



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Bachelorarbeit

Tag/Nacht Effekte auf Blattstreckungsraten von ausgewählten C₃ und C₄ Gräsern

Fakultät Agrarwissenschaften

Institut für Tropische Agrarwissenschaften (Hans-Ruthenberg-Institut)

Fachgebiet Wasserstress-Management bei Kulturpflanzen in den Tropen und Subtropen

(490g)

Prof. Dr. Folkard Asch

Studiengang: Agrarwissenschaften B. Sc.

Name: Rebecca Katharina Wolf

Matrikelnummer: 664307

Betreuer: Prof. Dr. Folkard Asch, Dr. Sabine Stürz

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
2 Stand der Forschung	2
2.1 Pflanzenwachstum in Anbetracht des Klimawandels	2
2.2 Agronomie der Gräser	2
2.3 Photosyntheseleistung	4
2.3.1 C ₃ - Photosynthese	4
2.3.2 C ₄ -Photosynthese	5
2.4 Temperatur als Wachstumsfaktor	5
2.5 Blattanatomie	7
2.6 Blattwachstumsdynamiken.....	8
3 Material und Methoden	9
3.1 Pflanzenanzucht.....	9
3.2 Versuchsaufbau	10
3.3 Messungen.....	11
3.4 Datenauswertung	11
3.5 Klimabedingungen	12
4 Ergebnisse	14
4.1 Verlauf der Blattstreckungsrate.....	14
4.2 Blattstreckungsrate.....	17
4.3 Korrelationen zwischen den unterschiedlichen Messpunkten	19
4.4 Einfluss der Temperatur auf die Blattstreckungsraten	21
4.5 Einfluss des VPD auf die Blattstreckungsrate	23
5 Diskussion	26
5.1 Unterschied zwischen den Photosynthesearten	26
5.2 Unterschiedliche Messpunkte	27
5.3 Temperatur als Wachstumsfaktor	27
5.4 Wachstum beeinflusst durch Luftfeuchtigkeit.....	29
5.5 Wachstumsdynamik.....	29
5.6 Versuchsaufbau	30
6 Fazit.....	32
7 Literaturverzeichnis	33
8 Eigenständigkeitserklärung.....	37

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Nettophotosynthese in Abhängigkeit von der Lufttemperatur in C ₃ und C ₄ Gräsern	6
Abbildung 2: Relative Rate der Nettophotosynthese bei Mais und Blattwachstum in Abhängigkeit von der Temperatur	6
Abbildung 3: Versuchsaufbau mit Messstativ, Kamera und Versuchspflanzen	11
Abbildung 4: Versuchsaufbau mit Messstativ, Pflanzen und Beleuchtung	11
Abbildung 5: Minimale und maximale Lufttemperatur (°C) und relative Luftfeuchtigkeit (%) des Versuchsgewächshauses während der gesamten Versuchsdurchführung	12
Abbildung 6: Lufttemperatur (°C) und relative Luftfeuchtigkeit (%) des Gewächshauses durchschnittlich an den 10 Messtagen abhängig von der Uhrzeit	13
Abbildung 7: Exemplarische Darstellung der Leaf Elongation Rate (LER) mit Standardfehlern von <i>Zea mays</i> in mm/h gemessen an der Spitze des jüngsten Blattes	14
Abbildung 8: Wachstumsraten von <i>Panicum maximum</i> , <i>Zea mays</i> und <i>Oryza sativa</i> gemessen an der Spitze des jüngsten Blattes in Prozent vom Maximum im Tagesverlauf als gleitender Mittelwert	15
Abbildung 9: Wachstumsraten von <i>Panicum maximum</i> , <i>Zea mays</i> und <i>Oryza sativa</i> gemessen an der Spitze des älteren Blattes in Prozent vom Maximum im Tagesverlauf als gleitender Mittelwert	16
Abbildung 10: Wachstumsraten von <i>Panicum maximum</i> , <i>Zea mays</i> und <i>Oryza sativa</i> gemessen an der Basis des älteren Blattes in Prozent vom Maximum im Tagesverlauf als gleitender Mittelwert	16
Abbildung 11: LER tags und nachts im Vergleich zwischen den drei Kulturen und den drei Messpunkten mit Standardfehlern	19
Abbildung 12: Regression der LER (mm/h) zwischen Spitze des jüngeren Blattes und Spitze des älteren Blattes für <i>Panicum maximum</i> , <i>Zea mays</i> und <i>Oryza sativa</i>	20
Abbildung 13: Regression der LER (mm/h) zwischen Spitze des jüngeren Blattes und Basis des älteren Blattes für <i>Panicum maximum</i> , <i>Zea mays</i> und <i>Oryza sativa</i>	20
Abbildung 14: Regression der LER (mm/h) zwischen Spitze des älteren Blattes und Basis des älteren Blattes für <i>Panicum maximum</i> , <i>Zea mays</i> und <i>Oryza sativa</i>	21
Abbildung 15: Regressionen zwischen LER (mm/h) und Tages- und Nachttemperatur (°C) für drei Kulturen und jeweils drei unterschiedliche Messpunkte am Blatt	22
Abbildung 16: Regressionen zwischen LER (mm/h) und VPD (kPa) für drei Kulturen und jeweils drei unterschiedliche Messpunkte am Blatt	24

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: LER (mm/h) von <i>Panicum maximum</i> innerhalb von 24h gemessen an drei Messpunkten am Blatt in fünf Wiederholungen mit Standardfehler	17
Tabelle 2: LER (mm/h) von <i>Zea mays</i> innerhalb von 24h gemessen an drei Messpunkten am Blatt in fünf Wiederholungen mit Standardfehler	17
Tabelle 3: LER (mm/h) von <i>Oryza sativa</i> innerhalb von 24h gemessen an drei Messpunkten am Blatt in fünf Wiederholungen mit Standardfehler	17

Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
cm	Centimeter
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
kPa	Kilopascal
LER	Leaf Elongation Rate
PEP	Phosphoenolpyruvat
RuBisCo	Ribulosebisphosphat
S.E	Standard Error
VPD	Vapour Pressure deficit

1 Einleitung

Monokotyle Gräser spielen in unserem Leben eine wichtige Rolle. In der menschlichen Entwicklung hat man damit begonnen, bestimmte Gräser zur Sicherung unserer Ernährung zu kultivieren. Reis, Mais und Weizen zählen zu den Hauptnahrungsmitteln weltweit (FAO & OECD, 2019). Diese Gräser sind vor allem in weniger entwickelten Ländern wegen ihrer günstigen Verfügbarkeit essentiell für die Ernährung. Zusätzlich haben Gräser nicht nur direkt eine Bedeutung für die Ernährung, sondern tragen auch indirekt als Futtermittel von Nutztieren zur Ernährungssicherung bei. So zählen Weizen und Reis primär zu den Nahrungspflanzen, wohingegen Mais hauptsächlich als Futtermittel und für Bioenergie verwendet wird.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wird die Blattwachstumsdynamik von drei verschiedenen monokotylen Gräsern untersucht. Ziel der Forschung ist, Unterschiede in der Wachstumsdynamik zwischen Tag und Nacht zu erkennen. Die ausgewählten Gräser unterscheiden sich allgemein in zwei Hauptmerkmalen. Einerseits unterscheiden sie sich in der Art der Photosyntheseleistung, C_3 oder C_4 Typen. Andererseits wird unterschieden zwischen domestizierten oder nicht-domestizierten Kulturen. Für die domestizierten Kulturen werden *Oryza sativa* (IR 64) und *Zea mays* betrachtet, für die nicht-domestizierte Kultur *Panicum maximum*. *Oryza sativa* zählt zum C_3 -Typ, wohingegen *Zea mays* und *Panicum maximum* C_4 -Pflanzen sind. Bei diesen unterschiedlichen Kulturen soll herausgefunden werden, wie die Blattstreckung sich während der Nacht und während des Tages verändert.

In dieser Bachelorarbeit wird zunächst auf theoretisches Wissen allgemein bezogen auf Gräser eingegangen. Dabei wird deren Wachstum und die Unterschiede zwischen tropischen und nicht tropischen Arten betrachtet. Zusätzlich wird hervorgehoben, wie Blattwachstum gemessen werden kann. Anschließend wird der Versuchsaufbau beschrieben und die Ergebnisse dokumentiert, welche am Ende diskutiert und kritisch bewertet werden.

2 Stand der Forschung

2.1 Pflanzenwachstum in Anbetracht des Klimawandels

Seit Beginn der Industrialisierung haben menschliche Aktivitäten etwa 1,0 °C globale Erwärmung verursacht. Zwischen 2030 und 2052 erreicht die globale Erwärmung, wenn sie mit der aktuellen Geschwindigkeit weiter zunimmt, mit hoher Wahrscheinlichkeit 1,5 °C (IPCC, 2018). Folgen dieser Erwärmung sind mitunter Zunahmen der mittleren Temperatur in den meisten Land- und Ozeangebieten, Anstieg von Hitzeextremen, Starkniederschlägen und der Wahrscheinlichkeit für Dürren und Niederschlagsdefizite (IPCC, 2018). Die globale Erwärmung wirkt sich also auch auf das Ökosystem der Erde und auf die Landwirtschaft aus. Pflanzenwachstum ist abhängig von Temperaturen, Wasserangebot, Sonneneinstrahlung und der Verfügbarkeit von anderen Nährstoffen. Diese Faktoren werden aktuell und in Zukunft durch den Klimawandel beeinflusst. Aus diesem Grund ist es auch in der Landwirtschaft äußerst wichtig, sich mit Strategien zu beschäftigen, die die globale Erwärmung bremsen, sowie unsere landwirtschaftlich genutzten Pflanzen an die geänderten Bedingungen anpassen. Betrachtet man die Erträge der wichtigsten Kulturgräser Weizen, Gerste, Roggen und Silomais sind in Deutschland bis 2050 nur geringe Ertragsänderungen zu erwarten (KomPass, 2018). Trotzdem wird die Stabilität der Erträge durch die zunehmende Häufigkeit von Extremwetterereignissen abnehmen. Hitze- und Trockenperioden werden vermutlich künftig das Hauptproblem des Pflanzenbaus darstellen. Das Wasserspeichervermögen der Böden wird zu einem zunehmend ertragsbestimmenden Faktor (KomPass, 2018).

2.2 Agronomie der Gräser

Oryza sativa L. ernährt fast die Hälfte der Weltbevölkerung. Es wird weltweit in 120 Ländern angebaut, hauptsächlich in tropischen und subtropischen Regionen Asiens. China und Indien sind die Länder mit der größten Reisproduktion, sie produzieren fast 50 Prozent des weltweiten Reises. Domestizierter Reis spielt seit den letzten 10.000 Jahren in der menschlichen Ernährung und Kultur eine gravierende Rolle (Bao, 2019). *Oryza sativa* gehört zu den C₃ Pflanzen und wird in zwei Unterarten unterteilt. Die Unterarten *indica* und *japonica* unterscheiden sich in Morphologie (Morishima & Oka, 1981) und Genetik (Feltus, Wan, Schulze, Estill, & Paterson, 2004). Verschiedene Sorten sind an die unterschiedlichsten

Umweltbedingungen angepasst; an gemäßigte oder tropische Temperaturen, geflutete oder trockene Gebiete (Yoshida, 1981).

Oryza sativa var. *IR64* gehört zu den halbzweigen Indica Sorten, welche ihren Ursprung in den Philippinen haben. Sie wurde 1985 vom International Rice Research Institute (IRRI) auf hohen Ertrag gezüchtet. Weitere Vorteile dieser Sorte sind frühe Reife, Krankheitsresistenz und zudem hervorragende Kochqualität (Mackill & Khush, 2018). Jedoch reagiert IR64 äußerst sensibel auf Trockenheit (McNally, et al., 2009). Es erreicht eine Höhe von ca. 100 cm und hat mit 117 Tagen eine relativ kurze Wachstumsdauer.

Panicum maximum, auch *Megathyrus maximus*, Guinea oder Tanganyika Gras genannt (Simon & Jacobs, 2003), ist ein großwüchsiges, perennierendes Gras mit Ursprung in Tansania (Jackson, 1990). Es wächst in tropischen Regionen und wird als Weidefutter, Silage und Heu verwendet, da es einen hohen Nährwert besitzt (Food and Agriculture Organization, 2019). *Panicum maximum* weist allgemein eine hohe Wachstumsrate auf (Chippendall & Meredith, 1955). Es kann eine Höhe von 0,5 bis 3,5 Meter erreichen, mit einem Spross von 5 bis 10 mm Durchmesser (Cook, et al., 2005). Aufgrund seiner Höhe und der Eigenschaft, sich schnell in Büschen zu verbreiten, wird es teilweise auch als Erosionsschutz eingesetzt (Roose, 1994).

Zea mays ist eine domestizierte Pflanze und ist eine der produktivsten Nutzpflanzen. *Zea mays* gehört zu den C₄ Pflanzen, mit einer hohen Rate photosynthetischer Aktivität und einer Multiplikationsrate von 1:600 bis 1:1000. Mais stammt aus den Tropen und wächst in unterschiedlichen Regionen, die von Kanada bis Argentinien reichen (Paliwal, Granados, Lafitte, Violic, & Marathrée, 2000). *Zea mays* ist seit der kontinuierlichen Entwicklung von Hohertragssorten das Getreide mit den höchsten Erträgen pro Hektar. Er hat weltweit nicht nur einen hohen Nahrungswert, sondern auch als Futtermittel oder Bioenergieträger. Durch die steigende Konkurrenz und Nachfrage nach Weizenmehl und tierischen Nahrungsmitteln in Entwicklungsländern, wird mittlerweile mehr als 85% des produzierten und importierten Mais als Futtermittel verwendet (Food and Agricultural Organization, 2019).

