführt.

Bei der Messung des SPAD-Wertes wurden jeweils drei Messwiederholungen getätigt und der daraus erhobene Mittelwert für die Datenauswertung verwendet.

Da es sich in dieser Arbeit hauptsächlich um die Entwicklung der Blätter im verschiedenen Blattalter handelt, kam jede Woche ein neues junges Blatt hinzu, sodass in der Theorie fünf Blätter am Ende zu messen wären, jedoch verloren die Pflanzen, v.a. die salzgestressten Pflanzen, relativ schnell ihre Blätter, bzw. diese waren nicht mehr messbar, da sie entweder abgestorben waren oder starke Chlorosen oder Nekrosen aufwiesen.

### 2.3.1 Klimadaten

Während des Versuchszeitraums wurden die Klimadaten im Gewächshaus aufgezeichnet. Die Messungen der Temperatur und der relativen Luftfeuchte erfolgten alle 30 Minuten. Abgebildet sind nur die Tage an denen Messungen durchgeführt worden sind (**Abb. 1**).



**Abb. 1:** Verlauf der Temperatur und der relativen Luftfeuchte im Gewächshaus während der Versuchstage. Dargestellt ist der jeweilige Tagesmittelwert.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Transpirationsrate

Bei fast allen Sorten und beiden Luftfeuchten, bis auf Sorte CIP 189151.8 unter 40% Luftfeuchtigkeit, lagen die Transpirationsraten der Süßkartoffelpflanzen, die mit 0 mmol NaCl behandelt wurden, im Mittel höher als bei den Pflanzen, die mit 100 mmol NaCl behandelt wurden.

Unter 40% Luftfeuchtigkeit stieg die Transpirationsrate im Laufe vom ältesten bis zum jüngsten Blatt im Durchschnitt bei den verschiedenen Sorten immer an. Bei der Sorte CIP 189151.8 war die Steigung am steilsten, bei den Sorte CIP 106082.1 und CIP 420001 war diese nur sehr gering.

Unter 75% Luftfeuchtigkeit verringerte sich die Transpirationsrate hingegen bei allen Sorten. Bei den Sorten CIP 189151.8 und CIP 106082.1 war der Abfall nur sehr gering, bei der Sorte CIP 420001 war er hingegen deutlich stärker (**Abb. 2**).

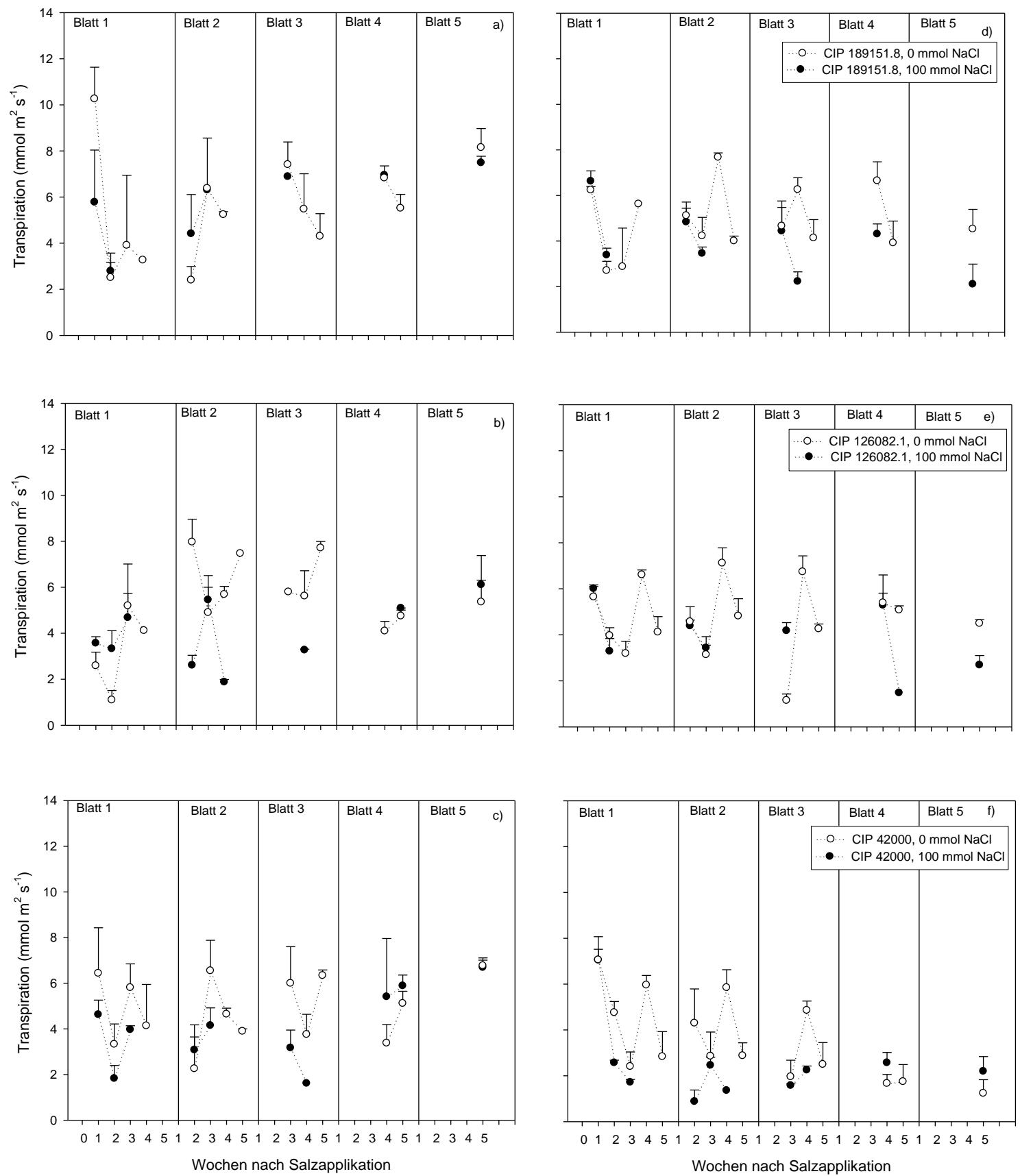
Unter niedriger Luftfeuchte hatte die empfindliche Sorte CIP 189151.8 mit  $5,66 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$  im Mittel aus beiden Behandlungen (0 und 100 mmol NaCl) die höchste Assimilationsrate, danach folgte die mäßig tolerante Sorte CIP 106082.1 mit  $4,59 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$  und zuletzt die tolerante Sorte CIP 420001 mit  $4,47 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ , der Durchschnitt der Sorten lag somit bei  $4,91 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ . Die Sorte CIP 189151.8 unterschied sich signifikant von den Sorten CIP 106082.1 und CIP 420001. Die zuletzt erwähnten Sorten unterschieden sich hingegen nicht signifikant.