Zea mays wird grob unterschieden in zwei Typen abhängig von der Umwelt, in der es angebaut wird: Tropischer Mais, welcher in wärmeren Regionen angebaut wird und temperater Mais, welcher auch in gemäßigten Klimaten wächst (Dowswell, Paliwal, & Camtrell, 1996). Für gewöhnlich entwickelt sich *Zea mays* vom Samen zur Pflanze in wenigen Monaten. Jedoch

unterscheiden sich Größe und Länge der Wachstumsperiode wiederum nach Sorte. Die Maispflanze hat eine lange, blattreiche Struktur mit einem gut verzweigten Wurzelsystem. Unter Getreiden ist *Zea mays* die einzige Pflanze, bei der die männliche und weibliche Blüte getrennt sind. Nach der Befruchtung bildet sich die Karyopse bestehend aus Perikarp, Endosperm und Samen (Serna-Saldivar, 2019).

2.3 Photosyntheseleistung

Photosynthese ist eine lichtabhängige Reaktion, welche Kohlenstoffdioxid und Wasser in Pflanzen in energiereiche Glucose umwandelt. Dieser Prozess wird unterteilt in Licht- und Dunkelreaktion. Die spezifische Methode, welche von Pflanzen zur Photosynthese genutzt wird, ist eine Kombination von verschiedenen Reaktionen, welche den sogenannten Calvin Zyklus einschließen. Diese Reaktionen finden in jeder Pflanze statt und beeinflussen die Anzahl und Art der Kohlenstoffverbindungen, die gebildet werden. Zudem beeinflussen sie den Ort, wo diese Moleküle in der Pflanze aufbewahrt werden und die Fähigkeit, niedrigen Kohlenstoffkonzentrationen in der Atmosphäre standzuhalten, sowie hohen Temperaturen und geringer Wasserverfügbarkeit. Der Unterschied zwischen C_3 und C_4 Pflanzen liegt im ersten stabilen Produkt, welches aus dem Kohlenstoffdioxid umgewandelt wird: Beim C_3 Zyklus ist dieses ein dreiwertiger Kohlenstoffkomplex, 3-Phosphoglycerin-Säure; beim C_4 Zyklus ein vierwertiger Kohlenstoffkomplex, Oxalacetatsäure.

2.3.1 C_3 - Photosynthese

Fast 85 Prozent der Pflanzen auf der Erde sind C_3 Pflanzen, dazu gehören z.B. Reis, Weizen und Soja. Der Großteil unserer Nahrung wird also von C_3 Pflanzen erzeugt. Die C_3 Photosynthese findet in den Mesophyllzellen statt, welche der Blattoberfläche am nächsten sind und vergleichen mit anderen Zelltypen des Blattgewebes die höchste Dichte an Chloroplasten enthalten. Mithilfe des Enzyms Ribulose-1,5-bisphosphat-carboxylase-oxygenase (RuBisCO) wird CO_2 in ein dreiwertigen Kohlenstoffkomplex, 3-Phosphoglycerin-Säure, umgewandelt. Der Calvin Zyklus kann in drei Schritte untergliedert werden. Zu Beginn wird CO_2 in Ribulose-1,5-bisphosphate fixiert und bildet somit eine instabile sechswertige Kohlenstoffverbindung. Diese wird hydrolysiert in eine dreiwertige Kohlenstoffverbindung, 3-phosphoglycerat. CO_2 -Fixierung wird katalysiert durch das Enzym RuBisCO, welches sich an der Oberfläche der Thylakoidmembran in den Chloroplasten befindet. Die CO_2 -Fixierungsrate ist der limitierende

Faktor des C_3 Zyklus. RuBisCo reagiert mit molekularem Sauerstoff, diese Reaktion wird Photorespiration genannt und führt zu Energieverlust. Unter aktuellen atmosphärischen Bedingungen wird die Photosynthese in C_3 Pflanzen durch 40 Prozent von Sauerstoff unterdrückt und dies steigert sich zusätzlich unter Bedingungen wie Dürre, hohe Strahlung oder hohe Temperaturen.

2.3.2 C_4 -Photosynthese

Nur ca. 3 Prozent aller Landpflanzen sind C_4 Pflanzen, sie dominieren jedoch fast alle Grasländer in den Tropen und Subtropen. Dazu gehören Pflanzen wie Mais, Sorghum und Zuckerrohr. Die C_4 Photosynthese ist ein biochemisch modifizierter Prozess des C_3 Weges. In C_4 Pflanzen sind Lichtreaktion und Calvin Zyklus lokal getrennt. Die Lichtreaktion geschieht in den Mesophyllzellen und der Calvin Zyklus in den Bündelscheidenzellen. Zuerst wird atmosphärisches CO_2 in den Mesophyllzellen fixiert und formt eine einfache Kohlenstoffverbindung mit 4 C, Oxaloacetatsäure. Dieser Schritt wird durch das Enzym PEP Carboxylase ermöglicht, welches keine Tendenz hat O_2 zu binden. Oxaloacetat wird anschließend zu Malat konvertiert, welches in die Bündelscheidenzellen transportiert werden kann. In diesen Zellen bricht Malat auf und gibt ein CO_2 Molekül ab. Dieses CO_2 Molekül wird nun von RuBisCo fixiert und in Glucose umgewandelt via Calvin Zyklus genauso wie in der C_3 Photosynthese.

C_3 und C_4 Pflanzen unterscheiden sich also physiologisch und morphologisch (Ueno, 2011). Während C_3 Gräser besser auf kühlere Umweltbedingungen reagieren, bevorzugen C_4 Gräser warme bis heiße Bedingungen (Hattersley, 1983). Zudem sind C_3 Gräser nährreicher und schmackhafter für Weidetiere als C_4 Gräser (Lodge & Whalley, 1983) (Archer & Robinson, 1988).

2.4 Temperatur als Wachstumsfaktor

Die Temperatur ist einer der wichtigsten Faktoren, der das Wachstum von Pflanzen und besonders von C_4 Gräsern beeinflusst. In Forschungsarbeiten, in denen der Einfluss der Umwelt auf das Wachstum und den Ertrag von Gräsern untersucht wurden, konnte die Temperatur als einer der wichtigsten Faktoren identifiziert werden (Chudleigh, Boonman, & Cooper, 1977). Einfluss nimmt die Temperatur auf die Artenverteilung, Photosynthese und

andere biochemische Prozesse, die Menge der gebildeten Trockenmasse, die jahreszeitliche Entwicklung, das Wachstum und weiteren Aspekten des Pflanzenwachstums. Im Folgenden wird auf die Effekte der Temperatur auf Photosynthese und Wachstum eingegangen.

Wie bereits erwähnt haben C_4 Gräser höhere Optimaltemperaturen als C_3 Gräser. Für viele tropische C_4 Futtergräser liegt die Minimaltemperatur für die Nettophotosynthese bei 5-10°C, die Optimaltemperatur bei 35-40°C, und die maximale Temperatur bei der Nettophotosynthese möglich ist bei 50-60°C (Ludlow & Wilson, 1971).

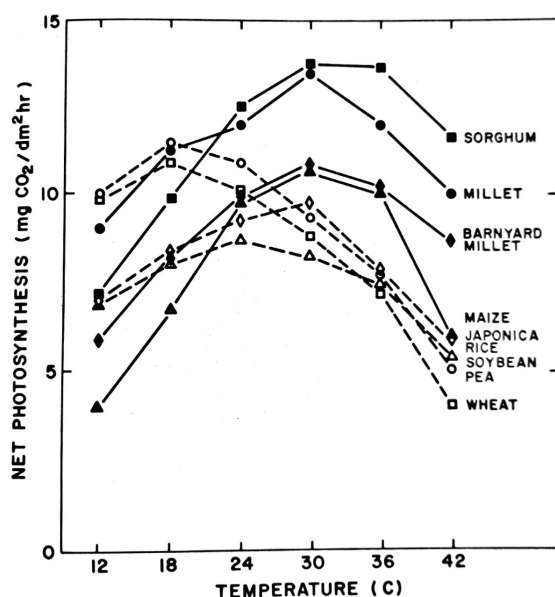


Abbildung 1: Nettophotosynthese in C_3 (---) und C_4 (—) Gräsern in Abhängigkeit von der Lufttemperatur (Vong & Murat, 1977).

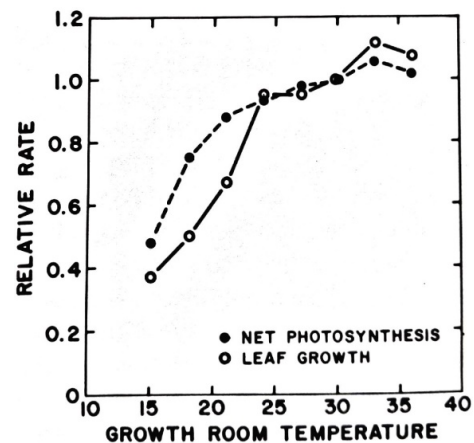


Abbildung 2: Relative Rate der Nettophotosynthese und das Blattwachstum bei *Zea mays* in Abhängigkeit von der Temperatur (Duncan & Hesketh, 1968).

Die Streckungen des Blattes und des Stängels sind sehr sensitiv gegenüber der Temperatur. Wenn die Wasser und Nährstoffversorgung optimal gewährleistet ist, ist die Streckung des Halms von Gräsern stark korreliert mit der Lufttemperatur (Das, 1933). Die Beziehung zwischen Streckung des Grases und Temperatur wird zudem beeinflusst von anderen Faktoren, wie der Jahreszeit (Stender, 1924) und demzufolge Unterschieden in der Mineralstoffversorgung, der Bodenfeuchte und des Pflanzenalters (Clements, 1980). Bei der Blattstreckung wurden starke Abhängigkeiten zur Temperatur nachgewiesen (Kleinendorst & Brouwer, 1970). Hierbei haben Wurzel-, Meristem- und Blattemperatur unterschiedliche Auswirkungen auf die Blattstreckung (Watts, 1971). Watts (1972) analysierte bei Mais, dass Luft- und Wurzelzonentemperatur einen geringen Kurzzeiteffekt auf die Blattstreckung

haben, wenn die Temperatur in der Region des Meristems konstant bei 25°C gehalten wurde (Watts, 1972). Im Kontrast dazu, wenn Luft- und Wurzeltemperatur konstant bei 25°C gehalten wurde, aber die Meristemtemperatur variierte, wurde die Blattstreckung stark beeinflusst (Watts, 1972). In Bezug auf die Temperaturunterschiede bei Tag und Nacht fand Went (Went, 1944) heraus, dass wenn die Tage wärmer sind als die Nächte die maximale Wachstumsrate erreicht werden kann. Diesen Effekt kann man dadurch erklären, dass hohe Tagedemperaturen positiv auf die Photosyntheseleistung wirken und niedrige Nachttemperaturen nachwirkend die Dunkelreaktion verringern. Die Differenz zwischen Tages- und Nachttemperatur ist bei 10°C optimal (Ivory & Whiteman, 1978), wobei die Nachttemperaturen nicht zu niedrig liegen dürfen, damit die Photosyntheseleistung am folgenden Tag nicht negativ beeinflusst wird (Ku, Edwards, & Smith, 1978).

2.5 Blattanatomie

Die Blattanatomie ist ein Kennzeichen für den Stoffwechselweg der Photosynthese in Gräsern. Die Blattadern werden von Mesophyllzellen, welche meist Chloroplasten enthalten, im Querschnitt geteilt. Zwei konzentrische Zellschichten, die Bündelscheidezellen, umgeben für gewöhnlich Xylem- und Phloembündel der Adern. Diese zwei Zellschichten sind oft sehr unterschiedlich: Die innere Schicht ist abgeleitet vom Prokambium und ist typischerweise aufgebaut aus kleinen, dickwandigen Zellen, die keine Chloroplasten enthalten. Die äußere Schicht ist abgeleitet vom Grundparenchym und weist dünn- oder dickwandige Zellen auf, die relativ groß werden können. Diese Zellen enthalten Chloroplasten.

Die Blattanlage beginnt im Apikalmeristem und die Lamina wächst fast bis zu ihrer Endgröße bevor die Blattspitze sich aus den Bündeln der älteren Blätter herausstreckt. Das Plastochron – das Intervall zwischen dem Erscheinen zweier aufeinanderfolgender Blätter derselben Achse – wird stark von der Temperatur beeinflusst (Tollenaar, 1977). Die Wärmesumme kann zur Messung der Reaktion des Plastochron auf die Temperatur verwendet werden. Bei vegetativen Trieben gleicht das Intervall der Initiierung von aufeinanderfolgenden Blattanlagen dem Intervall des Erscheinens aufeinanderfolgender Blattspitzen aus dem Bündel.