Die beiden Behandlungen unterschieden sich jedoch signifikant. Die Süßkartoffelpflanzen unter der Behandlung mit 0 mmol NaCl hatten einen Mittelwert von  $5,19 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$  und die Pflanzen unter Salzstress  $4,62 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ .

Unter 75% Luftfeuchtigkeit hatte ebenfalls die Sorte CIP 189151.8 die höchste Transpirationsrate mit  $4,42 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ , danach folgte die mäßig tolerante Sorte CIP 106082.1 mit  $4,27 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$  und am geringsten war die Transpirationsrate der toleranten Sorte CIP 420001 mit  $3,0 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ . Somit lag der Durchschnitt aller Sorten dieser Luftfeuchte bei  $3,89 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ . Die Sorten CIP 189151.8 und CIP 106082.1 unterschieden sich signifikant von der Sorte CIP 420001, untereinander war der Unterschied der beiden Sorten jedoch nicht signifikant. Der Durchschnittswert der Pflanzen, die zur Kontrolle dienten, lag bei  $4,37 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ , bei den Pflanzen unter 100 mmol NaCl lag er bei  $3,41 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ . Somit unterschieden sich die beiden Behandlungen signifikant. Daran ließ sich unter anderem erkennen, dass bei niedriger Luftfeuchte, bei den jeweiligen Sorten, mehr Transpiration stattfand als bei hoher.

In Betrachtung der Maxima gab es zwischen den beiden Luftfeuchten deutliche Unterschiede. Bei 40% Luftfeuchtigkeit konnte man vor allem bei der Sorte CIP 189151.8 und CIP 42000, aber auch bei der Sorte CIP 126082.1 Maxima in Woche 3 erkennen. Bei 75 % Luftfeuchtigkeit lagen die Maxima bei allen Sorten jedoch eine Woche später in Woche 4.

Unter niedriger Luftfeuchte konnte man im Vergleich vom ältesten Blatt, an dem man Messungen in Woche 5 durchführen konnte, zum jüngsten Blatt (Blatt 5) einen deutlichen Anstieg der Transpirationsrate erkennen. Dies war bei allen Sorten zu beobachten. Dieser Vergleich ließ sich jedoch nur bei den nicht gestressten Pflanzen ziehen, da die Blätter der gestressten Pflanzen zu schnell abstarben und somit keine Messungen in der letzten Messwoche (Woche 5) an den älteren Blättern möglich waren. Bei hoher Luftfeuchte (75% rH) blieb die Transpirationsrate bei den Sorten CIP 189151.8 und CIP 106082.1 im Vergleich vom ältesten Blatt zum jüngsten Blatt in Woche 5 unverändert. Bei der toleranten Sorte CIP 420001 hingegen verminderte sich die Transpirationsrate um  $1,6 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ .



**Abb. 2:** Auswirkung von Salzstress und Luftfeuchtigkeit auf die Transpirationsrate von Blättern unterschiedlichen Alters von drei Süßkartoffelklonen, a) CIP 189151.8, 40% rH; b) CIP 126082.1, 40% rH; c) CIP 420001, 40% rH; d) CIP 189151.8, 75% rH; e) CIP 126082.1, 75% rH; f) CIP 420001, 75% rH.



### 3.2 Assimilationsrate

Bei allen Sorten und beiden Luftfeuchten lagen die Assimilationsraten der Süßkartoffelpflanzen, die mit 0 mmol NaCl behandelt wurden, im Mittel höher als bei den Pflanzen, die mit 100 mmol NaCl behandelt wurden. Bei hoher Luftfeuchte lagen die Durchschnittswerte der jeweiligen Behandlungen pro Sorte jedoch sehr nah beieinander und unterschieden sich kaum.

Unter 40% Luftfeuchtigkeit stieg die Assimilationsrate im Laufe vom ältesten bis zum jüngsten Blatt immer an. Unter 75% Luftfeuchte verringerte sich diese Rate hingegen (**Abb. 3**).

Unter niedriger Luftfeuchte hatte die empfindliche Sorte CIP 189151.8 mit  $17,71 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$  im Mittel aus beiden Behandlungen (0 und 100 mmol NaCl) die höchste Assimilationsrate, danach folgte die tolerante Sorte CIP 420001 mit  $15,64 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$  und zuletzt die mäßig tolerante Sorte CIP 106082.1 mit  $12,52 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ . Der Durchschnitt der Sorten lag somit bei  $15,29 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ .

Unter 75% Luftfeuchte hatte ebenfalls die Sorte CIP 189151.8 im Mittel die höchste Assimilationsrate mit  $13,88 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ , danach folgte jedoch die Sorte CIP 106082.1 mit  $13,36 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$  und die geringste Rate erkannte man bei Sorte CIP 420001 mit  $11,96 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ . Der Durchschnitt lag hier bei  $13,07 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ . Daran konnte man erkennen, dass im Schnitt bei niedriger Luftfeuchte mehr Assimilation bei den jeweiligen Sorten betrieben wurde als bei hoher. Außerdem sah man an diesen Durchschnittswerten, dass bei hoher Luftfeuchte viel weniger Dynamik vorkam als bei niedriger. Der Unterschied zwischen den Sorten war nur sehr gering. Die größte Diskrepanz zwischen den Behandlungen (0 und 100 mmol NaCl) konnte man bei beiden Luftfeuchten bei der Sorte CIP 420001 sehen. Die Werte unterschieden sich um teilweise mehr als  $10 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ .

Interessant war hier vor allem die Betrachtung der Assimilationsrate unter Salzstress. Der Verlauf vom ältesten bis zum jüngsten Blatt war unter beiden Luftfeuchten sehr ähnlich, obwohl die Werte bei niedriger Luftfeuchte deutlich höher waren. Von Blatt 1 bis Blatt 3 nahm die Assimilationsrate stetig ab, bei den jüngeren Blättern hingegen erhöhte sie sich wieder um mehrere  $\text{mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ . An den meisten Blättern beider Luftfeuchten konnte man ein Maximum in Messwoche 4 erkennen

Unter 75% Luftfeuchte spiegelt sich der abnehmende Altersgradient vom ältesten bis zum jüngsten Blatt auch im Verlauf der einzelnen Blätter ab.

Unter 40% Luftfeuchtigkeit gab es bei den einzelnen Blättern deutlich mehr Unterschiede und Schwankungen, wodurch sich hierrüber keine klare Aussage treffen ließ.

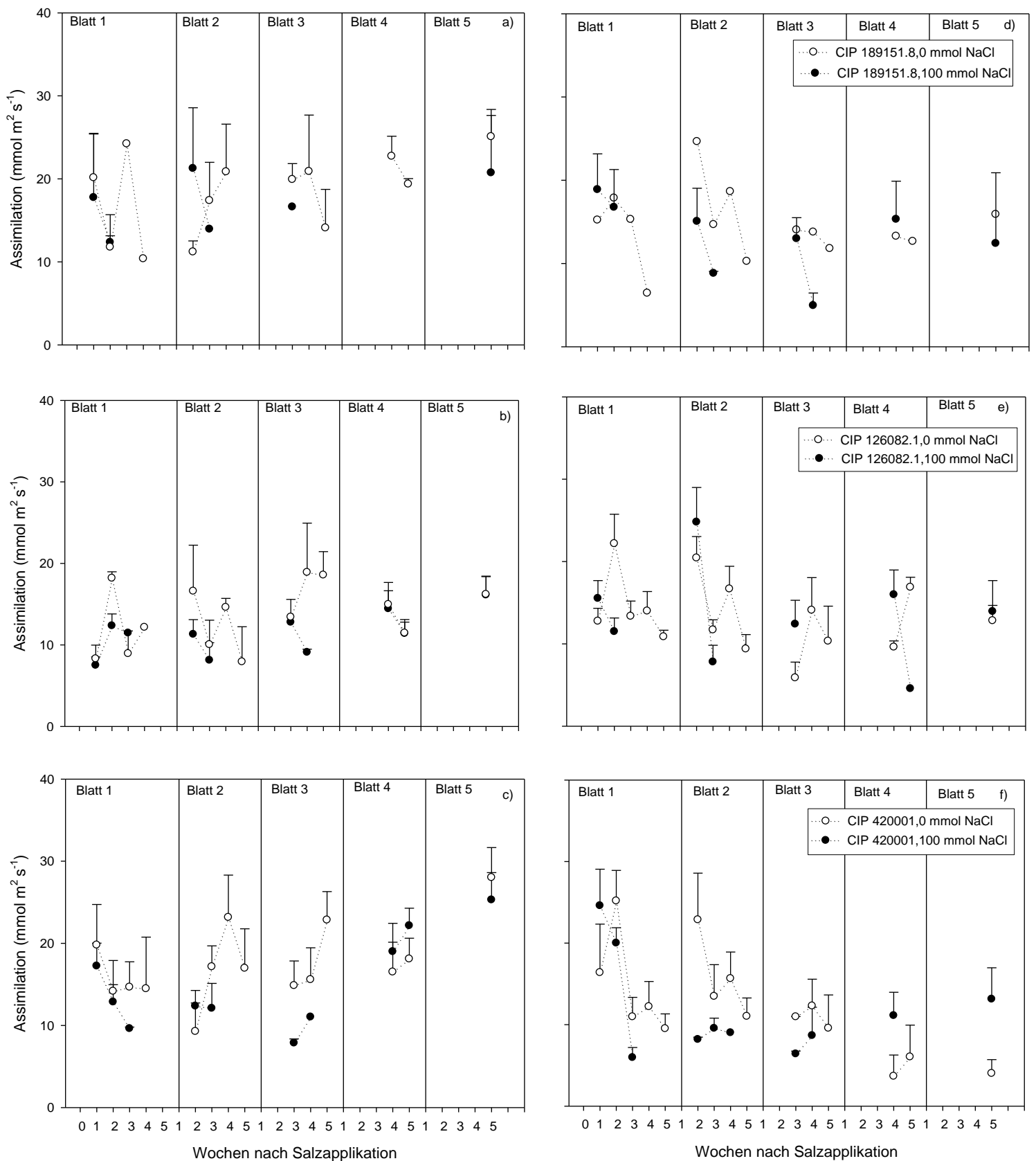
Bei allen Sorten unter niedriger Luftfeuchte hatte das jüngste Blatt (Blatt 5) eine höhere Assimilationsrate in Woche 5, als das älteste Blatt, an dem man in Woche 5 Messungen durchführen konnte.

Unter hoher Luftfeuchte konnte man bei den Sorten CIP 189151.8 und CIP 106082.1 ebenfalls erkennen, dass die jüngeren Blätter etwas höhere Assimilationsraten in Woche 5 hatten als die älteren Blätter in derselben Woche. Somit hatte z.B. Blatt 2 der Pflanzen unter 0 mmol NaCl der Sorte CIP 189151.8 eine Rate von  $10,27 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ , während in Woche 5 die Assimilationsrate von Blatt 5  $15,9 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$  betrug.

Die Sorte CIP 420001 reagierte unter der hohen Luftfeuchte jedoch anders als die vorherigen beiden Sorten. Die Assimilationsrate der jüngeren Blätter lag in Woche 5 deutlich unter denen der älteren Blätter. Beim ältesten Blatt (Blatt 1) lag die Assimilationsrate in Woche 5 bei  $9,51 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ , beim jüngsten Blatt (Blatt 5) war die Assimilationsrate nur halb so hoch.

Bei den Pflanzen unter Salzstress ließ sich so ein Vergleich nicht ziehen, da die Blätter auf Grund des Stresses schon vor der letzten Messwoche abstarben. Jedoch machte es den Anschein, dass die Rate vom ältesten zum jüngsten Blatt zunahm. Die Assimilationsrate sank

zunächst bei den ältesten drei Blättern kontinuierlich ab und stieg bei den jüngsten Blättern wieder deutlich an.



**Abb. 3:** Auswirkung von Salzstress und Luftfeuchtigkeit auf die Assimilationsrate von Blättern unterschiedlichen Alters von drei Süßkartoffelklonen, a) CIP 189151.8, 40% rH; b) CIP 126082.1, 40% rH; c) CIP 420001, 40% rH; d) CIP 189151.8, 75% rH; e) CIP 126082.1, 75% rH; f) CIP 420001, 75% rH.

### 3.3 Stomatäre Leitfähigkeit

Die stomatäre Leitfähigkeit war bei allen Sorten und beiden Luftfeuchten, außer Sorte CIP 189151.8 unter 40% Luftfeuchte, höher bei den Süßkartoffelpflanzen, die mit 0 mmol NaCl behandelt wurden, als bei den Pflanzen, die mit 100 mmol NaCl versetzt wurden (**Abb. 3**).