2.6 Blattwachstumsdynamiken

Pflanzen wachsen durch die Bildung neuer Zellen oder das Wachsen vorhandener Zellen. Um wachsen zu können, muss die Photosyntheserate höher als die Photorespiration sein. Es gibt sechs wichtige Faktoren, die das Wachstum einer Pflanze beeinflussen: Nährstoffe, Wasserversorgung, Sauerstoff, CO₂, Temperatur, Lichtintensität und Luftfeuchtigkeit. Für optimales Wachstum müssen diese Faktoren im richtigen Verhältnis zueinander stehen (Kadereit, Körner, Kost, Sonnewald, & Strasburger, 2014). Das Wachstum von Pflanzen folgt einer inneren Uhr, dem zirkadianen Rhythmus. Um das Wachstum von Pflanzen besser zu verstehen, sollte man die Wachstumszone der Blätter betrachten. Bei Gräsern befindet sich die Wachstumszone ausschließlich in der Basis des Blattes, welche von Bündeln ältere Blattschichten eingeschlossen wird (Bernstein, Silk, & Läuchli, 1993). Die Blattwachstumszone ist verborgen, aber gut strukturiert. Das Wachstum verläuft größtenteils in eine Richtung indem eine alte Zellschicht kontinuierlich an der Basis des Blattes durch eine neue, längsverlaufende, jüngere Zellschicht ersetzt wird. In der Wachstumszone ist die Streckungsrate nicht überall gleich, sondern verändert sich mit zunehmendem Abstand von der Basis des Blattes (Schnyder, Nelson, & Coutts, 1987). Faktoren, die sich auf das Wachstum von Blättern auswirken, sind die Strahlungsintensität (Schnyder & Nelson, 1989), der Genotyp (Volenec & Nelson, 1981), die Tageszeit (Schnyder & Nelson, 1988) und die Nummer des Blattes (Meiri, Silk, & Läuchli, 1992). Blattwachstum ist sehr sensibel gegenüber Wassermangel (Hsiao, 1973). Die Rolle des Wassers in der Blattstreckung wird beeinflusst durch das Turgorpotential, welches mit den Zellwänden interagiert und so die Blattstreckung festlegt (Lockhart, 1967). Ohne osmotische Anpassung sinkt das Turgorpotential rasant, wenn sich Wassermangel entwickelt. Der Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Blattstreckung bei bestimmten Umgebungstemperaturen kann mithilfe des Sättigungsdefizit des Wasserdampfs (engl.: vapour-pressure deficit, VPD) untersucht werden. Laut Wach (1980) wurde die Blattstreckung bei gut bewässertem Reis im Tagesverlauf durch höhere Streckung am Tag als in der Nacht charakterisiert. Dabei ist der Übergang von Nacht zu Tag geprägt durch eine kurze Abnahme der Blattstreckungsrate (engl.: leaf elongation rate, LER) und der Übergang von Tag zu Nacht geprägt durch einen kurzen Anstieg der LER. Im Tagesverlauf bedingte Wachstumsaktivitäten unter guter Wasserversorgung wurden mit hohen Raten während des Tages und niedrigeren Raten während der Nacht beschrieben.

3 Material und Methoden

In diesem Versuch sollen die Blattwachstumsdynamik von *Oryza sativa*, *Zea mays* und *Panicum maximum* im Unterschied zwischen Tag und Nacht untersucht werden. Die Kulturen *Oryza sativa* var. IR64, *Zea mays sativa* var. Ronaldinio und *Panicum maximum* var. Mombaca wurden verwendet. Der komplette Versuch wurde im April und Mai 2019 im Gewächshaus des Instituts für tropische Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim durchgeführt. Pro Kultur wurden fünf Wiederholungen vorgenommen. Die Messungen erfolgten an drei verschiedenen Messpunkten. Die Messpunkte waren die Blattspitze des jüngsten Blattes, die Spitze des zweitjüngsten Blattes, welches bereits einige Tage gewachsen ist, und die Basis des zweitjüngsten Blattes, das bereits einige Tage gewachsen ist.

3.1 Pflanzenanzucht

Mit Komposterde gefüllte Pflanzentöpfe wurden zum Vorkeimen der Samen verwendet. Für die Kulturen *Panicum maximum* var. Mombaca und *Oryza sativa* var. IR64 wurden Plastiktöpfe mit den Maßen 12 x 12 x 12,5 cm gefüllt mit 600 g Komposterde verwendet. Für *Zea mays sativa* var. Ronaldinio wurden wegen tieferer Durchwurzelung Plastiktöpfe mit den Maßen 10 x 10 x 20 cm gefüllt mit 1000 g Komposterde verwendet. Pro Kultur wurden sechs Töpfe benutzt und pro Topf jeweils fünf Samen mit einer Saattiefe von 2 cm eingesät. Die Töpfe befanden sich im Gewächshaus und wurden von Beginn an täglich von 8:00 bis 20:00 Uhr von zwei Wärmelichtlampen bestrahlt. Bei den Lampen handelte es sich um Natriumdampflampen (400 Watt, SON-K-400; Professional Lightning), die circa einen Meter über den Pflanzen platziert wurden. Die Photonenflussdichte lag bei circa 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Alle Töpfe wurden täglich mit der gleichen Menge Wasser gegossen, sodass die Erde permanent feucht gehalten wurde. Nach einer Keimungsdauer von 19 Tagen wurden die Pflanzendichte bei allen Kulturen auf zwei Pflanzen pro Topf ausgedünnt. Die Pflanzen wurden unter gelegentlicher Zugabe von Düngelösung (Wuxal Universaldünger, Firma Manna, 20 ml Düngelösung/10 L Wasser) unter optimaler Nährstoffzufuhr gehalten. 21 Tage nach der Aussaat waren die Pflanzenblätter stabil genug für die Versuchsdurchführung.

3.2 Versuchsaufbau

Zum Messen der Wachstumsrate der Blätter wurde ein Versuchsaufbau verwendet, der von Dr. Sabine Stürz entwickelt, von der Bachelorstudentin Sophia Bothe weitergeführt und während dieses Versuches optimiert wurde. An einem 75 cm langen Messstativ wurde eine 30 x 1 x 1 cm große Holzleiste festgeklebt. Auf dieser wurde wiederum eine 29 cm lange Messskala geklebt, welche im Laufe des Versuchs zum Ablesen verwendet wurde. Die Messskala wurde so mit Klebeband festgeklebt, dass sie nur oben und unten befestigt war, sodass zwischen Holzstück und Messskala ein Freiraum blieb. An dem oberen Ende des Stativs wurde mit einer Stativmuffe ein Holzstück mit den Maßen 8 x 1 x 1 cm mittig angebracht, in dem zwei 16 x 6 x 2,8 mm große Ringschrauben eingeschraubt wurden. Die Ringschrauben hatten einen Abstand von 3 cm zueinander und wurden beide nach unten gerichtet. Durch die Öffnungen der Ringschrauben wurden jeweils eine 60 cm lange Angelschnur geführt. An den Enden der Angelschnüre, die jeweils nach außen führen, wurde jeweils eine 2 cm große Klammer angebracht, welche im Laufe des Versuches an den Messpunkten an den Blättern festgeklammert wurde. An dem nach innen führenden Ende der Angelschnüre wurde jeweils eine 2,5 cm große Heftklammer angebracht. An diese Heftklammern wurde mit rotem Klebeband eine 16 x 6 mm große Ringschraube geklebt. An diese Ringschraube konnte im Laufe des Versuches die gewünschte Anzahl von Muttern (DIN 934 A2) geklebt werden, um als Gegengewicht zu dienen. Die Heftklammern wurden in dem Freiraum zwischen Messskala und Holzstück befestigt, sodass ein problemloses Hinuntergleiten der Heftklammern entlang der Messskala ermöglicht wurde.

Damit eine zum Ablesen der Messskala angemessene Beleuchtung bei Nacht gegeben war, wurde eine Lampe (LED Nachtlicht, 0,27 W, 5 lm, 3000 K) unten vor dem Messstativ angebracht. Auf einem weiteren Stativ wurde mit einer Muffe eine Klammer befestigt, welche eine Webcam (Logitech Webcam C615 HD) einschloss. Diese Webcam wurde auf die Messskala gerichtet. Insgesamt standen für den Versuch drei solche Messstationen zur Verfügung, welche mit drei Webcams beobachtet wurden. Diese Webcams waren permanent an einen Laptop angeschlossen, sodass mit dem Programm Webcam 7 Pro (Moonware Studios, USA) das Blattwachstum beobachtet werden konnte. Alle 30 Minuten wurde mit dieser Software ein Foto der Messskalen aufgenommen.

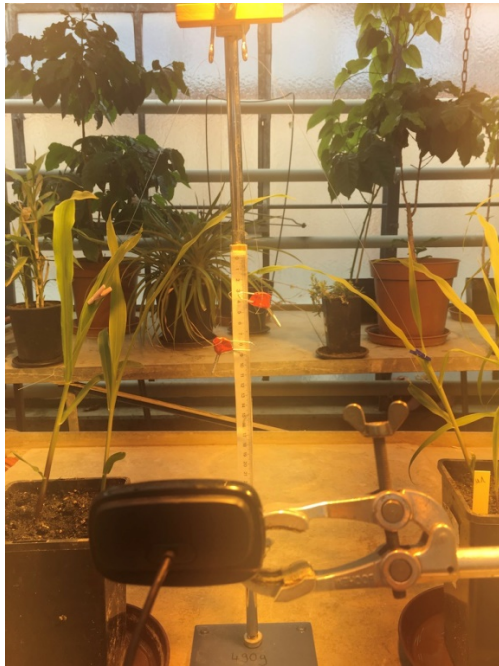


Abbildung 3: Versuchsaufbau mit Messstativ, Kamera und Versuchspflanzen



Abbildung 4: Versuchsaufbau mit Messstativ, Pflanzen und Beleuchtung

3.3 Messungen

Zum Messen der Blattstreckung der einzelnen Blätter wurden bei den drei Kulturen die Klammern an bestimmten Blättern befestigt. Bei *Panicum maximum* und *Oryza sativa* handelte es sich bei den ausgewählten Blättern immer um das fünfte erschienene Blatt. Bei *Zea mays* wurde immer das als drittes erschienene Blatt zur Messung herangezogen. Die Pflanzen für die fünf Wiederholungen wurde randomisiert ausgewählt. Die Klammern wurden je nach Messpunkt am Blatt befestigt. Für die Messungen an der Spitze des jüngsten und älteren Blattes wurden die Klammern 1 cm unterhalb der Spitze befestigt. Für die Messungen an der Basis des älteren Blattes wurden die Klammern 0,5 cm entfernt von der absoluten Basis des Blattes befestigt. Tägliche Messungen begannen immer um 12 Uhr und endeten um 12 Uhr am Folgetag. Je nach Größe der Blätter wurden Gegengewichte an die Messapparatur hinzugefügt.

3.4 Datenauswertung

Die mit den Kameras aufgezeichneten Fotos wurden mit iPhoto geöffnet. Zur Auswertung der Daten wurden alle aufgezeichneten Messwerte in Microsoft Office Excel eingetragen, indem die Längenänderung anhand der aufgenommenen Fotos abgelesen wurde. Mittelwerte,

Standardfehler und LER wurde mit Microsoft Office Excel berechnet. Diagramme und Tabellen wurden mit Microsoft Office Excel und SigmaPlot 14 (Systat Software GmbH, Deutschland) erstellt. Varianzanalysen sowie t-Tests und F-Tests zur statistischen Auswertung und Prüfung auf Signifikanz wurden mit Microsoft Office Excel durchgeführt.

3.5 Klimabedingungen

Die Klimabedingungen im Gewächshaus des Institutes für tropische und subtropische Agrarwissenschaften wurde kontinuierlich aufgezeichnet. Die Temperatur schwankte im Zeitraum des gesamten Versuchs zwischen einer durchschnittlichen Tagestemperatur von 23,8 bis 27,1 °C, mit einem durchschnittlichen Mittel in den 31 Tagen von 25,5 °C. In diesem Zeitraum lag die durchschnittliche Luftfeuchtigkeit bei 43,2 %.

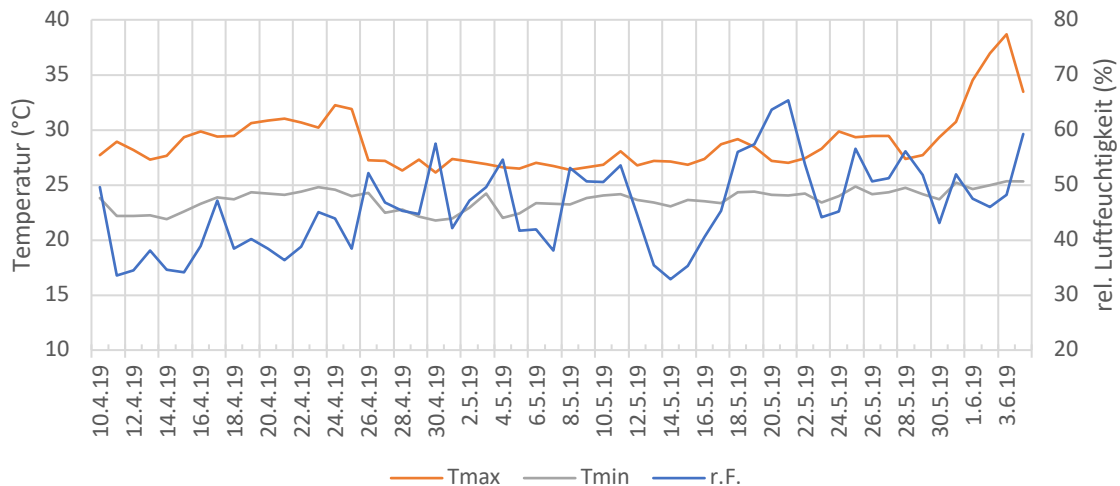


Abbildung 5: Minimale und maximale Lufttemperatur (°C) und relative Luftfeuchtigkeit (%) des Versuchsgewächshauses während der gesamten Versuchsdurchführung.

Zusätzlich, um genauere Klimawerte zwischen Tag und Nacht unterscheiden zu können, wurde die mittlere Temperatur der 10 Tage, während die Messungen vorgenommen wurden, aufgezeichnet. Die Temperatur war tags mit einem durchschnittlichen Wert von 25,3°C höher als nachts mit 24,1°C im Durchschnitt. Die relative Luftfeuchtigkeit war nachts (52,6%) höher als tags (39,9%). Auffällig ist, dass die Temperatur ihr Maximum von 26,5 °C am Anfang der Nachtperiode erreicht.

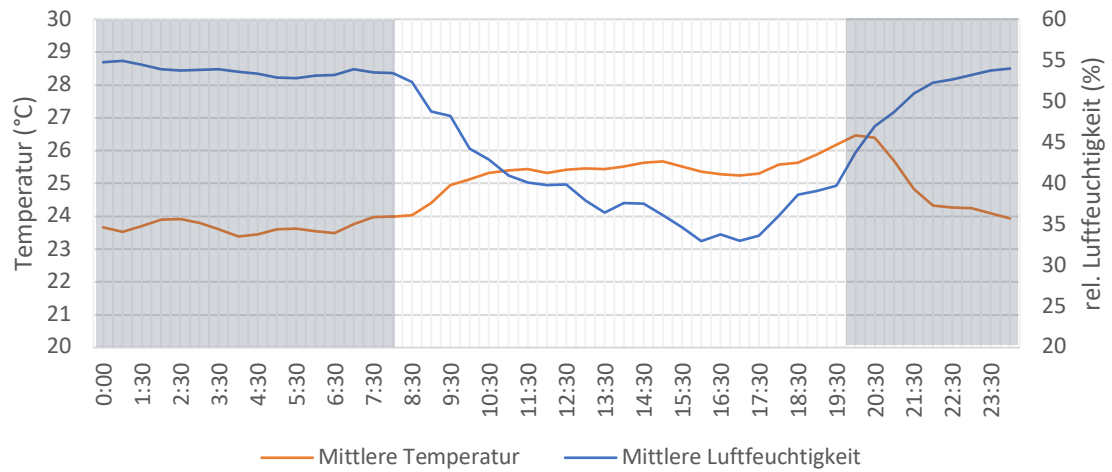


Abbildung 6: Lufttemperatur (°C) und relative Luftfeuchtigkeit (%) des Versuchsgewächshauses durchschnittlich an den 10 Messtagen abhängig von der Uhrzeit. Grau markierte Bereiche verdeutlichen die Nacht und der weiße Bereich den Tag.

4 Ergebnisse

4.1 Verlauf der Blattstreckungsrate

Allgemein zeigt die LER über 24h starke Schwankungen. Die folgenden Grafiken zeigen die LER in Abhängigkeit von der Tageszeit. Beispielhaft wird ein Tagesverlauf von *Zea mays* gemessen an der Spitze des jüngsten Blattes mit Standardfehlern gezeigt (Abbildung 7). Dabei werden die halbstündigen Schwankungen des Blattwachstums deutlich. Da der Verlauf allerdings in dieser Form schwer zu interpretieren ist, wurden für alle Kulturen Tagesverläufe mit gleitendem Mittelwert erstellt (Abbildung 8-10). Anhand dieser Darstellung können die Trends des Wachstums über den Tag besser interpretiert werden.

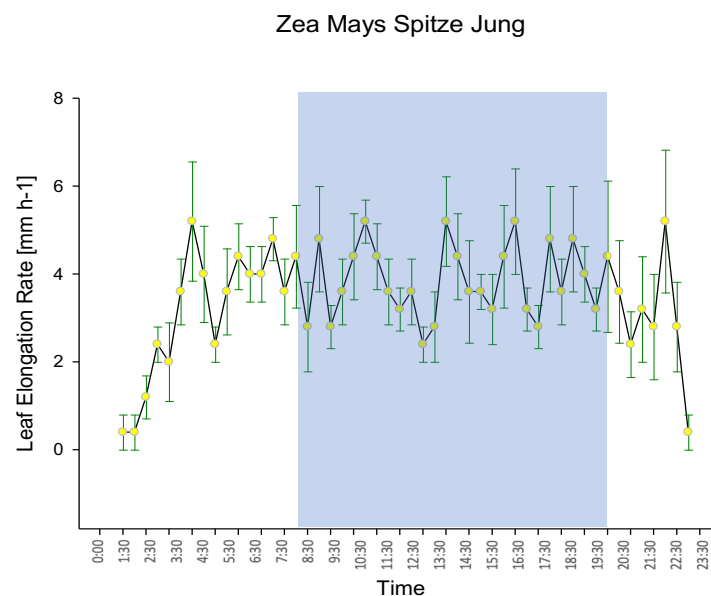


Abbildung 7: Exemplarische Darstellung der Leaf Elongation Rate (LER) mit Standardfehlern von *Zea mays* in mm/h gemessen an der Spitze des jüngsten Blattes. Schattierter Bereich entspricht Nachtphase.

Durch die Darstellung als gleitende Mittelwerte zum Maximalwert können die drei Kulturen miteinander verglichen werden. Allgemein weist *Zea mays* die höchsten Wachstumsraten auf, gefolgt von *Panicum maximum* und anschließend *Oryza sativa* mit der niedrigsten LER. Bei *Panicum maximum* und *Zea mays* sind deutliche Trends im Wachstumsverlauf zu erkennen, wohingegen *Oryza sativa* vor allem an der Spitze des jüngsten und älteren Blattes sehr starke Schwankungen zeigt.

Bei den Messungen an der Spitze des jüngsten Blattes (Abbildung 8) fällt bei *Panicum maximum* auf, dass die Wachstumsrate im Prozent vom Maximum von der Tagesmitte kontinuierlich bis zum Beginn der Nacht ansteigt. Am Anfang der Nacht erreicht die LER ihr Maximum und sinkt über die Nacht hinweg langsam wieder ab. Bei *Zea mays* fällt auf, dass sich Maxima im Wachstum zum Ende des Tages und zu Beginn der Nacht befinden. Um Mitternacht herum besitzt die LER ein Minimum. Mit dem Beginn des Tages ist ein leichter Abfall der LER zu erkennen. *Oryza sativa* zeigt im Tagesverlauf starke Schwankungen von Wachstumsspitzen bis Wachstumssenken auf. Maxima werden hier sowohl während der Nacht als auch während des Tages erreicht. Das absolute Minimum tritt kurz vor Beginn der Nacht auf.

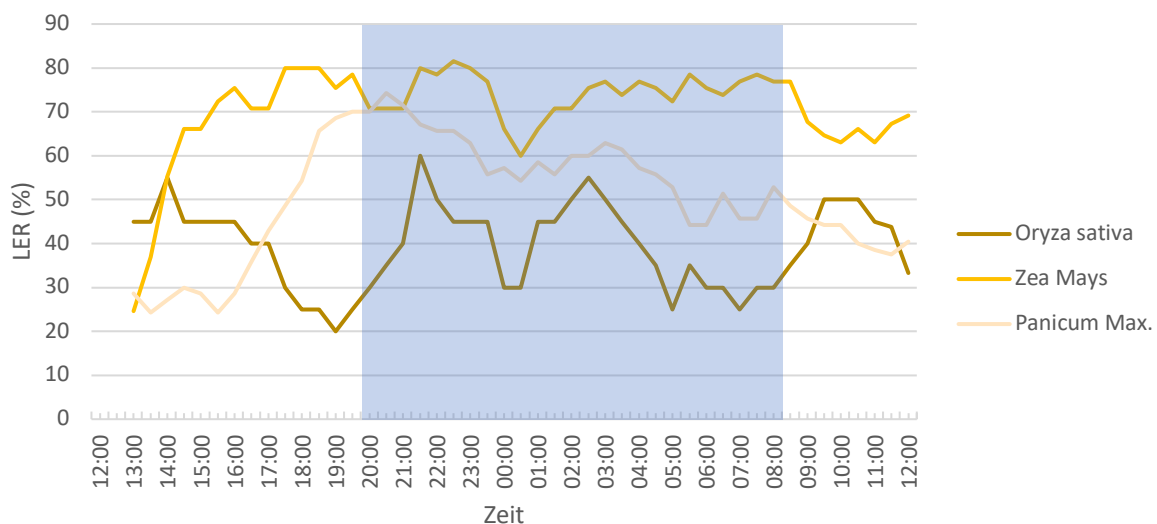


Abbildung 8: Wachstumsraten von *Panicum maximum*, *Zea mays* und *Oryza sativa* gemessen an der Spitze des jüngsten Blattes in Prozent vom Maximum im Tagesverlauf als gleitender Mittelwert.

Der prozentuale Wachstumsverlauf gemessen an der Spitze des älteren Blattes (Abbildung 9) verläuft bei *Panicum maximum* und *Zea mays* ähnlich, indem es bis zu Beginn der Nacht ansteigt, dort sein Maximum erreicht und langsam abfällt. Am Ende der Nacht weisen beide Kulturen ihr Minimum auf. Die LER steigt zu Beginn des nächsten Tages wieder langsam an. Ein Unterschied bei *Zea mays* ist eine in der Mitte des Tages gemessene Wachstumsspitze. *Oryza sativa* schwankt bis zum Ende der Nacht mit seiner LER stark, erreicht kurz vor Beginn des Tages sein absolutes Minimum und steigt dann mit dem Anfang des Tages stark an, um das absolute Maximum zu erreichen.

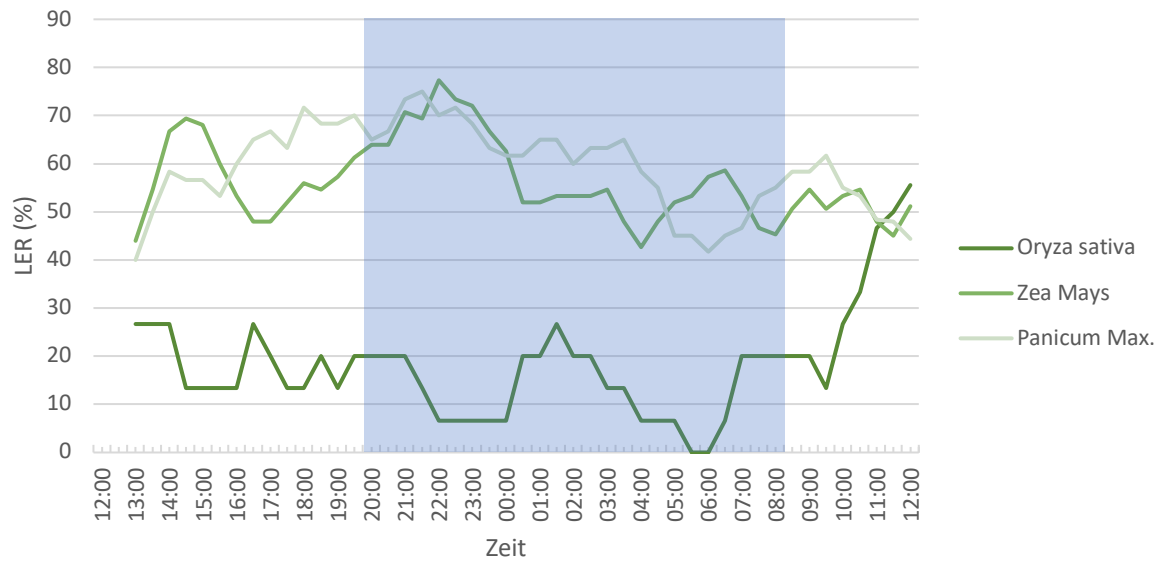


Abbildung 9: Wachstumsraten von *Panicum maximum*, *Zea mays* und *Oryza sativa* gemessen an der Spitze des älteren Blattes in Prozent vom Maximum im Tagesverlauf als gleitender Mittelwert.

Der prozentuale Verlauf des Blattwachstums gemessen an der Basis des älteren Blattes (Abbildung 10) ist bei den drei Kulturen fast identisch. Die LER steigt bis zu Beginn der Nacht zu ihrem Maximum an und fällt dann wieder ab. Am Ende der Nacht erreicht sie ihr Minimum und steigt dann mit Beginn des Tages wieder an. Nur bei *Panicum maximum* ist, statt einem Anstieg zu Beginn des nächsten Tages, ein weiterer Abfall zu beobachten.

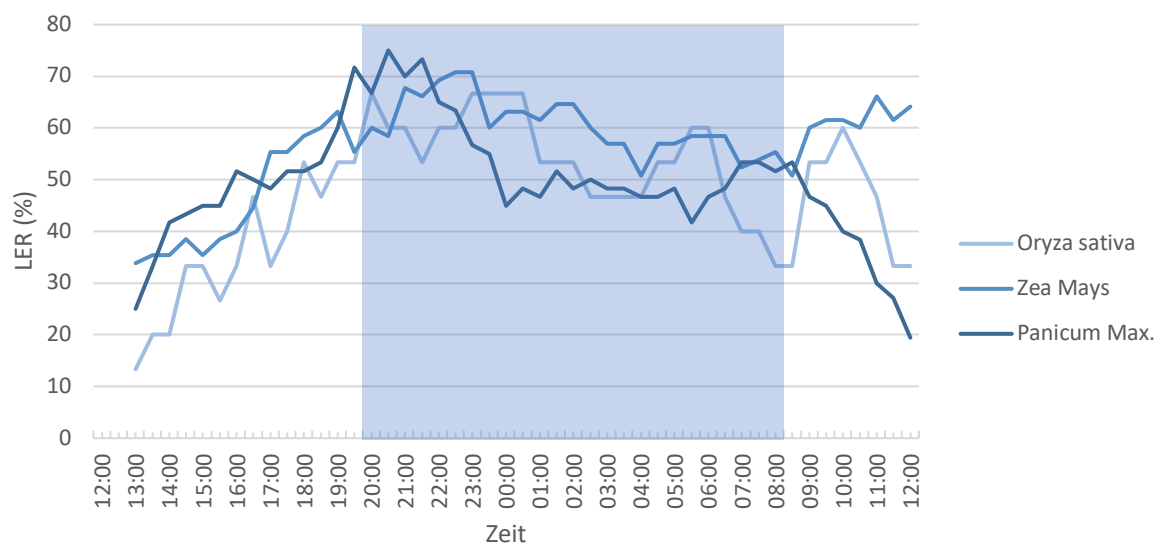


Abbildung 10: Wachstumsraten von *Panicum maximum*, *Zea mays* und *Oryza sativa* gemessen an der Basis des älteren Blattes in Prozent vom Maximum im Tagesverlauf als gleitender Mittelwert.