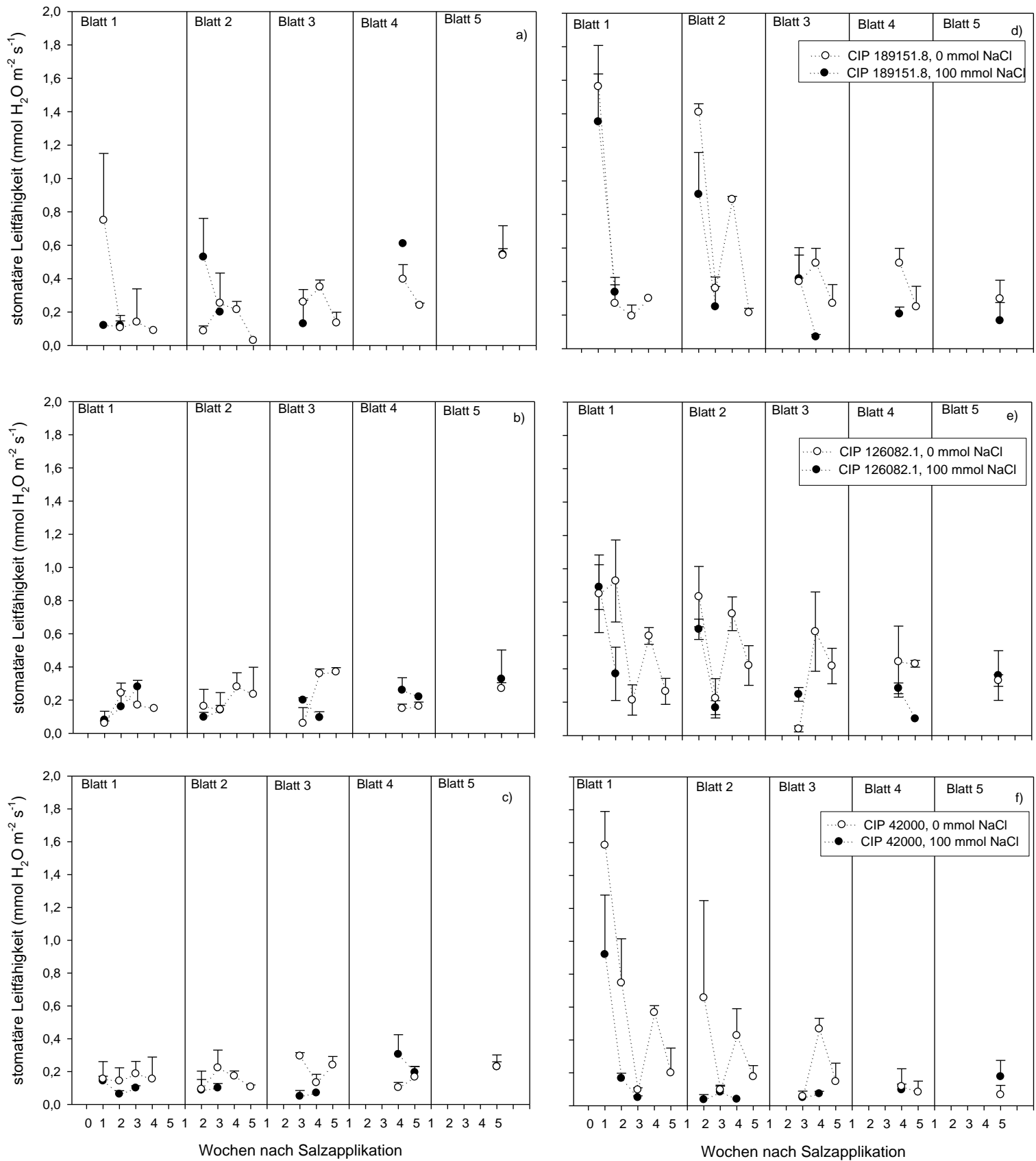
Unter 40% Luftfeuchtigkeit gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen diesen beiden Behandlungen. Die Mittelwerte der Behandlungen unter 75% Luftfeuchtigkeit unterschieden sich teilweise bis zu 2 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, der Unterschied der Behandlungen war signifikant.

Bei niedriger Luftfeuchte hatte die empfindliche Sorte CIP 189151.8 im Mittel aus beiden Behandlungen (0 mmol NaCl und 100 mmol NaCl) die höchste stomatäre Leitfähigkeit mit 0,289 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, danach folgte die mäßig tolerante Sorte CIP 106082.1 mit 0,194 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, und die niedrigste stomatäre Leitfähigkeit hatte die tolerante Sorte CIP 420001 mit 0,153 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Sorte CIP 189151.8 unterschied sich signifikant von den Sorten CIP 106082.1 und CIP 420001.

Unter hoher Luftfeuchte hatte ebenfalls die Sorte CIP 189151.8 die höchste stomatäre Leitfähigkeit, sie betrug 0,498 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Die Sorte CIP 106082.1 hatte einen Mittelwert von 0,435 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> und, wie auch bei der niedrigen Luftfeuchte, konnte man die geringste stomatäre Leitfähigkeit bei der Sorte CIP 420001 mit 0,268 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> erkennen. Die Sorten CIP 189151.8 und CIP 106082.1 unterschieden sich signifikant von der Sorte CIP 420001. An diesen Werten ließ sich erkennen, dass die stomatäre Leitfähigkeit bei den jeweiligen Sorten im Mittel bei der hohen Luftfeuchte höher war als bei niedriger. Dies lag vor allem an den Maxima, die man bei 75% Luftfeuchte erkennen konnte. Extrem hohe Werte gab es vor allem in Woche 1 mit einem Betrag von bis zu 1,6 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> und in Woche 4. In Woche 4 lag der Wert teilweise sechsmal höher als in der vorherigen Woche. Diese Schwankungen konnte man vor allem bei den ungestressten Süßkartoffelpflanzen erkennen. Bei den gestressten ließ sich diese Aussage nicht eindeutig treffen, da die Blätter meist vor Woche 4 auf Grund des Stresses abstarben.

Interessanterweise zeigten die Pflanzen unter niedriger Luftfeuchte diese Auffälligkeiten nicht. Der Verlauf der Rate der stomatären Leitfähigkeit stieg bei niedriger Luftfeuchte vom ältesten bis zum jüngsten Blatt an. Bei der empfindlichen Sorte CIP 189151.8 konnte man die höchste Steigung der Rate erkennen, bei der mäßig toleranten Sorte CIP 106082.1 und der toleranten Sorte CIP 420001 veränderte sich die Rate im Verlauf kaum noch. Die Sorte CIP 189151.8 war die einzige Sorte an der man erkennen konnte, dass das jüngste Blatt (Blatt 5) mit 0,54 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> eine höhere stomatäre Leitfähigkeit hatte als das älteste Blatt, an dem man in Woche 5 Messungen durchführen konnte (Blatt 2). Die stomatäre Leitfähigkeit dieses Blattes betrug lediglich 0,03 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Bei 75% Luftfeuchtigkeit konnte man im Verlauf vom ältesten bis zum jüngsten Blatt, bei allen Sorten und Behandlungen, eine Abnahme der Rate der stomatären Leitfähigkeit erkennen. Bei den Sorten CIP 189151.8 und CIP 106082.1 konnte man im Vergleich vom ältesten Blatt in Woche 5 zum jüngsten Blatt der ungestressten Pflanzen keine Verminderung erkennen. Die Werte unterschieden sich kaum. Bei der Sorte CIP 420001 spiegelte sich der abnehmende Altersgradient hingegen im Verlauf der einzelnen Blätter wider. Das älteste Blatt der Sorte CIP 420001 (Blatt 1) hatte in Woche 5 eine stomatäre Leitfähigkeit von 0,15 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, diese war 2,5mal höher als beim jüngsten Blatt (Blatt 5).