4.2 Blattstreckungsrate

Mithilfe der Blattstreckungsrate konnte bei *Panicum maximum* und *Zea mays* sehr gut veranschaulicht werden, dass das insgesamt Längenwachstum je nach Messpunkt unterschiedlich ist. Gemessen an der Spitze des jüngsten Blattes ist die höchste LER gemessen worden, gefolgt von der Spitze des älteren Blattes. Die geringste LER wurde an der Basis des älteren Blattes nachgewiesen. Im Laufe des Versuches erreichte *Zea mays* innerhalb von 24h die höchste Blattstreckung (3,56 mm/h), gefolgt von *Panicum maximum* und zuletzt *Oryza sativa* mit der geringsten Blattstreckung (0,22 mm/h).

Bei *Panicum maximum* (Tabelle 1) ist die Blattstreckung gemessen an der Spitze des jüngsten Blattes nachts signifikant größer als tags ($p < 0,02$). An der Spitze des älteren Blattes kann kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden ($p = 0,16$). Die Blattstreckung gemessen an der Basis des älteren Blattes ist wiederum nachts signifikant größer als tags ($p < 0,02$). Wenn man die Unterschiede zwischen den Messpunkten am Blatt betrachtet können ebenfalls signifikante Differenzen festgestellt werden. Die Unterschiede der LER an den drei Messpunkten sind bei *Panicum maximum* tags und nachts signifikant zu beobachten.

Die Blattlängenänderung zwischen Tag und Nacht weist bei *Zea mays* (Tabelle 2) gemessen an der Spitze des jüngsten Blattes keinen signifikanten Unterschied auf ($p = 0,08$). Gemessen an der Spitze des älteren Blattes ist ein signifikanter Unterschied nachweisbar ($p < 0,002$). Die Streckung des Blattes, die an der Basis des älteren Blattes gemessen wurde, ist tags und nachts nicht signifikant verschieden ($p = 0,17$). *Zea mays* weist ähnliche signifikante Unterschiede zwischen den drei Messpunkten auf wie *Panicum maximum*.

Bei *Oryza sativa* (Tabelle 3) können gemessen an allen Messpunkten keine signifikanten Unterschiede bezogen auf die Blattlängenänderung zwischen Tag und Nacht nachgewiesen werden ($p = 0,1$). Unterschieden zwischen den Messpunkten sind die LER am Tag untereinander alle signifikant verschieden.

Tabelle 1: LER (mm/h) von *Panicum maximum* innerhalb von 24h gemessen an drei Messpunkten am Blatt in fünf Wiederholungen mit Standardfehler. Unterschiedliche Kleinbuchstaben bezeichnen die Signifikanz zwischen den Messpunkten bei $p < 0,05$. Unterschiedliche Großbuchstaben beschreiben die Signifikanz zwischen Tag- und Nachtmessungen bei $p < 0,05$.

<u><i>Panicum maximum</i></u>	Spitze des jüngsten Blattes		Spitze des älteren Blattes		Basis des älteren Blattes	
	Mean±S.E. (mm/h)		Mean±S.E. (mm/h)		Mean±S.E. (mm/h)	
insgesamt	2,77±0,15	a	2,77±0,14	a	2,29±0,15	b
Tag	2,27±0,21	aB	2,64±0,20	aA	1,98±0,19	bB
Nacht	3,28±0,18	aA	2,90±0,18	bA	2,62±0,20	bA

Tabelle 2: LER (mm/h) von *Zea mays* innerhalb von 24h gemessen an drei Messpunkten am Blatt in fünf Wiederholungen mit Standardfehler. Unterschiedliche Kleinbuchstaben bezeichnen die Signifikanz zwischen den Messpunkten bei $p < 0,05$. Unterschiedliche Großbuchstaben beschreiben die Signifikanz zwischen Tag- und Nachtmessungen bei $p < 0,05$.

<u><i>Zea mays</i></u>	Spitze des jüngsten Blattes		Spitze des älteren Blattes		Basis des älteren Blattes	
	Mean±S.E. (mm/h)		Mean±S.E. (mm/h)		Mean±S.E. (mm/h)	
insgesamt	3,56±0,16	a	3,31±0,15	a	2,88±0,12	b
Tag	3,28±0,26	aA	3,10±0,21	aB	2,61±0,18	bA
Nacht	3,85±0,18	aA	3,53±0,20	aA	3,17±0,14	bA

Tabelle 3: LER (mm/h) von *Oryza sativa* innerhalb von 24h gemessen an drei Messpunkten am Blatt in fünf Wiederholungen mit Standardfehler. Unterschiedliche Kleinbuchstaben bezeichnen die Signifikanz zwischen den Messpunkten bei $p < 0,05$. Unterschiedliche Großbuchstaben beschreiben die Signifikanz zwischen Tag- und Nachtmessungen bei $p < 0,05$.

<u><i>Oryza sativa</i></u>	Spitze des jüngsten Blattes		Spitze des älteren Blattes		Basis des älteren Blattes	
	Mean±S.E. (mm/h)		Mean±S.E. (mm/h)		Mean±S.E. (mm/h)	
insgesamt	0,63±0,05	a	0,22±0,04	b	0,55±0,05	a
Tag	0,62±0,07	aA	0,29±0,07	cA	0,43±0,07	bA
Nacht	0,63±0,09	aA	0,15±0,04	bA	0,67±0,07	aA

Bei der Streckung zwischen den drei verschiedenen Messpunkten am Blatt sind Unterschiede erkennbar (Abbildung 11). Es wird deutlich, dass die Dimension der LER bei *Panicum maximum* und *Zea mays* in einem höheren Bereich liegt, als bei *Oryza sativa*. Tags ist bei *Zea mays* die Abnahme der LER innerhalb der drei Messpunkte deutlich zu erkennen. Diese Abnahme ist nachts bei *Panicum maximum* und *Zea mays* ebenfalls vorhanden. Mithilfe der Tabellen 1 bis 3 und einer zweifaktoriellen Varianzanalyse konnten die Unterschiede in Tag und Nacht und die Unterschiede zwischen den drei Messpunkten geprüft werden. Bei *Oryza sativa* wurde ein signifikanter Unterschied der LER zwischen den drei Messpunkten nachgewiesen ($p = 1,3 \cdot 10^{-8}$). Die LER bei *Oryza sativa* tags und nachts unterscheidet sich jedoch nicht signifikant ($p = 0,56$). Bei *Zea mays* sind signifikante Unterschiede zwischen Tag und Nacht ($p = 0,002$) und zwischen den Messpunkten ($p = 0,002$) nachweisbar. Dasselbe gilt für *Panicum maximum*, wo ebenfalls signifikante Unterschiede der LER zwischen Tag und Nacht ($p = 0,0002$) und den drei Messpunkten ($p = 0,03$) vorzufinden sind.

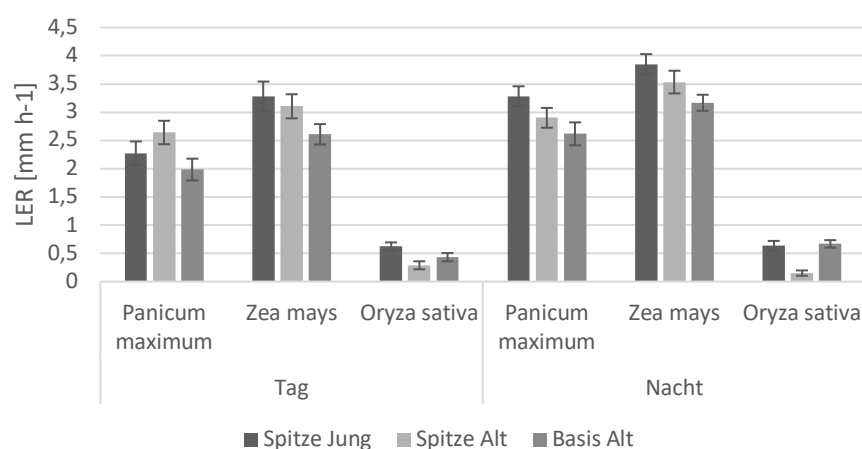


Abbildung 11: LER tags und nachts im Vergleich zwischen den drei Kulturen und den drei Messpunkten mit Standardfehlern.

4.3 Korrelationen zwischen den unterschiedlichen Messpunkten

Betrachtet man die Wachstumsraten der drei verschiedenen Messpunkte und trägt sie gegeneinander auf, fallen deutliche Korrelationen auf. Folgende Abbildungen zeigen die Regressionen jeweils zwischen den drei Messpunkten abhängig von der an den Punkten gemessenen LER.

In Bezug auf den Zusammenhang zwischen der Spitze des älteren Blattes und der Spitze des jüngeren Blattes fällt bei *Oryza sativa* auf, dass keine Korrelation besteht. *Panicum maximum*

und *Zea mays* weisen positive Zusammenhänge zwischen den Messpunkten Spitze junges Blatt und Spitze älteres Blatt auf (Abbildung 12).

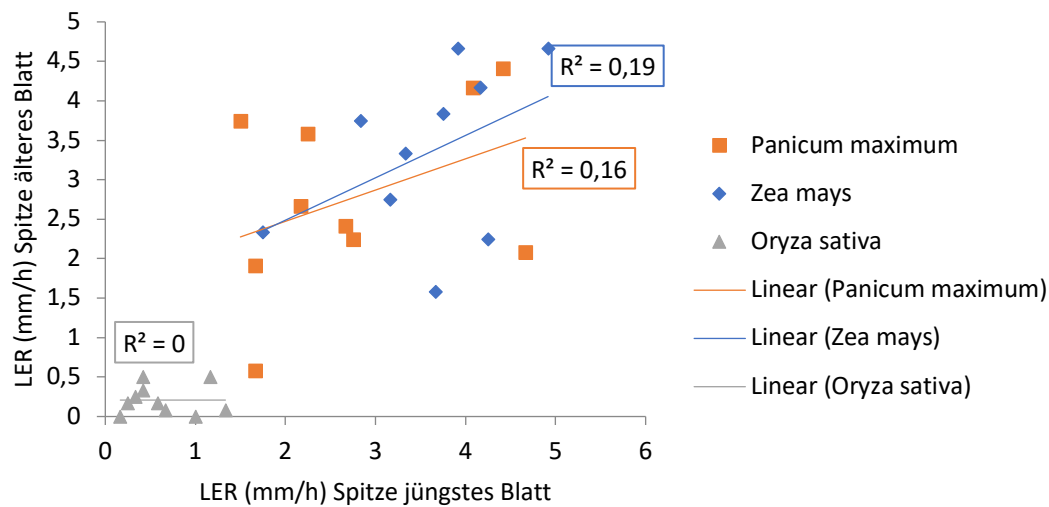


Abbildung 12: Regression der LER (mm/h) zwischen Spitze des jüngeren Blattes und Spitze des älteren Blattes für *Panicum maximum*, *Zea mays* und *Oryza sativa*.

Die Regression zwischen der Basis des älteren Blattes und der Spitze des jüngeren Blattes führte bei allen drei Kulturen zu positiven Zusammenhängen (Abbildung 13). Jedoch sind diese bei *Panicum maximum*, *Zea mays* und *Oryza sativa* nicht stark positiv korreliert ($R^2 > 0,01$).

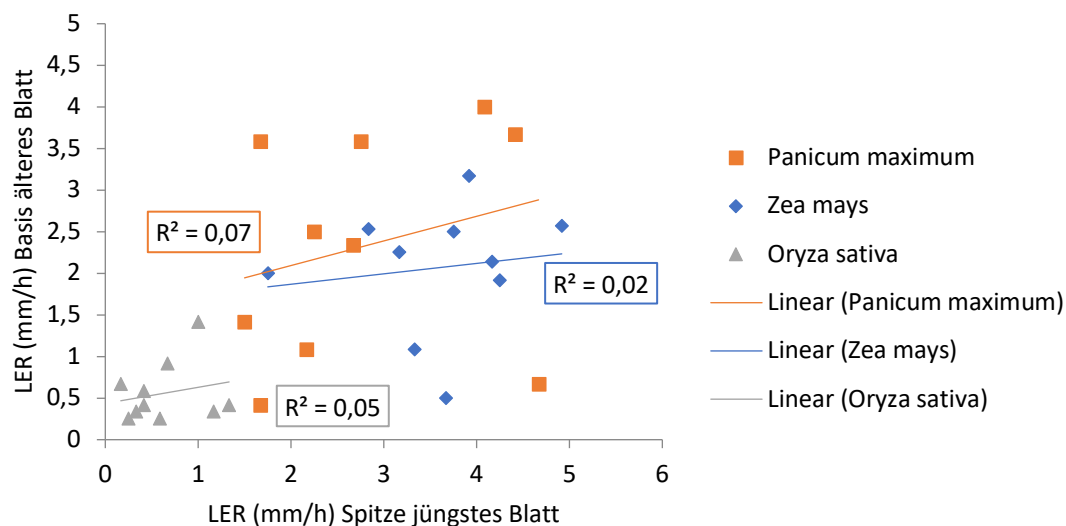


Abbildung 13: Regression der LER (mm/h) zwischen Spitze des jüngeren Blattes und Basis des älteren Blattes für *Panicum maximum*, *Zea mays* und *Oryza sativa*.

Zwischen das Basis des älteren Blattes und der Spitze des älteren Blattes sind die stärksten Korrelationen zu beobachten (Abbildung 14). Dabei fällt bei *Oryza sativa* auf, dass ein stark

negativer Zusammenhang besteht ($R^2 = 0,2$). *Panicum maximum* und *Zea mays* weisen dem Gegenüber stark positive Zusammenhänge auf.

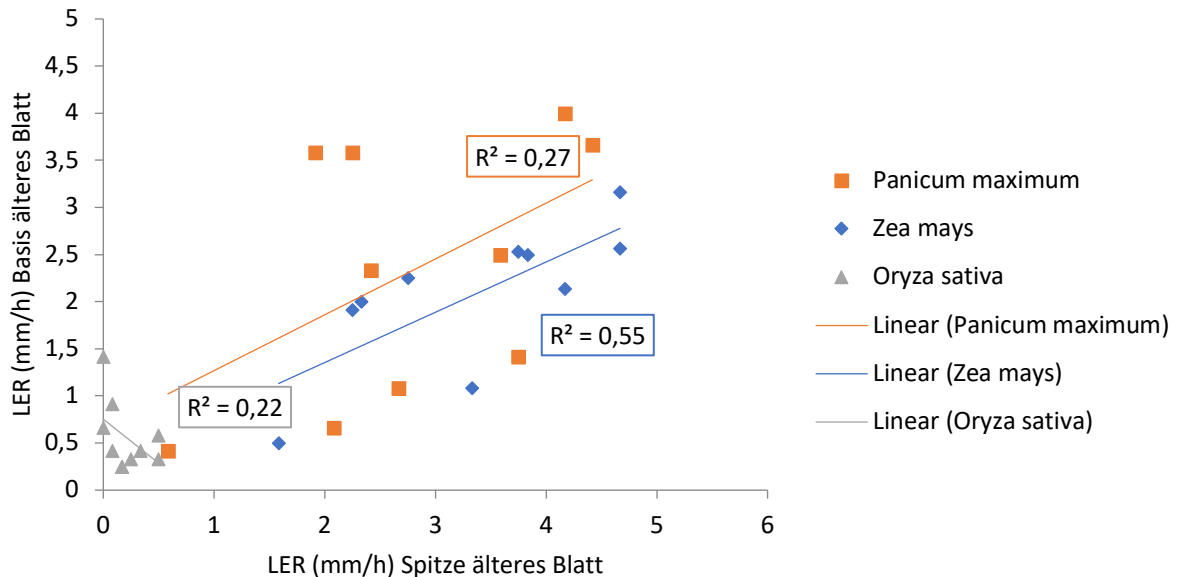


Abbildung 14: Regression der LER (mm/h) zwischen Spitze des älteren Blattes und Basis des älteren Blattes für *Panicum maximum*, *Zea mays* und *Oryza sativa*.

4.4 Einfluss der Temperatur auf die Blattstreckungsraten

Der Einfluss der an den Messtagen gegebenen Temperatur im Versuchsgewächshaus auf die Wachstumsrate ist durch lineare Regressionen zu beschreiben (Abbildung 15). In der folgenden Abbildung ist der Einfluss der Tages- und Nachttemperatur auf die LER der drei verschiedenen Kulturen aufgezeichnet und differenziert zwischen den drei Messpunkten.

Bei *Panicum maximum* ist die Tagestemperatur und die LER bei allen Messpunkten sehr stark korreliert ($R^2 \geq 0,5$). Bei dem Zusammenhang zwischen Nachttemperatur und der LER sind gemessen an der Spitze des jüngeren und des älteren Blattes negative Regressionen analysiert worden (a und b). Die Nachttemperatur weist nur bei der Basis des älteren Blattes (c) einen leicht positiven Zusammenhang mit der LER auf ($R^2 < 0,2$).

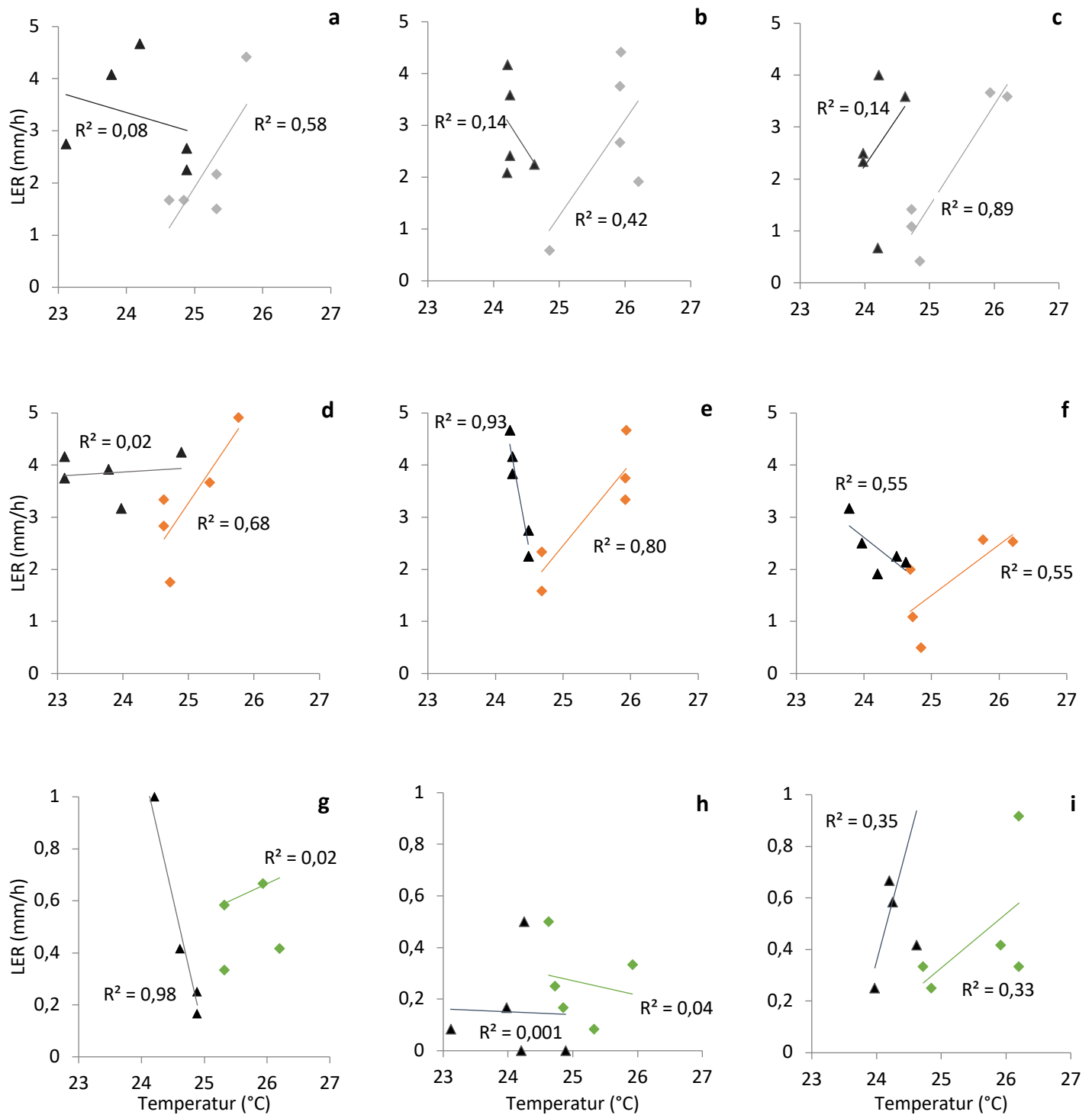


Abbildung 15: Regressionen zwischen LER (mm/h) und Temperatur (°C) für drei Kulturen und jeweils drei unterschiedliche Messpunkte am Blatt. a, b, c für *Panicum maximum*, d, e, f für *Zea mays*, g, h, i für *Oryza sativa*. Messpunkte innerhalb der Kulturreihen von Spitze des jüngsten Blattes, über Spitze des älteren Blattes zur Basis des älteren Blattes. ▲ für Nachttemperatur, ◆ für Tagestemperatur.

Bei *Zea mays* korrelieren die Tagestemperaturen stark positiv ($R^2 > 0,5$) mit der Wachstumsrate der Blätter, gemessen an allen drei Messpunkten. Bei der Spitze des jüngsten Blattes (d) ist bezogen auf die Nachttemperatur ein sehr geringer positiver Zusammenhang mit der LER analysiert worden ($R^2 < 0,02$). Bei der Spitze und Basis des älteren Blattes (e und f) weist die Nachttemperatur negative Regressionen mit der LER auf. Bei der Spitze des älteren Blattes ist dieser negative Zusammenhang höher ($R^2 = 0,9$) als bei der Basis des älteren Blattes ($R^2 = 0,5$).

Oryza sativa weist keine einheitlichen Trends in den verschiedenen Regressionen zwischen Tages- und Nachttemperatur und der LER auf. Gemessen an der Spitze des jüngeren Blattes (g) korreliert die Nachttemperatur stark negativ mit der Wachstumsrate von *Oryza sativa* ($R^2 = 0,9$). Bei der Tagestemperatur ist bei diesem Messpunkt ein sehr geringer positiver Zusammenhang zu beobachten. An der Spitze des älteren Blattes (h) hängen Tages- und Nachttemperatur schwach negativ zusammen mit der LER ($R^2 < 0,05$). Mit der Basis des älteren Blattes (i) als Messpunkt sind positive Zusammenhänge der Temperaturen der beiden Tagesphasen nachgewiesen worden ($R^2 = 0,3$).

Signifikante Regressionen wurden für $R^2 > 0,79$ erzielt und es konnte jeweils mindestens eine Signifikanz pro Kultur nachgewiesen werden. Bei *Panicum maximum* besteht eine signifikant positive Beziehung zwischen der Tagestemperatur und der LER gemessen an der Basis des älteren Blattes (c). Bei *Zea mays* ist, gemessen an der Spitze des älteren Blattes, ein signifikant negativer Zusammenhang zwischen LER und Nachttemperatur zu erkennen und ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen LER und Tagestemperatur (e). Bei *Oryza sativa* gibt es einen signifikant negativen Zusammenhang zwischen Nachttemperatur und LER gemessen an der Spitze des jüngsten Blattes. Allgemein sind die Zusammenhänge zwischen LER und Nachttemperatur überwiegend negativ und die Zusammenhänge zwischen LER und Tagestemperatur überwiegend positiv.

4.5 Einfluss des VPD auf die Blattstreckungsrate

Mithilfe des VPD (gemessen in Kilopascal) kann der Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die LER von *Panicum maximum*, *Zea mays* und *Oryza sativa* betrachtet werden. Hierfür wurden Regressionen zwischen der VPD tags und nachts und der LER für die unterschiedlichen

Messpunkte dargestellt. Bei allen Kulturen kann bei den Regressionen kein einheitlicher Trend zu negativen oder positiven Zusammenhängen festgestellt werden.

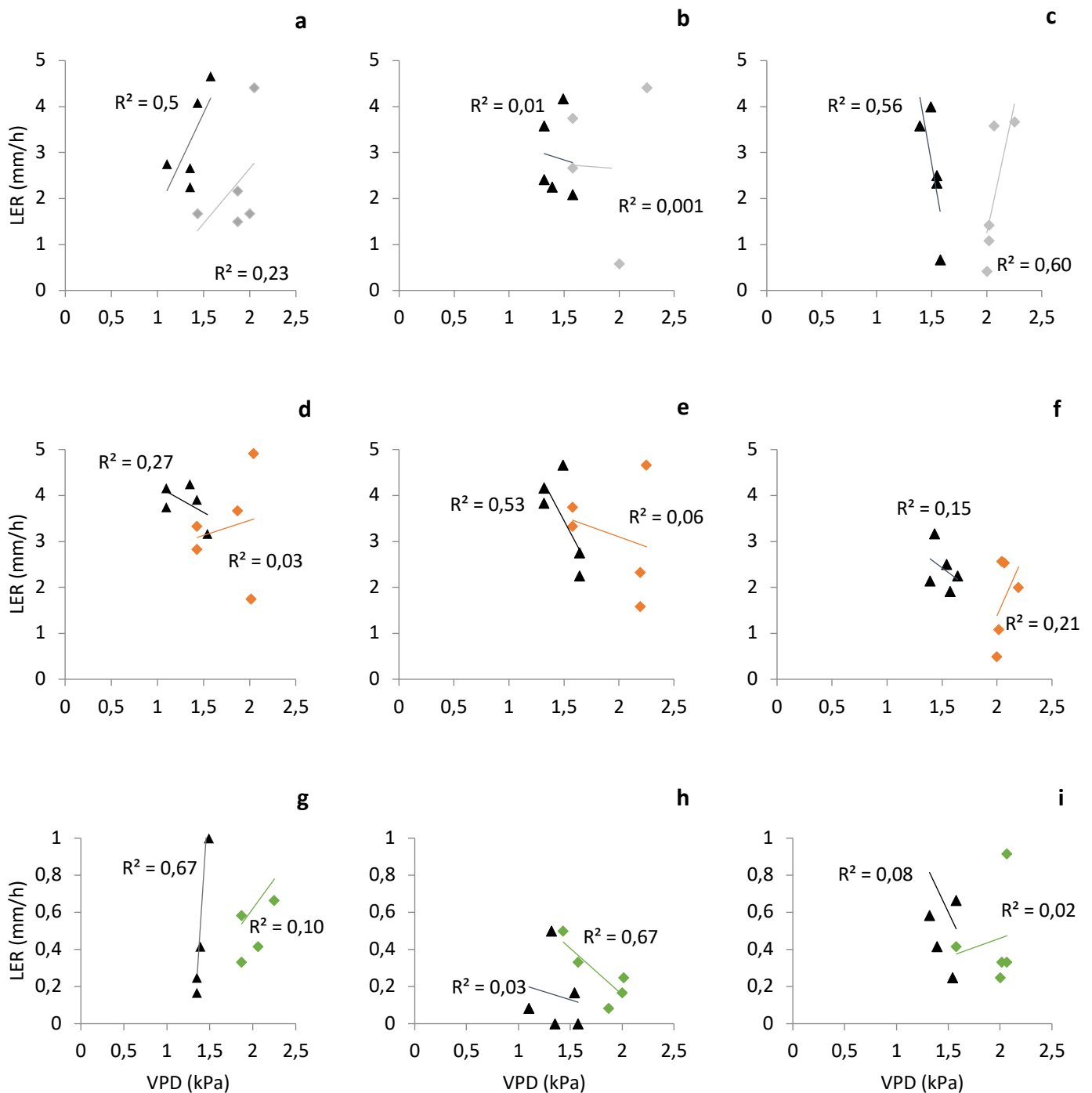


Abbildung 16: Regressionen zwischen LER (mm/h) und VPD (kPa) für drei Kulturen und jeweils drei unterschiedliche Messpunkte am Blatt. a, b, c für *Panicum maximum*, d, e, f für *Zea mays*, g, h, i für *Oryza sativa*. Messpunkte innerhalb der Kulturreihen von Spitze des jüngsten Blattes, über Spitze des älteren Blattes zur Basis des älteren Blattes. $\blacktriangle$ für Nachttemperatur, $\blacklozenge$ für Tagtemperatur.