Bei beiden Luftfeuchten war es nicht möglich diesen Vergleich für die gestressten Pflanzen zu ziehen, da die Blätter zu schnell auf Grund des Stresses abstarben.



**Abb. 3: Auswirkung von Salzstress und Luftfeuchtigkeit auf die stomatäre Leitfähigkeit von Blättern unterschiedlichen Alters von drei Süßkartoffelklonen, a) CIP 189151.8, 40% rH; b) CIP 126082.1, 40% rH; c) CIP 42000, 40% rH; d) CIP 189151.8, 75% rH; e) CIP 126082.1, 75% rH; f) CIP 42000, 75% rH.**

### 3.4 SPAD

Bei allen Sorten (CIP 189151.8, CIP 126082.1, CIP 420001) und beiden Luftfeuchten (40% und 75% Luftfeuchte) lagen die SPAD-Werte der Süßkartoffelpflanzen ohne Salzstress über denen der Pflanzen unter Salzstress (**Abb. 4**).

Die Sorte CIP 189151.8 reagierte am stärksten auf den Salzstress. Unter niedriger Luftfeuchte unterschieden sich die beiden Behandlungen um 7, bei hoher Luftfeuchte um 9.

Bei der niedrigen Luftfeuchte hatte die tolerante Sorte CIP 420001 im Durchschnitt beider Behandlungen die höchste SPAD-Werte mit 36,5, danach folgte die empfindliche Sorte CIP 189151.8 mit 33,95 und die geringste SPAD-Werte hatte die mäßig tolerante Sorte CIP 106082.1 mit 27,53. Die Sorten CIP 189151.8 und CIP 420001 unterschieden sich signifikant von der Sorte CIP 126082.1.

Unter hoher Luftfeuchte hatte die Sorte CIP 189151.8 mit 35,29 den höchsten SPAD-Wert, danach die Sorte CIP 420001 mit 34,12 und die niedrigste Rate hatte die Sorte CIP 106082.1 mit 29,05. Wie auch bei der niedrigen Luftfeuchte unterschieden sich die Sorten CIP 189151.8 und CIP 420001 signifikant von der Sorte CIP 126082.1.

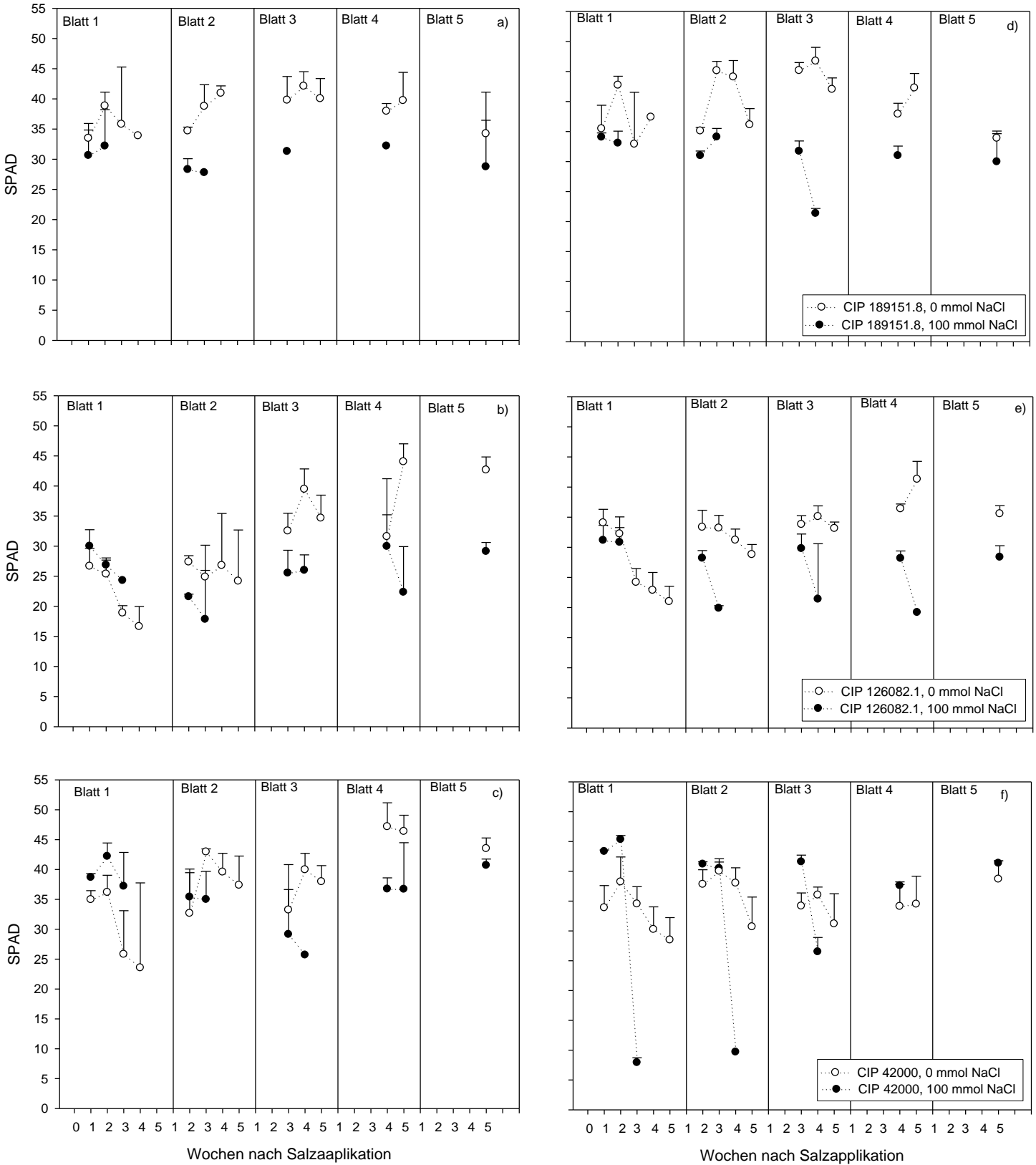
Bei fast allen Sorten und beiden Luftfeuchten konnte man erkennen, dass sich die SPAD-Werte vom ältesten bis zum jüngsten Blatt kaum verändert hatten. Die Ausnahme konnte man jedoch bei der Sorte CIP 106082.1 unter 40% Luftfeuchtigkeit erkennen. Dort nahmen die SPAD-Werte vom ältesten (Blatt 1) bis zum jüngsten Blatt (Blatt 5) kontinuierlich zu.

Innerhalb des Verlaufs der einzelnen Blätter nahmen die SPAD-Werte meist stetig ab. Beim vierten Blatt gab es bei einigen Sorten Auffälligkeiten. Zum Beispiel stiegen die SPAD-Werte von Woche 4 auf 5 bei der Sorte CIP 106082.1 um 13 an. Ähnliches konnte man bei hoher Luftfeuchte erkennen. Die Sorte CIP 420001 unter niedriger Luftfeuchte hatte mit über 45 überdurchschnittlich hohe Werte bei diesem Blatt.