Bei *Panicum maximum* konnten gemessen an der Spitze des jüngsten Blattes (a) positive Zusammenhänge zwischen Tages- und Nacht-VPD und der LER beobachtet werden ($R^2 < 0,5$). An der Spitze des älteren Blattes (b) sind demgegenüber sehr schwach negative Zusammenhänge vorherrschend ($R^2 < 0,01$). An der Basis des älteren Blattes (c) korreliert das Nacht-VPD negativ mit der LER ($R^2 = 0,5$) und das Tages-VPD positiv ($R^2 = 0,6$).

Bei *Zea mays* korreliert das VPD an der Spitze des jüngsten Blattes (d) am Tag schwach positiv ($R^2 = 0,03$) mit der LER und in der Nacht schwach negativ ($R^2 = 0,27$). An der Spitze des älteren Blattes (e) korrelieren Tages- und Nacht-VPD negativ mit der Wachstumsrate, am Tag ($R^2 = 0,5$) stärker negativ als in der Nacht ($R^2 > 0,1$). Das VPD am Tag korreliert schwach positiv ($R^2 = 0,2$) mit der an der Basis des älteren Blattes (f) gemessenen LER und in der Nacht schwach negativ ($R^2 = 0,1$).

Bei *Oryza sativa* ist an der Spitze des jüngsten Blattes (g) eine stark positive Korrelation ($R^2 > 0,5$) des Tages-VPD mit der LER zu beobachten. In der Nacht ist ebenfalls ein positiver Zusammenhang an diesem Messpunkt aufgefallen, jedoch relativ schwacher Natur ($R^2 < 0,1$). An der Spitze des älteren Blattes (h) sind negative Zusammenhänge bei Tag und Nacht zwischen VPD und LER analysiert worden, nachts ($R^2 = 0,7$) stärker als tags ($R^2 = 0,03$). An der Basis des älteren Blattes (i) bestehen tags schwach positive und nachts schwach negative Zusammenhänge ($R^2 < 0,1$) zwischen VPD und LER.

Allgemein konnte bei den Regressionen zwischen dem VPD und der LER aber bei allen Kulturen keine Signifikanz nachgewiesen werden.

5 Diskussion

Ziel der Arbeit ist es, die Auswirkung von Tag- und Nachtunterschieden auf die Blattstreckungsrate von *Panicum maximum*, *Zea Mays* und *Oryza Sativa* zu untersuchen. Der dazu verwendete Versuchsaufbau diente der Erfassung der Blattstreckungsrate über einen Zeitraum von 24 Stunden.

5.1 Unterschied zwischen den Photosynthesearten

Zu Beginn dieser Arbeit wurden die beiden Photosynthesewege, C₃ und C₄, betrachtet. Demzufolge weisen C₃ Pflanzen eine geringere Wachstumsrate auf als C₄ Pflanzen, welche einen effektiveren Stoffwechsel vor allem bei höheren Temperaturen betreiben. Bei den im Versuch verwendeten Pflanzen handelte es sich bei *Panicum maximum* und *Zea mays* jeweils um den C₄ Typ und bei *Oryza sativa* um den C₃ Typen. Bei dem gesamten Längenwachstum über 24h der einzelnen Kulturen wurde der Unterschied zwischen C₃ und C₄ Effizienz erkennbar, da *Oryza sativa* an allen drei Messpunkten eine signifikant geringere Wachstumsrate aufweist (Tabelle 1 bis 3). *Oryza sativa* erreichte in seinem gesamten Wachstum eine signifikant geringere Höhe als *Panicum maximum* und *Zea mays*. Die LER lag bei den C₄ Gräsern im Durchschnitt mit 2,6 mm/h bei *Panicum maximum* und 3,3 mm/h bei *Zea mays* deutlich höher, als *Oryza sativa* mit 0,5 mm/h (Abbildung 11). C₄ Gräser arbeiten effizienter und weisen ein besseres Wachstum bei höheren Temperaturen auf, wohingegen C₃ Gräser es eher kühler bevorzugen (Hattersley, 1983). Die im Versuch gegebene Umgebungstemperatur fällt mehr in den Optimalbereich von C₄ Gräsern. Nachweislich schließen Pflanzen bei hoher Umgebungstemperatur ihre Stomata, um Wasserverlust durch Transpiration in Grenzen zu halten. Dadurch wird die Aufnahme von CO₂ für die Photosynthese erschwert. C₄ Pflanzen haben einen Mechanismus entwickelt, um selbst geringste Mengen CO₂ nutzen zu können (Ueno, 2011). Durch diesen Versuch konnte bestätigt werden, dass C₄ Gräser in höheren Temperaturen durch ihren angepassten Stoffwechsel in kürzere Zeit mehr Biomasse aufbauen können und eine höhere Blattstreckung aufweisen als C₃ Gräser.

5.2 Unterschiedliche Messpunkte

In der Wachstumszone ist die Streckungsrate nicht überall gleich, sondern verändert sich mit zunehmendem Abstand von der Basis des Blattes (Schnyder, Nelson, & Coutts, 1987). Daher wurden für den Versuch unterschiedliche Messpunkte gewählt. Bei der Längenentwicklung wurde bereits deutlich, dass gemessen an der Spitze des jüngsten Blattes, die größte Längenzunahme zu beobachten war (Tabelle 1-3). Das ist auf alle drei Kulturen anwendbar. Gemessen an der Spitze des zweitjüngsten, also eines älteren Blattes, wurde die zweitgrößte LER innerhalb der Kulturen *Panicum maximum* und *Zea mays* verzeichnet. Gefolgt von der Basis des zweitältesten Blattes, welche die geringste Blattlänge aufwies. Dies bestätigt die These, dass sich bei Gräsern die Wachstumszone ausschließlich in der Basis des Blattes befindet, welche von Bündeln ältere Blattschichten eingeschlossen wird (Bernstein, Silk, & Läuchli, 1993) und so von der Basis zur Spitze des Blatt in die Länge wachsen lassen. Unterstützt wird dies durch die positiven Zusammenhänge der LER zwischen den verschiedenen Messpunkten (Abbildung 12-14).

Bei *Oryza sativa* gibt es eine andere Tendenz, wenn man sich die Längenentwicklung bei Spitze und Basis des älteren Blattes anschaut. Hier ist nämlich gemessen an der Spitze des älteren Blattes eine geringere Länge innerhalb 24h erreicht worden, als gemessen an der Basis des älteren Blattes (Tabelle 3). Dieser Unterschied ist pflanzenanatomisch nicht plausibel erklärbar und kann nur durch einen Messfehler erklärt werden, der mit der falschen Auswahl der an der Spitze gemessenen Blätter einher geht. Durch diesen Messfehler kann auch die negative Regression der LER zwischen Basis und Spitze des älteren Blattes erklärt werden (Abbildung 14). Bei der Auswahl für die Messungen an der Spitze des älteren Blattes wurden vermutlich Blätter ausgewählt, die ihre Wachstumsphase bereits abgeschlossen hatten. Eine mögliche andere Erklärung für diese Messfehler bei *Oryza sativa* könnte dadurch gegeben werden, dass das Blattwachstum sehr sensibel gegenüber Wassermangel reagiert (Hsiao, 1973). Fehler bei der Bewässerung und geringer Wasserstress hätten durch genauere Messung der zugefügten Wassermenge behoben werden können.

5.3 Temperatur als Wachstumsfaktor

Die Blattstreckung ist stark abhängig von der Temperatur (Kleinendorst & Brouwer, 1970). Auch in diesem Experiment hat die Temperatur einen Einfluss auf die Blattentwicklung der

drei Grasarten gehabt. Strahlung, Temperatur und Luftfeuchtigkeit waren die Faktoren, in denen sich die Tages- und Nachtphasen hauptsächlich unterschieden haben. Mit einer Durchschnittstemperatur von 25,5°C (Abbildung 5) lag der Versuch in einem guten Temperaturbereich für die drei verwendeten Kulturen. Optimalere Temperaturen bei *Panicum maximum* für eine optimale Nettophotosyntheseleistung und somit auch Streckung der Blätter hätten bei 37,5°C liegen müssen (Ludlow & Wilson, 1971). *Zea mays* weist bei 30°C höhere Nettophotosyntheseleistungen auf (Vong & Murat, 1977). Allgemein kann aber anhand der heutigen Züchtungsmethoden gesagt werden, dass dies stark sortenabhängig ist. Es hätten vermutlich bei Pflanzen mit höheren Temperaturansprüchen höhere Wachstumsraten erreicht werden können, dies ist aber nicht klar nachweisbar. Um darauf näher einzugehen, hätte die Temperatur in unterschiedlichen Wiederholungen variiert werden können. Da *Oryza sativa* var. *IR64* äußerst sensibel auf Trockenheit reagiert (McNally, et al., 2009), lag die Versuchstemperatur in einem guten Bereich für diese Kultur. Jedoch ist auch hier erneut anzumerken, dass die Wasserzufuhr ebenfalls gemessen und standardisiert werden sollte, um die Möglichkeit von Trockenstress auszuschließen.

In Bezug auf die Temperaturunterschiede bei Tag und Nacht fand Went (Went, 1944) heraus, dass bei wärmeren Tagen als Nächten, die maximale Wachstumsrate erreicht werden kann. Auch im Laufe des Versuches waren die Tagestemperatur mit einem Tagesmittel von 25,3°C höher als die Nachttemperatur mit einem Mittel von 24,1°C (Abbildung 6). Jedoch ist eine Differenz von durchschnittlich 1,3°C nicht sehr hoch, laut Ivory und Whiteman sollte die Tages- und Nachttemperaturdifferenz aber optimal bei 10°C gehalten werden (Ivory & Whiteman, 1978). Eine höhere Differenz hätte sich zusätzlich positiv auf die Wachstumsdynamik der Blätter auswirken können, kann aber mit diesem Versuch nicht nachgewiesen werden. Allgemein unterscheiden sich aber Tages- und Nachttemperatur und im Versuch weisen die Blätter aller drei Kulturen eine höhere Blattstreckung auf bei niedrigeren Temperaturen in der Nacht als bei höheren während des Tages. Dies widerspricht den bisher genannten Thesen.

Wenn die Wasser und Nährstoffversorgung optimal gewährleistet ist, ist die Streckung von Gräsern stark korreliert mit der Lufttemperatur (Das, 1933). Mithilfe der Regressionen zwischen Temperatur und LER (Abbildung 15) konnte signifikant nachgewiesen werden, dass sich höhere Temperaturen am Tag signifikant positiv auf die LER auswirken und niedrigere

Temperaturen in der Nacht signifikant negativ. Obwohl also die LER nachts höher ist als tags, konnte nachgewiesen werden, dass höhere Tagestemperaturen sich positiver auf das Blattwachstum ausgewirkt haben.

5.4 Wachstum beeinflusst durch Luftfeuchtigkeit

Betrachtet man die Luftfeuchtigkeit am Tag und in der Nacht sind tags niedrigere Werte (39,9%) zu beobachten gewesen als nachts (52,6%). Nährstoffe, Wasserversorgung, Sauerstoff, CO₂, Temperatur, Lichtintensität und Luftfeuchtigkeit sind wichtige Faktoren, die das Blattwachstum beeinflussen. Für optimales Wachstum müssen diese Faktoren im richtigen Verhältnis zueinander stehen (Kadereit, Körner, Kost, Sonnewald, & Strasburger, 2014). Das Verhältnis von Umgebungstemperatur zu Luftfeuchtigkeit kann gut mithilfe des VPD veranschaulicht und so mit der LER verglichen werden. Das VPD beschreibt den Sättigungsdampfdruck in der Luft in Abhängigkeit von der Temperatur. Mithilfe von Regressionen konnten allerdings keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der VPD und der LER nachgewiesen werden (Abbildung 16). Dennoch wurden Trends sichtbar. Bei den drei Kulturen und den drei Messpunkten am Blatt wirkte sich das höhere Tages-VPD überwiegend positiv auf die LER aus. Das niedrigere Nacht-VPD wirkt sich demgegenüber überwiegend negativ auf die LER aus. Diese Zusammenhänge können tendenziell die positive Auswirkung der Luftfeuchtigkeit auf die Blattstreckung nachweisen. Um dies signifikant belegen zu können, wäre es sinnvoll, die Luftfeuchtigkeit in einem geschlossenen System optimaler kontrollieren und verändern zu können.

5.5 Wachstumsdynamik

Laut Wach wurde die Blattstreckung bei gut bewässertem Reis im Tagesverlauf charakterisiert durch höhere Streckung am Tag als in der Nacht. Dabei ist der Übergang von Nacht zu Tag geprägt durch eine kurze Abnahme der LER und der Übergang von Tag zu Nacht geprägt durch einen kurzen Anstieg der LER (Wach, 1980). Im Verlauf des Wachstums bei den drei Kulturen ist dies vor allem gemessen an der Basis des älteren Blattes deutlich geworden (Abbildung 10). Die im Tagesverlauf beobachtete Wachstumsaktivitäten unter guter Wasserversorgung wurde beschrieben mit hohen Raten während des Tages und niedrigeren während der Nacht (Wach, 1980). Dieser Trend konnte während dieses Experiments nicht bestätigt werden. Im Verlauf des Experimentes ist Gegenteiliges aufgefallen. Die Wachstumsaktivität war bei allen drei

Kulturen während der Nacht höher als während des Tages. Im Versuch ist die LER von *Oryza sativa* gemessen an der Spitze des jüngsten Blattes und der Basis des älteren Blattes während der Nacht höher als während des Tages, und widerspricht somit Wachs These (1980). Dasselbe gilt für *Panicum maximum* und *Zea mays*, bei denen die LER gemessen an allen Punkten in der Nacht höher ist als am Tag.