Bei den Sorten CIP 189151.8 und CIP 106082.1 lagen bei beiden Luftfeuchten die SPAD-Werte der Pflanzen, die zur Kontrolle dienten, deutlich über den gestressten Süßkartoffelpflanzen. Bei der toleranten Sorte CIP 420001 unter 40% Luftfeuchte lagen die Werte, bis auf Blatt 1, immer noch unter denen die zur Kontrolle dienten, jedoch lagen sie näher beieinander. Bei hoher Luftfeuchte dieser Sorte lagen fast alle Werte der gestressten Blätter über denen ohne Salzstress.

Ebenfalls auffällig war bei den gestressten Blättern, dass sie sehr schnell abstarben, bzw. dass sehr schnell keine Messungen mehr möglich waren. Bei der empfindlichen Sorte CIP 189151.8 gab es bei niedriger Luftfeuchte z.B. bei Blatt 3 und 4 jeweils nur eine Messung ohne Wiederholung in den ersten Messwochen an diesem Blatt. Bei den Sorten CIP 106082.1 und CIP 420001 konnte man gut erkennen, dass die SPAD-Werte innerhalb von einer Woche stark abfallen konnten. Sie verminderten sich bis um 37.

Bei der Sorte CIP 189151.8 lag der SPAD-Wert beim jüngsten Blatt in Woche 5 unter dem vom ältesten Blatt. Bei den übrigen beiden Sorten hingegen lagen die SPAD-Werte beim jüngsten Blatt höher als beim ältesten Blatt in derselben Woche. Dies war unter beiden Luftfeuchten gleichermaßen festzustellen.



**Abb. 4: Auswirkung von Salzstress und Luftfeuchtigkeit auf die SPAD-Rate von Blättern unterschiedlichen Alters von drei Süßkartoffelklonen, a) CIP 189151.8, 40% rH; b) CIP 126082.1, 40% rH; c) CIP 420001, 40% rH; d) CIP 189151.8, 75% rH; e) CIP 126082.1, 75% rH; f) CIP 420001, 75% rH.**

## 4 Diskussion

### 4.1 Auswirkung auf die untersuchten Parameter durch die Blattalterung unter Kontrollbedingungen

Wenn man die Transpirationsrate, die Assimilationsrate, die stomatäre Leitfähigkeit und die SPAD-Werte über den Altersgradienten hinweg betrachtet, war festzustellen, dass im Allgemeinen das älteste beprobte Blatt der Pflanzen ohne Salzstress geringere Werte hatte als das jüngste beprobte Blatt in derselben Messwoche.

Diese Befunde decken sich z.B. mit den Ergebnissen einer vergleichbaren Arbeit von Alleweldt et al., der die Nettophotosynthese und Transpirationsrate bei verschiedenen Blattaltern untersuchte. Er stellte ebenfalls fest, dass die jüngeren Blätter höhere Transpirations- und Nettophotosyntheseraten als die älteren Blätter hatten. Ein Grund für die verminderten Parameterraten der älteren Blätter könnte die beginnende Seneszenz sein (Alleweldt et al., 1982). Bei einem weiteren Versuch wurde ebenfalls festgestellt, dass die Photosynthese Aktivitäten, sowie die stomatäre Leitfähigkeit bei älteren Blättern niedriger als bei jungen Blättern waren (Vos & Oyarzún, 1987). Somit passen die vorwiegenden Ergebnisse dieser Arbeit zu der bestehenden Literatur.

Betrachtet man die Pflanzen unter Kontrollbedingungen zusätzlich unter Luftfeuchtigkeit und Sorteneffekt, war festzustellen, dass an dem ältesten messbaren Blatt in Woche 5 bei dreiviertel der Pflanzen die Rate bzw. Werte der Parameter (Transpirationsrate, Assimilationsrate, stomatäre Leitfähigkeit und SPAD-Wert) niedriger war, als beim jüngsten Blatt. Bei den vier Pflanzen-Gruppen, bei denen die Werte vom ältesten messbaren Blatt zum jüngsten sanken, ließ sich ein Schema erkennen. Bei der Sorte CIP 420001 unter 75% Luftfeuchtigkeit konnte man sowohl bei der Transpiration und Assimilation als auch bei der stomatären Leitfähigkeit abnehmende Werte erkennen. Bei den SPAD-Werten passiert diese Beobachtung bei der Sorte CIP 189151.8 bei beiden Luftfeuchten.

Dass die Raten der betrachteten Parameter bei den Sorten CIP 189151.8 und CIP 420001 bei den jüngeren Blättern niedriger als bei den älteren waren, könnte an der geringeren Blattfläche der jungen Blätter gelegen haben. Wie in der Arbeit von Patané beschrieben, kann eine kleine Blattfläche eine geringe Transpirationsrate, stomatäre Leitfähigkeit und sogar Photosyntheserate durch eine geringe Lichtaufnahme hervorrufen (Patané, 2011). Vermutlich waren die Blätter noch nicht vollständig entwickelt. Bei nicht vollständig entwickelten Blättern könnte ebenfalls eine höhere Atmung der Grund für eine verminderte Nettophotosyntheserate sein (Alleweldt et al., 1982).

### 4.2 Einfluss von Salzstress auf die untersuchten Parameter im Vergleich zur Kontrollbehandlung

Die Transpiration, Assimilation, stomatäre Leitfähigkeit und SPAD werden in allgemeiner Betrachtung negativ vom Salzstress beeinflusst. Fast alle Werte waren niedriger als bei den Kontrollbedingungen. Meist hatten die Raten einen ähnlichen Verlauf, nur mit geringeren Werten. Die allgemein niedrigeren Raten der salzgestressten Blätter, stimmen mit der vorhandenen Literatur überein. In einem vergleichbaren Versuch mit Gerste, in dem der Effekt des Salzes auf Photosynthese, Transpiration und stomatäre Leitfähigkeit untersucht wurde, konnte man ebenfalls feststellen, dass verschiedenen Sorten unterschiedlich vom Salzstress betroffen waren. In der Regel verminderten sich die untersuchten Parameter, vor allem bei den empfindlichen



Sorten. Die toleranten Sorten waren jedoch gar nicht oder weniger vom Salz betroffen. Bei einer der toleranteren Sorten erhöhte sich jedoch die Photosyntheserate unter erhöhtem Salzstress (Mahlooji et al., 2017). Die durch den Salzstress verminderten Raten der Parameter lagen wahrscheinlich an der Akkumulation von  $\text{Na}^+$  in den älteren Blättern. Bei einer zu hohen Konzentration kann das  $\text{Na}^+$  zu einer Toxizität führen, wodurch die Funktionen des Blattes nicht mehr aufrechterhalten werden können (Munns & Tester, 2008).