Umweltfaktoren die sich bekanntlich auf das Wachstum von Blättern auswirken sind die Strahlungsintensität (Schnyder & Nelson, 1989), der Genotyp (Volenec & Nelson, 1981), die Tageszeit (Schnyder & Nelson, 1988), und die Nummer des Blattes (Meiri, Silk, & Läuchli, 1992). Aus diesem Grund hätte zusätzlich zur Temperatur und der relativen Luftfeuchte optimal für aussagekräftigere Ergebnisse ebenfalls die Strahlungsintensität gemessen werden sollen.

5.6 Versuchsaufbau

In ähnlichen Experimenten, welche die Blattwachstumsdynamiken untersuchen, wurde entweder ein Lineal zur Abmessung der Längenveränderung verwendet oder ein induktiver Wegaufnehmer. Der Vorteil der hier verwendeten Methode beruht vor allem im Vergleich zur Messung mit dem Lineal in der Möglichkeit, häufiger Messwerte aufzuzeichnen. Durch die Überwachung mit Kameras kann unkompliziert und mit geringerem Arbeitsaufwand auch in kurzen Zeitabständen gemessen werden.

Zellwachstum entsteht größtenteils durch die Ausdehnung der Vakuole nach erfolgreicher Wasseraufnahme (Lockhart, 1967). Dennoch ist ungewiss, ob der Zug der Klammer, welche an den Pflanzen an den Messpunkten befestigt war, nicht auch einen Einfluss auf die Blattstreckung nimmt. Das Blatt wird durch das Gegengewicht nämlich permanent unter Zug gehalten, und in der Forschung ist die Auswirkung hiervon auf die Streckung des Blattes noch nicht bekannt. Möglich wäre jedoch, dass dadurch die Blattstreckung im Vergleich zu natürlichen Bedingungen anders beeinflusst wird.

Allgemein wurde, um Messfehler zu vermeiden, der im Institut schon vorher verwendete Aufbau der Messapparatur optimiert. Vor allem, um ein besseres Heruntergleiten der Klammer am Messestativ zu gewährleisten, wurde die Oberfläche der Messleiste angepasst, um zu viel Reibung zu vermeiden. Die Beleuchtung der Messapparatur war für den Versuch ausreichend. Probleme bei diesem Modellaufbau wurden vor allem durch die unterschiedlichen Höhen der gemessenen Pflanzen verursacht. *Panicum maximum* und *Zea*

mays waren zum Messezeitpunkt fast doppelt so groß wie *Oryza sativa*. Durch die Höhe und die höhere Blattstreckung der beiden C₄ Gräser, bestand die Gefahr, dass das gemessene Blatt innerhalb der 24h über die Höhe des Messstativ hinauswuchs. Dadurch konnte nicht mehr genug Zug erzeugt werden und das Gegengewicht an der Messleiste konnte sich nicht entsprechend der Blattstreckung bewegen. Um dies zu optimieren wäre es sinnvoll mindestens dreimal am Tag das Experiment zu kontrollieren und am besten zu Beginn die Höhe des Messstativs auf jede Pflanze mit weiter Zusatzhöhe anzupassen. Obwohl noch Optimierungsbedarf besteht, eignet sich das Modell zur Aufzeichnung der Blattstreckungsrate von Gräsern.

6 Fazit

Entgegen der in der Literatur vorherrschenden These, dass die Blattstreckung bei monokotylen Gräsern während des wärmeren Tages höher ist als in der kühleren Nacht, wurde mit diesem Experimenten Gegenteiliges nachgewiesen. Die Blattstreckung für *Panicum maximum*, *Zea mays* und *Oryza sativa* war während der wärmeren Tagesperioden geringer als während der kühleren Nachtperioden. Trotzdem konnte ein positiver Zusammenhang von höheren Tagestemperaturen auf die LER und ein negativer Zusammenhang niedriger Nachttemperaturen auf die LER bestätigt werden.

7 Literaturverzeichnis

- Archer, K., & Robinson, G. (1988). Agronomic potential of native grass species on the Northern Tablelands of New South Wales. *II. Nutritive value. Australien Journal of Agricultural Research*, 425-436.
- Bao, J. (2019). Rice: chemistry and technology. In J. Bao, *Rice, chemistry and technology* (pp. 1-29). Duxford: Elsevier Inc.
- Bernstein, N., Silk, W. K., & Läuchli, A. (1993). Growth and development of sorghum leaves under conditions of NaCl stress. *Planta Vol. 191*, 433-439.
- Chippendall, L. A., & Meredith, D. (1955). *The grasses and pastures of South Africa*. Pretoria: Central News Agency.
- Chudleigh, P., Boonman, J., & Cooper, P. (1977). Environmental factors affecting herbage yield of Rhodes grass (*Chloris gayana*) at Kitale, Kenya. *Trop. Agric. (Trin.) 54*, 193-204.
- Clements, H. (1980). *Sugarcane Crop Logging and Crop Control: Principles and Practice*. Honolulu: University of Hawaii Press.
- Cook, B., Pengelly, B., Brown, S., Donnelly, J., Eagles, D., Franco, M., . . . Schultze-Kraft, R. (2005). *Tropical forages*. Brisbane: CSIRO, DPI&F(Qld), CIAT and ILRI.
- Das, U. (1933). Measuring production in terms of temperature. *Hawaii. Plant. Rec. 37*, 32-53.
- Dowswell, D., Paliwal, R., & Camtrell, R. (1996). Maize in the Third World. In D. Dowswell, R. Paliwal, & R. Camtrell, *Maize in the Third World* (S. 1-268). Boulder: Westview Press.
- Duncan, W., & Hesketh, J. (1968). Net photosynthetic rates, relative leaf growth rates, and leaf numbers of 22 races of maize grown at eight temperatures. *Crop Sci. 8*, 670-674.
- FAO, & OECD. (March 2019). *OECD-FAO Agricultural Outlook*. Von <http://www.agri-outlook.org> abgerufen
- FAOSTAT. (2019). *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistics*. Von <http://faostat.fao.org> abgerufen
- Feltus, F., Wan, J., Schulze, S., Estill, J. J., & Paterson, A. (2004). An SNP resource for rice genetics and breeding based on subspecies indica and japonica genome alignments. *Genome Research 14*, 1812-1819.
- Food and Agricultural Organization. (12. Juni 2019). *FAO Statistical Databases*. Von FAOSTAT: <http://apps.fao.org/> abgerufen
- Food and Agriculture Organization. (12. Juni 2019). *Grassland Index. A searchable catalogue of grass and forage legumes*. Von Food and Agriculture Organization:

- <https://web.archive.org/web/20170120044942/http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/GBASE/default.htm> abgerufen
- Hattersley, P. (1983). The distribution of C3 and C4 grasses in Australia in relation to climate. *Oecologia*, 113-128.
- Hsiao, T. (1973). Plant responses to water stress. *Annu Rev Plant Physiol* 24, 519-570.
- IPCC, I. P. (2018). *IPCC-Sonderbericht über 1,5 °C globale Erwärmung*. Wien: Umweltbundesamt GmbH.
- Ivory, D., & Whiteman, P. (1978). Effects of environmental and plant factors on foliar freezing resistance in tropical grasses. I. Precondition factors and conditions during freezing. *J. Agric. Res.* 29, 243-259.
- Jackson, W. (1990). *Origins and meanings of names of South African plant genera*. Cape Town: Botanical Society of South Africa.
- Jones, C. A. (1985). *C4 Grasses and Cereals*. John Wiley & Sons, Inc.
- Kadereit, J. W., Körner, C., Kost, B., Sonnewald, U., & Strasburger, E. (2014). *Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften*. Berlin; Heidelberg: Springer Spektrum.
- Kleinendorst, A., & Brouwer, R. (1970). The effect of temperature on the root medium and of the growing point of the shoot on growth, water content, and sugar content of maize leaves. *Neth. J. Agric. Sci.* 18, 140-148.
- KomPass, K. K. (2018). *Klimawandel und Landwirtschaft. Fachliche Grundlage für die Strategie zur Anpassung der sächsischen Landwirtschaft an den Klimawandel*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Ku, S., Edwards, G., & Smith, D. (1978). Photosynthesis and non-structural carbohydrates concentration in leaf blades of *Panicum virgatum* as affected by night temperature. *Can. J. Bot.* 56, 63-68.
- Lockhart, J. (1967). Cell extension. *Plant Biochemistry. Academic Press*, 827-849.
- Lodge, G., & Whalley, R. (1983). Seasonal variations in the herbage mass, crude protein and in-vitro digestibility of native perennial grasses on the north-west slopes of New South Wales. *Rangel*, 20-27.
- Ludlow, M., & Wilson, G. (1971). Photosynthesis of tropical pasture plants. I. Illuminance, carbon dioxide concentration, leaf temperature, and leaf-air vapor pressure difference. *Aust. J. Biol. Sci.* 24, 449-470.

- Mackill, D. J., & Khush, G. S. (2018). *IR64: a high-quality and high-yielding mega variety*. Davis: Springer Nature.
- McNally, K., Childs, K., Bohnert, R., Davidson, R., Zhao, K., & al., e. (2009). Genomewide SNP variation reveals relationships among landraces and modern varieties of rice. *Proceedings of the National Academy of Science (USA)*, 12273-12278.
- Meiri, A., Silk, W., & Läuchli, A. (1992). Growth and deposition of inorganic nutrient elements in developing leaves of *Zea mays* L. *Plant Physiol.* 99, 972-978.
- Morishima, H., & Oka, H. (1981). Phylogenetic differentiation of cultivated rice, XXII. Numerical evaluation of the indica-japonica differentiation. *Japanese Journal of Breeding* 31, 402-413.
- Paliwal, R., Granados, G., Lafitte, H., Violic, A., & Marathrée, J. (2000). *Tropical Maize: Improvement and Production*. Rom: FAO.
- Roose, E. (1994). Chapter 5: The Effect of Plant Converts in: Introduction to the Conservation Management of Water, Biomass and Soil Fertility (GCES) Soil Service - Resources, Management and Conservation. In FAO, *Chapter 5: The Effect of Plant Converts in: Introduction to the Conservation Management of Water, Biomass and Soil Fertility (GCES) Soil Service - Resources, Management and Conservation* (S. 70). Rom: Land and Water Development Division, FAO. Soil Bulletin.
- Schnyder, H., & Nelson, C. (1988). Diurnal growth of tall fescue leaf blades. I. Spatial distribution of growth, deposition of water and assimilate import in the elongation zone. *Plant. Physiol.* 86, 1070-1076.
- Schnyder, H., & Nelson, C. (1989). Growth rates and assimilate partitioning in the elongation zone of tall fescue leaf blades at high and low irradiance. *Plant Physiol.* 90, 1201-1206.
- Schnyder, H., Nelson, C., & Coutts, J. H. (1987). Assessment of Spatial Distribution of Growth in the Elongation Zone of Grass Leaf Blades. *Plant physiology* 85, 85.1.290.
- Serna-Saldivar, S. O. (2019). *Corn: Chemistry and Technology*. Duxford: Elsevier Inc.
- Simon, B. K., & Jacobs, S. (2003). Megathyrsus, a new generic name for *Panicum* subgenus *Megathyrsus*. *Austrobaileya*, 571-574.
- Stender, H. (1924). Some sugar cane growth measurements. *Hawaii. Plant Rec.* 28, 472-495.
- Tollenaar, M. (1977). Sink-source relationships during reproductive development of maize. A review. *Maydica* 22, 49-75.

- Ueno, O. (2011). Structural and biochemical characterization of the C3-C4 intermediate Brassica gravinae and relatives, with particular reference to cellular distribution of Rubisco. *Journal of Experimental Botany*, 5347-5355.
- Volenec, J., & Nelson, C. (1981). Cell dynamics in leaf meristems of contrasting tall fescue genotypes. *Crop Sci.* 21, 381-385.
- Vong, N., & Murat, Y. (1977). Studies on the Physiological Characteristics of C3 and C4 Crop Species : I. The effects of air temperature on the apparent photosynthesis, dark respiration, and nutrient absorption of some crops. *Jpn. J. Crop Sci.* 46, 1977.
- Wach, M. (1980). Dynamic Aspects and Enhancement of Leaf Elongation in Rice. *Plant physiology*, 66.1.147.
- Watts, W. (1971). Role of temperature in the regulation of leaf extension in Zea mays. *Nature* 229, 46-47.
- Watts, W. (1972). Leaf extension in Zea mays. II. Leaf extension in response to independent variation of the temperature of the apical meristem, of the air around the leaves, and of the rootzone. *J. Exp. Bot.* 23, 713-721.
- Went, R. (1944). Plant growth under controlled conditions. II. Thermoperiodicity in growth and fruiting of the tomato. *Am. J. Bot.* 31, 135-140.
- Yoshida, S. (1981). *Fundamentals of Rice Crop Science*. Los Banos, Laguna: International Rice Research Institute.

8 Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, Rebecca Katharina Wolf, dass ich bei der vorliegenden Bachelor-Arbeit die Regeln guter wissenschaftlicher Praxis eingehalten habe. Ich habe diese Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen als solche kenntlich gemacht. Ich erkläre weiterhin, dass der betreuenden Dozentin/dem betreuenden Dozenten ein unverschlüsseltes digitales Textdokument (in einem der Formate *.doc, *.docx, *.odt, *.pdf, *.rtf) der Arbeit übermittelt wurde, dass in Inhalt und Wortlaut ausnahmslos der gedruckten Ausfertigung entspricht. Mir ist bekannt, dass diese digitale Version anhand einer Analyse-Software auf Plagiate überprüft werden kann.

Ort, Datum

Unterschrift