Wenn man die beiden Luftfeuchten und Sorten einzeln betrachtet, kann man einige Ausnahmen erkennen. Eine Auffälligkeit kann man bei der Betrachtung der SPAD Werte der Sorte CIP 420001 unter hoher Luftfeuchte erkennen. Dort lagen fast alle Werte der salzgestressten Pflanzen über denen der Pflanzen unter Kontrollbedingungen. Dies könnte an einer Kombination aus einer höheren Toleranz des Gewebes gegenüber  $\text{Na}^+$  gelegen haben, also einer ionischen Anpassung, und einer osmotischen Anpassung. Dieser Effekt kann zu einer erhöhten Wachstumsrate führen (Munns & Tester, 2008).

In der bestehenden Literatur wird außerdem meist davon ausgegangen, dass sich vor allem die Transpiration und die stomatäre Leitfähigkeit unter 75% Luftfeuchtigkeit auf Grund des geringeren VPD verringern müssten. In unserem durchgeführten Versuch war jedoch die Differenz der beiden Behandlungen, also der Effekt des Salzes, bei hoher Luftfeuchte bei allen Sorten größer als bei niedriger Luftfeuchte. Dies könnte folgendermaßen erklärt werden: Das Messgerät (LC Pro) verursacht beim Messen Luftbewegung. Durch einen Anstieg der Luftgeschwindigkeit erhöht sich die Transpiration (Stanghellini, 1987). Dies hat vor allem bei hoher Luftfeuchte einen großen Effekt, da die Stomata weit geöffnet sind. Wegen des geringeren VPD ist die Transpirationsrate im Normalfall jedoch geringer als bei niedriger Luftfeuchte. Durch die Luftbewegung wird die gesättigte Luft, welche der Epidermis anliegt, jedoch abgetragen. Die neue ungesättigte Luft, welche an der Blattoberfläche vorbeizieht, begünstigt die Transpiration (Stanghellini, 1993) und somit auch die stomatäre Leitfähigkeit.

#### 4.3 Einfluss von Blattalter auf die Effekte von Salzstress und Luftfeuchtigkeit - Unterschiede zwischen jungen und alten Blättern, sowie Sorteneffekt

Das Blattalter hat in Bezug auf die Luftfeuchtigkeit und den Salzstress nicht bei allen Parametern eindeutig erkennbare Veränderungen hervorgerufen. Jedoch konnte man bei der Assimilation und Transpiration jeweils bei der Sorte CIP 420001 beider Luftfeuchten einen Effekt des Blattalters auf die Reaktion auf den Salzstress erkennen. Bei den älteren Blättern (Blatt 1-3) konnte man erkennen, dass die Werte der gestressten Blätter deutlich niedriger lagen als bei Blättern ohne Salzstress. Hingegen bei den beiden jüngsten Blättern (Blatt 4-5) stiegen die Raten so stark an, dass die Werte der gestressten Blätter höher lagen als die der ungestressten. Dies konnte man bei beiden Luftfeuchten im Verhältnis gleichermaßen feststellen.

Bei der Transpiration konnte man bei den Sorten CIP 189151.8 und CIP 106082.1 bei hoher Luftfeuchte und beim SPAD bei der Sorte CIP 189151.8 beider Luftfeuchten, andere Verhaltensweisen der salzgestressten Blätter in Abhängigkeit des Blattalters erkennen, als bei den Pflanzen unter Kontrollbedingungen. Bei den jüngsten gestressten Blättern sanken die Werte im Vergleich zu den älteren Blättern, wobei bei den Blättern unter Kontrollbedingungen das Gegenteil zu beobachten war.

Bei den übrigen Pflanzen konnte man so eine Reaktion auf den Effekt des Salzstress in Abhängigkeit des Blattalters nicht feststellen. Dort reagierten alle Blätter beider Behandlungen (0 und 100 mmol NaCl) meist ähnlich auf den Effekt des Alters.

Der Anstieg der Transpirations- und Assimilationsrate bei den jungen, salzgestressten Blättern der Sorte CIP 420001 deutet auf einen Anpassungsmechanismus dieser salztoleranten Sorte

hin. In einem vergleichbaren Versuch mit Weizen wurde festgestellt, dass in älteren Blättern 6-8 mal mehr  $\text{Na}^+$  und  $\text{Cl}^-$  akkumuliert wird als in dem jüngsten Blatt. Außerdem wurde festgestellt, dass z.B. die netto Photosyntheserate und Transpirationsrate bei dem jüngsten Blatt am höchsten war und beim ältesten am niedrigsten. Diese Beobachtung wurde in unserem Versuch ebenfalls gemacht. Als weiterer Faktor wurde in dem Versuch der Anpassungsgrad an den Salzstress erwähnt (Sharma, 1996). Angepasste Blätter können somit besser mit dem vorhandenen Stress umgehen, wodurch vor allem die jüngeren weniger stark von diesem betroffen sind. Es lässt vermuten, dass die tolerante Sorte das  $\text{NaCl}$  besonders effizient in den älteren Blättern akkumuliert und damit die Funktionen in den jungen Blättern besser aufrechterhalten werden kann.

Der gleiche Effekt wurde in dem Versuch von Sharma bei der stomatären Leitfähigkeit festgestellt. Es wurde eine Korrelation zwischen stomatärer Leitfähigkeit und der Transpirationsrate festgestellt (Sharma, 1996). In unserem Versuch kann man einen ähnlichen Effekt auf den Salzstress, wie schon bei der Assimilation und Transpiration erkennen, jedoch ist dies weniger deutlich und somit kann keine eindeutige Aussage über den Effekt des Alters auf den Salzstress bei der stomatären Leitfähigkeit getroffen werden.

Der fehlende Anstieg oder die sogar niedrigeren Werte der untersuchten Parameter bei den jüngeren Blättern der Sorten CIP 189151.8 und CIP 106082.1 könnten durch eine Zellausdehnung, bedingt durch den Salzstress, entstanden sein. Salzstress beeinflusst die Zellausdehnung in jungen Blättern und kann zu einer Verringerung der Blattfläche führen (Munns & Tester, 2008b). Das relative Blattflächenverhältnis (unter Salzstress im Vergleich zu Kontrollbedingungen) liefert ein Maß für die Auswirkung des Salzgehalts auf die effektive Blattdicke. Unter Salzstress wird die Blattexpansion, die mit Änderungen der Blattanatomie (kleinere und dickere Blätter) verbunden ist, verringert, was zu einer höheren Chloroplasten-Dichte pro Flächeneinheit führt. Dies wiederum kann zu einer Verringerung der Photosynthese führen, welche am Chlorophyllgehalt gemessen wird (Munns & Tester, 2008a).

#### 4.4 Mögliche Fehlerquellen

Während des Versuchs wurde die Temperatur sowie die relative Luftfeuchtigkeit in den Luftfeuchtekammern nicht aufgezeichnet. Somit konnten Schwankungen in unseren Messungen nicht genau überprüft und ein Einfluss dieser Parameter konnte nicht ausgeschlossen werden.

Durch den hohen Salzstress starben die Blätter sehr schnell ab, sodass meist kein exakter Vergleich zwischen dem ältesten und jüngsten Blatt zu ziehen war. Durch eine etwas geringere Dosierung des Salzes könnten die älteren Blätter länger überleben und somit wären genauere Vergleiche möglich.

Aufgrund der geringen Probenanzahl von  $n=3$  war es schwer, statistische Aussagen zu treffen. Eine größere Anzahl der Wiederholung könnte die Genauigkeit der Aussagen erhöhen.

## 4.5 Fazit und Ausblick

Unter den drei Genotypen war die Transpiration, Assimilation, stomatäre Leitfähigkeit und SPAD im Verhältnis am besten aufrechterhalten bei der Sorte CIP 420001 in den jüngeren Blättern (Blatt 4 und 5). Junge Blätter aller Sorten zeigten bessere Werte bei der Transpiration, Assimilation, stomatären Leitfähigkeit und SPAD. Der Effekt der Luftfeuchte war eher gering für die Betrachtung der Süßkartoffelpflanzen unter Salzstress. Weitere Studien zur Betrachtung der Genotypen wären empfohlen, um die Unterschiede der Transpiration, Assimilation, stomatären Leitfähigkeit und SPAD weiter zu untersuchen. Die Na- und Cl-Konzentrationen sollten auch für die Wirkung der Blattseneszenz erfasst werden. Die Leistung der Transpiration, Assimilation, stomatären Leitfähigkeit und SPAD von jungen Blättern hängt wahrscheinlich mit den Na- und Cl-Regulationen in Abhängigkeit von den Sorten ab.

In weiterführenden Versuchen könnte man die erhobenen Daten nutzen, um präzisere Fragestellungen zu formulieren. Wichtig dafür ist die Mechanismen der salztoleranten Süßkartoffelsorten weiter zu untersuchen, verstehen und nutzbar zu machen. Dies hat eine große Bedeutung für den Anbau der Süßkartoffel in salzbelasteten Regionen, wie z.B. die Küstenregionen Bangladeschs.

## Literaturverzeichnis

- Alleweldt, G., Eibach, R., & Rühl, E. (1982). Untersuchungen zum Gaswechsel der Rebe: Einfluß von Temperatur, Blattalter und Tageszeit auf Nettphotosynthese und Transpiration. *Vitis* 21, 93-100.
- Burgert, S., (2019). Einfluss von Salzstress auf die physiologische Aktivität von Blättern unterschiedlichen Alters bei der Süßkartoffel.
- DGE. (2021). Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V. Abgerufen 22. Januar 2021, von <https://www.dge.de/wissenschaft/referenzwerte/vitamin-a-b-carotin/?L=0>
- FAO. (2019). Food and Agriculture Organisation of the United Nations. Abgerufen 22. Januar 2021, von <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>.
- FAO. (2013). Food and Agriculture Organisation of the United Nations. Abgerufen 22. Januar 2021, von [http://www.fao.org/fileadmin/templates/food\\_composition/documents/FCT\\_10\\_2\\_14\\_final\\_version.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/food_composition/documents/FCT_10_2_14_final_version.pdf)
- FAO. (2010). Food and Agriculture Organisation of the United Nations. Abgerufen 22. Januar 2021, von [http://www.fao.org/ag/agn/nutrition/bgd\\_en.stm](http://www.fao.org/ag/agn/nutrition/bgd_en.stm).
- Haque, S. A. (2006). Salinity problems and crop production in coastal regions of Bangladesh. *Pak. J. Bot.*, 38(5), 1359–1365.
- IAPN. Forschen und lernen. (2020). Abgerufen 07. Februar 2021, von <https://www.iapn.de/lehre/praxisbericht?type=98>
- Khan, H., & Awal, A. (2009). Global Warming and Sea Level Rising: Impact on Bangladesh Agriculture and Food Security.
- Kitayama, M. et al., 2020. Calcium and soluble sugar enrichments and physiological adaptation to mild NaCl salt stress in sweet potato (*Ipomoea batatas*) genotypes. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 782-793.
- Larcher, W. (2001): *Ökophysiologie der Pflanzen*. 6. Auflage, Stuttgart: Ulmer, ISBN: 3- 8001-2759-8.
- Mahajan, S., & Tuteja, N. (2005). Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 444(2), 139–158.
- Mahlooji, M., et al., 2017. Effect of salt stress on photosynthesis and physiological parameters of three contrasting barley genotypes. *Photosynthetica* 56, 549-556.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, (59), 651–81.
- Munns, R., & Tester, M. (2008a). Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59(1), 651–681.
- Munns, R., & Tester, M. (2008b). Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59(1), 651–681.

- Patané, C., 2010. Leaf Area Index, Leaf Transpiration and Stomatal Conductance as Affected by Soil Water Deficit and VPD in Processing Tomato in Semi Arid Mediterranean Climate. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 165-176.
- Pantin, F., et al. (2013). Development Priming of Stomatal Sensitivity to Abscisic Acid by Leaf Microclimate. *In: Current Biology*.
- Remo Nemitz (2021), Wetter-Atlas. Abgerufen 01. März 2021, von <https://www.wetter-atlas.de/klima/asien/bangladesch.php>
- Sharma, S.K. (1996). Soil salinity effects on transpiration and net photosynthetic rates, stomatal conductance and  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  contents in durum wheat. *Biologia Plantarum.*, 38(4), 519-523.
- Singh, R. et al., 2002. Solution culture for screening rice varieties for sodicity tolerance. *Journal of Agricultural Science*, 327–333.
- Stanghellini, C. (1987). Transpiration of greenhouse crops: an aid to climate management (*Dissertation, Physik und Meteorology*). Agriculture University, Wageningen.
- Stanghellini, C. (1993). Mixed convection above greenhouse crop canopies. *Agricultural and Forest Meteorology* 66, 111-117.
- Vos, J., & Oyarzún, P. J. (1987). Photosynthesis and stomatal conductance of potato leaves-effects of leaf age, irradiance, and leaf water potential. *Photosynthesis Research.*, (11), 253-264.
- Zaman, M., Shahid, S. A., & Heng, L. (2018). Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques. *Cham: Springer International Publishing*.

## VI. Danksagung

Am Ende möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Folkard Asch für die Betreuung dieser Arbeit bedanken.

Ein großes Dankeschön geht außerdem an Shimul Mondal, der sich immer mit allen Fragen und Bedenken von uns auseinandergesetzt hat.

Und zu guter Letzt möchte ich mich bei meiner Familie und vor allem bei meinen Eltern bedanken, die dies hier alles ermöglicht und erleichtert haben.